

**UNIVERSIDAD DE LEÓN**  
**FACULTAD DE VETERINARIA**  
**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**universidad  
de león**

**EFFECTO DE DIVERSAS CONDICIONES DE  
ALMACENAMIENTO SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE  
DE CORDERO**

**EFFECT OF SELECTED STORAGE CONDITIONS ON THE  
LAMB EDIBLE QUALITY**

Memoria presentada por:  
**Aída Ruth Callejas Cárdenas**  
Licenciada en Biología y Maestra en Ciencias,  
para optar al grado de Doctora por la Universidad de León

Dirigida por:  
**Dr. Javier Mateo Oyagüe**  
Profesor Titular del Departamento de Higiene y Tecnología de los Alimentos

***DEDICATORIA***

A MIS HIJOS

**JORGE STEVEN, GLENNY FABRICIO Y JEISSON DIMITRI RINCON  
CALLEJAS**

## ***AGRADECIMIENTOS***

Deseo expresar mi gratitud a todas aquellas personas e instituciones que de algún modo han contribuido a la realización de esta Tesis Doctoral. Empezando por la Universidad de León, concretamente a la Facultad de Veterinaria y especialmente a los departamentos de Producción Animal e Higiene y Tecnología de los Alimentos.

Mi eterno agradecimiento a mi director de Tesis, el Dr. Javier Mateo Oyagüe, por todo el apoyo brindado desde un inicio para hacer realidad mi objetivo de ser doctora; por su infinita paciencia durante la realización de esta tesis, por preocuparse por mi situación personal y por todo el apoyo durante este tiempo, UN MILLON DE GRACIAS!

A mis tutores FERNANDOS, Fernando de la Fuente Crespo y Fernando Ariza Botero, mis padres académicos, por haberme acogido de la manera que lo hicieron en sus instituciones respectivas.

A todas los compañeros, profesores, amigos y demás conocidos de la ULE, León y España.

A toda mi familia, compañeros, profesores, amigos y demás conocidos de Colombia, Venezuela, México e Italia.

## ÍNDICE DE CAPÍTULOS

<b>CAPÍTULO 1.</b>	Introducción general.....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2.</b>	Efecto de la maduración a vacío de las piezas de cordero de cebo precoz sobre los cambios en la calidad de los filetes obtenidos de las mismas durante su exposición aerobia a refrigeración.....	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO 3.</b>	Efecto del almacenamiento previo a vacío del despiece de cordero de cebo precoz sobre la formación de compuestos volátiles de los filetes (crudos o cocinados obtenidos de las piezas, durante su posterior almacenamiento aerobio a refrigeración.....	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO 4.</b>	Efecto del tipo de almacenamiento: refrigeración aerobia, vacío o congelación, sobre la calidad de la carne de cordero de tipo lechal.....	<b>126</b>
<b>CAPÍTULO 5.</b>	Conclusiones.....	<b>169</b>

## **RESUMEN GENERAL**

La presente tesis doctoral consta de una serie de tres de investigaciones sobre el efecto que muestra el almacenamiento (a refrigeración en aerobiosis o a vacío y congelación) sobre la calidad (color, sabor, textura) de la carne de cordero (de cebo o lechal). La tesis se estructura en cinco capítulos. Uno es una introducción general sobre la carne de cordero; otros tres capítulos se corresponden con los tres experimentos llevados a cabo en la tesis y que se describen a continuación; y el último capítulo incluye las conclusiones obtenidas de dichos experimentos.

El estudio aborda el tema del almacenamiento de carne de cordero. Este tema despierta un gran interés en el sector teniendo en cuenta que las condiciones de almacenamiento condicionan la vida útil de la carne y también su calidad sensorial y que el almacenamiento es una etapa con un interés estratégico/logístico en la comercialización de la carne. Además la carne de cordero de canales ligeras (canales de menos de 13 kg) es típica de los países Mediterráneos en Europa y tiene un interés regional. Los estudios sobre el almacenamiento de este tipo de carne, en especial sobre la carne de cordero lechal son escasos en la bibliografía. Por lo tanto, conocer cómo evoluciona o cambia la calidad de la carne de cordero sometida a distintos tipos de almacenamiento o conservación por el frío, simulando las condiciones de almacenamiento que tienen lugar en salas de despiece, en establecimientos minoristas o en los hogares, presenta un interés que justifica este trabajo. Los resultados permitirán conocer dichos cambios, explicarlos y adaptar las condiciones de almacenamiento en función de los mismos con miras a mantener la calidad sensorial en los estándares deseados.

En el primer experimento de este trabajo se evaluó el efecto del almacenamiento/maduración a vacío de piezas de carne de cordero de cebo precoz sobre los cambios en la calidad de los filetes durante su exposición aerobia a refrigeración. Los cambios en la calidad fueron enfocados principalmente al color.

En el segundo experimento se estudió la evolución de los compuestos volátiles en los filetes crudos y cocinados de carne de cordero de cebo precoz durante su almacenamiento refrigerado en condiciones aerobias (en bandejas),

incluyendo como variable adicional el que las piezas de donde se obtuvieron los filetes hubiesen sido o no mantenidas al vacío previamente (21 días).

En el tercer experimento se investigó el efecto que tiene el tipo de almacenamiento de piernas de cordero lechal sobre sus características de calidad (color, textura y sabor). Se eligieron tres tipos de almacenamiento considerados comunes en la práctica comercial: refrigeración aerobia durante 7 días, vacío durante 21 días y congelación durante 3 meses. Se determinó la calidad de la carne al acabar el almacenamiento y a las 72 horas posteriores. Los resultados se compararon con carne control sin ningún tratamiento de almacenamiento.

Cada uno de los capítulos 2, 3 y 4 incluye un resumen de los correspondientes experimentos llevados a cabo.

El almacenamiento de la carne de cordero de cebo precoz a vacío antes del corte de los filetes y su exposición a la venta genera unos filetes con más color rojo que los filetes de piernas de animales recién sacrificados; sin embargo, en los primeros la estabilidad del color es inferior y la valoración sensorial de su apariencia disminuye con mayor velocidad, alcanzando antes el color de rechazo sensorial. Además, el envasado al vacío previo provoca un incremento en el contenido en compuestos volátiles desprendidos por los filetes expuestos a la venta con respecto a los filetes de pierna de animales recién sacrificados, que podría generar cambios en el sabor. Dentro de ese aumento es notorio y característico el incremento en sustancias derivadas de la reacción de Strecker.

El almacenamiento de la carne (piernas) de cordero lechal a refrigeración aerobia, al vacío y a congelación modifica ligeramente la calidad de la carne con respecto a la carne no almacenada. El almacenamiento aerobio de 1 semana es el que menos cambia la calidad. El vacío afecta al pH y la estabilidad oxidativa de la carne cocinada. La congelación afecta sobre todo a la luminosidad y capacidad de retención de agua. Los tres tipos de almacenamiento disminuyen la firmeza de la carne, especialmente el vacío y la congelación, lo que podría considerarse como

factor negativo, y afectarían al color que presenta la carne en los tres días posteriores al almacenamiento.

## **OVERALL ABSTRACT**

This doctoral thesis is composed of three research works into the effect that storage (aerobiosis, vacuum-packed or freezing refrigeration) has on quality (color, taste and texture) of lamb, whether suckling or fattening. This thesis is divided into five chapters. The first one is the introduction to lamb; the following three correspond to the three experiments carried out in this thesis, which are described later on; and the last chapter contains the conclusions obtained from these experiments.

This study deals with the storing of lamb. This subject arouses a wide interest in the meat sector, taking into account that storing conditions determine the shelf life of the meat and also its sensory quality and storage is a stage of strategic and logistic interest in the marketing of the product. Light-weight lamb carcasses, less than 13 kg, are very typical in European Mediterranean countries. Studies into the storage of this kind of meat, especially suckling lamb, are not very frequent in literature. Thus, in order to know how the quality of lamb evolves and changes having undergone different types of storage or preservation simulating the storage conditions which take place in the abattoirs, retailing establishments or in private homes. All this justifies this study. The results have allowed us to know these changes, explain them and adapt them to the storage conditions with the aim of maintaining the sensory quality in the standards desired.

The effect of storage and ageing of vacuum packed early-fattening lamb on the changes in the quality of the steaks under aerobic refrigeration was evaluated in the first experiment. The changes in the quality were mainly related to the color.

The evolution of the volatile compounds in raw and cooked early-fattening lamb fillets during refrigerated storage under aerobic conditions (on trays) was studied in the second experiment, including an additional variable in the pieces where the steaks come from, whether or not vacuum packed previously (21 days).

The effect that the type of storage of suckling lamb legs has on their quality characteristics (color, texture and taste) was studied in the third experiment. Three types of storage which are considered normal in commercial usage were chosen: aerobic refrigeration for 7 days, vacuum packed for 21 days and frozen for 3 months.

The quality of the meat was determined after freezing and after the following 72 hours of refrigerated storage. The results were compared with the control meat, which underwent no storage treatment. Each one of the chapters 2, 3, and 4 has a summary corresponding to the experiments carried out.

The storage of vacuum-packed early fattening lamb before slicing for steaks and put on show has a more reddish color than steaks from animals just sacrificed. However, in the former ones color stability was inferior and their sensory value of their appearance fades at a faster rate prior to reaching sensory color rejection. Vacuum packing also causes an increase in volatile compound content shed by the steaks for show as opposed to those from recently sacrificed animals, which could cause changes in taste. The increase in substances derived from Strecker reaction is noteworthy and characteristic in this increase.

The storage of suckling lamb (legs) in aerobic refrigeration, vacuum-packed and freezing slightly modifies the quality of the meat with regard to the non-stored meat. The one-week aerobic storage undergoes the least change in quality. Vacuum-packing affects pH and oxidative stability of cooked meat. Freezing mainly affects lightness and water holding capacity. The three types of storage decreased the firmness of the meat, especially in vacuum packed and freezing, which can be considered as a negative factor, and affected the color of the meat after three days of storage.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN GENERAL**

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

## Índice

	Página
1. Generalidades	3
1.1 Importancia económica de la carne con especial interés en la carne de ovino	4
1.2 Clasificación comercial del ganado ovino	8
1.3 La indicación geográfica protegida “Lechazo de Castilla y León”	9
2. Calidad de la carne y factores que le afectan	10
2.1 Generalidades	10
2.2 Calidad sensorial de la carne	11
2.2.1 <i>Color</i>	12
2.2.2 <i>Sabor</i>	19
2.2.3 <i>Textura</i>	21
2.3 Factores que afectan a la calidad de la carne con énfasis en la carne de ovino	24
2.3.1 <i>Factores ante mortem</i>	24
2.3.2 Factores post mortem	29
2.3.2.1 <i>El rigor mortis</i>	29
2.2.2.2 <i>Maduración</i>	29
2.3 Almacenamiento de la carne	33
2.3.1 <i>Almacenamiento a refrigeración</i>	33
2.3.2 <i>Congelación</i>	39
Referencias	41

## 1. GENERALIDADES

La carne se puede entender como la parte muscular del cuerpo de los animales (diccionario de la Real Academia de la Lengua Española). Según el Código Alimentario Español, la denominación genérica de carne incluye la parte comestible de los músculos de los bóvidos, óvidos, suidos, cápridos, équidos y camélidos, sanos y sacrificados en condiciones higiénicas. Por extensión, se aplica también a la de los animales de corral, caza de pelo y pluma, y mamíferos marinos.

La conversión del músculo en carne tiene lugar después de que los animales hayan sido sacrificados, de forma que al producto resultante de la transformación bioquímica degenerativa del músculo después del sacrificio, una vez transcurrido el *rigor mortis*, podemos denominarlo carne (Swatland, 1991). Una vez el *rigor mortis* llega a su máxima expresión comienza la maduración de la carne, un proceso que va transcurriendo con el tiempo en el que la carne se ablanda y gana aroma.

La carne fresca presenta un olor característico, y su color oscila del blanco rosáceo al rojo oscuro, dependiendo de la especie animal, raza, edad, alimentación, forma de sacrificio y periodo de tiempo transcurrido desde que aquél fue realizado. Otras características de calidad importantes son la dureza, la capacidad de retención de agua (CRA), la jugosidad y el sabor, que se ven afectadas tanto por características *pre-mortem* como por la forma de realizar el sacrificio y las condiciones y tiempo de almacenamiento (Estévez, 2004).

Tras una maduración suficientemente prolongada la carne se altera principalmente por causas microbianas, apareciendo limosidad superficial, cambiando su aroma que se hace desagradable y perdiendo el color rojo en favor del color marrón, produciéndose a la vez un incremento del pH (Rodríguez Rebollo 2000; Kennedy *et al.*, 2004). La carne cruda alterada presenta olores desagradables como olores ácidos, rancios, pútridos y otros, procedentes del metabolismo microbiano y de los procesos de oxidación lipídica. La aparición de la

alteración (el tiempo que tarda la carne en alterarse) depende de la carga microbiana inicial, su grado de manipulación y troceado, la temperatura de conservación y del método de envasado (Sorheim *et al.*, 1999; Kennedy *et al.*, 2004).

La industria de la carne tiene sus raíces desde los tiempos prehistóricos; en la más antigua literatura, ya aparecen referencias que indican ciertas prácticas de conservación de la carne. Los aborígenes de América desecaban la carne al sol y las técnicas de ahumado y salazón eran conocidas antes del tiempo de Homero (año 1000 a.C.); además, la elaboración y especiado de algunos tipos de embutidos era común en Europa y en la zona Mediterránea mucho antes del tiempo de los césares (Price y Schweigert, 1994).

En la actualidad, preservar la calidad de la carne durante el mayor tiempo posible se ha convertido en un reto para los productores de carne. Hay varias estrategias a seguir para aumentar la capacidad de conservación de la carne, desde estrategias de alimentación mediante la ingestión por parte de los animales de abasto de compuestos vegetales con efecto conservante o antioxidante (Serrano, 2014), hasta los procesos de manipulación en el matadero y de conservación de la carne ya obtenida para minimizar la carga microbiana inicial y retrasar en la mayor medida posible el crecimiento microbiano y la oxidación de la carne responsable de su deterioro (Sorheim *et al.*, 1999).

### **1.1. Importancia económica de la carne con especial interés en la carne de ovino**

El sector ganadero en general representa el 40% del producto interior bruto (PIB) agrícola mundial, genera empleo para 1.300 millones de personas, es el medio principal de subsistencia para 1.000 millones de pobres en todo el mundo y utiliza el 70% de la superficie agrícola mundial, es decir el 30% de la superficie terrestre (Steinfeld *et al.*, 2006). Dentro de este sector destaca la producción y transformación de carne. Desde comienzo de los años 80, la producción, el consumo y el comercio mundiales de carne han aumentado considerablemente

hasta alcanzar los 225 millones de toneladas en 2014 (Eurocarne, 2015) La mejora en las condiciones de vida y de crecimiento de la población está impulsando el consumo de carne en los mercados emergentes, mientras que en el caso de muchos de los países desarrollados el consumo de carne parece haberse frenado. En plena crisis económica, Grecia tuvo la mayor caída en el consumo de carne, seguida de Alemania y los Países Bajos. Las causas de esta reducción, en cierta medida estarían relacionadas con temas como la salud y la sostenibilidad.

En cuanto a España, la industria cárnica es el cuarto sector industrial de nuestro país, sólo por detrás de sectores de la dimensión de la industria automovilística, la industria del petróleo y combustibles y la producción y distribución de energía eléctrica. Esta cifra de negocio supone aproximadamente el 2% del PIB total español. Un dato muy relevante es que la industria cárnica exportó 1,71 millones de toneladas de productos de todo tipo por valor de 4.350 millones de euros a mercados de todo el mundo, con una balanza comercial muy positiva del 375% (en 2010 la tasa de cobertura fue del 229%, en 2011 se elevó hasta un 283%, en 2012 fue del 345% y en 2013 fue del 356%), un dato que muy pocos sectores económicos pueden presentar, y que contribuye a paliar el tradicional déficit comercial de nuestro país (ANICE, 2015).

Aunque al cierre del año 2014 el consumo doméstico total de carne retrocedió significativamente un 4,3% en comparación con el año 2013. La carne fresca fue la que más se consumió; de un total de 2.287.161,80 kg consumidos, 1.688.849,07 kg correspondió a carne fresca, 63.517,92 a carne congelada y 534.794,81 kg a carne procesada. De los 66.443 millones de euros que alcanzó el gasto alimentario en el hogar en España al cierre del año 2014, 14.572 millones de euros correspondió a las carnes (MAGRAMA, 2015). En cuanto al destino de la carne producida, hay que señalar que cerca del 60% de la producción de carne de porcino es para consumo directo y el 40% para consumo industrial, mientras que en el caso del vacuno y el ovino la práctica totalidad (92% en bovino y 98% en ovino/caprino) es para consumo directo (ANICE, 2015).

El ganado ovino es una especie básica en la ganadería mundial, encontrándose distribuida por todos los continentes para el aprovechamiento de su carne, leche, lana, cuero y estiércol. Según los datos publicados por la (FAO, 2010), el censo mundial de ovino ascendió en 2010 a casi 1.078 millones de cabezas, censo que se encuentra estabilizado en los últimos decenios, aunque con tendencia a la baja y repartido de forma desigual entre las diferentes zonas, siendo Asia (42,19%) y África (27,75%) las regiones con mayor importancia, seguidas por Europa (12,14%), Oceanía (9,34%) y América (8,58%).

En Europa, es en los países mediterráneos en los que la cría de ovejas es mayor (Sañudo *et al.*, 1998), así, el sector ovino-caprino en España representa el 8% de la producción final ganadera, con una producción de 135.000 toneladas anuales, ocupando el segundo lugar como productor de carne de ovino dentro de la Unión Europea, por detrás de Reino Unido, y en decimoquinta posición a nivel mundial. La explotación del ganado ovino en España ha tenido desde tiempos antiguos un fuerte arraigo, sobre todo en áreas montañosas en las que, en gran parte, se destina su uso a la producción cárnica. (FAO, 2010; COAG, 2013).

La carne de ovino/caprino en España es el tipo de carne con el precio medio más alto, 10,15 €/kg, frente a los 5,83 €/kg de precio medio del total carne fresca, habiéndose incrementado un 4,2% en relación al cierre del año 2013. El consumo *per cápita* es de 1,78 kg. El perfil del hogar consumidor de carne de ovino/caprino es el formado por parejas con hijos mayores; parejas adultas sin hijos y retirados. Las CCAA que más carne de ovino/caprino consumen son Aragón, La Rioja y las dos Castillas; y las que menos consumen: Canarias, Andalucía y Extremadura (MAGRAMA 2014). No obstante, la cría de ganado ovino en nuestro país ha registrado durante los últimos años un descenso en casi todas las regiones de España. Se ha pasado de los 17 millones de animales de 2011 a los 12,22 millones de 2014. (MAGRAMA, 2014). Tanto a nivel europeo, como nacional, la producción de cordero ha sufrido una fuerte reducción durante los últimos años.

La carne de ovino acusa distintos fenómenos que repercuten tanto en su demanda como en su oferta. Por una parte, ante una situación de recesión y reducción de gasto, muchos hogares cambian el consumo de ovino y caprino por otro tipo de carnes con un precio más bajo como, por ejemplo, el pollo o el cerdo (efecto sustitución). Al mismo tiempo, los cambios en la demanda internacional de materias primas se han traducido en un incremento significativo del coste de producción como consecuencia del mayor gasto en la alimentación animal, estando actualmente el mercado de la carne en España orientado a la producción de carnes baratas, como las ya indicadas de cerdo y aves de corral, destinadas en parte a su transformación en productos cárnicos (Cruz *et al.*, 2013; Blanco *et al.* 2012). Además, la carne ovina presenta un intenso sabor y olor característico no siempre apreciado por los consumidores; otra característica asociada a la demanda de carne de ovino y caprino es la estacionalidad en el consumo *per cápita* y en la tasa de penetración (hogares que consumen este producto) (Cruz, 2013).

La carne de cordero en España, ha tenido tradicionalmente un patrón de consumo particular, centrado en fiestas y fechas navideñas. El mes de diciembre, asociado a las celebraciones navideñas, plantea el mayor consumo *per cápita* y la mayor tasa de penetración mientras que, por el contrario, los consumos más reducidos están localizados en el mes de agosto. Al mismo tiempo, evaluando conjuntamente consumo y precio, se observan oscilaciones en esta última variable especialmente relevantes en el mes de diciembre, asociadas a los mayores niveles de demanda anteriormente comentados, período en el que no importa tanto el precio de la carne, sino la calidad y la imagen de la misma (Linares *et al.*, 2007).

## 1.2. Clasificación comercial del ganado ovino

Se piensa que el género *Ovis* fue el animal de carne más antiguo dentro de los animales domesticados. Éste ha sido criado por los humanos en el Medio Oriente comenzando desde hace 9.000 años atrás. Actualmente, como se ha visto el ganado ovino se consume en mayor o menor medida en las distintas regiones del mundo.

En España la clasificación de los ovinos en función de la edad y peso desde el punto de vista de su comercialización es la siguiente (Teixeira *et al.*, 2014; Sañudo *et al.*, 2000).

**OVINO MAYOR:** Comprende desde los animales de más de un año de edad a animales de desvieje que como tratamiento previo al sacrificio suelen ser cebados unos meses a fin de elevar su deficiente calidad comercial. Dan canales de peso muy diverso, normalmente a partir de 17-20 kg. Generalmente para consumo local o de un segmento de consumidores específicos. Su carne es de color rojo vivo y presenta un sabor fuerte.

**CORDERO PASCUAL O TERNASCO:** Animales de 4 a 7 meses de vida (legalmente hasta el año), procedentes de varias razas como la Merina en Andalucía y Extremadura y de otras razas como la Talaverana, Segureña, etc. Puede ser de aprovechamiento mixto, lana y carne, en diversas zonas. Dan canales de 12-13 kg de peso medio. Su carne es consistente, de sabor pronunciado. Se distingue la denominación cordero pastenco para corderos de entre 5 y 6 meses con canales de 12 -15 kg, generalmente de raza Merina, explotados en régimen extensivo y terminados a base de pastos primaverales. Son por tanto de disposición estacional y limitada por la climatología.

**CORDERO RECENTAL** Nombre de origen aragonés, para denominar a los animales procedentes mayoritariamente de la raza Rasa Aragonesa, aunque hoy se encuentra bastante generalizado. Son animales entre los 60 y los 100 días de edad (3 meses), que complementan en su alimentación la leche con pienso

concentrado desde el décimo día. Se sacrifican al destete, produciendo canales de entre 10 y 12 kg, en vivo unos 25 kg. Su carne es de color rosa oscura, de fibras firmes, que se vuelven muy tiernas en sus diferentes elaboraciones, y grasa totalmente blanca.

**CORDERO LECHAL.** El cordero lechal o lechazo es el que aún no ha sido destetado, animales jóvenes de ambos sexo sacrificados entre los 25 y los 45 días de vida de un peso canal normalmente entre 5 y 8 kg. Su nombre obedece a que deben haber consumido como alimento fundamental leche materna (Sañudo *et al.*, 1998a). Su carne es muy tierna, es un poco insípida, pero muy delicada y con poca grasa. El sabor y textura de la carne de cordero lechal a la parrilla (por ejemplo, en chuletillas) o asada (lechazo asado) se consideran generalmente de mayor calidad que la carne de corderos mayores. Este tipo comercial solamente tiene importancia en España, especialmente en las dos Castillas, País Vasco y Navarra, nutriéndose, la oferta mayoritaria, de los rebaños de aprovechamiento lechero, fundamentalmente de las razas Churra, Castellana, Lacha y Manchega. En muchos países es prácticamente imposible encontrar carne de cordero lechal, al considerarse antieconómica su producción.

Otros autores mencionan una categoría más, denominada **CORDERO DE CEBO PRECOZ**: animales que alcanzan en el momento del sacrificio un peso canal igual o superior a 13 Kg. con una edad de 3 a 4 meses, criados intensivamente en estabulación a partir del destete que tiene lugar entre los 30 y 50 días, empleándose para su alimentación piensos compuestos lo que origina su mayor engrasamiento. La mayor parte de las razas españolas en su pureza o en cruce pueden dar lugar a este tipo de cordero. (Sañudo, 1998b).

### **1.3. La indicación geográfica protegida “Lechazo de Castilla y León”**

En 1995 se reconoció con carácter provisional la Indicación Geográfica Protegida (IGP) “Lechazo de Castilla y León” y por orden de la consejería de Agricultura y Ganadería de Castilla y León de 28 de mayo de 1997 (BOCyL, 1997) se aprobó el Reglamento de la misma y su Consejo Regulador. Posteriormente,

mediante el reglamento (CE) No 2107/99 de la Comisión de 4 de octubre de 1999 (DOCE, 1999), se inscribe la IGP en el Registro de Indicaciones de la Unión Europea.

Las canales amparadas por la IGP proceden de animales machos y hembras de las razas Churra, Castellana, Ojalada y sus cruces. La alimentación de los lechazos es exclusivamente con leche materna. Su peso vivo está comprendido entre los 9 y 12 kg, con una edad no superior a los 35 días. Su peso canal es de 4,5 a 7 kg si se presenta sin cabeza ni asaduras o de 5,5 a 8 kg si se presenta con ambas. El epiplón cubrirá la canal y los riñones aparecerán cubiertos en más de la mitad de su superficie. La grasa externa es de color blanco céreo, siendo el color de su carne blanco nacarado o rosa pálido. Su carne se caracteriza por ser muy tierna, con escasa infiltración grasa, con gran jugosidad y una textura muy suave.

## **2. CALIDAD DE LA CARNE Y FACTORES QUE LE AFECTAN**

### **2.1 Generalidades**

Es difícil definir el concepto de calidad de carne porque está determinada por múltiples factores responsables de la misma y es percibida por varios sentidos. La calidad se ve afectada por factores tanto *ante mortem* como *post mortem*. La calidad de la carne comprende, entre otros aspectos, su composición química (valor nutricional), sus características organolépticas (valor sensorial) tales como la ternura, color, sabor, olor y jugosidad, los aspectos higiénico-sanitarios (presencia/ausencia de microorganismos patógenos y alterantes, toxinas, aditivos o residuos), la calidad tecnológica (aptitud para el procesado), y otros aspectos relacionados con valores como el bienestar animal (Gracey, 1989; Wood *et al.*, 1998).

## 2.2. Calidad sensorial de la carne

Las principales propiedades sensoriales por las cuales los consumidores juzgan la calidad de la carne y los productos cárnicos son la apariencia, la textura y el sabor (Gray *et al.*, 1996). Estos atributos condicionan decisivamente a la hora de elegir un producto por parte del consumidor, de tal manera que la terneza, jugosidad y sabor influyen al momento de consumirla y la apariencia es habitualmente utilizada como criterio de selección de la carne fresca al momento de comprarla, pues es la única propiedad que puede ser percibida por el consumidor cuando ésta se encuentra en un envase o en un expositor (Faustman y Cassens, 1990). Estos atributos se hallan influidos por todos los factores *ante mortem* ligados al animal y a su medio, y a una gran cantidad de factores *post mortem*. Dentro de este último grupo hay tres fenómenos interrelacionados que tienen una especial importancia: caída del pH, instauración del *rigor mortis* y la maduración (Martínez Cerezo *et al.*, 2005).

En la actualidad se cuenta con herramientas bastante confiables para medir los parámetros que definen la calidad sensorial de la carne. Esta evaluación se puede hacer por métodos sensoriales e instrumentales (color, pH, capacidad de retención de agua, textura, humedad contenido de grasa, entre otras), que permiten predecir, caracterizar y controlar la calidad organoléptica. Los resultados obtenidos con los equipos instrumentales pueden correlacionarse con determinaciones realizadas por un panel sensorial, lo que permite interpretar sus resultados en función de la opinión de los evaluadores. El éxito de estas correlaciones dependerá fundamentalmente de la exactitud y reproducibilidad de las metodologías utilizadas.

Los factores que afectan a la calidad sensorial de la carne pueden agruparse en factores *ante mortem* genéticos (individuo, raza y sexo), de cría (edad de sacrificio, dieta, explotación, castración) y *post mortem* de matadero (sacrificio y obtención de canales) y de procesado de la carne cruda y cocinada (manipulación, condiciones de conservación, características del cocinado).

### **2.2.1. Color**

Algunos autores definen el color como la cualidad de la sensación provocada en la retina de un observador por las ondas luminosas de  $\lambda$  entre 380-760 nm (Sancho *et al.*, 1999). Otros definen el color como la percepción de la luz de una cierta longitud de onda reflejada por un objeto (Anzaldúa, 1994). Un cuerpo rojo refleja la luz con la longitud de onda correspondiente al rojo y absorbe la luz de todas las demás longitudes de onda del espectro visible. Los objetos blancos reflejan la luz de todas las longitudes de onda del visible, mientras que los cuerpos negros no reflejan luz alguna. Anzaldúa (1994) dice que para definir con propiedad la compleja sensación del color es necesario además, tener en cuenta diversos conceptos complementarios como el tono, el matiz, la luminosidad y la saturación. El tono permite clasificar el color en función de su longitud de onda, rojo, verde, azul, etcétera. El matiz se define en cada uno de los tonos de color y da una sensación gradual de intensidad, es decir más o menos claro o más o menos oscuro. La saturación o pureza describe el grado o la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro. La pureza de cualquier color del espectro es del 100%, mientras que la pureza del blanco es cero. La luminosidad o brillo es una característica de la sensación de color que hace abstracción del tono y de la saturación y permite clasificarlo como un equivalente a la sensación producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad) hasta el negro (mínima luminosidad) (Brazal, 1975; Warris *et al.*, 1990; Anónimo, 1996).

El color que percibimos en la carne es el resultado de una fuente de luz que puede variar en color (blanca, roja, luz de día, etc.), que interactúa con los pigmentos cárnicos que tienen la capacidad de absorber fracciones de luz, de modo que lo que se refleja es el color que nosotros percibimos mediante la retina (Mancini y Hunt, 2005). La percepción del color es una cuestión subjetiva, es decir que cada individuo lo percibe de una manera en cierto modo distinta. Las personas entrenadas en la evaluación objetiva del color son capaces de distinguir

muchas más tonalidades de un color que los individuos no entrenados y de expresarlo en términos comparables con los emitidos por otro evaluador.

Además de la valoración visual, es posible determinar en forma instrumental el color de un alimento por medio de colorímetros, obteniendo mediciones objetivas aplicables al desarrollo del producto y al control de su calidad. El empleo de esta metodología permite determinar objetivamente las diferencias de color y luminosidad en la carne, estimar la proporción y el estado de los pigmentos responsables del color y determinar los factores que intervienen en su deterioro.

El color en la carne es el atributo sensorial más importante al momento de decidir la compra por parte del consumidor para juzgar la calidad de la carne y la aceptabilidad de la misma (Mancini y Hunt., 2005; Gray *et al.*, 1996). En los países Mediterráneos, como España, y especialmente al hablar de carne de rumiante, un color pálido es asociado con carne de animales jóvenes, la cual es preferida por el consumidor, teniendo una gran influencia sobre el precio de venta (Colomer Rocher, 1978; Fernández, 1991). Por otra parte, existen otros países en los que la carne más oscura es más fácilmente aceptada (Caballero *et al.*, 1991; Albertí *et al.*, 1995).

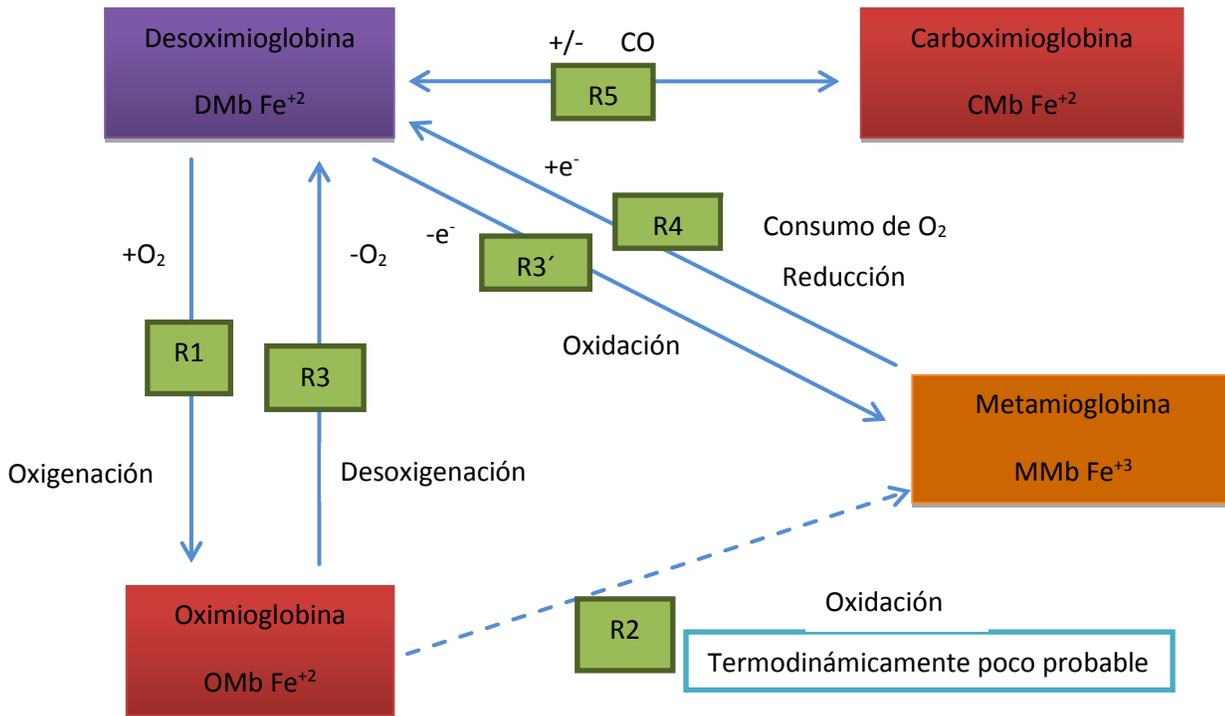
El color de la carne depende del resultado de tres elementos: la cantidad de pigmento (mioglobina) presente en la musculatura, la forma química de la misma, es decir del estado de la mioglobina y la cantidad de luz reflejada por la superficie de corte de la carne (Jacob, 2014; Mancini y Hunt, 2005). Debido a que los músculos difieren en gran medida por su actividad y su demanda de oxígeno, se encuentran distintas concentraciones de mioglobina en los distintos músculos del animal. También, conforme el animal envejece hay más mioglobina. Una mayor concentración de mioglobina produce un color más intenso.

En relación a la forma química, ésta define el color (rojo o marrón) y se ve influenciada por el oxígeno y otras variables como el tiempo de exposición al aire de la carne (Faustman y Cassens 1990; Faustman 2010). La mioglobina es una proteína sarcoplásmica soluble en agua, responsable del transporte y almacenamiento del

oxígeno dentro del tejido muscular; es la principal responsable del color de la carne y sirve como depósito o transportador de oxígeno en el músculo vivo. El oxígeno que llega al músculo con la hemoglobina difunde desde los capilares a la fibra muscular, donde es unido a la mioglobina para su posterior uso en el metabolismo aerobio. La molécula de mioglobina consta de un grupo proteico, la globina, y de un grupo prostético hemo, con un átomo de hierro y un anillo de porfirina que consta de cuatro grupos pirrólicos. El átomo de hierro es un agente importante en el color de la carne, presenta seis enlaces de coordinación, cuatro de los cuales están ocupados por el anillo de porfirina, y el quinto al que se une el nitrógeno imidazólico de la histidina de la cadena polipeptídica. El sexto enlace de coordinación queda libre para unirse al oxígeno o a otras moléculas, determinando las propiedades y el color del complejo (Bodwell y McClain, 1971). La mioglobina en la carne fresca, está presente en tres formas diferentes que se intercambian constantemente (Figura 1).

- mioglobina reducida o desoximioglobina, de color rojo púrpura, con hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), presente cuando la presión parcial de oxígeno es baja, como por ejemplo en el interior de la carne
- mioglobina oxigenada u oximioglobina, de color rojo brillante, con hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), que se forma cuando la proteína entra en contacto con el oxígeno, como en la superficie de la carne poco después del corte.
- mioglobina oxidada o metamioglobina, de color pardo, con hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ )

**Figura 1. Diferentes formas y reacciones de la mioglobina en la carne**



R1= OXIGENACION	: DMb + O2 =	OMb
R2= OXIDACION	: OMb + O2	- e= MMb
R3= DESOXIGENACION	: OMb - O2 (baja presión parcial)-	e= MMb
R3'= OXIDACION	: OMb + O2	- e= MMb
R4= REDUCCION	: MMb - O2	+e = DMb
R5= CARBOXIMIOGLOBINA	: DMb + CO	= COMb

(Adaptado de Mancini y Hunt, 2005 y AMSA, 2012)

En la carne fresca la producción de sustancias reductoras naturales provoca la reducción continua de metamioglobina a mioglobina (Faustman *et al.*, 2010). El cambio de mioglobina a oximioglobina y viceversa generalmente ocurre muy fácilmente. También la reacción que produce la metamioglobina de la carne color marrón ocurre con facilidad, pero el reverso de ésta es más difícil. La metamioglobina se asocia con la carne congelada que se ha almacenado mucho

tiempo en la que la actividad enzimática reductora disponible para reducir la metamioglobina a mioglobina se ha terminado, pero también aparece cuando la presión parcial de oxígeno es baja, como cuando las piezas de carne se acomodan una encima de la otra. La presión parcial de oxígeno también se puede reducir cuando las bacterias aeróbicas usan el oxígeno y es incapaz de reaccionar con la mioglobina (Faustman, 1990).

Inmediatamente después del corte de la carne, el color se oscurece adquiriéndose un color rojo púrpura intenso. Conforme el oxígeno del aire entra en contacto con la superficie expuesta de la carne éste se absorbe y se liga al hierro. El color de la superficie de la carne se cambia a medida que la mioglobina se oxigena. Este pigmento, llamado oximioglobina (OMb) le da a la carne el color rojo cereza brillante. Este es el color que los consumidores asocian con la frescura. La oxigenación de la mioglobina depende del tiempo, la temperatura, el pH, y la competencia por el oxígeno de la Mb con las mitocondrias, que determina la penetración del oxígeno por debajo de la superficie de la carne, afectando significativamente a la intensidad del color de la superficie de la carne. Las presiones parciales de oxígeno mayores que la de la atmósfera formarán una capa más gruesa de OMb justo debajo de la superficie de la carne.

Los altos niveles de la OMb inhiben la formación de MMb. Termodinámicamente la OMb es resistente a la oxidación a MMb, por lo tanto, la formación de MMb parece llevarse a cabo a través de la reacción de desoxigenación de OMb a DMb, que se puede oxidar rápidamente a MMb. El paso de OMb a DMb se realiza en virtud de presiones parciales bajas de oxígeno que se producen cuando el oxígeno disuelto en el tejido muscular es consumido por diversas reacciones, incluyendo la respiración mitocondrial o bacteriana. Sin embargo, la DMb es susceptible a la oxidación por radicales de oxígeno y especies reactivas del oxígeno (principalmente peróxido de hidrógeno), formando MMb. Esta reacción se produce con mayor rapidez a presiones parciales de oxígeno  $< 7$  mm Hg, ya que en estas bajas concentraciones de oxígeno, no hay suficiente oxígeno para unirse a toda la DMb disponible, por lo tanto, hay mucha

DMb para reaccionar con peróxido de hidrógeno. A presiones parciales de oxígeno > 7 mm Hg, hay más oxígeno para unirse a DMb, por lo tanto, hay menos DMb disponible para reaccionar con el peróxido hidrógeno (AMSA, 2012).

La oxidación de DMb ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ferroso a MMb ( $\text{Fe}^{3+}$ ) férrico causa la decoloración, tornándose la carne a color marrón. La reducción de la MMb a DMb es crucial para la duración del color de la carne y depende de numerosos factores extrínsecos e intrínsecos que afectan a esta reacción como son el consumo de oxígeno, la reducción de la actividad MMb y la reserva de NADH (nicotinamida adenina dinucleótido de hidrógeno) después de la muerte. La reducción de la MMb es una actividad que tiene lugar en la carne mediante un proceso que requiere NADH, sustancia clave en la vida del color de la carne. (Mancini y Hunt, 2005). Bekhit *et al.* (2003) sugirieron que la cantidad de NADH presente juega un mayor papel en la estabilidad del color de la carne que la actividad de reducción de la MMb.

Una forma más de la Mb es la Carboximioglobina (COMb  $\text{Fe}^{2+}$ ), que se genera en presencia de monóxido de carbono y resulta en una coloración roja, semejante a la OMb (Cornforth y Hunt, 2008; Mancini y Hunt, 2005), que es muy estable a la oxidación.

Teniendo en cuenta lo dicho en los párrafos anteriores, tanto el tiempo de almacenamiento como la temperatura tienen un gran efecto sobre la estabilidad del color (Jacob, 2014). La temperatura de almacenamiento afecta al color del músculo debido a su efecto sobre la velocidad de las reacciones químicas y a su influencia sobre el crecimiento microbiano. Cuando la carne empieza a decolorarse, es un indicativo de que se está llegando al final de su vida útil (Miller, 1994). La acumulación de MMb durante el almacenamiento conduce al deterioro del color de la carne (Ledward, 1985).

En relación a la cantidad de luz reflejada por la superficie de la carne y su efecto sobre el color de la misma, la evolución del pH *post mortem* influye en el color de la carne, ya que afecta a la estructura de la superficie y la proporción de luz

incidente que es reflejada (Garriz, 2001). Si el pH es elevado la red proteica se deja penetrar profundamente por los rayos de luz y absorbe una parte importante de ellos lo que se traduce en un color oscuro (Seideman, 1984). El corte del músculo inmediatamente después de que un animal ha sido sacrificado es translúcido y con apariencia oscura. Siempre que el animal no fue sometido a un esfuerzo agotador antes del sacrificio y las reservas de glucógeno normales estaban presentes en el músculo, el pH baja de 7,0 a aproximadamente 5,5 como consecuencia de la conversión del glucógeno anaeróticamente a ácido láctico (Bendall y Taylor, 1973). Un factor importante que influencia el pH final son las condiciones de manejo antes de la muerte. Los animales estresados consumen sus reservas de glucógeno y después el pH no baja o se mantiene alto; en este caso el músculo mantiene una alta capacidad de retención de agua y baja capacidad de conservación, la carne es oscura y también se afecta el "flavor" (carnes DFD (Oscura, dura y seca (Dark, firm and dry))) (Garriz., 2001). Por el contrario, una rápida glucólisis *post mortem* causa cambios estructurales en el músculo por lo que se vuelve opaco, pálido suave y exudativo (PSE) (MacDougall, 1982). La glucólisis rápida y la producción de lactato se relacionan directamente con la tasa de  $Ca^{2+}$  liberada en condiciones anaerobias por la mitocondria (Cheah y Cheah, 1976). Los cambios en el pH afectan la carga eléctrica de las proteínas que componen el músculo; estos cambios alteran el espacio entre las fibras de la carne y el cambio de estructura afecta a cómo se refleja y absorbe la luz influyendo en la apariencia visual (Faustman, 1990).

Como ya fue mencionado, el color de los alimentos y de la carne en particular se puede medir con colorímetros. La interpretación del color, se hace en función de tres características esenciales que son el tono o nombre del color (amarillo-azul, rojo-verde); la saturación (croma) que nos indica la intensidad del color; y la luminosidad, que indica la claridad que tiene el color (AMSA, 1991). El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB (CIE, 1986), ya que se presenta más uniforme en la zona de los rojos (Hernández, 1994). Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas luminosidad o claridad, que es función del estado físico de la superficie de la carne ( $L^*$ ), las variaciones en la claridad van del blanco  $L^*= 100$  al oscuro  $L^*= 0$ ,  $a^*$  (índice de rojo) y  $b^*$  (índice de

amarillo), de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, la intensidad de color o saturación y el tono.

La coordenada  $L^*$  parece ser la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989). Depende de varios factores como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular y en menor medida, del grado de oxidación de los hemopigmentos (Palombo y Wijngaards, 1990). También influye el contenido en grasa, pues las materias primas con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de  $L^*$  (Pérez Álvarez *et al.*, 1998). La coordenada  $a^*$  (eje rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina (Pérez Álvarez *et al.*, 1998). La coordenada  $b^*$  (eje amarillo azul) está relacionada con los estados de la mioglobina. No obstante, existe interrelación entre los distintos parámetros del color. La guía AMSA (2012) describe con detalle la forma de evaluar el color de la carne por medio de los colorímetros, así como la forma de interpretar los resultados de las medidas.

### **2.2.2. Sabor**

El sabor se puede definir como la sensación que producen las sustancias aromáticas de un alimento después de haberse puesto en la boca, junto con las sensaciones recibidas por el sentido del gusto e incluso la textura. El componente del olor del alimento está ligado a la existencia de compuestos volátiles; estos compuestos químicos están presentes en concentraciones muy pequeñas, que no afectan al valor nutritivo, pero sí a la aceptabilidad (Anzaldúa, 1994). Es en el cocinado donde se forman los compuestos volátiles que dan sabor a la carne. Los lípidos son importantes precursores del sabor de la carne aunque también depende de sustancias solubles como la carnosina, los nucleótidos y ciertos aminoácidos y ácidos grasos libres (Calkings y Hodgen, 2007). Muchas de estas sustancias forman compuestos volátiles fundamentalmente mediante la reacción de Maillard (Mottram, 1998; Warriss, 2000). Por otra parte, de los lípidos se generan numerosas sustancias volátiles que probablemente contribuyen a establecer las diferencias entre especies en virtud de su composición, ya que en

cierta medida el perfil de volátiles derivados de los lípidos es característico de las diferentes especies animales (Young *et al.*, 2003).

El sabor final de la carne puede verse influido por la raza, el sexo o la dieta del animal, que ejercen variación en las características inherentes en los precursores del aroma entre y dentro de las diferentes especies (Melton, 1983; Almela *et al.*, 2009). Esto es debido, al menos parcialmente, a variación en la cantidad y la composición de las grasas corporales que están ligadas al sabor.

El sabor de la carne también varía en función del tiempo y condiciones de almacenamiento y del tipo de cocinado (Roldan *et al.*, 2015). En el caso de la carne cruda el almacenamiento prolongado, especialmente en condiciones desfavorables, puede causar el desarrollo de aromas pútridos por la descomposición proteica asociada al crecimiento microbiano, u olores rancios por la oxidación de la grasa (Newton y Gill, 1980, 1981; Jelén y Wąsowicz, 2012; Pegg y Shahidi., 2007; Dominguez *et al.*, 2014). Parece que los catadores empezarán a encontrar aromas extraños cuando los recuentos microbiológicos totales alcanzan valores de  $10^8$  microorganismos/grano de carne (Price y Schweigert, 1994). Por otra parte, la congelación, siempre que se realice en condiciones óptimas no debe alterar la calidad del sabor de la carne hasta pasado bastante tiempo (Muela *et al.*, 2010); la alteración en el sabor vendría dada por la oxidación lipídica (Wrolstad *et al.*, 2005). En general, a  $-18^{\circ}\text{C}$  no existirían problemas hasta los 12 meses en bovino, 9 meses en ovino y 6 meses en porcino (Prändl *et al.*, 1994). Por otro lado, la velocidad de descongelación no parece tener influencias muy importantes sobre el sabor (Vanichseni *et al.*, 1972).

En el cocinado influye de forma importante la temperatura; temperaturas elevadas dan un mayor predominio de compuestos de Maillard con los consiguientes sabores a tostado (Cross *et al.*, 1986). Por otro lado, a consecuencia de las reacciones de Maillard pueden formarse también heterociclos de nitrógeno o compuestos de azufre como las pirazinas, tiofenos y tiazoles, así como furacenos y furfurales, y compuestos no heterocíclicos, como los aldehídos

de Strecker, alquenedionas e hidroxiacetonas, así como disulfofuranos (Elmore *et al.*, 2000; Calkins y Hodgen, 2007).).

La contribución de cada uno de los compuestos al sabor y olor de la carne dependerá de la concentración a la que se encuentren y de su umbral de percepción. Los aldehídos, furanos y lactonas son los más implicados en la aparición de olores típicos. Los aldehídos tienen unos umbrales de detección muy bajos, siendo detectables a concentraciones inferiores a 1 µg kg<sup>-1</sup> (Gray *et al.* 1996; Pegg y Shahidi, 2007). Cuando los compuestos derivados de la oxidación lipídica están en cantidad suficientemente alta causan el deterioro de la calidad de la carne. La desviación del sabor y olor característico de la carne puede provocar el rechazo por parte del consumidor (Murphy y col., 1998; Ma *et al.*, 2012).

### **2.2.3. Textura**

La textura es una propiedad sensorial de los alimentos compleja, ya que puede ser detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación (Anzaldúa 1994; Brennan, 1980). En el caso de la carne, la textura corresponde esencialmente a sensaciones de jugosidad y ternura, que son evaluadas mediante técnicas instrumentales o sensoriales. La variación en la ternura y jugosidad de la carne se deben fundamentalmente a las propiedades de las proteínas del tejido muscular y del tejido conjuntivo (Lawrie, 1998).

La ternura de la carne está relacionada con factores genéticos, nutricionales, de manejo y de maduración, entre otros (Teixeira *et al.*, 2005) y es menos variable en la carne de cerdo y cordero, que en la de vacuno.

En relación a las propiedades de la carne, la dureza, parece depender de la longitud del sarcómero, de forma que cuanto mayor es el estado de contracción mayor es la dureza. Algunos autores, sin embargo, consideran que no existe una relación lineal entre estos dos parámetros (Dunn *et al.*, 1993). En segundo lugar, como ya se dijo, influye la cantidad y naturaleza del tejido conjuntivo (Nakamura y

col., 1975). Una mayor cantidad de colágeno implica mayor dureza, pero mucho más si este está muy polimerizado, con lo que disminuye su solubilidad, que para algunos autores es el factor fundamental en la dureza de la carne (Purslow, 2005; Lepetit, 2007). Por último, la dureza depende de la degradación miofibrilar, que se ve reducida debido a la actividad enzimática que tiene lugar durante la maduración, siendo muy dependiente de la temperatura (Miller, 1994). La extensión del ablandamiento es debido a la proteólisis y está especialmente relacionada con las calpaínas y calpastatina (Shackelford *et al.*, 1991; Koohmaraie *et al.*, 1995) han observado que el inhibidor de las calpaínas, la calpastatina, es el parámetro mejor correlacionado con la dureza tras 14 días de almacenamiento a 2 °C. No obstante, parece haber otras proteasas implicadas en la maduración y el correspondiente ablandamiento de la carne, como es el caso de las catepsinas, el complejo proteico proteosoma y también la enzima caspasa (Huff Lonergan *et al.*, 2010).

El consumidor considera a la dureza como principal atributo de la textura, siendo uno de los criterios determinantes de la calidad de la carne a la hora de su consumo (Lawrie, 1998; Ouali, 2006). Tanto la dureza como el color y el sabor de la carne son los parámetros principales que determinan las preferencias del consumidor (Pearson, 1966; Gray *et al.*, 1996; Sañudo *et al.*, 2007).

La dureza se puede determinar de forma sensorial e instrumental. La medida instrumental de la textura fue propuesta como una alternativa a la evaluación sensorial con el fin de superar los principales inconvenientes de ésta, debido a la gran variabilidad en los resultados, la dificultad en la ejecución de las pruebas y a las peculiaridades de la interpretación de los resultados. Sin embargo, es necesario que las medidas obtenidas con métodos instrumentales, puedan correlacionarse con las respuestas de jueces de análisis sensorial, con el fin de validar la técnica instrumental utilizada (Anzaldúa, 1994). De esta forma, las técnicas de evaluación de la textura propuestas deben ser capaces de discriminar adecuadamente las muestras de carne, así como cuantificar la ternera resultante.

Los métodos instrumentales más utilizados son los mecánicos (corte, compresión, penetración, etc.).

La jugosidad de un alimento se podría definir como la percepción de la liberación de jugo en el momento del consumo (Sañudo *et al.*, 1992). La jugosidad de la carne cocinada se puede separar en dos percepciones: la primera es la impresión de humedad durante los primeros mordiscos, producida por la liberación rápida de fluidos y la segunda es debida a la liberación lenta de suero y al potencial efecto estimulador de la grasa en la producción de saliva (Hönikel, 1986; Sañudo *et al.*, 1992). Como esta última percepción perdura mucho más en el tiempo que la liberación inicial de fluidos, es comprensible que la mayoría de los estudios que tratan los parámetros que afectan a la jugosidad de la carne muestren la existencia de una estrecha correlación entre la jugosidad y el contenido de grasa, y no con la cantidad de fluidos surgidos por presión de la carne (Cross, 1991).

La jugosidad está relacionada con la capacidad de retención de agua. Este parámetro es de una gran importancia económica y sensorial, ya que una carne con una menor CRA implica mayores pérdidas por oreo y goteo; también se producirán pérdidas al despiezar y filetear la carne. En el cocinado habrá una rápida salida de jugo, agravada por una pre-contracción del colágeno y una desnaturalización proteica, pudiéndose llegar a pérdidas del 50% con respecto al peso inicial (Hamm, 1986). La sensación de jugosidad de la carne cocinada también se relaciona más con el contenido de grasa. Así, la carne bien vetada de los animales maduros, que es más grasa, podría ser más jugosa que la de los animales jóvenes con menor contenido de grasa intramuscular (Jennings *et al.*, 1978; Sañudo *et al.*, 1992). En cualquier caso, la jugosidad de la carne cocinada depende de la raza, especie, edad y de las diferentes localizaciones anatómicas que varía enormemente (Lawrie, 1996; Wismer Pedersen, 1994; Albertí *et al.*, 1995). También está fuertemente afectada por la caída del pH *post mortem* (Hamm, 1981, 1982; Sañudo y Sierra, 1982; Jaime, 1988) y la técnica de cocinado (Price y Schweigert, 1994).

La jugosidad y la dureza están íntimamente relacionadas; a menor dureza, más rápidamente se liberan los jugos al masticar y aparece más jugo. Para carnes duras, sin embargo, la jugosidad es mayor y más uniforme si la liberación de jugo y de grasa es lenta. Quizás el parámetro más importante que influye sobre la jugosidad de la carne cocinada, es el proceso mismo de cocinado. La pérdida de jugo es función casi lineal de la temperatura, entre 30 y 80 °C, y puede llegar a valores del orden del 40% del peso inicial. Está ligada a la desnaturalización térmica de las proteínas miofibrilares, con una retracción transversal de las fibras, lo que provoca un aumento del espacio interfibrilar y una migración del agua a esta zona, la cual tiende a ser expulsada a temperaturas superiores a los 60 °C (Hamm, 1986). En general, los tratamientos que producen la mayor retención de fluidos y de grasa originan las carnes más jugosas (Carlin y Harrison, 1978; Pospiech y Hönikel, 1991).

### **2.3. Factores que afectan a la calidad de la carne con énfasis en la carne de ovino**

Los factores que afectan a la calidad de la carne pueden agruparse en factores *ante mortem* de tipo genéticos (individuo, raza, cruce y sexo) y de cría (edad de sacrificio, dieta, explotación intensiva y extensiva, castración), y en factores *post mortem* de matadero (sacrificio y obtención de canales), de procesado de la carne cruda y cocinada (manipulación, condiciones de conservación, características del cocinado).

#### **2.3.1. Factores ante mortem**

La mayoría de las propiedades sensoriales y estructurales de la carne están relacionadas con factores de tipo genético, como el individuo, la raza, el cruce o el sexo. En la carne de animales pertenecientes a una misma comunidad genética pueden existir diferencias debidas a la variación de intensidad en los fenómenos digestivos y metabólicos de cada individuo, pero las diferencias suelen ser más acentuadas entre individuos de diferentes razas y cruces. Sin embargo, al ir a la producción de una determinada raza asociada a las particulares condiciones de

cría de esa raza, muchas veces es difícil delimitar los efectos genéticos sobre la calidad de la carne, siendo necesario tener en cuenta patrones genéticos y especificaciones de producción. Además de estos factores genéticos, otros como la edad del animal (Warriss, 1990), el ejercicio muscular (Barnard *et al.*, 1970; Essén Gustavsson *et al.*, 1989), el peso del animal en el momento del sacrificio, el sistema de explotación y manejo y el tipo de alimentación pueden influir sobre el color y composición de la grasa (Asenjo *et al.*, 2005; Almela *et al.*, 2009).

La cantidad de mioglobina presente en el músculo puede estar determinada por diversos factores tales como el tipo metabólico de las fibras musculares, encontrándose un mayor contenido en mioglobina en los músculos con predominio de fibras oxidativas que en los músculos con mayor proporción de fibras glicolíticas (Asenjo *et al.*, 1995). En cuanto a la estabilidad del color en la carne cruda, un factor fundamental es la conservación de la actividad reductora de la metamioglobina, que puede variar en función de la especie animal y de la localización anatómica, siendo dicha actividad mayor en los músculos glicolíticos que en los oxidativos (Echevarne *et al.*, 1990; Madhavi y Carpenter, 1993; Zhu y Brewer, 1998).

La oxidación de la grasa también influye en el deterioro de la calidad de la carne cruda. Los ácidos grasos poliinsaturados esterificados a fosfolípidos son el principal sustrato de la cadena de reacciones de oxidación mediada por radicales libres (Lillard, 1987), por lo que existe una correlación directa entre los niveles musculares de ácidos grasos poliinsaturados y la susceptibilidad a la oxidación mostrada por la carne procedente de distintas especies. Esta susceptibilidad a la oxidación también difiere entre las distintas especies debido a sus diferencias en la actividad del sistema endógeno de enzimas antioxidantes (Mei *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 1996). Además, dentro de una misma especie animal, el contenido lipídico y la actividad de los enzimas antioxidantes endógenos varía en función del músculo (Barbut, 2002; Lee *et al.*, 1996; Renerre y Gatellier 1996; Renerre *et al.*, 1999), al igual que los niveles de antioxidantes endógenos no enzimáticos (Renerre *et al.*, 1999). Otros autores señalan que además de la especie, factores relacionados

con el animal, como el sexo, el individuo o la edad influyen en la susceptibilidad de la carne a la oxidación lipídica, ya que, por ejemplo, al aumentar la edad, aumentan la concentración de pigmentos hemáticos y otras proteínas, así como la cantidad y saturación de la grasa (Kim *et al.*, 2002).

La dureza también es un atributo de calidad importante en la carne cruda, que está determinado por las propiedades de las estructuras miofibrilares, conjuntivas y del citoesqueleto. Puede verse influenciada por varios factores, destacando principalmente la especie, la raza (sobre todo considerando conjuntamente raza-sistema de explotación y manejo), la edad y el peso de sacrificio, los cuales influyen notablemente en la composición de la grasa y porcentaje de ácidos grasos del músculo, y en su pH final (Asenjo *et al.*, 2005). La CRA de la carne está directamente relacionada con el estado de las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas presentes en el músculo y con su solubilidad. Las proteínas miofibrilares pueden retener grandes cantidades de agua. La carne cruda de los mamíferos inmediatamente tras el sacrificio contiene, por término medio, un 75% de agua (Lawrie, 1991), porcentaje que varía con la especie de procedencia y el músculo que se considere.

Sobre el sabor influyen principalmente el sexo del animal, la edad de sacrificio, el sistema de explotación y manejo, y el método y condiciones de cocinado de la carne (Almela *et al.* 2009, Roldan 2015). La mayoría de estos factores determinan en gran medida la composición de la carne, produciéndose durante el cocinado los compuestos responsables del sabor a consecuencia de la volatilización de los componentes de menor peso molecular y de otras transformaciones vía reacción de Maillard, degradación de Strecker y oxidación lipídica (Mottram, 1998).

El sacrificio de machos adultos que han desarrollado sus características sexuales puede determinar la aparición de cierto sabor sexual. La aparición de la pubertad tiene un fuerte componente genético, racial e individual, aunque lo normal es que desarrollen completamente sus atributos sexuales secundarios a

los 40 días de edad. Los machos sexualmente activos segregan altos niveles de ciertas sustancias que actúan como feromonas, incluyendo esteroides como 3-alfa-hidroxi-5-alfa-androst-16-eno y 5-alfa-androst-16-en-3-ona (Knight *et al.*, 1983) y alcoholes como 1,2-hexadecanodiol y 1,2-octadecanodiol (Cohen-Tannoudji *et al.*, 2003) los cuales pueden acumularse en la carne y afectar a su sabor, aunque se dispone de poca información sobre esta cuestión. La castración de machos es una práctica frecuente en países donde los corderos se sacrifican con una elevada edad o se consumen ovinos mayores. A efectos de sabor, la castración disminuye el nivel de feromonas y ácidos grasos ramificados de la carne, en especial de ácido 4-metiloctanoico (Sutherland y Ames, 1996), aunque también puede aumentar el engrasamiento de ésta, intensificando los sabores y olores relacionados con la grasa.

La edad de sacrificio afecta a la composición de la carne ovina y, por tanto, a sus características sensoriales. Los principales tipos de corderos comerciales en España son el cordero lechal, sacrificado con menos de un mes y medio de edad, el cordero ternasco (menos de 4 meses) y el cordero pascual (4-12 meses). En comparación con el cordero lechal, el cordero ternasco y pascual proporcionan una carne con más grasa infiltrada y de cobertura que le confiere un intenso sabor propio a carne de cordero. Además, conforme mayor es la edad, la carne contiene más hierro, que actúa como catalizador de la oxidación de lípidos durante el cocinado de la carne (Sutherland y Ames, 1996;). Estos mismos autores sugirieron que la edad de sacrificio de los animales afectaba al porcentaje de 4-metilnonanoico y 4-metiloctanoico en la grasa de cordero.

Conforme mayor es la edad, habría mayor deposición de grasa y, por tanto, más depósito de ácidos grasos ramificados y otros compuestos implicados en el sabor procedente del metabolismo ruminal, presentando la grasa de los carneros un mayor porcentaje de ácidos grasos de cadena ramificada que la grasa de los corderos.

El sabor y olor de la carne cocinada también puede ser modificado por las condiciones nutricionales en las que se crían los rumiantes. Estas diferencias generalmente son percibidas por los consumidores, si bien, la preferencia se ve influenciada por la experiencia previa y por cuestiones culturales. Vasta y Priolo (2006) realizaron una completa revisión sobre los compuestos potencialmente implicados en el sabor y olor que proporcionan las dietas herbales, a base de grano y enriquecidas con grasa, empleadas en rumiantes. A su vez, dieta y sistema de producción son factores interrelacionados entre sí, ya que la dieta varía según se críe en régimen intensivo, extensivo o mixto. Los aldehídos y cetonas parecen estar en mayor proporción en la carne proveniente de sistemas intensivos ya que derivan de la oxidación de los ácidos linoleico y oleico presentes en mayor porcentaje en los animales que consumen grano. En cambio, una mayor proporción de aldehídos insaturados, ácidos grasos volátiles y metil-cetonas derivan de la oxidación del ácido linolénico presente en altas cantidades en la carne proveniente de animales en pastoreo (Elmore *et al* 2005; Sivadier *et al* 2008; Sivadier *et al.*, 2010).

Se han realizado estudios comparando carne de ovino de diferentes edades y criados en distintos tipos de pastos, y se ha comprobado que la intensidad del típico sabor y olor a carne de oveja fue aumentando con la edad y estaba relacionado con el contenido en la carne de ácidos grasos ramificados y 3-metilindol (escatol) (Rousset-Akrim *et al.*, 1997). Estos compuestos pueden proceder de los componentes de la dieta de los animales alimentados en régimen extensivo. Algunos de los compuestos químicos presentes en los pastos que les sirven de alimento a los animales pueden ser absorbidos directamente sin ser alterados en los compartimentos estomacales de los rumiantes y transferirse al músculo y al tejido adiposo, influyendo en el sabor y olor de la carne. Otros compuestos químicos son fermentados por la flora microbiana presente en el rumen, y los productos resultantes sufren una absorción, metabolización y excreción. Una porción de estos compuestos pueden depositarse en el tejido adiposo y en el músculo, influyendo así en el sabor y olor de la carne (Schreurs *et al.*, 2008). El sabor y olor pastoral pueden resultar desagradables para aquellos

consumidores acostumbrados a consumir carne de animales alimentados en sistemas de producción intensivos (Prescott *et al.*, 2001)

Por otra parte, la alimentación de corderos con dietas enriquecidas en grasas y aceites también puede modificar el perfil de ácidos grasos de la carne, lo que a su vez afecta al sabor (Vieira *et al.* 2012). El empleo de aceites de pescado, algas marinas y semilla de lino aumenta el nivel de ácidos grasos poliinsaturados, aldehídos y otros compuestos secundarios, algunos de los cuales, como 3-tiazolina y tiazol, son generados por reacción de compuestos carbonilo y sulfurados tras el cocinado (Elmore *et al.*, 2005, Villalobos *et al.*, 2014).

Finalmente, el manejo *ante mortem* de los corderos previo al sacrificio también puede afectar al sabor de la carne cocinada. El estrés *ante mortem* produce carnes fatigadas en los rumiantes, con bajos niveles de glucógeno muscular y un elevado pH *post mortem*. Autores como Hopkins *et al.* (1996) y Braggins (1996) han sugerido que el sabor deseable de la carne ovina se atenúa cuando el pH es superior al normal, aunque Devine *et al.* (1993) no pudieron establecer tal efecto.

### **2.3.2. Factores *post mortem***

#### **2.3.2.1. El *rigor mortis***

Constituye la fase inicial en la transformación del músculo en carne. Las condiciones del *rigor mortis*, especialmente la temperatura, afectan a su duración, evolución del pH y concentración de ATP (Hopkins *et al.*, 1996), así como en el acortamiento de las fibras que se produce (Honikel *et al.*, 1986) o el consumo *post mortem* de oxígeno de la carne (Ledward, 1992). Estas características, a su vez, influirían sobre las características sensoriales de la carne y su evolución durante el almacenamiento.

#### **2.2.2.2. Maduración**

La maduración es una etapa posterior al sacrificio del animal y al *rigor mortis* donde se van a producir ciertos cambios positivos en la carne. La

maduración de la carne se muestra como una opción para mejorar su calidad (Cubero Rojas *et al.*, 2013). La carne madurada, es aquella que ha sufrido cambios bioquímicos y estructurales *post mortem* tales como disminución de la dureza, incremento del aroma, olor, sabor y la capacidad de retención de agua. Estos cambios se tienen que llevar hasta un punto óptimo donde la carne se ablande pero donde el aroma y sabor que tenga sigan siendo agradables y aceptables para el consumidor final.

Conforme discurre el proceso de maduración, el músculo se hace cada vez más blando, efecto que no se debe a la disociación de la actomiosina, ya que el músculo sigue siendo inextensible, sino fundamentalmente a la desintegración de la estructura muscular. Diversos trabajos como los de Koohmaraie (1995) o Devine *et al.* (2002), entre otros, han contribuido al conocimiento de estos procesos. El ácido láctico debilita las membranas celulares, por lo que pueden actuar las enzimas de la propia carne. Este proceso bioquímico se realiza por las enzimas proteolíticas: proteasas (hidrolasas), catepsinas y otras. La maduración afecta la ternura de la carne de cordero especialmente en los primeros días; posteriormente las tasas de ablandamiento tienden a estabilizarse (Martínez Cerezo, 2005).

Para una maduración correcta es importante que exista una adecuada acidificación de la carne (pH de 5,4 a 5,8) (Prändl *et al.*, 1994). Durante la maduración se produce un ligero aumento del pH, aunque no debe superar el valor de 6,0 para evitar el riesgo de alteración microbiana, que aumenta con los días de maduración; de ahí la importancia del frío en la conservación de la carne (Estévez, 2004).

La maduración de la carne, además de conducir a la disminución de la dureza y a la elevación del pH, aumenta la CRA. El incremento del pH y la CRA es fundamentalmente debido a la degradación de las proteínas, generando péptidos y aminoácidos, y a la liberación de iones de sodio y de calcio por parte del retículo sarcoplásmico. Con todo ello, aumenta el pH y se incrementa la presión osmótica

de las células musculares. La liberación de iones se manifiesta también, por la elevación de la conductibilidad eléctrica en la carne madurada (Prändl *et al.*, 1994). Los iones potasio libres en el citoplasma son absorbidos por las proteínas musculares, desplazando de este modo a los iones  $\text{Ca}^{+2}$ . De esta forma la carga neta de las proteínas aumenta y se incrementa la CRA.

Entre los hechos que caracterizan la maduración de la carne cabe también contemplar la modificación del color. Durante este periodo se deseca la superficie de la carne, aumentando la concentración de sales (Lawrie, 2006). La maduración aumenta el valor de  $a^*$  (índice de rojo) provocando que la carne posea un color más rojo y más intenso (Chasco *et al.*, 1995; Callejas Cárdenas *et al.*, 2014). También se producen compuestos que contribuyen al aroma de la carne madurada por degradación de proteínas y grasas (Watanabe, 2015). A medida que aumenta el tiempo de maduración se desarrollan los precursores del sabor y olor de la carne cocinada, como péptidos y aminoácidos libres, debido a la actividad de las proteasas y peptidasas endógenas, así como otros compuestos precursores del sabor y olor procedentes de la hidrólisis y oxidación de lípidos (Jeleń y Wąsowicz, 2012). Sin embargo, los enemigos del proceso de maduración de la carne son los microorganismos, que dependerán de la manipulación, temperatura, oxígeno, etc. y la oxidación lipídica que está relacionada con la cantidad de oxígeno, temperatura, luz, etc. (Greig, 2005).

No todas las especies necesitan que se madure la carne por igual. Para la carne de aves serían suficientes con 2-3 días, cerdo 3-6 días, cordero 1-2 semanas, vacuno 2-3 semanas (Lawrie, 1998). Con relación a la carne de ovino la mayor aceptabilidad general se da después de unos días (4-10) de maduración (Martínez Cerezo *et al.*, 2005; Rivas-Cañedo *et al.*, 2013; Ba *et al.*, 2014). La maduración de la carne normalmente tiene lugar durante el almacenamiento de las canales, sin embargo, los mayores problemas de esta práctica consisten en el espacio de refrigeración requerido y en la apreciable pérdida de peso (Pearson, 1986). Para solucionar estos problemas, pueden madurarse piezas individuales de carne, en la mayoría de los casos envasadas a vacío (Prändl *et al.*, 1994).

### 2.3. Almacenamiento de la carne

La carne es un producto fácilmente deteriorable sujeto a transformaciones de tipo físico-químico y/o microbiano que alteran su calidad y sin los procedimientos de conservación sería imposible garantizar un suministro constante a la población. En la actualidad además de los métodos de conservación a los que se recurría desde la edad media tales como ahumado, salado, aireado, etc., los más utilizados para la conservación de la carne son: aplicación de frío, tratamiento térmico, deshidratación, irradiación, conservantes químicos, etc. (Urbain y Campbell, 1994), además de envasado, con el objetivo de aumentar la vida útil de la carne (Prändl *et al.*, 1994, Lundquist, 1994).

La carne cruda alterada puede presentar olores desagradables, como olores ácidos, rancios, pútridos y otros, procedentes del metabolismo bacteriano que genera una mezcla compleja de ésteres volátiles, alcoholes, cetonas y compuestos sulfurados, siendo esta la contaminación microbiana fácilmente detectable. Esta aparición de olores desagradables depende del método de envasado, la temperatura de conservación y la carga microbiana inicial (Sorheim *et al.*, 1999). Además de los microorganismos, la oxidación lipídica y la proteica están consideradas como unas de las principales causas del deterioro de la calidad de la carne y un importante factor limitante de la vida útil de la misma (Liu *et al.*, 1995; Buckley *et al.*, 1995). Por otra parte, como resultado del crecimiento microbiano y/o la oxidación lipídica durante el almacenamiento de la carne puede producirse la evolución de las proporciones relativas de los distintos estados de la mioglobina, siendo este hecho determinante en el color de la carne almacenada (Van Laack *et al.*, 1996).

El almacenamiento de la carne es fundamental en el sistema actual de producción y consumo. Éste debe garantizar un período prolongado de frescura y mantenimiento de sus cualidades sensoriales durante su distribución, el período de exposición del producto en el mercado y el almacenamiento por el consumidor (Jayasingh *et al.*, 2001). Este hecho está justificado teniendo en cuenta las nuevas formas de distribución y presentación de los alimentos en el mercado (Linares,

2007). Además, en el caso de la carne de cordero, el hecho de que sea considerada como un producto de lujo (Vergara y Gallego, 2001) supone una menor frecuencia de consumo en relación con otros tipos de carne como la de cerdo o ternera, consumidos casi diariamente, lo que refuerza la necesaria adecuación de los sistemas de conservación a fin de garantizar su calidad a lo largo del tiempo (Smith *et al.*, 1993).

### **2.3.1. Almacenamiento a refrigeración**

El método más difundido para la conservación de la carne es la refrigeración (Price y Schweigert, 1994), siendo las temperaturas entre 0 °C y 5 °C las recomendadas para productos como la carne fresca (Prändl *et al.*, 1994). También la congelación se utiliza ampliamente debido a que puede aumentar la vida útil a largo plazo de la carne (Campanone *et al.*, 2006). Mediante la acción del frío el desarrollo de los microorganismos decrece hasta que se alcanza la temperatura mínima por debajo de la cual se paraliza totalmente (Prändl *et al.*, 1994). Entre la diversidad de la microbiota de la carne, las bacterias aerobias Gram negativas son las que adquieren mayor importancia y, dentro de éstas, distintas especies del género *Pseudomonas* son normalmente las responsables de la alteración de la carne refrigerada, en asociación con otras especies

La tendencia actual para el aumento de la vida útil de la carne refrigerada va dirigida hacia la utilización de distintos sistemas de envasado y de conservantes naturales no considerados aditivos, tanto mediante adición directa, como incorporados en el tejido muscular y adiposo mediante la dieta de los animales (Serrano, 2014). Así pues para el almacenamiento de la carne se suele realizar un envasado a vacío o con atmósferas modificadas ((MAP) (Modified Atmosphere Packaging) con el fin de retrasar los fenómenos de deterioro. En un sentido general, el envasado a vacío o el MAP consisten en la eliminación o el reemplazo de la atmósfera que rodea el alimento por otra con distinta composición gaseosa antes del sellado de la barrera material (Macmillan *et al.*, 1999). A mediados del siglo XX en Europa empezaron a envasarse las primeras carnes (Brody, 2002) y desde entonces las formas de envasado de carne han ido

avanzado en paralelo al incremento de la demanda. Los distintos tipos de envasado permiten extender el tiempo de vida útil de la carne hasta 2 veces más mediante el empleo de MAP con elevados porcentajes de oxígeno y dióxido de carbono, o hasta 5 veces más cuando el envasado es a vacío (Lorenzo *et al.*, 2012).

El envasado se manifiesta ante el consumidor como una herramienta de comercialización, que además de alargar la vida útil, mejora la presentación del producto y le permite un uso más fácil del mismo y adaptado a su conveniencia (Yam *et al.*, 2005). Además, el envasado a vacío y en atmósferas modificadas reduce las pérdidas en el comercio minorista, centraliza y reduce los gastos de producción y almacenamiento permitiendo usar más eficientemente trabajo, espacio y equipo. No obstante lo dicho, esta tecnología de envasado no está exenta de problemas. Entre las desventajas del envasado cabe señalar el aumento de costes consumibles y de equipamiento (gases, envases y máquinas de envasado), costes de control de calidad (control de cierres, análisis de atmósferas, etc.), costes de transporte (los productos envasados ocupan más volumen) y contaminación ambiental. Además, los beneficios del vacío y las MAP se pierden una vez abierto el envase o tras una fuga o pérdida de vacío.

Las variables que influyen en la vida útil de la carne envasada son, el tipo de carne a envasar, la mezcla de gases, el ratio carne/gas, el tipo de envase, el equipamiento de envasado, la temperatura de almacenamiento y el empleo de aditivos (Zhou *et al.*, 2010). Se debe elegir el material de envasado, una tecnología de envasado u otra y la mezcla de gases teniendo en cuenta el tipo de carne a envasar, el tamaño que se desee presentar al consumidor, el valor del producto, la temperatura y tiempo a los que se va a almacenar y las condiciones bioquímicas de la carne (Brody, 2009).

El plástico con baja permeabilidad a la humedad y a los gases, por ejemplo con unas características de 20 ml m<sup>-2</sup> por 24 h para el oxígeno y de 50 ml m<sup>-2</sup> por 24 h para el dióxido de carbono, ha demostrado tener las propiedades más adecuadas para el envasado de la carne refrigerada a vacío y en MAP (Han,

2005). Los polímeros más usados en el envasado de alimentos y carne son polietileno de baja y alta densidad, polipropileno, politetrafluoretileno y poliamida (nylon) (Han *et al.*, 2005), aunque también se usan otros como los poliésteres, etc. (Marsh y Bugusu, 2007). Por lo general, una sola capa o un único tipo de plástico no suele tener todas las propiedades necesarias para el correcto envasado de los alimentos, por lo que se hace necesario combinar distintas láminas de estos plásticos por procesos de laminación, recubrimiento o extrusión para crear capas de plástico con las propiedades deseadas (Jenkins y Harrington, 1991).

El envasado al vacío, hoy es extensamente utilizado en carne fresca, que se aplica comúnmente en piezas de gran tamaño, como son los cortes primarios, secundarios, o los cuartos completos de las canales, donde por lo regular completan su etapa de maduración (Luño *et al.*, 1998). La falta de oxígeno en el interior de los envases minimiza las reacciones oxidativas y el crecimiento de bacterias aerobias (Zhou *et al.*, 2010); para conseguir que las condiciones de anaerobiosis se mantengan en el tiempo es fundamental usar materiales que sean impermeables a los gases. En un adecuado envasado a vacío, los niveles iniciales de oxígeno son inferiores al 1 %. En el caso de la carne fresca, este O<sub>2</sub> residual es rápidamente consumido por la respiración celular y sustituido por CO<sub>2</sub> que se eleva a valores del 10-20 % en la microatmósfera existente entre envase y producto (Parry, 1993).

Las bacterias ácido lácticas (BAL) son las dominantes en la carne fresca envasada a vacío siempre que el pH no sea anormalmente elevado y que la carne envasada se mantenga a bajas temperaturas. En condiciones de pH elevado o descuido en mantener la temperatura baja, pese a la gran multiplicación de las BAL, puede existir un número considerable de enterobacterias que pueden crecer a refrigeración (Hechelmann, 1974). El desarrollo de las BAL tiene un menor efecto sobre las características sensoriales que el de las bacterias aerobias psicrotrofas, lo que permite períodos de vida útil mayores (Labadie, 1999).

Con respecto al color de la carne, el envasado a vacío, o con mezclas de gases de dióxido de carbono y nitrógeno, en ausencia de oxígeno, mantiene la mioglobina en estado reducido cuyo color es violáceo y no el deseado rojo brillante, lo que puede generar rechazo en el consumidor. (Belcher, 2006; Cornforth y Hunt, 2008; Eilert, 2005). Este rechazo del color no se considera importante cuando se trata de piezas grandes puesto que estas presentaciones no se destinan para venta minorista. Una vez que la carne se corta y es expuesta al oxígeno, normalmente recuperará su color natural, gracias a la interacción entre la mioglobina y los gases presentes. Si la carne se ha conservado adecuadamente y los pigmentos no se han comenzado a degradar, la mioglobina deberá reaccionar haciendo que se recupere el color característico con la exposición al oxígeno una vez abierto el envase (Cornforth y Hunt, 2008; Coma, 2006).

El envasado al vacío también presenta un efecto protector sobre la oxidación de ácidos grasos y colesterol, debido a la ausencia de oxígeno en la atmósfera de conservación; este tipo de envasado ha mostrado más efectividad en el control de la oxidación lipídica que el empleo de antioxidantes, manteniendo esta efectividad incluso en presencia de otros agentes prooxidantes como las radiaciones no-ionizantes (Jo *et al.*, 1999; Nam *et al.*, 2001).

Las principales desventajas que presenta el envasado a vacío de carne es la formación de gas por acción bacteriana desde el interior, este gas es comúnmente CO<sub>2</sub> formado a partir del desdoblamiento de los hidratos de carbono. Otra es la acumulación de exudado durante el almacenamiento prolongado. La pérdida de exudado aumenta con el manejo y la presión ejercida sobre la carne. Adicionalmente uno de los fallos más frecuentes asociados al envasado a vacío es la pérdida de vacío que cursa con el abultamiento más o menos acentuado de los envases laminares. Su causa más común es el fallo en el cierre hermético debido a la adhesión de grasa, humedad, el propio producto, o cualquier otro material a la sutura de sellado. Los envases que sufren esta pérdida de vacío deben ser retirados del mercado.

El MAP es uno de los métodos de conservación más utilizados en la carne fresca y en los últimos años ha experimentado un importante incremento (Eilert, 2005). En este tipo de envasado se sustituye el aire atmosférico, cuyas características favorecen el desarrollo de alteraciones, por un gas o mezcla de gases que permite controlar las reacciones químicas, enzimáticas y microbianas, evitando o minimizando las principales degradaciones que se producen durante los períodos de almacenamiento (Rodríguez Rebollo, 2000). Los gases más utilizados en las atmósferas modificadas para carne fresca son el CO<sub>2</sub>, el O<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>.

El CO<sub>2</sub> es un poderoso inhibidor del crecimiento de la mayor parte de la microbiota presente en los alimentos, aunque su mecanismo de actuación no está completamente claro. Es particularmente efectivo frente a bacterias Gram negativas, pero la sensibilidad individual de las bacterias varía (Farber, 1991), siendo de particular interés el efecto inhibidor que muestra sobre bacterias contaminantes aerobias como *Pseudomonas*. Por el contrario, muchas levaduras son resistentes al CO<sub>2</sub> y capaces de crecer en completa ausencia de oxígeno. Se utilizan valores iguales o superiores al 20% de CO<sub>2</sub> para que el efecto inhibidor sobre la microbiota contaminante sea efectivo (Smith *et al.* 1990). El efecto inhibidor del CO<sub>2</sub> se ve aumentado a bajas temperaturas al producirse un incremento en la solubilidad de este gas (179,7 ml por cada 100 ml de agua a 0 °C). La permeabilidad del CO<sub>2</sub> a través de las películas de envasado es aproximadamente 3 veces mayor que en el resto de los gases usados con este fin. El CO<sub>2</sub> es absorbido por el agua y la porción lipídica de la carne hasta alcanzar un equilibrio de saturación del producto (Jakobsen y Bertelsen, 2002). El alto contenido en humedad y grasa de algunos productos, pueden llevar al exceso de absorción de CO<sub>2</sub> y al llamado “colapso del envase”. En el caso de la carne fresca, en el envase también se puede ver exudado debido a la disolución del gas en la superficie muscular con la consiguiente reducción de pH que lleva a la pérdida de CRA de las proteínas. Además, altas concentraciones de CO<sub>2</sub> pueden producir decoloraciones y fuertes sabores ácidos en la carne, que desaparecen rápidamente tras abrir el envase.

El N<sub>2</sub> es un gas inerte de baja solubilidad tanto en grasa como en agua. Es usado para desplazar y sustituir el O<sub>2</sub> con el fin principal de retardar la oxidación de la carne. (Cayuela *et al.*, 2004). Indirectamente, el N<sub>2</sub> puede retardar el crecimiento de la flora aerobia contaminante. Finalmente, también puede actuar como gas de relleno, evitando el “colapso del envase” para alimentos propensos a absorber CO<sub>2</sub> de forma excesiva.

El envasado de la carne con gases puede o no llevar O<sub>2</sub> de forma que se puede clasificar el tipo de atmósfera en dos clases: atmósfera con altos niveles de O<sub>2</sub> y atmósfera sin O<sub>2</sub>. En los cortes pequeños de carne (filetes) y la carne picada se utilizan atmósferas modificadas con altos niveles de O<sub>2</sub> (70-80%) para incrementar el color rojo brillante de la carne (Okama *et al.*, 1995). Posiblemente la fórmula que ha tenido más impacto es la combinación (80% O<sub>2</sub>: 20% CO<sub>2</sub>), donde el oxígeno sirve para favorecer la presencia de Omb y el dióxido de carbono para inhibir el crecimiento bacteriano (Sorheim *et al.*, 2004, Blakistone, 1998) Sin embargo, por otra parte, se ha demostrado que los altos niveles de O<sub>2</sub> aumentan la oxidación lipídica causando enranciamiento en la carne (Cayuela *et al.*, 2004; Monahan, 2003). En cualquier caso, el envasado en atmósfera modificada rica en oxígeno y dióxido de carbono favorece la preservación del color rojo brillante de la carne fresca, determinante para su adquisición en los puntos de venta, incrementa la vida media del producto al limitar el crecimiento microbiano y minimiza las pérdidas que pueden originarse por el almacenamiento (Vergara *et al.*, 2001; Kennedy *et al.*, 2004).

Las atmósferas con una alta concentración de oxígeno son las más susceptibles de provocar la aparición de olores no característicos en la carne, en particular olores rancios y pútridos (Sorheim *et al.*, 1999), sin embargo las atmósferas protectoras sin oxígeno y con altas concentraciones de dióxido de carbono son las que más inhiben estos procesos de deterioro. Así, el empleo de mezclas de dióxido de carbono y nitrógeno retrasa el desarrollo de olores desagradables en la carne, en comparación con la conservación en mezclas con bajas concentraciones de oxígeno o a vacío (Sorheim *et al.*, 1999). El empleo de

atmósferas modificadas formadas exclusivamente por dióxido de carbono consigue períodos de vida útil similares a los del envasado a vacío (Brody, 1996; Labadie, 1999). No obstante, a diferencia del envasado a vacío, el empleo de atmósferas ricas en dióxido de carbono, mantiene durante más tiempo un efecto inhibitor sobre el crecimiento microbiano tras la apertura del envase y la exposición de la carne al aire (Sorheim *et al.*, 1999).

Al igual que en el envasado a vacío, es fundamental el empleo de materiales capaces de mantener dichas condiciones en el tiempo (McMillin, 2008). Pueden utilizarse diferentes films plásticos dependiendo del sistema de envasado en atmósfera modificada empleado; suelen usarse films de cloruro de polivinilideno recubierto de polipropileno-polietileno, cloruro de polivinilideno tereftalato de polietileno recubierto de polietileno o poliamida-polietileno, poliamida-ionómero, vinilo-etileno-acetato de polietileno (Mullan y McDowell, 2003).

### **2.3.2. Congelación**

La congelación consistente en someter a los alimentos a temperaturas por debajo de su punto de congelación (Zhou *et al.*, 2010); esto prolonga enormemente la vida útil de la carne, ya que, en virtud de este proceso, se evitan los indeseables cambios químicos y microbiológicos (Arthur, 2006; Lawrie y Ledward, 2006) y se reduce la potencial pérdida de peso consecuencia del goteo y la evaporación, pudiendo conservarse la carne durante meses e incluso años (Muela *et al.*, 2015).

La congelación se basa en “extraer” el calor del producto. El producto a enfriar puede traspasar su calor a un entorno más frío mediante conducción térmica, radiación térmica o evaporación de agua (Prändl *et al.*, 1994). En la mayoría de los casos las piezas son envasadas con películas plásticas a vacío para aumentar su vida media en el mercado y reducir las pérdidas, evitar las coloraciones causadas por la deshidratación y la oxidación (Price y Schweigert, 1994, Prändl *et al.*, 1994). Si la carne fue envasada y congelada de manera

adecuada puede mantenerse mucho tiempo en congelación sin que sus características nutricionales y de sabor se vean afectadas (Muela *et al.*, 2010).

Se considera que, para carne congelada, una temperatura de almacenamiento de -55 °C es la ideal para la prevención completa de cualquier cambio en sus parámetros de calidad (Hansen *et al.*, 2004). A nivel comercial, esa temperatura no es viable económicamente y las temperaturas de congelación a las que son sometidas los alimentos oscilan entre -21 °C y -18 °C, rango dentro del cual las reacciones enzimáticas, los procesos oxidativos y el desarrollo microbiológico quedan minimizados.

La calidad de la carne congelada depende de los procedimientos específicos que se utilicen para congelar, almacenar y descongelar la carne (Jasper y Placzek, 1980). La velocidad de congelación puede afectar a la calidad de la carne; una congelación exitosa debe ser muy rápida para que tenga poco efecto sobre el color, el aroma, el sabor y la jugosidad de la carne (Berry, 1990; Uttaro, 2007). Una velocidad de congelación rápida ocasiona la formación de núcleos de hielo tanto fuera como dentro de la célula (Ballin, 2008). Una congelación convencional (-20 °C) conduce a la formación de cristales de hielo relativamente largos e irregulares (Zhu *et al.*, 2004), con un aumento en el daño de la estructura de la carne (Devine *et al.*, 1995).

El principal deterioro de la carne congelada es debido a los procesos de oxidación de los lípidos y la degradación de proteínas (Zhang *et al.* 2005), siendo los tejidos musculares especialmente susceptibles. También pueden producirse defectos en el color de la carne, pueden aparecer tonalidades violáceas en las carnes rojas, causadas por degeneraciones oxidativas, que pueden ser controladas por envasado al vacío u otro método que excluya el oxígeno (Carballo y López de Torre, 1991). Estos procesos pueden determinar el punto final del tiempo de exposición de los productos congelados (Jiménez y Carballo, 2000). Además, durante el almacenamiento prolongado en congelación puede producirse una pérdida de calidad conocida como desecación superficial o “quemadura por el

frío”, que se origina por un envasado inadecuado y se acelera por temperaturas de congelación altas o fluctuantes, que favorecen la sublimación en superficie de los cristales de hielo y su posterior recristalización.

Cuando la carne se descongela, el daño físico de los cristales de hielo y la desnaturalización proteica pueden causar exudados en el proceso de descongelación; este exudado es uno de los parámetros de calidad de la carne congelada. La velocidad de descongelación también puede influir en la cantidad de agua perdida (Uttaro, 2007), así como el tiempo que la carne ha permanecido congelada.

## REFERENCIAS

- Albertí, P., Sañudo, C., Santolaria, P., Negueruela, Y., Olleta, J. L., Mamaqui, E., Campo, M. M., & Álvarez, F. S. (1995). Calidad de la carne de terneros de raza Parda Alpina y Pirenaica cebados con pienso rico en gluten feed y mandioca. VI Jornadas sobre Producción Animal. ITEA, 630-632.
- Almela, E., Jordán, M.J., Martínez, C., Sotomayor, J.A., Bedia, M., & Bañón, S. (2009). El flavor de la carne cocinada de cordero. Eurocarne 178, 1-12.
- AMSA (1991). Guidelines for meat color evaluation. Champaign, IL: American Meat Science Association. Available online at <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.138.6649&rep=rep1&type=pdf> (10th, October, 2013).
- AMSA (2012). *Guidelines for meat color evaluation*. Champaign, IL: American Meat Science Association. Available online at <http://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/Hot-Topics/download-the-ebook-format-pdf-of-the-meat-color-measurement-guidelines.pdf?sfvrsn=0> (10th, October, 2013).

ANICE (2015). El sector cárnico español. Asociación Nacional de Industrias de la Carne en España. Disponible en red en [http://www.anice.es/v\\_portal/informacion/informacionver.asp?cod=9776&te=7&idage=11909](http://www.anice.es/v_portal/informacion/informacionver.asp?cod=9776&te=7&idage=11909) (10 de noviembre de 2015).

Anónimo (1996). Precise colour communication. Colour control from feeling to instrumentation. Manual del colorímetro Minolta Chroma Meter CR-200. Minolta Camera Company, Japón.

Anzaldúa Morales, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Editorial Acribia, S.A. Págs.11-29.

Arthur, I. (2006). Shipboard refrigeration and the beginnings of the frozen meat trade. The Journal of the Royal Australian Historical Society, 92. Part 1.

Asenjo, B., Miguel, J. A., Ciria, J., & Calvo, J. L. (2005). Factores que influyen en la calidad de la carne. En: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los ruminantes. Págs. 36-46. Madrid. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias- Ministerio de Educación y Ciencia.

Ballin, N. Z., & Lametsch, R. (2008). Analytical methods for authentication of fresh vs thawed meat. A review. Meat Science, 80, 151–158.

Barbut, S. (2009). Pale, soft, and exudative poultry meat—Reviewing ways to manage at the processing plant. Journal of Poultry Science 88, 1506–1512.

Barbut, S. (2002). “Meat color and flavour”. In: Poultry Products Processing: An Industry Guide, Pp. 429-465. Florida: CRC Press.

Barnard, R. J., Edgerton, V. R., & Peter, J. B. (1970). Effect of exercise on skeletal muscle. I. Biochemical and histochemical properties. Journal of Applied Physiology, 28, 762-766.

- Belcher, J. N. (2006). Industrial packaging developments for the global meat market. *Meat Science*, 143-148.
- Bendall, J. R., & Taylor, A. A. (1973). Consumption of oxygen by the muscle of beef animals and related species. II. Consumption of oxygen by post-rigor muscles. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 23, 707-719.
- Bekhit, A. E. D., Geesink, G. H., Ilian, M. A., Morton, J. D., & Bickerstaffe, R. (2003). The effects of natural antioxidants on oxidative processes and metmyoglobin reducing activity in beef patties. *Food Chemistry*, 81, 175–187.
- Berry, B. W. (1990). Changes in quality of all-beef and soy-extended patties as influenced by freezing rate, frozen storage temperature, and storage time. *Journal of Food Science*, 55, 893–897.
- Blakistone, B. A. (1998). Meats and poultry. In: Parry, R. T. (Ed) *Principles and Applications of modified atmosphere packaging of foods*. Pp. 240-290. London: Blackie Academic & Professional.
- Blanco, C., Bodas, R., Prieto, N., Andrés, S., López, S., & Giráldez, F. J. (2014). Concentrate plus ground barley straw pellets can replace conventional feeding systems for light fattening lambs. *Small Ruminant Research*, 116, 137-143.
- Blanco, C., Bodas, R., Rodríguez, A. B., Prieto, N., Andrés, S., Mantecón, A. R., & Giráldez, F. J. (2012). Nuevos sistemas de alimentación para el cebo intensivo de corderos. *Tierras: ovino*, 2, 42-49.
- BOC y L (1997). Orden de 28 de mayo de 1997, de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León, por la que se aprueba el Reglamento de la Indicación Geográfica Protegida “Lechazos de Castilla y León” y de su Consejo Regulador. BOC y L No 107 de 6 de junio de 1997.

- Bodwell, C. E. y McClain, P. E. (1971). Chemistry of animal tissues. Proteins. In: The Science of Meat and Meat Products. Price J.F. y Schweigert B.S. (Eds). Food & Nutrition Press, Inc.: San Francisco.
- Braggins, T. J. (1996). Effects of stress-related changes in sheep meat ultimate pH on cooked odour and flavour. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44, 2352-2360.
- Brazal, T. (1975). El color de la carne. Concepto, determinación, factores de variación. *Cárnica* 2000, 23, 20-29.
- Brennan, J. G. (1980). Measurement of food texture. In: Advances in food analysis. N.D. King y R.L. Kenchington (Eds.) London: Applied Science Publishers.
- Brody, A. L. (1996). Meat Packaging: Past, Present and Future. 55th Reciprocal Meat Conference. East Lansing, Michigan. Available at [http://www.meatscience.org/Pubs/rmcarchv/2002/presentations/rmc\\_2002\\_055\\_2\\_0000\\_Brody.pdf](http://www.meatscience.org/Pubs/rmcarchv/2002/presentations/rmc_2002_055_2_0000_Brody.pdf) (Accessed March, 2009).
- Brody, A. L. (2002). Meat Packaging: Past, Present and Future. 55th Reciprocal Meat Conference. East Lansing, Michigan. Available at [http://www.meatscience.org/Pubs/rmcarchv/2002/presentations/rmc\\_2002\\_055\\_2\\_0000\\_Brody.pdf](http://www.meatscience.org/Pubs/rmcarchv/2002/presentations/rmc_2002_055_2_0000_Brody.pdf) (Accessed March, 2015).
- Brody, A. L. (2009). Innovations in fresh prepared meal delivery systems. Food Technology, 63, 84-86.
- Buckley, D. J., Morrissey, P. A., & Gray, J. I. (1995). Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. Journal of Animal Science, 73, 3122-3130.
- Caballero, P., Belda, A., Bimbo, B. (1991). La producción de carne de vacuno en las regiones mediterráneas. *Mundo Ganadero* 12 (diciembre), 37-4.

Calkings, C. R., & Hodgen, J. M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, 77, 63-80.

Callejas Cárdenas, A. R., Caro, I., Blanco, C., Villalobos Delgado, L. H., Prieto, N., Bodas, R., Giráldez, F. J., & Mateo, J. (2014). Effect of vacuum ageing on quality changes of lamb steaks from early fattening lambs during aerobic display. *Meat Science*, 98, 646–651.

Campañone, L. A., Roche, L. A., Salvadori, V. O., & Mascheroni, R. H. (2006). Structural studies on unpackaged foods during their freezing and storage. *Journal of Food Science*, 71(5), 218–226.

Carballo, B. y López de Torre, G. (1991). *Manual de bioquímica y tecnología de la carne*. Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Extremadura.

Carlin, A. F. & Harrison, D. L. (1978). *Cooking and sensory methods used in experimental studies on meat*. Natl. Live Stock and Meat Board, Chicago.

Cayuela, J. M., Gil, M. D., Bañón S., & Garrido, M. D. (2004). Effect of Vacuum and modified atmosphere packaging on the quality of pork loin. *European Food Research and Technology*. 219, 316-320.

CE Reglamento CE nº 2107/1999 de la Comisión de 4 de octubre de 1999.

Chasco J., Lizaso G., Beriain M. J., Horcada A., Goirráiz C., Hernández B., Mendizábal J. A., Mendizábal F. J., & Purroy A. (1995). Efecto de la maduración a vacío en el color de la carne de ternera de raza Pirenaica. VI Jornadas Producción Animal. AIDA, Zaragoza. ITEA, vol. extra (16), 621-623.

Cheah, K. S. & Cheah, A. M. (1976). The trigger for PSE condition in stress-susceptible pigs. *Journal Science Food Agriculture*, 27, 1137-44.

CIE (Commission International de l'Eclairage). (1986). *Colorimetry*, 2nd Ed. Viena.

COAG (2013). Situación actual del sector ovino. Anuario Agrario 2013.

Cohen Tannoudji, J., Einhorn, J., & Signoret, J. P. (2003). Ram sexual pheromone: First approach of chemical identification. *Physiology & Behavior*, 56, 955-961.

Colomer Rocher, F. (1978). La clasificación de las canales ovinas y bovinas y su posible homologación. En: Symposium sobre la problemática de la clasificación de canales ovinas y bovinas, 34. IAMZ, Zaragoza.

Coma, V. (2006). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*, 78, 90-103.

Cornforth, D., & Hunt, M. (2008). Low-oxygen packaging of fresh meat with carbon monoxide. En: Meat quality, microbiology, and safety. AMSA White Paper Series, 2. Pp. 1-10. Savoy, Illinois, EEUU American Meat Science Association.

Cross, H. R., Standfield, Marilyn, S., & Elder, R. S. (1986). Comparison of roasting versus broiling on the sensory characteristics of beef longissimus. *Journal of Food Science*, 44, 310.

Cross, H. R., Standfield, Marilyn, S., & Frank, W. J. (1991). Objective measurements of texture in ground beef patties. *Journal of Food Science*, 43, 1510.

Cruz, J. (2013). El sector ovino y caprino busca soluciones a la caída del consumo y la subida de costes de producción. *Eurocarne*, 220, 31-40.

Cubero Rojas, R. A. Mora Peraza, E., WingChing Jones, R., & Calderón Villaplana, S. (2013). Maduración del solomo (*Biceps femoris*) en vacas de descarte *Bos indicus* y *Bos Taurus*. *Agronomía Mesoamericana* 24(2):433-440

- Devine, C. E., Graham, R. G., Lovatt, S., & Chrystall, B. B. (1995). Red meats In L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing Effects on Food Quality*, Pp. 51–86. New York: Marcel-Dekker, Inc.
- Devine, C. E., Payne, S. R., & Wells., R. W. (2002). Effect of muscle restraint on sheep meat tenderness with rigor mortis at 18°C. *Meat science* 60, 155-159.
- Dominguez, R., Gomez, M., Fonseca, S., & Lorenzo, J. M. (2014). Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Science*, 97, 223-230.
- Dunn, A. A., Kilpatrick, D. J., & Gault, F. S. (1993). Influence of ultimate pH, sarcomere length and cooking loss on the textural variability of cooked *M. Pectoralis major* from free range and standard broilers. *British Poultry Science*, 34, 663-675.
- Echevarne, C., Renerre, M., & Labas, R. (1990). Metmyoglobin reductase activity in bovine muscles. *Meat Science*, 27, 161-172.
- Eilert, S. J. (2005). New packaging technologies for the 21st century. *Meat Science*, 71: 122-127.
- Elmore, J. S., Mottram, D. S., Enser, M., & Wood, J. D. (2000). The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb. *Meat Science*, 55, 149–159.
- Elmore, J. S., Cooper, S. L., Enser, M., Mottram, D. S., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G., & Wood, J. D. (2005). Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb. *Meat Science*, 69,233-242.
- Essén Gustavsson, B., McMiken, D., Karlström, K., Lindholm, A., Persson, S., & Thornton, J. (1989). Muscular adaption of horses during intensive training and detraining. *Equine Veterinary Journal*, 21, 27-33.

Estévez, M., & Cava, R. (2004). Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pâté. *Meat Science*, 68, 551-558.

Eurocarne digital (2015). El consume de carne creció un 3% en 2014. Disponible en línea <http://www.eurocarne.com/noticias?codigo=31326> (Consultado el 25 de noviembre de 2015).

FAO (2010). Programa Mundial del Censo Agropecuario. Vol 1. Colección FAO de Desarrollo Estadístico. Organización de Naciones Unidas Para la Agricultura y Alimentación. Disponible en línea en <http://www.fao.org/3/a-a0135s.pdf> (Acceso, Noviembre de 2015).

Farber, J. M. (1991). Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology: a review. *Journal of Food Protection*, 54, 58-70.

Faustman, C. & Cassens, R. G. (1990). The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *Journal of Muscle Foods*, 1, 217-232.

Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86, 86-94.

Fernández, F. P. (1991). Calidad de carne de vacuno: concepto en España. *Mundo Ganadero*, 5, 35-39.

Garriz, C., (2001). Calidad organoléptica de la carne vacuna, influencia de factores biológicos y tecnológicos. CIA. ITA.INTA. Castelar. Disertación jornada ganadería vacuna, Fac. Agr Y Vet. UNRC 23 de mayo. Disponible en red en [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/carne\\_y\\_subproductos/14-calidad\\_organoleptica\\_de\\_la\\_carne\\_vacuna.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/14-calidad_organoleptica_de_la_carne_vacuna.pdf) (Acceso en Noviembre de 2015).

Gracey, J. E. (1989). Higiene de la carne. 8ª ed. Ed. Acribia, Zaragoza.

- Gray, J. I., Gomma, E. A., & Buckley, D. J. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, S111-S123.
- Greig, J., Nesbakken, T., & Stephan, R. (2005). Meat and meat products. In T. A. Roberts, J. I. Pitt, J. L. Cordier, L. G. M. Gorris, L. Gram, K. M. J. Swanson, & R. B. Tompkin (Eds.) *Microorganisms in Foods: Microbial Ecology of Food Commodities* (2nd Ed.). International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Pp. 1–106. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Hamm, R. (1981). *Post mortem* changes in muscle affecting the quality of comminuted meat products. In: R.A. Lawrie (Ed.) *Developments in Meat Science* (2nd Ed). London: Elsevier Applied Science Publishers.
- Hamm, R. (1982). *Post-mortem* breakdown of ATP and glycogen in ground muscle. *Food Technology*, 36, 105-110.
- Hamm, R. (1986). Functional Properties of the Miofibrilar System and their Measurements. In: P.J. Bechtel (Ed.). *Muscle as Food*. New York: Academic Press.
- Han, J. H., Zhang, Y., & Buffo, R. (2005). Surface chemistry of food, packaging and biopolymer materials. In Han, J. H. (Ed.). *Innovations in food packaging*. Pp.45-47. Amsterdam, Holanda Elsevier Academic Press.
- Hansen, E., Juncher, D., Henckel, P., Karlsson, A., Bertelsen, G., & Skibsted, L.H. (2004). Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage. *Meat Science*, 68, 479-484.
- Hechelmann, H., Bem, Z., Uchida, K., & Leistner, L. D. (1974). Vorkmmen des Tribus Klebsielleae bei kühlgelagertem Fleish und Fleishwaren. 20<sup>th</sup> European meeting of Meat Research Workers, Dublin, Irlanda. *Fleisschwirtschaft*, 55, 696.

- Hernández, B. (1994). Estudio del color en carnes: caracterización y control de calidad. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Hidalgo, F. J., & Zamora, R. (2005). Interplay between the Maillard reaction on lipid peroxidation in biochemical systems. *Annals New York Academic Science*, 1043, 319-326
- Hönikel, K. O., Kim, G. J., & Hamm, R. (1986). Sarcomere shortening of prerigor muscles and its influence on drip loss. *Meat Science*. 16, 267-282.
- Hopkins, D. L., Fogarty, N. M., & Menzies, D. J. (1996). Muscle pH of lamb genotypes. *Australian Society of Animal Production*, 21, 347.
- Huang, T., & Ho, C. (2012). Flavors and flavor generation of meat products. In Y.H. Hui (Ed.), *Handbook of Meat and Meat Processing*. Pp. 107–137. (2<sup>nd</sup> ed.). Florida: CRC Press.
- Huff Lonergan, E., Zhang, W., & Lonergan, S. M. (2010). Biochemistry of *postmortem* muscle: Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, 86, 184-195.
- Jacob, H. R., D'Antuono, F. M., Gilmour, R. A., & Warner, D. R. (2014). Phenotypic characterisation of colour stability of lamb meat. *Meat Science* 96, 1040-1048.
- Jakobsen, M., & Bertelsen, G. (2000). Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time, and modified atmosphere composition. *Meat Science*, 54(1), 49-57.
- Jaime, J. (1988). Efecto de la temperatura sobre el desarrollo del *rigor mortis*, la maduración y la calidad de la carne de cordero. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza, España.

- Jakobsen, M., & Bertelsen, G. (2002). The use of CO<sub>2</sub> in packaging of fresh red meats and its effect on chemical quality changes in the meat. A review. *Journal of Muscle Foods*, 13, 143–168.
- Jasper, W., & Placzek, R. (1980). *Conservación de la carne por el frío*. Editorial Acribia.
- Jayasingh, P. (2001). Evaluation of carbon monoxide treatment in modified atmosphere packaging or vacuum packaging to increase color stability of fresh beef. *Meat Science*, 59, 317-324.
- Jeleń, H., & Wąsowicz, E. (2012). Lipid-derived flavor compounds. In H. Jeleń (Ed.), *Food Flavors*, Pp. 65–93. Florida: CRC press.
- Jenkins, W. A., & Harrington, J. P. (1991). *Packaging Foods With Plastics*. Lancaster, Reino Unido: Technomic Publishing Company,
- Jennings, T. G., Berry, B. W., & Joseph, A. L. (1978). Influence of fat thickness, marbling and length of aging on beef palability and shelf-life characteristics. *Journal of Animal Science*, 46, 658-664.
- Jiménez, F., & Carballo, J. (2000). Capítulo IV: Aplicaciones del frío a la carne y productos cárnicos (pp. 293–313). En: Coordinado por M. Lamúa, *Aplicación del Frío a los Alimentos*. P. 350. Madrid: AMV Ediciones y Mundi Prensa.
- Jo, C., Lee, J. I., & Ahn, D. U. (1999). Lipid oxidation, color changes and volatiles production in irradiated pork sausage with different fat content and packaging during storage. *Meat Science*, 51, 355-361.
- Kennedy, C., Buckley, D. J., & Kerry, J. P. (2004). Display life of sheep meats retail packaged under atmospheres of various volumes and compositions. *Meat Science*, 68, 649-658.

- Kim, Y.H., Nam, K.C., & Ahn, D.U. (2002). Volatile profiles, lipid oxidation and sensory characteristics of irradiated meat from different animal species. *Meat Science*, 61, 257-265.
- Knight, T.W., Tervit, H.R., & Lynch, P.R. (1983). Effects of boar pheromones, ram's wool and presence of bucks on ovarian activity in anovular ewes early in the breeding season. *Animal Reproduction Science*, 6, 129-134.
- Koohmaraie, M., Killefer, J., Bishop, M.D., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Arbona, J.R. (1995). Calpastatin-based methods for predicting tenderness. In: A. Ouali, D.I. Demeyer, F.J.M. Smulders (Eds) *Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality*. Utrecht, The Netherlands: ECCEAMST.
- Labadie, J. (1999). Consequences of packaging on bacterial growth meat is an ecological niche. *Meat Science*, 52, 299-305.
- Lawrie, R.A. (1991). *Meat Science* (5th Ed.). Oxford: Pergamon Press.
- Lawrie, R.A.. (1998). *Ciencia de la carne*. Zaragoza, España: Editorial Acribia..
- Lawrie, R.A., & Ledward, D.A. (2006). *Meat Science*. Seventh English, edition ed. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited.
- Ledward, D.A. (1985). Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. *Meat Science*. 15, 149-171.
- Ledward, D.A. (1992). Color in raw and cooked meat. In: D.A. Leward, D.E. Jonhston and M.K. knight (Eds). *The Chemistry of Muscle Based Foods*, P. 33-68. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham Jouse, Science Park.
- Lee, S.K., Mei, L., & Decker, E.A. (1996). Lipid oxidation in cooked turkey as affected by added antioxidant enzymes. *Journal of Food Science*, 61, 726-728.

- Lepetit, J.A. (2007). Theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. *Meat Science*, 76, 147-159.
- Lillard, D.A. (1987). Oxidative deterioration in meat, poultry, and fish. In: St. Angelo, A.J.; Bailey, M.E. (Eds.). *Warmed- Over Flavor of Meat*, pp. 41-47. Orlando, FL: Academic Press.
- Linares, M. B., Bórnez, R., & Vergara, H. (2007). Effect of different stunning systems on meat quality of light lamb. *Meat Science*, 76, 675-681.
- Liu, Q., Lanari, M.C., & Schaefer, D.M. (1995). A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *Journal of Animal Science*, 73, 3131-3140.
- Lorenzo, J.M., & Gómez, M. (2012). Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions. *Meat Science*, 92, 610-618.
- Lundquist, B.R. (1994). El envasado de la carne y los productos cárnicos. En: J.F. Price y B.S. Schweigert (Eds.). *Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos*. Pp 441-445. Zaragoza: Acribia S.A.
- Luño, M., Beltrán, J.A., & Roncalés, P (1998). Shelf-life extensión and colour stabilisation of beef packaged in a low O<sub>2</sub> atmosphere containing CO: Loin steaks and ground meat. *Meat Science*, 48, 75-84.
- Ma, Q. L., Hamid, N., Bekhit, A. E. D., Robertson, J., & Law, T. F. (2012). Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1 day and 21 days post-mortem storage. *Meat Science*, 92, 430–439.
- MacDougall D.B. (1982) Chances the colour and opacity of meat. *Food Chemistry* 9, 75-88

Madhavi, D.L., & Carpenter, C.E. (1993). Ageing and processing affect color, metmyoglobin reductase and oxygen consumption of beef muscles. *Journal of Food Science*, 58, 939-942.

MAGRAMA (2014). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

MAGRAMA (2015). Informe del Consumo de Alimentos en España 2014.

Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.

Marsh, K., Bugusu, B. (2007). Food packaging – Roles, materials and environmental issues”. *Food Science*, 72, 39–55.

Martínez Cerezo, M.S. (2005). Calidad Instrumental y Sensorial de la Carne Ovina. Influencia de la Raza, el Peso al Sacrificio del Tiempo de Maduración. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.

Martínez Cerezo, S., Sañudo, C., Medel, I., & Olleta, J. L. (2005). Breed, slaughter weight and ageing time effects on sensory characteristics of lamb. *Meat Science*, 69, 571–578.

McMillin, K. W. (2008). Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80, 43-65.

Mei, L., Crum, A.D., & Decker, E. A. (1994). Development of lipid oxidation and inactivation of antioxidant enzymes in cooked pork and beef. *Journal of Food Lipids*, 1, 273-283.

Melton, S. (1983). The effect of forage feeding on beef flavor. *Food Technology*, 5, 239-245.

Miller, R.K. (1994). Quality Characteristics of muscle foods. In: D.M. Kinsman, A.W. Kotula, B.C. (Eds). *Meat Poultry and Seafood Technology*. Breidenstein: Chapman & Hall.

- Mottram, D. S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: A review. *Food Chemistry*, 62,415-424.
- Muela, E., Monge, P., Sañudo, C., Campo, M. M., & Beltrán, J. A. (2015). Meat quality of lamb frozen stored up to 21 months: Instrumental analyses on thawed meat during display. *Meat Science*, 102, 35–40.
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M. M., Medel, I., & Beltrán, J. A. (2010). Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. *Meat Science*, 84, 662-669.
- Mullan, M., & McDowell, D. (2003). 10 Modified atmosphere packaging. *Food Packaging Technology*, 303.
- Murphy, A., Kerry, J.P., Buckley, D.J., & Gray, I. (1998). The antioxidative properties of rosemary oleoresin and inhibition of oof-flavours in precooked roast beef slices. *Journal of Science Food and Agriculture*, 77, 235-243.
- Murray, A. C. (1989). Factors affecting beef colour at time of grading. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 347-355.
- Nakamura, R., Sekoguchi, S., & Sato, Y. (1975). The contribution of intramuscular collagen to the tenderness of meat from chickens of different ages. *Poultry Science*, 54, 1604-1612.
- Nam, K. C., Du, M., Jo, C., & Ahn, D. U. (2001). Cholesterol oxidation products in irradiated raw meat with different packaging and storage time. *Meat Science*, 58, 431-435.
- Newton, K. G. & Gill, C. O. (1981). The microbiology of DFD fresh meats. A review. *Meat Science*. 5, 223-236.
- Okama, T., Muguruma, M., Murakami, S., & Yamada H. (1995). Studies on modified atmosphere packaging of thin sliced beef".1. Effect of 2 modified atmosphere packaging systems on pH value, microbial growth,

- metmyoglobin formation and lipid oxidation of thin sliced beef. *Journal of the Japanese Society of Science and Technology/Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 42, 498-504.
- Onega, E., Miguel, E., Blázquez, B., & Ruiz de Huidobro, F. (2001). Evolución de algunos parámetros de calidad de la carne de vacuno en los seis primeros días *post mortem*. *ITEA*, 22, 568-570.
- Ouali, A., Herrera Méndez, C. H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., & Sentandreu, M. A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74, 44-58.
- Palombo, R., & Wijngaards, G. (1990). Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Science*, 28, 61-76.
- Parry, R. T. (1993). "Introducción. Envasado de alimentos en atmósferas modificadas". R. T. Parry (Ed.), pág. 13-31. A. Madrid Vicente, Ediciones, Madrid, España.
- Pearson, A. M. (1966). Desirability of beef: its characteristics and their measurement. *Journal Animal Science*, 25, 843-850.
- Pearson, A. M. (1986). Physical and Biochemical Changes Occurring in Muscle during Storage and Preservation. In: P. J. Bechtel (Ed). *Muscle as Food*. New York: Academic Press.
- Pegg, R. B., & Shahidi, F. (2007). Off flavors and rancidity in foods. In: *Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality*. Pp. 217-228. Iowa, USA: Blackwell Publishing.
- Pérez Álvarez, J. A., Fernández López, J., Sayas Barberá, M. E., & Cartagena Graciá, R. (1998). Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne* 63, 115-122.

- Pospiech, E. & Hönikel, K. O. (1991). Protein changes on heating and their influence on water-binding capacity of meat. En: 37th International Congress of Meat Science and Technology, Vol. 1, 457. Kulmbach. Alemania.
- Powell, V. H. (1991). Quality of beef loin steaks as influenced by animal age, electrical stimulation and ageing. *Meat Science*, 30, 195-205.
- Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., & Sinell, H. J. (1994). *Tecnología e Higiene de la Carne*. Editorial Acribia, Zaragoza.
- Prescott, J., Young, O., & O'Neill, L. (2001). The impact of variations in flavour compounds on meat acceptability: a comparison of Japanese and New Zealand consumers. *Food Quality and Preference*, 12, 257-264.
- Price, J. F., & Schweigert, B. S. (1994). *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Editorial Acribia, Zaragoza.
- Purslow, P. P., (2005). Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science*, 70, 435–447.
- Renerre, M., Dumont, F., & Gatellier, P. (1996). Antioxidant enzyme activities in beef in relation to oxidation of lipids and myoglobin. *Meat Science*, 43, 111-121.
- Renerre, M., Poncet, K., Mercier, Y., Gatellier, P. & Métro, B. (1999). Influence of dietary fat and vitamin E on antioxidant status of muscle of turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 237-244.
- Rivas Cañedo, A., Apeleo, A., Muino, I., Perez, C., Lauruzica, S., Cristina, P. S., Diaz, M. T., Caneque, V., & De la Fuente, J. (2013). Effect of dietary supplementation with red wine extract or vitamin E on the volatile profile of lamb meat fed omega-3 source. *Meat Science*, 93, 178–186.
- Rodríguez Rebollo, M., (2000). *Manual de Industrias Carninas*. Tomos I y II Publicaciones Técnicas Alimentarias y Cárnicas.

- Roldán, M., Ruiz, J., Sánchez del Pulgar, J., Pérez Palacios, T., & Antequer, T. (2015). Volatile compound profile of sous-vide cooked lamb loins at different temperature–time combinations. *Meat Science*, 100, 52–57.
- Rousset Akrim, S., Young, O. A., & Berdagué, J. L. (1997). Diet and growth effects in panel assessment of sheep meat odour and flavour. *Meat Science*, 45, 169-181.
- Sancho, J. E. Bota, J. J. & De Castro K. (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Edicions Univeritat de Barcelona. 51-97.
- Sañudo, C., Sánchez, A., & Alfonso, M. (1998a). Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Science*, 49(S1), 29–63.
- Sañudo, C., Sierra, I., Olleta, J.L., Martin, L., Campo, M.M., Santolaria, P., Wood, J.D., & Nute, G.R. (1998b). Influence of weaning on carcass quality, fatty acid composition and meat quality in intensive lamb production systems. *Animal Science*, 66, 175- 187.
- Sañudo, C., Alfonso, M., Sánchez, A., Delfa, R., & Teixeira, A. (2000). Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science*, 56, 89-94.
- Sañudo, C., Alfonso, M., San Julian, R., Thorkelsson, G., Valdimarsdottir, T., Zygoiannis, D., Stamataris, C., Piasentier, E., Mills, C., & Berge, P. (2007). Regional variation in the hedonic evaluation of lamb meat from diverse production systems by consumers in six European countries. *Meat Science*, 75, 610-621.
- Sayas, M. E. (1997). *Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, fisicoquímicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

- Schreurs, M. N., Lane, G. A., Tavendale, M. H., Barry, T. N., & McNabb, W. C. (2008). Pastoral flavour in meat products from ruminants fed fresh forages and its amelioration by forage condensed tannins. *Animal Feed Science and Technology*, 146, 193-221.
- Seideman, S. C., Cross, H. R., Smith, G. C., & Durland, P. R. (1984). Factors affecting fresh meat colour: a review. *Journal of Food Quality*, 6, 211-237.
- Serrano, E. R. (2014). Extensión de la Vida Comercial de la Carne de Cordero mediante Suplementación Dietética con Extracto de Romero. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Shackelford, S. D., Koohmaraie, M., Whipple, G., Wheeler, T. L., Miller, M. F., Crouse, J. D., Reagan, J. O. (1991). Predictors of beef tenderness: Development and verification. *Journal Food Science*. 56, 1130-1135.
- Shahidi, F. (1994). Flavor of meat and meat products-an overview. In F. Shahidi (Ed.), *Flavor of Meat and Meat Products*. London: Blackie Academic and Professional.
- Sivadier, G., Ratel, J., & Engel, E. (2010). Persistence of pasture feeding volatile biomarkers in lamb fats. *Food Chemistry*, 118, 418-425.
- Sivadier, G., Ratel, J., Bouvier, F., & Engel, E. (2008). Authentication of meat products: Determination of animal feeding by parallel GC-MS analysis of three adipose tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(, 9803–9812.
- Smith, J. P., Ramaswamy, H. S., & Simpson, B. K. (1990). Developments in food packaging technology. Part II. Storage aspects. *Trends in Food Science and Technology*, 1, 111–118.
- Smith, G. C., Savell, J. W., Cross, H. R., Carpenter, Z. L. (1993). The relationship of USDA.

- Sorheim, O., Kropf, D. H., Hunt, M. C., Karwosky, M. T., & Warren, K. E. (2004). Effects of modified gas atmosphere packaging on pork loin. Colour, display life and drip loss. *Meat Science*, 43, 203-212.
- Sorheim, O., Nissen, H., & Nesbakken, T. (1999). The storage life of beef and pork packaged in an atmosphere with low carbon monoxide and high carbon dioxide. *Meat Science*, 52, 157-164.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & De Haan, C. (2006) *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Roma: LEAD/FAO.
- Sutherland, M. M., & Ames, J. M. (1996). Free fatty acids composition of the adipose tissue of intact and castrated lambs slaughtered at 12 and 30 weeks of age. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 3113-3116.
- Swatland, H. J. (1991). *Estructura y desarrollo de los animales de abasto*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A; 373.
- Teixeira, A., Batista, S., Delfa, R., & Cadavez, V. (2005). Lamb meat quality of two breeds with protected origin designation. Influence of breed, sex and live weight. *Meat Science*, 71, 530-536.
- Teixeira, A., Sañudo, C., Olleta, J. L., Joy, M. y Sanz, A., (2014). *Marcas de calidad de carne ovina en la Península Iberica*.
- Urbain, W.M., & Campbell, J.F. (1994). La conservación de la carne. En: J.F. Price y B.S. Schweigert (Ed) *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Pp. 337-371. Acribia S.A..
- Uttaro, B., & Aalhus, J. L. (2007). Effect of thawing rate on distribution of an injected salt and phosphate brine in beef. *Meat Science*, 65, 480–486.

- Van Laack, R.L.J.M., Solomon, M.B., Warner, R., & Kauffman, R.G. (1996). A comparison of procedures for measurement of pigment concentration in pork. *Journal of Muscle Foods*, 72, 149-163.
- Vanichseni, S., Haughey, D., Nottingham, P. (1972). Water and airtawing of frozen lambs shoulders. *Journal Food Technology*, 7(3), 259-270.
- Vasta, V., & Priolo, A. (2006). Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. *Meat Science*, 73, 218–228.
- Vergara, H., & Gallego, L. (2001). Effects of gas composition in modified atmosphere packaging on the meat quality of Spanish Manchega lamb. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1353-1357.
- Vieira, C., Fernández Diez, A., Mateo, J., Bodas, R., Soto, S., & Manso, T. (2012). Effects of addition of different vegetable oils to lactating dairy ewes' diet on meat quality characteristics of suckling lambs reared on the ewes' milk. *Meat Science*, 91, 277-283.
- Villalobos, D., L.H. (2014). Estudios sobre carne de cordero: compuestos volátiles y estabilidad oxidativa de la carne de corderos alimentados con oleinas, estabilidad oxidativa de una hamburguesa con lúpulo, desarrollo de una pierna cruda-curada incluyendo una etapa de masajeo, Tesis Doctor en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad de León España, Facultad de Veterinaria.
- Warris, P.D., Brown, S.N., Adams, S.J.M. (1990). Variation in haem pigment concentration and colour in meat from British pigs. *Meat Science*, 28, 321-329.
- Warriss, P.D. (2000). *Meat Science: an introductory text*. Wallingford Inglaterra: CABI Publishing.,.

- Watanabe, A., Kamada, A., Imanari, M., Shiba, N., Yonai, M., Muramoto, T. (2015). Effect of aging on volatile compounds in cooked beef. *Meat Science*, 107, 12-19.
- Wismer-Pedersen, J. (1994). Química de los tejidos animales. Parte 5. Agua. En: Price, J.F., Schweigert, B.S. (Eds.) *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Editorial Acribia, Zaragoza.
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Richardson, R.I., & Sheard, P.R. (1998). Meat quality: an integrated approach for the future. *Proceedings of the 15th IPVS congress, Birmingham*. 103-113.
- Wrolstad, R.E., Acree, T.E, Decker, Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D., & Sporns, P. (2005). Lipid oxidation/stability. En: *Handbook of food analytical chemistry: water, proteins, enzymes, lipids and carbohydrates*. Pp. 513-564. New Jersey, USA: Wiley and Sons.
- Yam, K. L., Takhistov, P. T., Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: Concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70, 1–10.
- Young, O.A., Lane, G.A., Priolo, A., Fraser, K. (2003). Pastoral and species flavor in lambs raised on pasture, Lucerne or maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 93-104.
- Zhang, S. X., Farouk, M. M., Young, O. A., Wieliczko, K. J., & Podmore, C. (2005). Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Science*, 69, 765–772.
- Zhou, G.H., Xu, X.L., & Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat—A review. *Meat Science*, 86, 119-128.
- Zhu, L.G., & Brewer, M.S. (1998). Discoloration of fresh pork as related to muscle and display conditions. *Journal of Food Science*, 63, 763-767.

Zhu, S., Bail, A., Ramaswarny, H. S., & Chapleau, N. (2004). Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shift freezing as compared with classical freezing methods. *Journal of Food Science*, 69, 190–197.

## **CAPÍTULO 2**

**Efecto de la maduración a vacío de las piezas de cordero de cebo precoz sobre los cambios en la calidad de los filetes obtenidos de las mismas durante su exposición aerobia a refrigeración**

## CAPÍTULO 2

### Índice

	Página
Resumen	66
1. Introducción	68
2. Material y métodos	71
2.1 Animales y muestras de carne	71
2.2 Preparación de las muestras	72
2.3 Análisis químicos, composición proximal, pH y compuestos volátiles	73
2.4 Determinación instrumental del color	75
2.5 Análisis sensorial (valoración visual)	76
2.6 Análisis estadístico	76
3. Resultados y discusión	77
Referencias	89

## RESUMEN

El presente trabajo está justificado en el interés por conocer cómo el envasado al vacío de la carne de cordero afecta la aptitud de dicha carne para mantener su calidad durante la exposición aerobia en bandeja una vez sacada del envase. Consecuentemente se evaluaron los efectos del almacenamiento a vacío de unas piezas de carne de cordero sobre los cambios de calidad, especialmente en el color, de los filetes de cordero durante una exposición en bandejas que simula las condiciones de venta al público. Se utilizaron los músculos *Bíceps femoris* y *Quadriceps femoris* de 30 corderos de engorde temprano alimentados con tres dietas diferentes: paja de cebada y concentrado, ración mixta en pellets de paja de cebada y concentrado, alfalfa y concentrado restringido.

La mitad de los músculos fueron almacenados a vacío por 3 semanas (VAC), la otra mitad no fue almacenada (CON). Los músculos CON y VAC fueron cortados en filetes y expuestos al aire en bandejas, recubiertos de película plástica. Se midieron y registraron las pérdidas de peso, el pH, el contenido de aldehídos, el color instrumental y la aceptación sensorial del color durante los días 1, 3, 7 y 14 de exposición. El día 1 de exposición aerobia el enrojecimiento fue mayor en los filetes VAC. Sin embargo, durante el tiempo de exposición el enrojecimiento disminuyó más rápidamente en los filetes VAC que en los CON, siendo los CON en el día 7 los de mayor enrojecimiento. A partir del día 7 de exposición se observó en la carne CON y VAC un descenso pronunciado en la aceptación del color acompañada por un incremento en el pH. Este deterioro de calidad presentó un patrón de comportamiento diferenciado entre carne CON y VAC.

## ABSTRACT

The effects of vacuum ageing on the quality changes of lamb steaks during retail display were assessed. *Biceps femoris* and *Quadriceps femoris* muscles from thirty early fattening lambs fed barley straw and concentrate or alfalfa and concentrate were used. Half of the muscles were vacuum aged for three weeks (VA), and the other half were not aged (control). Control and VA muscles were sliced and aerobically displayed. Weight loss, pH, aldehyde contents, instrumental color characteristics and color acceptance were measured at display days 1, 3, 7 and 14. At day 1 redness was higher in VA lamb. However, redness of VA lamb decreases more rapidly during further storage. Redness and color acceptance decreased in VA lamb from day 3, whereas in not-aged lamb the decrease was observed from day 7 onwards. From days 7 to 14 a drop of color acceptance accompanied by an increase in pH and a decrease in lightness was observed in control and VA lamb.

## 1. INTRODUCCIÓN

La carne de cordero es ampliamente consumida en los países europeos del Mediterráneo (Sañudo *et al.*, 1998; Karabigas *et al.*, 2011). Sin embargo, debido a su elevado precio, así como por cuestiones culturales que su consumo se asocia en muchas ocasiones a eventos especiales, como la navidad u otras celebraciones. Por este motivo, este producto se considera en gran medida como un alimento de lujo (Linares *et al.*, 2007).

En general, la calidad de la carne y su vida útil están determinados por diferentes características incluyendo el color, la composición microbiana, el estado oxidativo de los lípidos, la capacidad de retención de agua, el valor nutritivo y la palatabilidad (McMillin, 2008). De entre ellos, las decisiones de compra de carne están principalmente influenciados por el color, más que por cualquier otro de los otros factores mencionados (Mancini y Hunt, 2005). La principal causa de deterioro por cambio de color es la decoloración de la carne: el paso de color rojo brillante asociado a la mioglobina oxigenada a marrón asociado a la metamioglobina, el pigmento cárnico oxidado (McKenna *et al.*, 2005).

La calidad y la vida útil de la carne refrigerada en los establecimientos minoristas están fuertemente afectadas por las condiciones de envasado y almacenamiento (McMillin, 2008). El envasado al vacío de los cortes primarios y subprimarios es comúnmente utilizado en el sector cárnico como un medio para extender la vida útil de la carne (Walsh y Kerry, 2002). En este sentido, es muy común que la carne se envase a vacío y se almacene (madure) durante varios días o semanas en salas de despiece, almacenes o carnicerías hasta el momento de su venta. En este momento, la carne se puede vender en el envase, pero también es frecuente que la carne se retire del envase, se corte en trozos, chuletas o filetes o se pique, y se exhiba en bandejas con atmósfera aerobia en los mostradores hasta su venta (McMillin, 2008).

En esa última práctica comercial, cuando la carne fresca es envasada al vacío, el color de su superficie cambia de rojo brillante a rojo violáceo debido a la formación de desoximioglobina (Kim *et al.*, 2012). Después, una vez retirada del envase y, en su caso, troceada la carne, tras unos minutos de exposición al aire, el rojo brillante de la oximioglobina se forma rápidamente sobre la superficie de la carne expuesta, lo que permite a la carne producir el color característico de la oximioglobina de la carne fresca. Posteriormente, durante el tiempo de exposición de esa carne en los mostradores, que puede durar varios días, el color se deteriora gradualmente por la desecación de la carne, el desarrollo de una población microbiana y el incremento en el estado oxidativo de los lípidos (Jacob *et al.*, 2014; Kennedy *et al.*, 2004). Estos cambios de color por lo tanto estarán relacionados con la pérdida de humedad, la aparición de limosidad superficial de origen microbiano, y/o la formación de metamioglobina.

Varios estudios han determinado el efecto de la maduración a vacío previa a la exposición para su venta sobre los cambios de la calidad (sobre todo del color) de la carne de cordero durante su exposición aerobia para venta en establecimientos minoristas. Kim *et al.* (2011) estudiaron el efecto de la maduración a vacío de la carne previa a su congelación sobre las características de color y textura de la carne de cordero descongelada durante su exposición aerobia para la venta, y se encontró que la maduración a vacío podría mejorar la ternura y la estabilidad del color de la carne de cordero descongelada. En otro estudio, Kim *et al.* (2012) y Rosenvold y Wiklund (2011) describieron como afectaba el empleo de varias condiciones de almacenamiento de la carne de cordero: el almacenamiento a vacío, el almacenamiento en distintas atmósferas modificadas y la temperatura de almacenamiento, sobre los cambios en su calidad durante su exposición al aire; sin embargo, en esos estudios los cambios de calidad no se compararon con la calidad de la carne de cordero que no había sido almacenado.

Adicionalmente, y coincidiendo con el propósito de este estudio, Moore y Gill (1987) compararon la vida útil de la carne en exposición aerobia (en función

del color y aceptabilidad) entre carne de cordero que había sido almacenada/madurada a vacío, con carne de cordero que no había sufrido maduración alguna. Ellos encontraron que la maduración a vacío resultó en una reducción de la estabilidad del color durante la exposición aerobia, con la magnitud de este efecto dependiendo tanto en el tiempo de almacenamiento como de la temperatura. Igualmente, en dos estudios recientes (Ponnampalam *et al.*, 2001; Ponnampalam *et al.*, 2013) se observó que la carne de cordero madurada a vacío mostró mayor enrojecimiento comparado con cordero fresco no madurado durante un máximo de tres días de exhibición. Sin embargo, después de esos tres días el color rojo disminuyó más rápidamente en la carne almacenada a vacío que en la no almacenada. Los dos estudios mencionados en el párrafo anterior han sido realizados con carne de corderos de peso y edad (seis a siete meses de edad) más elevados que los corderos que se suelen consumir en el área Mediterránea. En esta región, la carne de cordero se deriva principalmente de corderos jóvenes y tiende a tener menor contenido de grasa, de color más pálido y un sabor más delicado que los corderos de más edad que se consumen normalmente en Inglaterra, Centroeuropa o Australia (Sañudo *et al.*, 2007).

Motivados por el interés de conocer el efecto del envasado al vacío de la carne de cordero de cebo precoz sobre la aptitud de dicha carne para mantener su calidad durante la exposición aerobia en bandeja una vez sacada del envase, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del almacenamiento a vacío (durante un periodo de tiempo de 21 días) de piezas de carne de corderos de engorde temprano o cebo precoz (cría intensiva, sacrificados a tres meses de edad, con un peso en canal de 13-15 kg; Sañudo *et al.*, 1998) sobre los cambios en las características de calidad de los filetes obtenidos de dichas piezas durante dos semanas de exposición aerobia en bandejas recubiertas de película plástica. Los cambios en la calidad han sido enfocados principalmente al color. A fin de proporcionar datos más fiables se han estudiado dichos cambios utilizando carne de los corderos de cebo precoz criados bajo tres sistemas diferentes de

alimentación factibles para su uso en la región. Los corderos fueron criados en el Instituto de Ganadería de Montaña (IGM).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Animales y muestras de carne

En este estudio se utilizaron treinta corderos machos, de raza Merina, con 6-8 semanas de edad y  $14,1 \pm 0,20$  kg de media de peso corporal al comienzo del experimento. Los corderos fueron alojados en corrales individuales en el Instituto de Ganadería de Montaña, siendo cada cordero alimentado individualmente durante todo el período experimental. Después de la asignación al azar en base del peso corporal, los corderos fueron asignados aleatoriamente a uno de los siguientes tipos de alimentación ( $n = 10$ ): paja de cereal y pienso (sistema convencional consistente en administrar paja de cebada y concentrados para la alimentación de los corderos, ambos a voluntad); ración mixta, con pienso y paja (75%-25%, respectivamente) a voluntad; y alfalfa deshidratada (heno de alfalfa) a voluntad y pienso en régimen restringido (17 g de concentrado por kg de peso corporal al día). Estos tres tipos de alimentación fueron considerados como tres opciones diferentes para el acabado de los corderos de engorde temprano en la región. La composición del pienso y de la paja se describen en el trabajo de Blanco et al. (2014). Los corderos tuvieron agua fresca disponible en todo momento y los animales fueron capaces de ver y escuchar a los otros corderos. Todas las prácticas de manipulación que se siguieron son las recomendadas por la Directiva 2010/63/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la protección de los animales utilizados para fines científicos. Cuando los animales alcanzaron el peso corporal deseado (27 kg; aproximadamente a los 3 meses de edad), los corderos fueron sacrificados (Blanco *et al.*, 2014). A las 24 h post mortem se cortaron las piernas de ambos lados de las canales y a las 48 h postmortem se extrajeron los músculos *Biceps femoris* y *Quadriceps femoris* de cada pierna, que se usaron como muestra para las determinaciones analíticas.

## 2.2. Preparación de las muestras

Los músculos *Bíceps femoris* y *Quadriceps femoris* de la pierna derecha e izquierda fueron pesados y luego asignados al azar a dos grupos (para cada uno de los tres tratamientos de alimentación) de diez músculos por grupo, sobre la base de la paridad (5 músculos del lado derecho y el 5 del lado izquierdo por grupo). Los músculos de un grupo no fueron madurados (grupo control: CON). Los músculos del otro grupo fueron envasados al vacío individualmente (grupo vacío; VAC), utilizando una bolsa de 150  $\mu\text{m}$ , con permeabilidad al oxígeno de  $30 \text{ cm}^3 / (\text{m}^2 \times \text{bar} \times 24 \text{ h})$ , a  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del 0%, y luego almacenada refrigerada en la oscuridad a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 21 días, que es un tiempo de almacenamiento frecuente en los establecimientos de almacenamiento y venta de este producto. Los músculos de ambos tratamientos de almacenamiento CON (justo después de la disección) y VAC (justo después del almacenamiento) se cortaron en filetes, los filetes se mantuvieron en exposición al aire y se analizó su calidad a distintos días de exposición (pH, pérdida de peso, compuestos volátiles, color y análisis sensorial de apreciación visual) tal y como se describe a continuación.

Cada músculo *Bíceps femoris* se cortó en tres secciones perpendiculares al eje longitudinal: una proximal (1,5 cm), otra central (la más grande, 12 cm aproximadamente) y otra distal (1,5 cm). La sección distal se descartó y de la sección central se obtuvieron cuatro filetes (de 2,5 cm de espesor cada uno) y se pesaron. Los filetes fueron colocados al azar en las correspondientes bandejas de polipropileno, que se cubrieron con una película de cloruro de polivinilo 8,5-  $\mu\text{m}$  (con permeabilidad al oxígeno y agua de  $4.000 \text{ cm}^3$  y  $140 \text{ g}$  por  $\text{m}^2$ , bar y 24 h). Las bandejas con los filetes se almacenaron a continuación bajo condiciones simuladas exposición para venta, a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  por un tiempo de hasta 14 días, expuestas a una fuente de luz (12 h por día) provista de tubos fluorescentes dobles (34 W) colocados a una distancia de 1 m de la cara superior de las bandejas. En los días 1, 3, 7 y 14 de almacenamiento se muestreó uno de los filetes. Los filetes muestreados se pesaron y se congelaron a  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

manteniéndose congelados (-50 °C) hasta su posterior análisis (compuestos volátiles). Además, a partir de la sección proximal obtenida del músculo como se describió anteriormente, se determinó la humedad y el contenido en grasa intramuscular de la carne, después de haber separado la grasa subcutánea e intermuscular de dicha sección.

Por otra parte, cada músculo *Q. femoris* se cortó siguiendo el mismo procedimiento que el descrito para los músculos *B. femoris* y las secciones proximal y distal fueron descartadas. Los cuatro filetes obtenidos a partir de la sección central fueron envasados en bandejas y se almacenaron refrigerados en exposición en las mismas condiciones a los descritos para los músculos *B. femoris*. En los días 1, 3, 7 y 14 de la exposición se tomaron muestras consistentes en uno de los filetes. Estas muestras se utilizaron inmediatamente para análisis sensorial, color y pH).

### **2.3 Análisis químicos, composición proximal, pH y compuestos volátiles**

La humedad y el contenido de grasa intramuscular se determinaron en muestras de carne (porción proximal de los músculos control *B. femoris*) siguiendo los métodos recomendados por la AOAC (AOAC, 1999) - Métodos Oficiales No. 950,46 y 991,36, respectivamente. El método de determinación de la humedad fue un método gravimétrico basado en la desecación de las muestras por el calor. El valor del pH se determinó por duplicado directamente sobre los filetes de carne (*Q. femoris*) utilizando un medidor de pH (Modelo GLP 22, Crison, Barcelona, España) equipado con un electrodo (Modelo 52-32). La pérdida de peso de los filetes durante su exposición aerobia se calculó de la siguiente manera:  $[(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$ , donde  $W_1$  fue el peso del filete (*B. femoris*) en el día 1 y  $W_2$  fue el peso de los filetes los días 3, 7 o 14 de exposición.

Los compuestos volátiles generados por los filetes cocinados cada día de muestreo se determinaron por el método de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masa, equipado con un inyector automático de espacio de cabeza (Vieira *et al.*, 2012). Antes de analizar el contenido de aldehídos, los filetes

del músculo (*B. femoris*) fueron cocinados en una parrilla de doble cara (precalentada a 220 °C) hasta alcanzar una temperatura central de 75 °C, siguiendo las directrices para procedimientos de cocción de AMSA (1995). Los filetes cocinados se picaron en un procesador de alimentos. Cinco gramos de muestra picada se introdujeron en el vial de 20 ml junto con 4,7 ml de agua y 0,07 g de NaCl (para facilitar la extracción). Los viales fueron cerrados herméticamente con tapones de rosca magnéticos con septos de silicona / PTFE (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EEUU) y se colocaron en una bandeja de espacio de cabeza para el análisis.

Se utilizó un cromatógrafo de gases modelo CG7890A (Agilent Technologies) acoplado al detector de masas MSD 5975 C (Agilent Technologies), equipado con un inyector automático de espacio de cabeza CTC Combi PAL autosampler (CTC Analytics AG, Zwingen, Suiza). Los compuestos volátiles se separaron en una columna DB-5MS (60 m × 0,25 mm d.i. × 0,25 µm de grosor de película; J&W Scientific, Folsom, CA, EEUU). El gas portador fue Helio, con un flujo de 1.5 ml/min. Antes de la inyección, los viales se sometieron a un proceso de equilibrado a 60 °C, con agitación intermitente (750 rpm, 5 s en marcha, 2 s apagado) durante 40 min. Después, se inyectó un ml del espacio de cabeza en el cromatógrafo con una jeringa de 2,5 ml (CombiPAL headspace syringe, CTC Analytics AG). La temperatura de la aguja fue de 100 °C y las velocidades de llenado e inyección fueron de 100 µl/s y 250 µl/s respectivamente. La temperatura del inyector se mantuvo a 260 °C en el modo de división de flujo con un relación 2:1. La temperatura del horno fue programada iniciando a 35 °C mantenidos por 1 min, siguiendo por incrementos lineales de temperatura de 35 to 50 °C a 10 °C/min, y después a 200 °C a 4 °C/min, posteriormente a 250 °C a 50 °C/min, y finalmente se mantuvo la temperatura a 250 °C durante 11 min. El espectrómetro de masas trabajó en el modo de impacto de electrones con una energía de 70 eV, una corriente de emisión de 50 µA y un rango de barrido de 40 a 350 m/z, realizando 3,94 barridos/s.

La identificación se llevó a cabo primero comparando los espectros de masas de los compuestos que eludían por la columna con aquellos contenidos en la base de datos NIST/EPA/NIH-98 Mass Spectral Database, utilizando también la interpretación espectral personal. Por otra parte, se utilizó una serie de alcanos (Hydrocarbons/C5-C20; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) para calcular los índices de retención relativos (IRR) experimentales de cada compuesto y, cuando fue posible, la identificación de los volátiles fue confirmada por comparación de los IRR experimentales con los recogidos en la bibliografía. Finalmente, la cuantificación se basó en la comparación de las áreas de pico de los compuestos volátiles con las áreas obtenidas a partir de la inyección de cantidades conocidas de undecano previamente disuelto en hexano y analizado bajo las mismas condiciones que las usadas para las muestras. La cantidad relativa de cada compuesto volátil se expresó como ng de undecano por g de muestra.

#### 2.4. Determinación instrumental del color

Las determinación instrumental del color se llevó a cabo por triplicado directamente sobre la superficie de corte en tres lugares diferentes (*Q. femoris*), utilizando un espectrofotómetro portátil CM-700d (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japón). Las condiciones de operación del aparato fueron las siguientes: iluminante D65, modo SCI, 11 mm de apertura para la iluminación y 8 mm para la medición y 10 ° de ángulo del observador. Previamente a la medición del día uno, una vez obtenido el filete, se esperaron 60 min antes de proceder a la medición del color para permitir la oxigenación de mioglobina. Los resultados se expresaron como luminosidad ( $L^*$ ), índice de rojos ( $a^*$ ), índice de amarillos ( $b^*$ ), relación índice de rojos e índice de amarillos ( $a^*/b^*$ ), croma ( $C^*$ ) [ $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ], el ángulo de tonalidad ( $H^*$ ) [ $\tan^{-1}(b^*/a^*) \times (180/\pi)$ ] y cambio de color total de las muestras, a los días 3, 7 y 14, con respecto a la muestra de carne expuesta el día 1 ( $\Delta E^*$ ) [ $(L^*_{\text{día } n} - L^*_{\text{día } 1})^2 + (a^*_{\text{día } n} - a^*_{\text{día } 1})^2 + (b^*_{\text{día } n} - b^*_{\text{día } 1})^2$ ]<sup>1/2</sup> (con n = 3, 7 o 14), con el fin de estudiar el cambio de color debido al tratamiento de almacenamiento en exposición aerobia (AMSA, 2012).

## 2.5. Análisis sensorial (valoración visual)

Tras la medición del color se llevó a cabo una evaluación sensorial visual con los filetes de carne cruda (*C. femoris*). Cada uno de los filetes fue calificado con un número entre 12 y 14 consumidores. Un total de 160 consumidores fueron involucrados en el análisis, siendo personal o estudiantes de la Universidad de León (España) que amablemente aceptaron la invitación a participar en la valoración. El análisis se llevó a cabo en cabinas individuales a temperatura ambiente (20°C) con luz blanca y suave. Las muestras fueron codificadas con 3 dígitos elegidos al azar y se colocaron individualmente en bandejas blancas de poliestireno. Un número de 2 a 6 bandejas (muestras) se evaluaron al azar por cada consumidor y por sesión. Se pidió a los consumidores evaluar visualmente el color de los filetes de carne sobre la base de una escala hedónica de cinco puntos (color puntuaciones: 1 = (me desagrada mucho), 2 (me desagrada), 3 (ni me agrada, ni me desagrada), 4 (me agrada) y 5 (me gusta mucho).

## 2.6 Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) factorial para evaluar la importancia de los factores experimentales en todas las características estudiadas, excepto para la valoración visual del análisis sensorial. El análisis se realizó utilizando el modelo mixto de ANOVA. Para ello, se tomaron como factores fijos el tratamiento de vacío (sin y con almacenamiento), el tiempo de exposición aerobia (1, 3, 7 y 14 días) y la interacción entre ambos factores; por otra parte, el tratamiento de alimentación de los animales se consideró como factor aleatorio. Cuando al menos un factor fijo mostró significancia por el ANOVA ( $P < 0,05$ ), las medias se compararon dos a dos usando la prueba de diferencia de mínimos cuadrados o prueba de Fisher. Por otra parte, los resultados del análisis sensorial se analizaron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con el fin de evaluar el efecto del envasado al vacío y el tiempo de exposición aerobia. Posteriormente, se realizó la comparación en parejas utilizando la prueba de Mann-Whitney. Por último, se calculó la correlación de Spearman para evaluar la relación entre la

puntuación visual y las características instrumentales de color. Para todos estos análisis se utilizó el programa Statistica for Windows (Statsoft Inc., 2001).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad y el contenido de grasa intramuscular que se encontró en los músculos *B. femoris* fueron de  $75,7\% \pm 1,4\%$  y  $1,6\% \pm 0,3\%$ , respectivamente, (desviación media  $\pm$  estándar;  $n = 30$ ). Estos valores están en general de acuerdo con los datos reportados previamente por Blanco et al. (2014) en el mismo tipo de corderos.

Los niveles de significación de los factores experimentales incluidos en el diseño sobre las características de calidad de la carne obtenidas por el ANOVA, se muestran en la Tabla 1. El almacenamiento de la carne a vacío, el tiempo de visualización y la interacción entre ellos (todos los efectos fijos) mostraron un efecto significativo sobre uno o más características de composición y del color de la carne de cordero. Por el contrario, el sistema de alimentación (efecto aleatorio) y las correspondientes interacciones dobles entre la alimentación y los demás factores no mostraron efectos significativos sobre las características analizadas, a excepción del efecto de maduradas a vacío  $\times$  alimentación sobre la luminosidad ( $L^*$ ). Por lo tanto, los resultados y la discusión se centrarán en los efectos fijos.

Por otra parte, en la Fig. 1 se muestran los cambios en los valores de pH y del contenido total de aldehídos volátiles durante la exposición de los filetes de cordero sin (CON) y con almacenamiento previo de las piernas a vacío (VAC). De entre los compuestos volátiles solo se muestran los aldehídos pues fueron con mucho los más abundantes. Como se puede apreciar, los valores de pH incrementaron significativamente desde el día 7 al 14, y el incremento fue más agudo en cordero VAC (Fig. 1 A).

El aumento en el pH durante el almacenamiento o la exposición para la venta de la carne ha sido asociado con el deterioro y aparece como consecuencia del cambio desde el metabolismo microbiano glicolítico a una de degradación de

los aminoácidos, por agotamiento de la glucosa en la carne (Ellis y Goodacre, 2001; Nychas *et al.*, 2008). Los mayores valores de pH en cordero VAC al final del periodo de exposición al aire podrían ser explicados por que la microbiota de estos filetes, modificada por el tratamiento de vacío, haya presentado un metabolismo de degradación de aminoácidos más activo.

Tabla 1. Niveles de significación mostrados por los factores estudiados sobre las características de calidad de los filetes de cordero en refrigeración expuestos al aire

Factor	Tipo de efecto	Características de composición			Características de color						
		pH	Pérdida de peso	Aldehídos volátiles	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*/b^*$	Croma	Tono	$\Delta E$
Envasado al vacío (VA)	Fijo	*	NS	**	*	NS	NS	NS	NS	*	NS
Tiempo de exposición (t)	Fijo	***	***	*	***	NS	NS	NS	NS	NS	***
VA x t	Fijo	***	NS	NS	*	**	NS	***	NS	**	NS
Alimentación (F)	aleatorio	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
VA x F	aleatorio	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
t x F	aleatorio	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

$\Delta E$ : Cambio de color con respecto al color de los filetes en el día 1 de exposición al oxígeno.

NS: no significativo; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ .

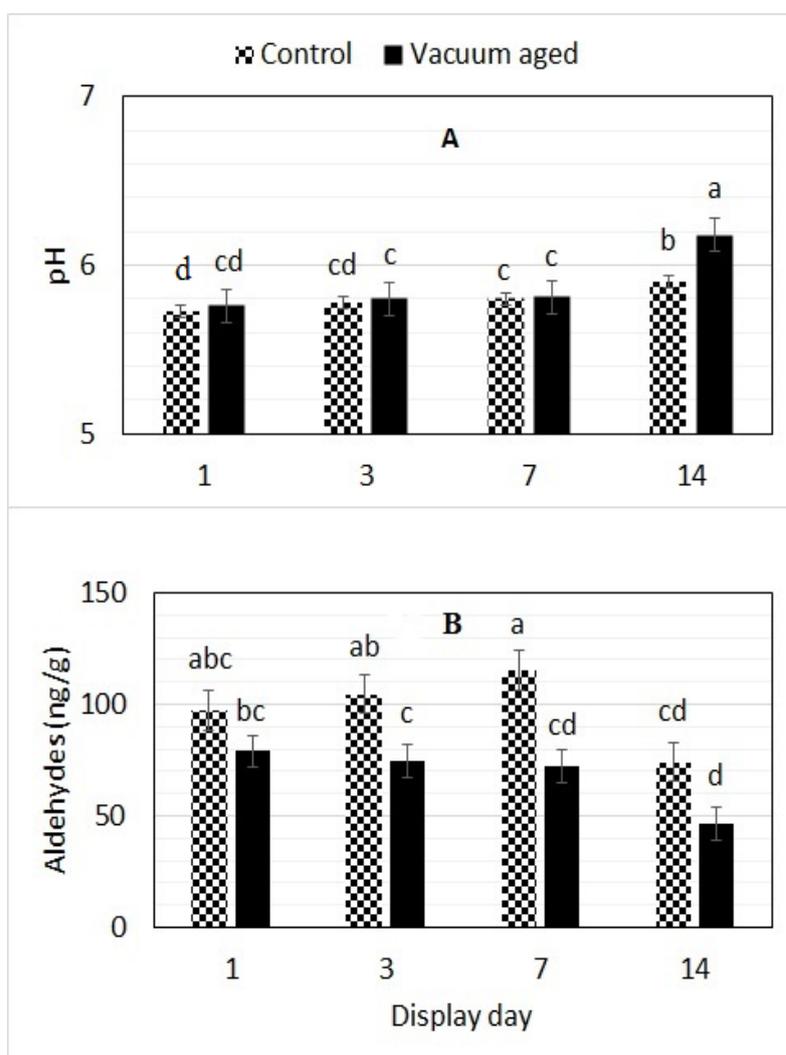


Figura 1. Cambios en los valores de pH y de concentración de aldehídos volátiles en el espacio de cabeza de los filetes de cordero refrigerados expuestos al aire (*display day*) en función de si la carne fue (*vacuum aged*) o no fue (*control*) previamente almacenada a vacío (3 semanas). a-d: letras diferentes encima de las barras indican diferencias significativas por la prueba de Fisher ( $P < 0,05$ ).

En el espacio de cabeza de los filetes de cordero tras el cocinado se cuantificaron cuatro aldehídos volátiles (hexanal, heptanal, octanal y nonanal). El hexanal representó el 90% del contenido total de estos aldehídos y su concentración estaba correlacionada con el resto. Por este motivo y por razones de brevedad, sólo se muestra en la Fig. 1 (Fig. 1B) la suma de los contenidos de esos cuatro aldehídos. La carne de cordero CON mostró niveles

más altos de aldehídos volátiles que la de cordero VAC durante la exposición de los filetes al aire (las diferencias fueron significativas en los días 3 y 7). Esto podría atribuirse a los cambios químicos que podrían haber experimentado los aldehídos durante la maduración de la carne a vacío, como por ejemplo las reacciones de aldehídos con otros componentes de la carne que implican su degradación o reacción con otras moléculas, repercutiendo en una menor presencia de los mismos en el espacio de cabeza (Shahidi y Pegg, 1994). Además, respecto al tiempo de exposición, se detectaron niveles más bajos de aldehídos en el final de la exposición con respecto a los niveles iniciales, tanto para la carne CON como para la VAC. Este hallazgo podría explicarse por una degradación de los aldehídos o bien a una volatilización de los mismos atribuibles ambas al tiempo.

Las variaciones antes mencionadas en los niveles de aldehídos debido al envasado previo de la carne a vacío o al tiempo de exposición podrían implicar diferencias en el sabor de la carne debido a que estos aldehídos tienen bajos umbrales de percepción del olor y por lo tanto un impacto relevante sobre el sabor de carne (Calkins y Hodgen, 2007; Drumm y Spanier, 1991). No obstante, esta relación debería ser comprobada ya que en este trabajo no se ha evaluado sensorialmente el sabor de la carne.

Por otra parte, en cuanto a la pérdida de peso de los filetes refrigerados en bandeja se observó un aumento en la misma de manera constante con el tiempo de exposición ( $P < 0,05$ ), alcanzando una cantidad del 13% en el día 14 de exposición, sin diferencias significativas entre las muestras CON y las VAC (datos no mostrados en figuras o tablas).

La Tabla 2 muestra los efectos del almacenamiento a vacío de las piezas y del tiempo de exposición al aire de los filetes obtenidos de las mismas sobre las características instrumentales de color y la apreciación visual del mismo. En cuanto al color instrumental, sólo las características que se vieron afectadas significativamente por esos dos factores o su interacción fueron incluidas en la tabla por razones de brevedad.

En el día 1 de exposición (y a través de todo el período), los filetes de las piezas de piernas de cordero VAC mostraron una luminosidad ( $L^*$ ) inferior a los filetes CON. Esto significa que la cantidad de luz reflejada desde la superficie de la carne VAC fue inferior a la reflejada por la carne CON. La reflectancia en la carne está positivamente relacionada con el grado de dispersión de la luz (Lindahl *et al.*, 2001). Por lo tanto, en la carne de cordero VAC, durante su almacenamiento a vacío, se podrían haber producido cambios estructurales responsables de una disminución de la dispersión de la luz y por lo tanto de la reflectancia, como por ejemplo un aumento de la separación de las miofibrillas. Esta explicación podría reforzarse con el hallazgo de que  $a^*$  fuese más elevada en la carne de cordero VAC con respecto a la de CON en el día 1 de la exposición, debido a que el mayor valor de  $a^*$  alto podría ser también el resultado de un paso más grande de la luz a través de la carne por una mayor separación miofibrilar. Adicionalmente, la eventual pérdida de jugo en la carne durante su almacenamiento a vacío también podría ser una razón para explicar las diferencias en  $L^*$  (y  $a^*$ ) entre carne VAC y CON (Farouk y Swan, 1998). Sin embargo, dicha pérdida por goteo fue muy baja (hasta 2% en peso) y por lo tanto, su efecto sería de menor importancia.

Al inicio de la exposición de los filetes al aire, la carne de cordero almacenada previamente a vacío mostró un mayor enrojecimiento, es decir, mayores valores de  $a^*$ ,  $a^*/b^*$  y menor valor del ángulo de tonalidad (AMSA, 2012), con respecto a la carne de cordero CON. Resultados similares también han sido observados por Ponnampalam *et al.* (2013) aunque para la carne de corderos mayores que los del presente estudio.

Tabla 2. Características del color instrumental (medias; n=30) y apreciación visual (mediana, n=30) de los filetes de cordero refrigerados expuestos al aire obtenidos de piernas sin (CON) o con almacenamiento previo a vacío (VAC; 21 días)

	Día 1	Día 3	Día 7	Día 14	EEM
<i>L*</i>					
CON	44,56 <sup>a,1</sup>	44,00 <sup>a,1</sup>	42,86 <sup>b,1</sup>	40,69 <sup>c,1</sup>	0,208
VAC	42,46 <sup>a,2</sup>	42,51 <sup>a,2</sup>	41,18 <sup>b,2</sup>	37,33 <sup>c,2</sup>	0,395
<i>a*</i>					
CON	6,46 <sup>b,2</sup>	7,87 <sup>a</sup>	8,35 <sup>a,1</sup>	8,16 <sup>a,1</sup>	0,115
VAC	7,43 <sup>a,1</sup>	7,69 <sup>a</sup>	6,53 <sup>b,2</sup>	6,33 <sup>b,2</sup>	0,123
<i>a*/b*</i>					
CON	0,456 <sup>c,2</sup>	0,492 <sup>b</sup>	0,532 <sup>a,1</sup>	0,518 <sup>ab,1</sup>	0,0060
VAC	0,512 <sup>a,1</sup>	0,520 <sup>a</sup>	0,414 <sup>b,2</sup>	0,432 <sup>b,2</sup>	0,0068
<i>Hue</i>					
CON	65,58 <sup>a,1</sup>	63,86 <sup>b</sup>	61,50 <sup>c,2</sup>	62,04 <sup>c,2</sup>	0,343
VAC	62,94 <sup>b,2</sup>	62,57 <sup>b</sup>	67,56 <sup>a,1</sup>	66,19 <sup>a,1</sup>	0,322
$\Delta E$					
CON	-	3,34 <sup>b</sup>	3,78 <sup>b</sup>	5,47 <sup>a</sup>	0,232
VAC	-	2,99 <sup>b</sup>	3,92 <sup>b</sup>	6,63 <sup>a</sup>	0,381
<i>Puntuación de la apreciación visual #</i>					
CON	3,24 <sup>a,2</sup>	3,60 <sup>a,1</sup>	3,50 <sup>a,1</sup>	1,63 <sup>b,2</sup>	-
VAC	3,50 <sup>a,1</sup>	3,43 <sup>a,2</sup>	2,47 <sup>b,2</sup>	1,00 <sup>c,2</sup>	-

$\Delta E$ : Cambio de color con respecto al color de los filetes en el día 1 de exposición al oxígeno.

#: 1= me disgusta mucho, 2= me disgusta, 3= ni me gusta ni me disgusta, 4= me gusta; 5= me gusta mucho.

<sup>a-c</sup>: Valores en la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) según la prueba de Fisher para el color instrumental y la de Mann-Whitney U para la apreciación visual.

<sup>1-3</sup>: Valores en la misma columna con números diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) según la prueba de Fisher para el color instrumental y la de Mann-Whitney U para la apreciación visual.

EEM= Error estándar de la media

Como se explicó anteriormente, el mayor enrojecimiento puede explicarse por un aumento de la profundidad de penetración de la luz y, también, a una mejor penetración de oxígeno a través de la superficie de la

carne de cordero VAC. Esta explicación se sustenta en trabajos previos (Ledward, 1992; Feldhusen *et al.*, 1995) donde se encontró mayor enrojecimiento de la carne y una capa de oximioglobina más profunda en filetes de carne que ha sido previamente envasada al vacío durante varias semanas. Estos autores han tratado de explicar la mayor penetración de oxígeno en la carne que ha sido envasada al vacío en base a una menor actividad de las enzimas consumidoras de oxígeno, es decir una disminución del consumo de oxígeno, que, en todo caso, disminuye con el tiempo *post mortem* (Calkins y Hodgen, 2007).

En vista de los resultados obtenidos en los cambios en las características de color instrumental de la carne de cordero CON y VAC durante la exposición refrigerada aerobia, el efecto de dicha exposición sobre el color puede ser discutido en dos periodos de tiempo: la primera semana (días 1,3 y 7) y la segunda semana (días 7 y 14) de la exposición.

Durante la primera semana de exposición los valores de  $L^*$  disminuyeron (desde el día 3 al día 7), tanto para los filetes de cordero CON como para los filetes de cordero VAC ( $P < 0,05$ ). Esta observación coincide con lo observado por Kim *et al.* (2012), quienes también encontraron un descenso de  $L^*$  durante la primera semana de almacenamiento en chuletas de carne de cordero cubiertas con película permeable al aire. Parte de la disminución en el valor  $L^*$  se podría atribuir a la pérdida de peso que experimentaron los filetes de cordero en el presente estudio y la consecuente desecación de los filetes, que a su vez causaría una disminución en la cantidad de luz reflejada desde la superficie de la carne.

Por otra parte, se observó en la primera semana un incremento en el enrojecimiento de las muestras CON y, por el contrario, una disminución en las muestras VAC. Este hallazgo indica una menor estabilidad en el color de la carne de cordero VAC que en la de cordero CON a la exposición aerobia. Al igual que en este estudio, Ponnampalam *et al.* (2001) encontró que la carne de cordero almacenada a vacío durante 4 semanas mostró una decoloración más rápida que la carne de cordero fresco no almacenado a vacío. La razón de la disminución de la estabilidad del color (pérdida de color rojo por disminución de

la oximioglobina) de la carne de cordero VAC podría estar relacionada con la pérdida o disminución de la capacidad de reducción de la metamioglobina (producida por un grupo de enzimas y sustancias reductoras como el NADH) durante la etapa de almacenamiento a vacío (Ledward, 1992; Mancini y Hunt, 2005) – la capacidad reductora de la mioglobina disminuye en la carne con el tiempo de almacenamiento. Por otro lado, el aumento en el enrojecimiento de cordero control podría explicarse por un aumento en la concentración de oximioglobina debido a la pérdida de peso observada y al incremento en la penetración de oxígeno a través de la carne. Al mismo tiempo, al ser una carne con menor tiempo post mortem conservaría una mayor capacidad reductora de la metamioglobina.

Posteriormente, durante la segunda semana de exposición se encontraron las mayores variaciones en los valores de  $L^*$  y, probablemente como consecuencia, de los valores de  $\Delta E$ . Los cambios  $L^*$  fueron más pronunciados en la carne de cordero VAC que en la carne de cordero CON. Los cambios en  $L^*$  se pueden asociar, como se dijo antes, a la pérdida de humedad debidas a las pérdidas de peso, que como se dijo anteriormente fueron similares para la carne de cordero CON y VAC. Por otra parte, esos cambios en  $L^*$  podría estar también relacionados con el aumento observado en el pH de la carne, en particular la de cordero VAC, ya que a mayor aumento de pH mayor fue la pérdida de  $L^*$ .

Por otro lado, en esta segunda semana, las características relacionadas con el enrojecimiento permanecieron estables, es decir, no se observaron cambios significativos. Este hallazgo, sin embargo, no significa que el color (apreciación visual) de la carne de cordero se mantuviese sin cambios durante esta semana de exhibición. Por lo contrario, de acuerdo con las observaciones realizadas durante esta investigación, muchas muestras, muchos filetes tornaron a color marrón durante la segunda semana de exhibición, y las puntuaciones de los consumidores para la valoración visual del color disminuyeron drásticamente en la segunda semana (Tabla 2).

En cuanto a los resultados de valoración visual de la carne (Tabla 2), cabe recordar que de acuerdo con la escala utilizada estos resultados se

pueden interpretar de la siguiente manera: una puntuación superior a 3 indica una aceptación positiva de color y, por el contrario, la puntuación inferior a 3 indica desaprobación. Para interpretar y valorar mejor los resultados de la valoración visual se ha elaborado la Tabla 3 dónde se muestra la correlación (coeficientes de correlación de Spearman) entre las puntuaciones sensoriales del color y las características de color instrumental para los filetes de cordero CON y VAC. Con el fin de examinar los resultados con más detalle, se consideraron tres períodos de exposición aerobia en dicha Tabla: la primera semana, la segunda semana y todo el período de exposición.

Tabla 3. Correlación (coeficientes de correlación de Spearman) entre la valoración visual del color y las características del color instrumental de los filetes de carne de cordero obtenidos de piernas sin (CON) o con (VAC) almacenamiento previo a vacío en diferentes periodos de exposición aerobia.

Periodo de exposición	Días 1 a 7 (n=96)		Días 7 a 14 (n=64)		Días 1 a 14 (n=128)	
	CON	VAC	CON	VAC	CON	VAC
$L^*$	-0,003	0,300**	0,462***	0,706***	0,361***	0,657***
$a^*$	0,203*	0,349***	0,101	0,063	0,027	0,369***
$a^*/b^*$	0,098	0,576***	0,127	-0,174	-0,014	0,508***
Tono	-0,094	-0,576***	-0,103	0,175	0,026	-0,507***
$\Delta E$	0,215*	-0,506***	-0,398***	-0,537***	-0,250**	-0,705***

$\Delta E$ : Cambio de color con respect al color de la carne al día 1 de exposición.

\*, \*\*, \*\*\*:  $P$ , <0.05, <0.01, <0.001, respectivamente.

Como hecho relevante de los resultados de la valoración visual de la primera semana de exposición se observó que el color de la carne de cordero VAC en el día 1 de la exposición aerobia fue más valorada que la de cordero CON ( $P < 0,05$ ; Tabla 2). Sin embargo, a partir de los tres días de exposición aerobia de la carne de cordero, el grupo VAC fue peor valorado que el CON, observándose que el color de la carne control mejoraba ( $P < 0,05$ ). Este

resultado discrepa parcialmente con lo observado por Ponnampalam et al. (2013), quienes encontraron que el almacenamiento previo de la carne de cordero a vacío mejoraba el color de la carne expuesta al aire, consiguiéndose una mejor aceptabilidad del color de dicha carne por parte del consumidor durante más de tres días de exposición.

El incremento, observado en este trabajo, en las puntuaciones del color de la carne de cordero CON durante la primera semana de la exhibición fue paralelo al incremento observado en  $a^*$  (ambos estuvieron correlacionados positivamente;  $P < 0,05$ ; Tabla 3). A su vez, el decremento en la valoración visual del color de la carne de cordero VAC fue acompañado de un descenso de  $a^*$  con  $a^*/b^*$  ( $P < 0,001$ ) y, aunque no tan fuertemente, de  $L^*$  ( $P < 0,05$ ) y un aumento del tono ( $P < 0,001$ ; Tabla 3). Estos resultados concuerdan con los del estudio realizado por Khlijji et al. (2010), quienes afirmaron que los valores de  $a^*$  están fuertemente relacionados para la valoración del color por los consumidores de carne de cordero expuesto al aire durante cuatro días. Sin embargo, en el presente estudio la proporción  $a^*/b^*$  y el tono parecen ser mejores indicadores que  $a^*$  para la aceptabilidad del color de la carne de cordero que fue previamente madurada a vacío.

Durante la segunda semana de exposición, como se comentó anteriormente, hubo una fuerte reducción de las puntuaciones del color de los filetes de cordero CON y VAC (Tabla 2). Esta reducción estuvo fuertemente y positivamente correlacionada con  $L^*$  (y consecuentemente  $\Delta E$ ;  $P < 0,001$ ; Tabla 3). En esta semana de exposición, según lo observado por los investigadores, el color de la superficie de la carne de muchas muestras se tornó de color rojo (opaco) a marrón, y sus puntuaciones visuales fueron inferiores a 3 (el color no gusto).

Considerando todo el período de visualización, la disminución en la valoración visual de los filetes de cordero CON se acompañó de una disminución de  $L^*$  y en el caso de los filetes de cordero VAC a una disminución tanto de  $L^*$  como de los parámetros del color que definen el enrojecimiento de la carne:  $a^*$ ,  $a^*/b^*$ , tono ( $P < 0,05$ ).

Se observó además que la mayor parte de las muestras VAC y CON con una puntuación de color menor de 3 (color que no gustaba) presentaron valores de  $L^* < 42$ , mientras que  $L^*$  fue  $\geq 42$  para la mayoría de las muestras con puntuaciones  $\geq 3$  (color que gustó). Por otra parte, teniendo en cuenta sólo las muestras VAC, la mayoría de las muestras calificadas con un color que no gustaba mostró valores de  $a^* < 7$  y  $a^*$  fue  $\geq 7$  para la mayoría de las muestras que presentaron un color que gustó. Estos valores para los que la mayoría de los consumidores consideraron que la carne de cordero tenía un color inaceptable se pueden considerar como valores críticos ( $L^* \geq 42$  para la carne de cordero CON y  $L^* \geq 42$  y  $a^* < 7$  para la carne de cordero VAC). Los valores críticos señalados difieren de los encontrados por Hopkins (1996) y Khlijji et al. (2010) para filetes de cordero expuesto al aire que fueron  $L^* > 34-35$  y  $a^* < 15-19$ . La discrepancia entre los estudios podría explicarse no sólo por las diferencias en factores relacionados con las características de los corderos (alimentación, edad de sacrificio, engrasamiento, etc.), sino también por factores inherentes a los consumidores (valores culturales, costumbres, etc.) que influyen en la percepción de la calidad del color de la carne de cordero (Sañudo *et al.*, 1998).

Como resumen cabe decir que al comienzo de la exposición aerobia de los filetes (día 1 de la exposición) el enrojecimiento fue mayor en la carne de cordero que había sido previamente almacenada a vacío que en la carne de cordero no almacenada. Sin embargo, la estabilidad del color de la carne de cordero almacenada a vacío fue inferior que la de la carne no almacenada, que conservó su color rojo más tiempo. Así, en promedio, la carne de cordero almacenada a vacío mostró un color aceptable sólo por un máximo de tres días de exposición, mientras que en la carne de cordero no almacenado el color aceptable se mantuvo hasta el día siete de exposición. Después de la primera semana de exposición la aceptación del color de la carne de cordero tanto si fue previamente envasada o no descendió notablemente. Esta disminución fue acompañada por una disminución en la luminosidad y un aumento sustancial de pH, siendo los cambios más pronunciado en la carne de cordero almacenada previamente a vacío.

## REFERENCIAS

- AMSA (1995). *Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat*. Chicago, IL: American Meat Science Association in cooperation with National Live Stock and Meat Board.
- AMSA (2012). *Guidelines for meat color evaluation*. Champaign, IL: American Meat Science Association. Available online at <http://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/Hot-Topics/download-the-ebook-format-pdf-of-the-meat-color-measurement-guidelines.pdf?sfvrsn=0> (10th, October, 2013).
- AOAC (1999). Official method 950.46 moisture in meat; official method 991.36 fat (crude) in meat and meat products. Meat and meat products. In P. Cunniff (Ed.), *Official methods of analysis of the AOAC international* (Vol. II. 16th ed.) (pp. 1–15). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Blanco, C., Bodas, R., Prieto, N., Andrés, S., López, S., & Giráldez, F. J. (2014). Concentrate plus ground barley straw pellets can replace conventional feeding systems for light fattening lambs. *Small Ruminant Research*, 116, 137-143.
- Calkins, C. R., & Hodgen, J. M. (2007). A fresh look at meat flavour. *Meat Science*, 77, 63–80.
- Ellis, D. I., & Goodacre, R. (2001). Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of muscle foods: current status and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 414-424.
- Drumm, T. D., & Spanier, A. M. (1991). Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 39, 336–343.
- Farouk, M., & Swan, J. (1998). Effect of rigor temperature and frozen storage on functional properties of hot-boned manufacturing beef. *Meat Science*, 49, 233-247.

- Feldhusen, F., Warnatz, A., Erdmann, R., & Wenzel, S. (1995). Influence of storage time on parameters of colour stability. *Meat Science*, 40, 235–243.
- Hopkins, D. L. (1996). Assessment of lamb meat colour. *Meat Focus International*, 5 (Part 11), 400-401.
- Jacob, R. H., D'Antuono, M. F., Gilmour, A. R., & Warner, R. D. (2014). Phenotypic characterization of colour stability of lamb meat. *Meat Science*, 96, 1040-1048.
- Karabigas, I., Badeka, A., & Kontominas, M. G. (2011). Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 88, 109-116.
- Kennedy, C., Buckley, D. J., & Kerry, J. P. (2004). Display life of sheep meats retail packaged under atmospheres of various volumes and compositions. *Meat Science*, 68, 649-658.
- Khilji, S., van de Ven, R., Lamb, T. A., Lanza, M., & Hopkins, D. L. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85, 224-229.
- Kim, Y. H. B., Frandsen, M., & Rosenvold, K. (2011). Effect of ageing prior to freezing on colour stability of ovine longissimus muscle. *Meat Science*, 88, 322-327.
- Kim, Y. H. B., Stuart, A., Black, C., & Rosenvold, K. (2012). Effect of lamb age and retail packaging types on the quality of long-term chilled lamb loins. *Meat Science*, 90, 962-966.
- Ledward, D. A. (1992). Colour of raw and cooked meat. In D. A. Johnston, M. K. Knight, & D. A. Ledward (Eds.), *The Chemistry of Muscle-Based Foods* (pp. 128–144). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Linares, M. B., Bórnez, R., & Vergara, H. (2007). Effect of different stunning systems on meat quality of light lamb. *Meat Science*, 76, 675-681.

- Lindahl, G., Lundström, K., & Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*, 59, 141-151.
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.
- McKenna, D. R., Mies, P. D., Baird, B. E., Pfeiffer, K. D., Ellebracht, J. W., & Savell, J. W. (2005). Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Science*, 70, 665-682.
- McMillin, K. W. (2008). Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80, 43-65.
- Moore, V. J., & Gill, C. O. (1987). The pH and display life of chilled lamb after prolonged storage under vacuum or under CO<sub>2</sub>. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 30, 449-452.
- Nychas, G. J., Skandamis, P. N., Tassou, C. C., & Koutsoumanis, K. P. (2008). Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78, 77-89.
- Ponnampalam, E. N., Trout, G. R., Sinclair, A. J., Egan, A. R., & Leury, B. J. (2001). Comparison of the color stability and lipid oxidative stability of fresh and vacuum packaged lamb muscle containing elevated omega-3 and omega-6 fatty acid levels from dietary manipulation. *Meat Science*, 58, 151-161.
- Ponnampalam, E. N., Butler, K. L., Burnett, V. F., McDonagh, M. B., Jacobs, J. L., & Hopkins, D. L. (2013). Aged vacuum packaged lamb cuts are less brown than fresh muscle cuts under simulated retail display. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 147-153.
- Rosenvold, K., & Wiklund, E. (2011). Retail colour display life of chilled lamb as affected by processing conditions and storage temperature. *Meat Science*, 88, 354-360.

- Sañudo, C., Sánchez, A., & Alfonso, M. (1998). Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Science*, 49(S1), 29–63.
- Sañudo, C., Alfonso, M., San Julián, R., Thorkelsson, G., Valdimarsdottir, T., Zygoiannis, D., Stamataris, C., Piasentier, E., Mills, C., Berge, P., Dransfield, E., Nute, G. R., Enser, M., & Fisher, A. V. (2007). Regional variation in the hedonic evaluation of lamb meat from diverse production systems by consumers in six European countries. *Meat Science*, 75, 610-621.
- Shahidi, F., & Pegg, R. B. (1994). Hexanal as an indicator of meat flavor deterioration. *Journal of Food Lipids*, 1, 177–186.
- StatSoft Inc. (2001). *Statistica 6.0 software*. Tucksas, USA: StatSoft. <<http://www.statsoft.com>>.
- Vieira, C., Fernández-Diez, A., Mateo, J., Bodas R., Soto, S., & Manso, T. (2012). Effects of addition of different vegetable oils to lactating dairy ewes' diet on meat quality characteristics of suckling lambs reared on the ewes' milk. *Meat Science*, 91, 277-283.
- Walsh, H. M., & Kerry, J. P. (2002). Meat packaging. In J.Kerry., J. Kerry., D. Ledward (Eds.), *Meat Processing, Improving Quality* (pp. 417- 444). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

## **CAPÍTULO 3**

**Efecto del almacenamiento previo a vacío de diversas piezas de carne de cordero de cebo precoz sobre la formación de compuestos volátiles de los filetes (crudos o cocinados) obtenidos de las piezas, durante su posterior almacenamiento aerobio a refrigeración**

## CAPÍTULO 3

### Índice

	Página
Resumen	95
1. Introducción	97
2. Material y métodos	100
2.1 Manejo y sacrificio de los corderos	100
2.2 Diseño experimental	102
2.3 Preparación de las muestras	104
2.4 Análisis sensorial de los compuestos volátiles	106
3. Resultados y discusión	108
3.1 Volátiles durante el almacenamiento aerobio de filetes de carne cruda	108
3.2 Volátiles generados durante el almacenamiento aerobio de filetes cocinados	112
Referencias	121

## RESUMEN

El sabor de la carne está relacionado con su perfil volátil y ambos cambian con el tiempo de almacenamiento. En el presente trabajo se ha estudiado la evolución de los compuestos volátiles durante el almacenamiento aerobio de filetes de carne de cordero, crudos o cocinados. Se utilizaron piezas (*Biceps femoris* y *Semitendinosus*) de las piernas de 11 corderos criados bajo un mismo sistema. Las piezas de un lado de la canal se envasaron a vacío durante 21 días y las del otro no. Seguidamente, todas las piezas se filetearon, las del M. *Biceps femoris* se almacenaron crudas en bandeja de forma aerobia y las del M. *Semitendinosus* se cocinaron y posteriormente se almacenaron en bandeja en aerobiosis. Se muestrearon filetes a los días 1, 3, 7 y 14 de almacenamiento aerobio y se determinó el contenido en compuestos volátiles del espacio de cabeza mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas.

El almacenamiento previo a vacío de las piezas de carne tuvo efecto significativo en el perfil volátil de la carne de cordero. Este efecto fue más marcado en el almacenamiento de carne cruda que en el de cocinada. El principal efecto fue la mayor cantidad de compuestos volátiles derivados de la degradación de Strecker (2-metilbutanal, 3-metilbutanol, benceno acetaldehído y 2-etilhexanol) en carne previamente envasada al vacío. También se observaron menores niveles de aldehídos de cadena lineal, indicadores de oxidación, en los filetes de carne cruda previamente envasada al vacío.

El tiempo de almacenamiento de la carne cruda resultó en una pérdida de aldehídos y cetonas. Por el contrario, los dos compuestos que mostraron un incremento más claro durante el almacenamiento de la carne cruda fueron en carne previamente envasada al vacío el 3-metilbutanol y en carne no envasada al vacío el 2-etilhexanol. La evolución de los volátiles en carne cocinada resultó en cambios en diversos compuestos, destacando el incremento de los aldehídos de cadena lineal y el 2-octenol, resultantes de la oxidación de la grasa, durante los 8 primeros días de almacenamiento que fueron significativos en carne envasada al vacío.

## ABSTRACT

The aim of this study was to analyse the effect of 3 types of storage on lamb meat quality: aerobic storage for 7 days (TA), vacuum-packed for 3 weeks (TV) and freezing for 3 months (TC), compared to control meat (not stored; C), using 32 legs of lamb, 8 per treatment. At the end of storage, raw meat pH, water-holding capacity (WHC) and colour was determined, as was cooked meat texture, oxidative stability and sensory properties. In addition, a piece taken from legs for each treatment were subjected to additional aerobic storage for 72 hours in order to observe the behaviour of colour, pH and WHC at the end of that period. In the case of raw meat compared to control meat, the frozen meat presented lower lightness and WHC values, aerobically stored meat showed higher yellowness index values and a higher pH of vacuum-packed. After an additional 72 h of aerobic storage, meat colour deteriorated substantially (less red and more brown) due to pigment oxidation, although to a lesser extent in the meat from previously vacuum-packed legs; in addition, pH was higher. Regarding to cooked meat, the control meat tended towards greater toughness and chewiness than stored meat. No significant differences were observed in the sensory properties of the meat according to type of storage; however, a significant correlation was detected between sensory acceptability and instrumental toughness. Lastly, oxidative stability of cooked lamb meat was lower in previously vacuum-packed meat than in control meat and the other treatments.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sabor de la carne es una propiedad responsable de su calidad que es percibida en el momento de su consumo. En el cocinado de la carne es cuando se desarrolla el sabor de la misma, que a su vez depende de las condiciones del cocinado (Roldán *et al.*, 2015). Ese desarrollo es causado por la formación de compuestos volátiles como resultado de la degradación térmica que experimentan algunos de los componentes de la carne: lípidos, azúcares y aminoácidos, entre otros (Shahidi y Pegg 1994; Lee y Shibamoto, 2002). Las carnes de distintas especies tienen sabores característicos, lo que es atribuido principalmente a los volátiles generados de los lípidos. De esta forma, la carne de cordero tiene un sabor distintivo (Duckett y Kuber, 2001).

En los estudios consultados en la bibliografía sobre el sabor de la carne de rumiante, la mayoría de los volátiles detectados en la carne cocinada provienen de la oxidación de los lípidos, perteneciendo fundamentalmente a las familias químicas de los aldehídos, cetonas e hidrocarburos y también, aunque en menor medida, se han detectado diversos volátiles generados de la reacción de Maillard (Mottram, 1998; Macleod, 1998; Calkins y Hodgen, 2007). Se destaca en dichos estudios el efecto que ejercen los aldehídos sobre el sabor de la carne. En concreto, los aldehídos de cadena lineal con tamaño entre 6 y 10 átomos de carbono como el hexanal, heptenal, 2,4-heptadienal y 2,6-nonadienal o 2,4-decadienal, entre otros, podrían estar fuertemente implicados en el sabor por sus bajos umbrales de percepción y su relativamente alta concentración en la carne (Mottram, 1998; Elmore *et al.*, 2000; Vasta y Priolo, 2006). Esos compuestos, que se han asociado con notas aromáticas de hierba, a grasa, a fruta, a frutos secos, contribuyen positivamente en el sabor de la carne aunque pueden producir sabores desagradables a altas concentraciones (Calkins y Hodgen, 2007). Además de los aldehídos, las cetonas y los compuestos azufrados también contribuyen de forma notoria al sabor de la carne cocinada de rumiante (Mottram, 1998; Gorráiz *et al.*, 2002).

Durante el almacenamiento a refrigeración de la carne cruda en general y la de cordero en particular, tiene lugar el fenómeno bioquímico conocido

como maduración que hace que la carne se ablande y aumente la intensidad del aroma con respecto a la carne recién obtenida (Ivanóvic *et al.* 2008). La maduración suele tener lugar en la carne antes de su troceado, en la canal, o en las piezas comerciales, y coincide con el periodo de distribución y venta. La maduración de la carne puede incrementar la aceptabilidad de la misma, aunque hasta cierta medida (Font i Furnols *et al.*, 2006). Los cambios en el sabor durante la maduración o almacenamiento de la carne cruda se atribuyen en gran parte a cambios en sus compuestos volátiles. La naturaleza y características de estos cambios en el perfil volátil han sido descritos en carne de vacuno por Stetzer *et al.* (2008) o por Insausti *et al.* (2005). En esos estudios se describe el carácter dinámico de los compuestos volátiles observándose cómo unos compuestos aumentan, lo que se atribuye en gran medida al proceso de autooxidación de la carne (los compuestos derivados de los lípidos), otros mantienen sus niveles y otros, los menos, disminuyen. No obstante, la relación entre los cambios en los compuestos y la aceptabilidad del sabor de la carne no es del todo conocida. Se ha descrito como durante la maduración la apreciación del sabor de la carne se mantiene elevada unos días y luego decae (Spainers *et al.*, 1997).

El principal fenómeno relacionado con los cambios del sabor de la carne cocinada almacenada a refrigeración es la oxidación lipídica (Wrolstad *et al.*, 2005). La carne cocinada se oxida más rápidamente que la carne cruda debido al efecto del tratamiento térmico desintegrador de estructuras e inactivador de sustancias antioxidantes (Pearson *et al.*, 1977). A partir de la oxidación se generan compuestos volátiles responsables del deterioro del sabor, conocidos como productos secundarios de la oxidación lipídica. Algunos de estos productos tienen aromas distintivos a concentraciones inferiores a 1 ppm (Ladikos y Lougovois, 1990; Pegg y Shahidi, 2007). Entre ellos se incluyen volátiles de las familias de los aldehídos (como pentanal, hexanal o el trans-2,4-decadienal), cetonas, alcoholes, ésteres o furanos. En la carne cocinada oxidada se desarrolla un sabor característico conocido en inglés como *warmed over flavor* (WOF) (Pegg y Shahidi, 2007; Gray *et al.*, 1996). Los principales indicadores utilizados para determinar el grado de oxidación de la carne

cocinada son el hexanal y las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Shahidi y Pegg, 1994; Fernández *et al.*, 1997).

Diversos estudios sobre calidad de carne de cordero han mostrado como cambian los compuestos volátiles y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico de la carne de cordero cocinada durante su almacenamiento refrigerado en aerobiosis con exposición a la luz (Nieto *et al.*, 2011a y b; Andrés *et al.*, 2014). En ellos se muestra cómo con el tiempo de almacenamiento se incrementan los niveles de TBARS y de compuestos derivados de los lípidos procedentes de su oxidación, como son hexanal, heptanal, 1-octen-3-ol, y a la vez se deteriora el sabor de la carne.

En la bibliografía consultada se ha encontrado cómo evolucionan los compuestos volátiles de la carne de rumiante durante su almacenamiento en crudo o durante el almacenamiento de la carne cocinada. No obstante, no se han encontrado estudios de cómo afecta a los volátiles que se forman en la carne fileteada cruda o cocinada durante su almacenamiento aerobio la inclusión de una etapa previa de almacenamiento a vacío de las piezas de carne. En ese sentido, el presente estudio pretende conocer cómo se comportan los compuestos volátiles de los filetes de carne de cordero durante su almacenamiento en condiciones usuales en establecimientos de venta de carne, de restauración y/o en los hogares, incluyendo como factor la inclusión o no de una etapa de envasado al vacío de la carne antes de su fileteado. El trabajo se ha planteado con un objetivo doble: conocer los volátiles durante el almacenamiento de carne cruda y durante el almacenamiento de carne cocinada. Para cumplir el primer aspecto, relacionado con la carne cruda, se ha estudiado la evolución de los compuestos volátiles de filetes de carne cruda de cordero durante su almacenamiento aerobio a refrigeración, en función de si las piezas de donde se obtuvieron los filetes fueron o no previamente envasadas a vacío. En el segundo aspecto, relacionado con la carne cocinada, se ha estudiado la evolución de los compuestos volátiles en filetes de carne cocinada de cordero durante su almacenamiento aerobio a refrigeración en función de si

las piezas de donde se obtuvieron los filetes fueron o no envasadas previamente a vacío.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Manejo y sacrificio de los corderos

En el presente experimento se utilizaron 11 corderos destetados de la raza Merina, con edades al inicio del estudio entre 6 y 8 semanas. Después del destete, estos animales tuvieron una alimentación consistente en una ración mixta con un 25% de paja y un 75% de concentrado. Los ingredientes de dicha ración se muestran en la Tabla 1. Los animales fueron alimentados *ad libitum* y tuvieron agua disponible a libre acceso. La composición química proximal de la ración se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 1. Ingredientes utilizados en la ración mixta

Ingredientes (g/kg)	Ración mixta
Cebada	388
Maíz	80
Soja 44	252
Paja de cebada	250
Correctores	30

Tabla 2. Composición química (g/kg) de la ración mixta

	Ración mixta
Materia seca	900
Fibra neutro detergente	323
Fibra ácido detergente	138
Proteína bruta	181
Cenizas	83

Los animales fueron pesados dos veces por semana a lo largo del periodo experimental hasta que alcanzaron aproximadamente los 27 kg de

peso vivo (PV), momento en que fueron sacrificados (Tabla 3). El sacrificio se llevó a cabo siguiendo el método tradicional de matanza en la región que incluye el aturdimiento eléctrico. Las canales fueron pesadas inmediatamente después del sacrificio. Posteriormente, las canales se mantuvieron en una cámara frigorífica a 4 °C por 24 horas. Al finalizar este tiempo las canales se volvieron a pesar y se hizo el despiece, de donde se obtuvieron las piernas que también fueron pesadas (Tabla 3). La cría y el sacrificio de los animales se llevaron a cabo en el Instituto de Ganadería de Montaña (CSIC-Universidad de León).

Tabla 3. Identificación de los animales, peso inicial y final, fecha de sacrificio y peso de las dos piernas tras el oreo

Animal	Peso vivo inicial (kg)	Peso vivo al sacrificio (kg)	Peso pierna (g)
5	13,45	27,70	2245
9	14,20	27,10	2119
18	16,00	26,60	2152
24	11,78	27,50	2154
27	14,48	26,50	1970
28	13,13	27,10	2280
39	14,88	28,05	2387
44	12,70	26,90	2234
46	12,43	26,70	2021
50	14,38	26,55	2214
58	15,08	29,20	2611

## 2.2. Diseño experimental

El experimento se dividió en dos partes (Tabla 4). En la primera se estudió la evolución de los compuestos volátiles durante el almacenamiento aerobio refrigerado de filetes de carne cruda, con o sin previo envasado al vacío de las piezas de donde se obtuvieron dichos filetes. Para esta parte del experimento se emplearon los músculos *Bíceps femoris*. En la segunda parte se estudió la evolución de los compuestos volátiles de filetes de carne cocinados durante su almacenamiento aerobio a refrigeración, con o sin previo envasado al vacío de las piezas de donde se obtuvieron los filetes; utilizando en esta parte del experimento los músculos *Semitendinosus* de las piernas. En ambas partes se determinaron los compuestos volátiles de la carne.

Tabla 4. Diseño de los experimentos de envasado y almacenamiento de las piezas y filetes de carne fresca y cocinada de cordero con el fin de dar seguimiento a la evolución de los compuestos volátiles durante su almacenamiento

	Experimento	
	Parte 1 <sup>a</sup>	Parte 2 <sup>a</sup>
Músculo	<i>Biceps femoris</i>	<i>Semitendinosus</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento previo de las piezas</li> </ul>	La mitad de los músculos no se sometieron a almacenamiento previo y la otra mitad se envasó a vacío y se almacenó a refrigeración durante 21 días	
Tratamiento y condiciones		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cocinado</li> </ul>	No	Sí, en plancha de doble tapa hasta 70 °C de temperatura interna
<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento posterior de los filetes</li> </ul>		
Preparación de los envases	Se obtuvieron 4 filetes de <u>carne cruda</u> y se almacenaron en bandejas con película plástica permeable al oxígeno	Se obtuvieron 4 filetes de <u>carne cocinada</u> y se almacenaron en bandejas con película plástica permeable al oxígeno
Condiciones de almacenamiento	4 °C y exposición a la luz 12 h al día	4 °C y oscuridad
Tiempo de almacenamiento	14 días	14 días
Tiempos de muestreo	1, 3, 7 y 14 días	1, 3, 7 y 14 días
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cocinado previo a los análisis</li> </ul>	Sí, en plancha de doble tapa hasta 70 °C de temperatura interna	No

### 2.3. Preparación de las muestras

Las 22 piernas se mantuvieron en una cámara frigorífica a 4 °C durante un periodo de entre 18 y 42 horas. A partir de las piernas se separaron los músculos *Biceps femoris* y *Semitendinosus* que se sometieron a los distintos tratamientos de almacenamiento y se utilizaron en los análisis realizados a la carne.

La primera parte del estudio (almacenamiento de filetes crudos) se realizó con los músculos *Biceps femoris* de las piernas derechas e izquierdas. En una primera etapa o etapa previa, el músculo de uno u otro lado de cada pierna, aleatoriamente elegido, se envasó a vacío individualmente (grupo vacío; VAC), utilizando una bolsa de 150 µm, con permeabilidad al oxígeno de 30 cm<sup>3</sup> / (m<sup>2</sup> × bar × 24 h), a 23 ° C y una humedad relativa del 0%, y luego se almacenó en la oscuridad a 4 °C durante 21 días, que es un tiempo de almacenamiento frecuente en los establecimientos de almacenamiento y venta de este producto. La otra mitad no se almacenó a vacío (SIN) y se procedió directamente a la segunda etapa.

En la segunda etapa los músculos, almacenados previamente a vacío o no (VAC o SIN) se cortaron en tres secciones perpendiculares al eje longitudinal: una proximal (1,5 cm), otra central (la más grande, 12 cm aproximadamente) y otra distal (1,5 cm). Las secciones dístales se descartaron y de la sección central se obtuvieron cuatro filetes (de 2,5 cm de espesor cada uno). Los filetes fueron colocados al azar en las correspondientes bandejas de polipropileno, que se cubrieron con una película de cloruro de polivinilo 8.5- µm (con permeabilidad al oxígeno y agua de 4.000 cm<sup>3</sup> y 140 g por m<sup>2</sup>, bar y 24 h). Las bandejas con los filetes se almacenaron a continuación bajo condiciones simuladas exposición para venta, a 4 °C por un tiempo de hasta 14 días, expuestas a una fuente de luz (12 h por día) provista de tubos fluorescentes dobles (34 W) colocados a una distancia de 1 m de la cara superior de las bandejas. Durante este almacenamiento las bandejas se rotaron en su posición cada dos días, ello con el fin de homogeneizar lo más posible las condiciones de iluminación entre las muestras. Con la iluminación se pretendió simular las

condiciones de almacenamiento en los expositores que se realizan en un supermercado para la venta de carne fresca. En los días 1, 3, 7 y 14 de almacenamiento se muestreó uno de los filetes. Después del muestreo, las muestras se cocinaron en una plancha de doble cara (precalentada a 220 °C) hasta alcanzar una temperatura central de 75 °C, siguiendo las directrices para procedimientos de cocción de AMSA (1995). Los filetes muestreados se congelaron a -50 °C, manteniéndose congelados (-50 °C) hasta su posterior análisis (compuestos volátiles). Este periodo no superó los 3 meses.

La segunda parte del experimento se desarrolló en tres etapas. La primera de ellas consistió en envasar a vacío uno de los dos músculos *Semitendinosus* enteros de cada animal, elegido aleatoriamente, utilizando una bolsa de 150 µm, con permeabilidad al oxígeno de 30 cm<sup>3</sup> / (m<sup>2</sup> × bar × 24 h), a 23 ° C y una humedad relativa del 0%, y almacenarlo en la oscuridad a 4 °C durante 21 días. En la segunda etapa, aquellos músculos recién obtenidos que no fueron almacenados a vacío o los músculos almacenados a vacío después de transcurridos los 21 días se cortaron siguiendo el mismo procedimiento que el descrito para los músculos *B. femoris* y las secciones proximal y distal fueron descartadas. Los cuatro filetes obtenidos a partir de la sección central fueron cocinados en una plancha de doble cara (precalentada a 220 °C) hasta alcanzar una temperatura central de 75 °C, siguiendo las directrices para procedimientos de cocción de AMSA (1995). En la tercera etapa, los filetes cocinados se almacenaron aeróbicamente a refrigeración envasados en bandejas de polipropileno, que se cubrieron con una película de cloruro de polivinilo como se describo anteriormente en la parte primera del experimento durante un total de 14 días tomando una muestra (filete) para su análisis a los días 1, 3, 7 y 14. Después del muestreo y de forma inmediata, las muestras fueron congeladas a -50°C hasta su análisis de compuestos volátiles. Este periodo no superó los 3 meses. Cabe señalar que en este experimento, no se utilizó iluminación durante el periodo de almacenamiento aerobio en bandejas, ya que en este se buscó simular las condiciones bajo refrigeración en hogares o en establecimientos del canal de hoteles, restaurantes y cafeterías (HORECA).

## 2.4. Análisis de los compuestos volátiles

Las muestras de carne se descongelaron durante 12 horas a temperatura de refrigeración (4 °C) y se picaron con una picadora doméstica. A continuación se colocaron 3 g de muestra picada en viales de 20 ml, añadiéndole 5 ml de agua destilada, 0,10 g de NaCl y 50 µl de una solución de BHT como antioxidante (1.2 g de BHT en 100 ml de metanol). Los viales se cerraron herméticamente con tapón metálico y con septo de silicona/teflón (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EEUU).

Los compuestos volátiles se determinaron con un cromatógrafo de gases GC 7890A (Agilent Technologies) acoplado a un detector de masas MS 5975C (Agilent Technologies), equipado con un inyector automático de espacio de cabeza estático CTC Combi PAL autosampler (CTC Analytics AG, Zwingen, Suiza). El análisis de los compuestos volátiles se realizó según se describe en el trabajo de Vieira *et al.* (2012). Se empleó una columna DB-5MS (60 m x 0,25 mm x d.i x 0.25 µm de grosor de película; J&W Scientific, Folsom, CA, EEUU) El gas portador fue Helio, con un flujo constante de 1,5 ml/min. Antes de la inyección, los viales se sometieron a un proceso de equilibrado a 60 °C, con agitación intermitente (750 rpm, 5 s en marcha, 2 s apagado) durante 40 minutos. Después se extrajeron 700 µl del gas del espacio de cabeza con una jeringa de 2,5 ml Combi PAL (CTC Analytics AG). La temperatura de la aguja fue de 100 °C y las velocidades de llenado e inyección fueron de 100 µl/s y 250 µl/s respectivamente. La temperatura del inyector se mantuvo a 260 °C en el modo de división de flujo 1:1. La temperatura del horno fue programada según se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Programación del horno para alcanzar la temperatura deseada

	Velocidad °C/min	°C	Tiempo de espera (min)	Tiempo de carrera (min)
Inicio		37	1	1
1	10	50	0	2,3
2	40	146	0	26,3
3	20	200	0	29
4	50	250	11	41

La temperatura del horno fue programada iniciando a 37 °C mantenidos por 1 min, siguiendo por incrementos lineales de temperatura 37 a 50 °C a 10 °C/min y después 146 °C a 40 °C/min, posteriormente a 200 °C a 20 °C/min y finalmente se mantuvo la temperatura a 250 °C a 50 °C/min durante 11 min. El espectrómetro de masas trabajo en el modo de impacto de electrones con una energía de 69.9 eV, una corriente de emisión de 50 µA y un rango de barrido de 40 a 150 *m/z*, realizando 10,68 barridos/s.

La identificación de los volátiles se llevó a cabo comparando los espectros de masas de los compuestos de las muestras con aquellos contenidos en la base de datos NIST/EPA/NIH-08 Mass Spectral Database, utilizando también la interpretación espectral personal y diversas referencias bibliográficas. Además, se utilizó una serie de *n*-alcanos, hidrocarburos de cadena lineal de 6 a 20 átomos de carbono (Hydrocarbons/C5-C20; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EEUU) para calcular los Índices de Retención Relativos (IRR) experimentales o índices de Kovats de cada compuesto y, cuando fue posible, la identificación de los volátiles fue confirmada por comparación de los valores de IRR experimentales con los valores de IRR recogidos en la bibliografía. La mezcla de *n*-alcanos inyectada se obtuvo adicionando en un vial con cierre hermético 1 ml de *n*-hexano y 50 µl de cada uno de los siguientes compuestos: *n*-hexano, *n*-heptano, *n*-octano, *n*-nonano, *n*-decano, *n*-undecano, *n*-dodecano, *n*-tridecano, *n*-tetradecano, *n*-pentadecano, *n*-hexadecano, *n*-

heptadecano, n-octadecano, n-nonadecano y n-eicosano. Se mezcló el contenido del vial y se inyectó en el cromatógrafo 1 µl de la mezcla en las mismas condiciones descritas para las muestras. Para calcular los IRR experimentales de cada uno de los compuestos detectados se empleó la siguiente fórmula descrita por David *et al.* (2002).

$$LRI = \frac{100 \times (t_{RX} - t_{RZ})}{(t_{RZ+1} - t_{RZ})} + (Z \times 100)$$

LRI = Tiempo de retención relativo o índice de Kovats.

Z = Número de carbonos del n-alcano precedente.

$t_{RZ+1}$  y  $t_{RZ}$  = Tiempos de retención obtenidos para los n-alcanos posterior y precedente al compuesto problema, respectivamente.

$t_{RX}$  = Tiempo de retención obtenido para el compuesto problema.

La cuantificación se basó en la comparación de las áreas de pico de los compuestos volátiles con las áreas obtenidas a partir de la inyección de cantidades conocidas de undecano, previamente disuelto en hexano y analizado bajo las mismas condiciones que las usadas para las muestras. La cantidad relativa de cada compuesto volátil se expresó como ng de undecano por gramo de muestra.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Volátiles durante el almacenamiento aerobio de filetes de carne cruda

Los volátiles generados en el espacio de cabeza por la carne de cordero en función de que las piezas fuesen o no maduras previamente a vacío (21 días) y del tiempo de almacenamiento aerobio de los filetes crudos se muestran en la Tabla 6. En total se detectaron 30 compuestos volátiles en el espacio de cabeza de la carne de cordero, considerando todos los tratamientos y tiempos de muestreo. Los compuestos volátiles se han agrupado en distintas familias químicas: alcanos, alquenos, aldehídos, cetonas, alcoholes, compuestos bencénicos, furanos y terpenoides. En general los compuestos más

abundantes fueron los aldehídos (destacando por su abundancia el hexanal), seguidos por los alcanos. El mecanismo más importante responsable de la formación de la mayoría de estos compuestos volátiles es la degradación térmica de lípidos por oxidación, hidrólisis y descarboxilación (Sivadier *et al.* 2008). La gran abundancia de aldehídos y alcanos coinciden con lo encontrado en otros estudios realizados en carne de rumiante (Tudela, 2006; Ruiz, 2012; Roldan *et al.*, 2015). Mottram (1998) también observó que los aldehídos con 6-10 átomos de carbono, son los principales compuestos volátiles de todas las carnes cocidas y, por lo tanto, por esto y dado su bajo umbral de percepción aromática sugirió que desempeñan un papel importante en el aroma de carne.

Los aldehídos de cadena lineal de tamaño medio, y el hexanal en particular, son considerados como compuestos principales responsables del sabor de la carne y se pueden utilizar como marcadores de la oxidación de lípidos (Heiniö *et al.* 2003; Elmore *et al.* 2005; Vasta y Priolo, 2006; Ma *et al.*, 2012). Cuando el hexanal alcanza valores muy elevados se le asocia a sabores rancios (Ma *et al.*, 2012). Este aldehído, junto con el octanal y el nonanal puede ser generado durante el cocinado de la carne o la oxidación lipídica a partir de ácido oleico, linoleico y araquidónico (Elmore *et al.*, 1999; Nieto *et al.*, 2011b). El heptanal se asocia con sabor picante y olor penetrante, mientras octanal tiene un sabor de frutas verdes (Heiniö *et al.* 2003; Nieto *et al.* 2011b).

En la Tabla se observa como el almacenamiento previo a vacío de las piezas de carne a vacío tuvo una influencia marcada sobre el perfil volátil de la carne. En este sentido, los subtotales de todas las familias químicas se vieron afectados ( $P < 0,05$ ). Las concentraciones de todas las familias de compuestos, excepto la de los aldehídos, fueron más abundantes en los filetes de cordero obtenidos de piezas que habían sido previamente envasadas a vacío. Considerando los compuestos individualmente la carne previamente envasada al vacío contuvo mayores cantidades de hexano, octano, 1-octeno, acetofenona, 3-metilbutanol, pentanol, hexanol, 2-etilhexanol, octenol, benzaldehído, benceno acetaldehído, 2-pentilfurano, borneol y el alcano y terpeno no identificados. Por el contrario, los aldehídos como grupo estuvieron

en mayor cantidad en los filetes de carne no envasada al vacío. Este comportamiento se observa en los aldehídos de cadena lineal como el hexanal, el volátil más abundante, y el octanal. No obstante, el aldehído ramificado 2-metilbutanal sigue la tendencia observada para la mayoría de compuestos volátiles, estando en mayor cantidad en la carne previamente envasada al vacío. Estos resultados se pueden resumir a grandes rasgos en lo siguiente: la mayoría de los volátiles incrementaron sus niveles con el envasado al vacío mientras que muchos de los aldehídos de cadena lineal, que como se indicó son derivados de la degradación de los lípidos, disminuyeron.

La razón del incremento en muchos de los compuestos volátiles se podría atribuir al menos parcialmente al efecto matriz. La maduración asociada al envasado al vacío implica una ruptura de la estructura muscular y probablemente facilita la salida de volátiles al espacio de cabeza desde los trozos de carne homogeneizada. También la maduración se asocia a un incremento de pH que podría facilitar dicha salida. Por otro lado, la maduración también implica mayor degradación de compuestos y por lo tanto mayor formación de volátiles.

Sin embargo, en el caso de los aldehídos la tendencia es contraria a la de los otros volátiles y el envasado al vacío fue responsable de menores niveles en el espacio de cabeza. Este hallazgo parece contradictorio si se tiene en cuenta que el tiempo facilita la oxidación lipídica. No obstante, la ausencia de oxígeno en el envasado al vacío podría ser responsable de una menor oxidación de las grasas durante el cocinado de la carne. También se ha de tener en cuenta, para explicar la tendencia de los aldehídos que estas sustancias son reactivas con otros componentes de la carne y tienden a degradarse con el tiempo (Shahidi y Pegg, 1994). Por lo tanto, parte de los aldehídos formados en la carne cruda podría haber reaccionado con otras sustancias durante el almacenamiento a vacío y por lo tanto se mostrarían menores niveles.

Cabe resaltar la diferencia entre carne no envasada al vacío y envasada al vacío en 2-metilbutanal, 3-metilbutanol y benceno acetaldehído que en carne

sin envasado al vacío prácticamente están ausentes o en muy pequeña cantidad y en carne envasada al vacío aparecen en mayores cantidades. Estos compuestos proceden de la reacción de Maillard y, concretamente de la degradación de Strecker, y son importantes contribuyentes en el aroma y sabor de la carne cocida (Mottram, 1998; Resconi, *et al.* 2013). El 2-metilbutanal y benceno acetaldehído se habrían generado como productos de degradación de Strecker teniendo en cuenta que 2-metilbutanal es uno de los aldehídos de Strecker junto con 2-metilpropanal y 3-metilbutanal (Elmore 2005) y benceno acetaldehído es un compuesto conocido como aldehído de Strecker, formado a partir de la degradación de fenilalanina en presencia de compuestos dicarbonilos (Huang y Ho, 2012). Al igual que en este estudio, Watanabe, *et al.* (2015) informaron de la presencia de volátiles procedentes de la degradación de Strecker en carne de vacuno cocinada previamente envasada al vacío y sugieren la importancia de la maduración en la formación de estos compuestos, con bajos umbrales de percepción y aromas característicos (Hidalgo y Zamora 2005).

El tiempo de almacenamiento aerobio de la carne cruda también mostró un efecto significativo sobre el perfil volátil de los filetes tras su cocinado. Por una parte se vieron afectados los grupos químicos de los alquenos, aldehídos y cetonas, aumentando los primeros y descendiendo los dos últimos. También se vieron afectados varios de los compuestos individuales ( $P < 0,05$ ): heptano, octano, nonano, alcano desconocido, 1-octeno, 1-undeceno, hexanal, octanal, nonanal, 2,3-octanodiona, 3-metilbutanol, 2-octenol y 2-etilhexanol. De estas observaciones cabe destacar por su importancia el aumento en hidrocarburos de cadena media-alta como el nonano y el undeceno, la disminución de los aldehídos de cadena lineal y la octanodiona y el aumento de los dos alcoholes. Debido a que el hexanal fue el compuesto más abundante, su evolución con el tiempo determinó la tendencia del total de los aldehídos y del total de los volátiles.

La interpretación de los resultados resulta difícil por su complejidad. En un principio, cabría esperar una formación de aldehídos de cadena lineal y

otros compuestos derivados de la oxidación lipídica durante el almacenamiento aerobio de los filetes de carne cruda. Sin embargo, los aldehídos de cadena lineal y otros compuestos derivados de la oxidación lipídica como la octanodiona disminuyeron. Esto indica que la formación de esos compuestos por oxidación habría sido inferior a su pérdida por reacción con otros compuestos de la carne o por evaporación. Por el contrario, algunos hidrocarburos también procedentes de la oxidación lipídica, experimentarían un balance neto positivo. Finalmente, la tendencia creciente continua de los alcoholes 3-metilbutanol y 2-etilhexanol, ambos procedentes de las actividad proteolítica y descomposición de aminoácidos vía degradación de Strecker (Ventanas *et al.*, 2003), permitiría sugerir su relación con el tiempo de almacenamiento aerobio en carne envasada al vacío (3-metilbutanol) no envasada al vacío (2-etilhexanol); pudiendo sugerirse como moléculas con uso potencial como indicadores de tiempo de almacenamiento aerobio de carne cruda.

El efecto de la interacción almacenamiento previo a vacío x tiempo de almacenamiento aerobio se observó para la suma de los alcanos, de los alquenos y de los aldehídos. Esta interacción se puede describir de forma breve en dos pautas: i) el incremento en alcanos y alquenos solo fue significativo ( $P < 0,05$ ) en la carne con almacenamiento previo a vacío y ii) el descenso en los aldehídos fue más débil en la carne previamente envasada al vacío, que presentó niveles iniciales (día 1 de exposición) menores que la que no fue envasada al vacío.

### **3.2. Volátiles generados durante el almacenamiento aerobio de filetes cocinados**

Los volátiles generados en el espacio de cabeza por los filetes de carne de cordero cocinada durante su almacenamiento en refrigeración (en estado cocinado), separados en función de que las piezas fuesen o no almacenadas previamente a vacío (21 días) se muestran en la Tabla 7. En total se detectaron 28 compuestos volátiles en el espacio de cabeza, generados por la carne de cordero cocinada con y sin previa maduración a vacío y almacenamiento

aerobio durante intervalos de tiempo (1, 3, 7 y 14 días), considerando todos los tratamientos y tiempos de muestreo. Los compuestos volátiles se han agrupado en distintas familias químicas: alcanos, alquenos, aldehídos, cetonas, alcoholes, compuestos bencénicos, furanos y terpenoides. Tal y como era de esperar, los compuestos detectados en los filetes cocinados almacenados aeróbicamente coincidieron con los volátiles de los filetes de carne almacenada en crudo. De esta forma, los compuestos más abundantes fueron los aldehídos (destacando por su abundancia el hexanal), seguidos por los alcanos.

No obstante lo dicho, a diferencia de lo observado en los filetes de carne almacenados crudos, el efecto del almacenamiento previo a vacío de las piezas de carne fue bastante moderado y solo se encontraron diferencias significativas en los alcoholes ( $P < 0,05$ ), que fueron más abundantes en los filetes de cordero obtenidos de piezas sin envasado previo a vacío. Esta diferencia se explica fundamentalmente por el hexanol, el alcohol más abundante en el espacio de cabeza, que presumiblemente proviene de la oxidación lipídica (Farmer, 1992) y, por lo tanto, se habría formado como producto de oxidación de la carne cocinada desde el primer día de almacenamiento, en mayor cantidad en carne de piezas no envasadas.

En relación a los compuestos procedentes de la reacción de Strecker (2-metilbutanal, 3-metilbutanol y etilhexanol; Elmore 2005), ocurrió lo mismo que lo dicho para el almacenamiento de carne cruda: hubo mayor cantidad de estos compuestos en la carne previamente envasada al vacío. También se observó efecto significativo del envasado previo en algún hidrocarburo pero de forma dispar; la cantidad de hexano fue mayor en carne envasada al vacío, mientras que la de nonano y 4-octano mostraron un comportamiento inverso.

El tiempo de exposición al aire de los filetes de carne cocinada no mostró efecto significativo sobre ningún subtotal de familias químicas. Individualmente, cinco volátiles se vieron afectados: heptano, nonano, 4-octeno, hexanal, 2,3-octanodiona y 2-octenol. Todos ellos procedentes de la oxidación lipídica. El heptano incrementó en la carne cocinada procedente de piezas envasadas a vacío y el 2-octenol en la carne de piezas no envasadas a

vacío. El resto, hexanal, octanodiona y 4-octeno presentaron fluctuaciones a lo largo del almacenamiento.

La carne cocinada se oxida a gran velocidad durante su almacenamiento (Zumalacárregui *et al.*, 2000). La oxidación genera una serie de compuestos secundarios entre los que cabe destacar los aldehídos de cadena lineal (Shahidi y Pegg, 1994; Roldan *et al.*, 2015). De entre ellos el hexanal es el aldehído más abundante y sus niveles se han sugerido como indicadores de oxidación lipídica durante los primeros días de almacenamiento de la carne (por ejemplo 2-3 días). En el presente estudio este compuesto presentó unos niveles máximos en el día 8 de almacenamiento para luego descender, observándose diferencias significativas en la carne previamente envasada al vacío. El incremento no obstante en los primeros días no fue tan marcado como el observado en otros estudios (Ahn *et al.*, 2007; Andrés *et al.*, 2014) en los que el hexanal muestra incrementos de hasta 10 veces con respecto a la cantidad inicial. La menor velocidad de oxidación puede ser debida a las condiciones del experimento, presencia de antioxidantes en la carne, integridad de la misma, baja temperatura, ausencia de luz, etc. El descenso en hexanal a partir del día 8 se debería a que la degradación del mismo (Shahidi y Pegg, 1994) superaría su formación.

Tabla 6. Efecto almacenamiento previo a vacío de la carne de cordero en pieza (*Bíceps femoris*) y del tiempo de almacenamiento refrigerado aerobio de los filetes de carne cruda obtenidos de la pieza (días, 1 a 14) sobre el contenido de compuestos volátiles en el espacio de cabeza (área del pico x 10<sup>-6</sup>)

	TRR	Sin almacenamiento al vacío previo				Con almacenamiento al vacío previo				EE	Nivel de P		
		1	3	7	14	1	3	7	14		A	T	A*T
<i>Alcanos</i>													
Hexano	600	1,95	1,67	1,06	1,03	7,70	5,86	7,36	11,37	1,75	*	NS	NS
Heptano	700	4,02 <sup>a</sup>	2,92 <sup>ab</sup>	2,31 <sup>b</sup>	1,90 <sup>b</sup>	2,85	2,51	2,64	3,45	0,23	NS	***	***
Octano	800	0,82	0,51	0,65	0,64	0,70 <sup>b</sup>	0,73 <sup>b</sup>	1,17 <sup>ab</sup>	1,52 <sup>a</sup>	0,09	**	***	***
Nonano	891	0,023	0,026	0,077	0,061	0,014 <sup>b</sup>	0,019 <sup>ab</sup>	0,047 <sup>ab</sup>	0,072 <sup>a</sup>	0,009	NS	***	NS
Alcano desconocido 57, 56(15), 41(13), 59(12), 97(9), 115(9), 58(8), 55(8), 71(8)	1040	ND	0,002	0,007	ND	0,112 <sup>a</sup>	0,131 <sup>a</sup>	0,069 <sup>ab</sup>	0,058 <sup>b</sup>	0,010	***	**	*
<i>Subtotal</i>		6,81	5,13	4,11	3,63	11,39 <sup>b</sup>	9,25 <sup>b</sup>	11,29 <sup>b</sup>	16,47 <sup>a</sup>	1,94	**	NS	***
<i>Alquenos</i>													
1-Hepteno	690	ND	ND	ND	ND	0,16	ND	0,043	0,63	-	-	-	-
1-Octeno	787	ND	ND	ND	0,010	0,18 <sup>b</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,033	**	*	**
3-Octeno	812	ND	0,011	0,033	0,034	ND	ND	0,018	0,008	-	-	-	-
4-Octeno	813	0,078	0,077	0,074	0,12	0,004	0,031	0,070	0,096	0,017	NS	NS	NS
Undeceno	1092	ND	ND	0,005	0,035	0,040 <sup>b</sup>	0,01 <sup>b</sup>	0,269 <sup>ab</sup>	0,947 <sup>a</sup>	-	ND	*	*
<i>Subtotal</i>		0,078	0,088	0,11	0,20	0,35 <sup>b</sup>	0,22 <sup>b</sup>	0,55 <sup>b</sup>	1,76 <sup>a</sup>	0,14	***	***	***

CAPÍTULO 3. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO A VACÍO EN FILETES DE CORDERO SOBRE LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE SU POSTERIOR ALMACENAMIENTO AEROBIO A REFRIGERACIÓN

*Aldehídos*

2-Metil-butanal	656	ND	ND	0,23	0,27	1,52	2,41	1,77	2,79	0,26	***	NS	NS
Hexanal	802	34,85 <sup>a</sup>	27,44 <sup>b</sup>	18,93 <sup>c</sup>	14,84 <sup>c</sup>	18,31 <sup>a</sup>	12,72 <sup>ab</sup>	9,45 <sup>b</sup>	8,17 <sup>b</sup>	1,37	***	***	*
Heptanal	903	0,97	0,82	0,61	0,45	0,92	0,63	0,65	0,89	0,11	NS	NS	NS
Octanal	1004	1,48 <sup>a</sup>	1,46 <sup>ab</sup>	1,26 <sup>ab</sup>	1,05 <sup>b</sup>	1,22	0,97	1,02	0,91	0,069	**	**	NS
Nonanal	1106	0,75	0,68	0,49	0,45	1,04 <sup>a</sup>	0,74 <sup>ab</sup>	0,61 <sup>b</sup>	0,55 <sup>b</sup>	0,06	NS	***	NS
<i>Subtotal</i>		38,05 <sup>a</sup>	30,40 <sup>a</sup>	21,52 <sup>bc</sup>	17,05 <sup>c</sup>	23,01 <sup>a</sup>	17,47 <sup>ab</sup>	13,50 <sup>b</sup>	13,30 <sup>b</sup>	1,58	***	***	**

*Cetonas*

2,3-Octanodiona	985	0,29	0,18	0,19	0,17	0,31 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,15 <sup>ab</sup>	0,048 <sup>b</sup>	0,035	NS	***	NS
Acetofenona	1071	0,083	0,11	0,13	0,094	0,37	0,28	0,35	0,34	0,021	***	NS	NS
<i>Subtotal</i>		0,37	0,29	0,31	0,26	0,67 <sup>a</sup>	0,51 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>	0,39 <sup>b</sup>	0,05	***	***	NS

*Alcoholes*

3-Metil-butanol	735	ND	ND	ND	ND	0,014 <sup>c</sup>	0,11 <sup>c</sup>	0,54 <sup>bc</sup>	0,71 <sup>ab</sup>	0,11	*	*	*
Pentanol	767	0,13	0,17	0,076	0,064	0,31	0,23	0,14	0,25	0,038	*	NS	NS
Hexanol	868	0,021	0,008	0,043	0,153	0,26	0,21	0,35	0,26	0,054	*	NS	NS
Heptanol	970	0,039	0,043	0,046	0,043	0,053	0,056	0,066	0,048	0,013	NS	NS	NS
2-Octenol	980	0,35	0,33	0,32	0,31	0,44 <sup>a</sup>	0,45 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	0,33 <sup>b</sup>	0,039	NS	*	NS
2-Etil-hexanol	1029	0,037 <sup>c</sup>	0,14 <sup>ac</sup>	0,14 <sup>bc</sup>	0,29 <sup>a</sup>	0,27	0,26	0,35	0,43	0,020	***	***	NS
Octenol	1066	ND	ND	ND	ND	0,020	0,031	0,071	0,076	0,012	***	NS	NS
<i>Subtotal</i>		0,58	0,68	0,63	0,86	1,39	1,35	2,03	2,10	0,17	***	NS	NS

*Compuestos bencénicos*

Tolueno	766	0,020	ND	0,017	0,010	0,067	0,010	0,016	0,014	0,008	NS	NS	NS
Benzaldehído	966	0,064	0,066	0,071	0,076	0,29	0,24	0,24	0,32	0,011	***	NS	NS

CAPÍTULO 3. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO A VACÍO EN FILETES DE CORDERO SOBRE LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE SU POSTERIOR ALMACENAMIENTO AEROBIO A REFRIGERACIÓN

Benceno acetaldehído	1047	ND	ND	ND	ND	0,044	0,045	0,062	0,047	0,016	*	NS	NS
<i>Subtotal</i>		0,083	0,066	0,088	0,086	0,39	0,29	0,34	0,37	0,021	***	NS	NS
Furanos													
2-Pentil-furano	990	0,44	0,44	0,40	0,55	1,24	0,94	1,04	1,16	0,11	***	NS	NS
<i>Terpenoides</i>													
Borneol	1172	0,020	0,036	0,030	ND	0,45	0,28	0,34	0,35	0,042	***	NS	NS
Terpenoide desconocido 93, 95(71), 121(65), 55(53), 91(37), 136(36), 94(30), 79(28), 77(26)	1389	0,074	0,065	0,073	0,003	1,1	0,60	0,86	0,83	0,12	***	NS	NS
<i>Subtotal</i>		0,10	0,10	0,10	0,004	1,54	0,88	1,21	1,17	0,16	***	NS	NS
<b>Total</b>		<b>46,5<sup>a</sup></b>	<b>37,20<sup>ab</sup></b>	<b>27,28<sup>bc</sup></b>	<b>22,64<sup>c</sup></b>	<b>39,97</b>	<b>30,92</b>	<b>30,44</b>	<b>36,74</b>	<b>3,35</b>	<b>NS</b>	<b>***</b>	<b>***</b>

TRR: Tiempo de retención relativo.

EE: Error estándar.

P: Probabilidad; NS, no significativo; #,  $P < 0,1$ ; \*,  $P < 0,05$ ; \*\*,  $P < 0,01$ ; \*\*\*,  $P < 0,001$ .

A: Almacenamiento previo a vacío; T: Tiempo de almacenamiento aerobio; A\*T: Interacción entre el tipo de almacenamiento (sin y con etapa de almacenamiento al vacío previo) y el tiempo de almacenamiento en aire.

<sup>abc</sup>Ninguna letra en común indica diferencias ( $P < 0,05$ ) entre medias de una misma fila dentro de cada tipo de almacenamiento (prueba de Fisher LSD).

- No fue posible realizar el análisis de varianza (una variable dependiente no presentó varianza).

ND: No detectado (área de pico  $\times 10^{-6} < 0,05$ ).

Tabla 7. Efecto almacenamiento previo a vacío de la carne de cordero en pieza (semitendinoso) y del tiempo de almacenamiento refrigerado aerobio de los filetes de carne cocinada obtenidos de la pieza (días, 1 a 14) sobre el contenido de compuestos volátiles en el espacio de cabeza (área del pico x 10<sup>-6</sup>)

	TRR	Sin almacenamiento al vacío previo				Con almacenamiento al vacío previo				EE	Nivel de P		
		1	3	7	14	1	3	7	14		A	T	A*T
<i>Alcanos</i>													
Hexano	600	4,38	5,34	3,42	5,26	5,55	14,01	10,36	16,59	1,21	***	#	NS
Heptano	700	6,28	6,14	5,89	7,11	3,87 <sup>a</sup>	3,60 <sup>a</sup>	4,08 <sup>ab</sup>	7,79 <sup>a</sup>	0,607	#	*	NS
Octano	800	2,30	2,34	1,98	2,15	1,70	1,02	1,34	2,30	0,37	NS	NS	NS
Nonano	891	0,16	0,21	0,17	0,39	0,01	0,02	0,05	0,14	0,03	***	*	NS
Alcano desconocido 57, 56(15), 41(13), 59(12), 97(9), 115(9), 58(8), 55(8), 71(8)	1040	0,020	0,029	0,011	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
<i>Subtotal</i>		13,12	14,02	11,45	14,91	10,38	18,65	17,45	17,88	1,53	NS	NS	NS
<i>Alquenos</i>													
1-Hepteno	690	0,13	ND	0,38	0,33	0,09	0,17	ND	0,07	-	-	-	-
1-Octeno	787	ND	0,048	ND	0,164	0,048	0,038	0,033	0,043	0,031	NS	NS	NS
3-Octeno	812	ND	ND	0,006	0,007	0,010	0,017	0,013	0,095	0,015	NS	NS	NS
4-Octeno	813	0,17 <sup>b</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,03	0,11	0,05	0,10	0,02	***	*	NS
Undeceno	1092	0,044	0,055	0,013	0,149	ND	ND	ND	0,067	0,018	*	#	NS
<i>Subtotal</i>		0,31	0,51	0,17	0,55	0,21	0,18	0,73	0,42	0,10	NS	NS	NS
<i>Aldehídos</i>													
2-Metil-butanal	656	0,09	0,69	0,38	0,42	0,85	2,44	0,88	1,57	0,26	***	NS	NS

CAPÍTULO 3. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO A VACÍO EN FILETES DE CORDERO SOBRE LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE SU POSTERIOR ALMACENAMIENTO AEROBIO A REFRIGERACIÓN

Hexanal	802	26,06	28,64	39,61	28,88	22,90 <sup>b</sup>	17,94 <sup>b</sup>	36,58 <sup>a</sup>	14,62 <sup>b</sup>	4,23	NS	*	NS
Heptanal	903	0,81	0,85	1,33	1,02	0,73	0,69	0,92	0,61	0,14	NS	NS	NS
Octanal	1004	1,19	1,05	1,46	1,25	0,86	1,41	1,33	0,97	0,16	NS	NS	NS
Nonanal	1106	0,69	0,85	1,14	0,82	0,52	0,50	0,73	0,55	0,16	NS	NS	NS
<i>Subtotal</i>		28,84	32,08	43,93	32,38	26,25	24,88	41,33	18,20	3,53	NS	#	NS
<i>Cetonas</i>													
2,3-Octanodiona	985	0,24 <sup>b</sup>	0,39 <sup>b</sup>	0,52 <sup>a</sup>	0,33 <sup>b</sup>	0,32 <sup>b</sup>	0,20 <sup>b</sup>	0,47 <sup>a</sup>	0,34 <sup>b</sup>	0,06	NS	*	NS
Acetofenona	1071	0,078	0,078	0,087	0,091	0,088	0,060	0,063	0,082	0,010	NS	NS	NS
<i>Subtotal</i>		0,32	0,47	0,61	0,42	0,38	0,32	0,42	0,28	0,05	NS	NS	NS
<i>Alcoholes</i>													
2-Metil-butanol	735	0,08	0,19	ND	0,27	0,06	0,21	0,18	1,07	-	-	-	-
Pentanol	767	0,63	0,48	0,47	0,46	0,26	0,48	0,46	0,55	0,08	NS	NS	#
Hexanol	868	4,34	4,06	2,72	2,80	0,89	1,91	1,42	3,07	0,75	#	NS	NS
Heptanol	970	0,105	0,100	0,080	0,091	0,048	0,079	0,069	0,115	0,018	NS	NS	NS
2-Octenol	980	0,46	0,56	0,56	0,58	0,24 <sup>b</sup>	0,33 <sup>ab</sup>	0,51 <sup>ab</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,04	#	***	#
2-Etil-hexanol	1029	ND	0,010	0,015	0,028	0,028	0,027	0,072	0,052	0,007	***	#	NS
<i>Subtotal</i>		5,61	5,41	3,85	4,23	1,66	2,78	3,41	3,62	0,641	*	NS	NS
<i>Compuestos bencénicos</i>													
Tolueno	766	0,044	0,199	0,035	0,030	0,017	ND	0,055	ND	0,030	NS	NS	NS
Benzaldehído	966	0,038	0,047	0,044	0,062	0,043	0,090	0,029	0,047	0,010	NS	NS	NS
<i>Subtotal</i>		0,081	0,246	0,079	0,091	0,047	0,075	0,076	0,031	0,021	#	NS	NS

CAPÍTULO 3. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO A VACÍO EN FILETES DE CORDERO SOBRE LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE SU POSTERIOR ALMACENAMIENTO AEROBIO A REFRIGERACIÓN

<i>Furanos</i>													
2-Pentil-furano	990	0,66	1,19	0,73	0,73	0,68	0,83	0,79	0,48	0,15	NS	NS	NS
<i>Terpenoides</i>													
Borneol	1172	0,070 <sup>ab</sup>	0,075 <sup>ab</sup>	0,033 <sup>b</sup>	0,098 <sup>a</sup>	0,005	0,010	0,075	0,021	0,012	#	NS	***
Terpenoide desconocido 93, 95(71), 121(65), 55(53), 91(37), 136(36), 94(30), 79(28), 77(26)	1389	0,11 <sup>b</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,084 <sup>b</sup>	0,39 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,21 <sup>ab</sup>	0,36 <sup>a</sup>	0,11 <sup>ab</sup>	0,03	NS	NS	*
<i>Subtotal</i>		0,18 <sup>b</sup>	0,18 <sup>b</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,48 <sup>a</sup>	0,035	0,16	0,33	0,08	0,04	#	NS	***
Total		49,12	54,11	60,93	53,80	39,64	47,88	54,53	35,00	3,72	#	NS	NS

TRR: Tiempo de retención relativo.

EE: Error estándar.

P: Nivel de probabilidad; NS, no significativo; #,  $P < 0,1$ ; \*,  $P < 0,05$ ; \*\*,  $P < 0,01$ ; \*\*\*,  $P < 0,001$ .

A: Almacenamiento (sin o con etapa de almacenamiento a vacío previo); T: Tiempo de almacenamiento aerobio; A\*T: Interacción entre el tipo de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento en aire.

<sup>abc</sup>Ninguna letra en común indica diferencias ( $P < 0,05$ ) entre medias de una misma fila dentro de cada tipo de almacenamiento (prueba de Tukey).

- No fue posible realizar el análisis de varianza (una variable dependiente no presentó varianza).

ND: No detectado (área de pico  $\times 10^{-6} < 0,05$ ).

## REFERENCIAS

- Ahn, J., Grün, I. U., & Mustapha, A. (2007). Effects of plant extracts on microbial growth, color change, and lipid oxidation in cooked beef. *Food Microbiology*, 24, 7-14.
- AMSA (1995). Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. Chicago, IL: American Meat Science Association in cooperation with National Live Stock and Meat Board.
- Andrés, S., Huerga, L., Mateo, J., Tejido, M. L., Bodas, R., Morán, L., Prieto, N., Rotolo, L., & Giráldez, F. J. (2014). The effect of quercetin dietary supplementation on meat oxidation processes and texture of fattening lambs. *Meat Science*, 96, 806-811.
- Calkins, C. R., & Hodgen J. M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, 77, 63-80.
- David, F., Scanlan, F., Sandra, P., & Szelewski, M. (2002). Analysis of essential oil compounds using retention time locked methods and retention time databases, Application. Food and flavors. Agilent Technologies, Inc. Santa Clara, C. EEUU. Págs. 1-10.
- Duckett, S. K., & Kuber, P. S. (2001). Genetic and nutritional effects on lamb flavor. *Journal of Animal Science*, 79, 249-259.
- Elmore, J. D., Mottram, D. S., Enser, M., & Wood, J. D. (1999). Effect of polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1619–1625.
- Elmore, J. S., Mottram, D. S., Enser, M., & Wood, J. D. (2000). The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb. *Meat Science*, 55, 149–159.

- Elmore, J.S., Cooper, S.L., Enser, M., Mottram, D.S., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Wood, J.D. (2005). Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb. *Meat Science*, 69, 233-242.
- Farmer, L. J., & Mottram D. S., (1992). Effect of Cysteine and Ribose on the Volatile Thermal Degradation Products of a Triglyceride and Three Phospholipids. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 60, 489-497.
- Fernández, J., Pérez Álvarez, J. A., & Fernández López, J. A. (1997). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chemistry*, 59, 345-353.
- Font i Furnols, M., San Julián, R., Guerrero L., Sañudo, C., Campo, M. M., Olleta, J. L., Oliver, M. A., Cañeque, V., Ivarez, I. A., Díaz, M. T., Branscheid, W., Wicke, M., Nute, G.R., & Montossi, F. Acceptability of lamb meat from different producing systems and ageing time to German, Spanish and British consumers. *Meat Science*, 72, 545-554.
- Gorráiz, C., Berian, M. J., Chasco, J., & Insausti, K. (2002). Effect of aging time on volatile compounds, odor, and flavor of cooked beef from Pirenaica and Friesian bulls and heifers. *Journal of Food Science*, 67, 916-922.
- Gray, J. I., Gooma, E. A., & Buckley, D. J. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, S111-S123.
- Heiniö, R. L., Katina, K., Wilhelmson, A., Myllymäki, O., Rajamäki, T., Latva-Kala, K., Liukkonen, K. H., & Poutanen, K. (2003). Relationship between sensory perception and flavour-active volatile compounds of germinated, sourdough fermented and native rye following the extrusion process. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, Food Science and Technology*, 36, 533–545.

- Hidalgo, F.J., Zamora, R. (2005). Interplay between the Maillard reaction on lipid peroxidation in biochemical systems. *Annals New York Academic Science*, 1043,319-326
- Huang, T., & Ho, C. (2012). Flavors and flavor generation of meat products. In Y.H. Hui (Ed.), *Handbook of Meat and Meat Processing* (pp. 107–137) (2<sup>nd</sup> ed.). Florida: CRC Press.
- Insausti, K., Goñi, V., Petri, E., Gorraiz, C, Beriain, M.J. (2005). Effect of weight at slaughter on the volatile compounds of cooked beef from Spanish cattle breeds. *Meat Science*, 70,83-90.
- Ladikos, D., & Lougovois, V. (1990). Lipid oxidation in muscle foods: A review. *Food Chemistry*, 35, 295-314.
- Lee, K. G., & Shibamoto T. (2002). Determination of antioxidant potential of volatile extracts isolated from various herbs and spices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4947-52.
- Macleod, G. (1998). The flavor of beef. In: F. Shahidi (Ed.). *Flavor of Meat, Meat Products and Seafoods*. (2<sup>nd</sup> edition). Suffolk, UK: Blackie Academic and Professional.
- Mottram, D. S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: A review. *Food Chemistry*, 62,415-424.
- Nieto, G., Bañón, S., Garrido, M. D. (2011a). Effect of supplementing ewes' diet with thyme (*Thymus zygis* ssp. *gracilis*) leaves on the lipid oxidation of cooked lamb meat. *Food Chemistry*, 125, 1147-1152.
- Nieto, G., Estrada, M., Jordán, M. J., Garrido, M. D., & Bañón, S. (2011b). Effect in ewe diet of rosemary by-product on lipid oxidation and the eating quality of cooked lamb under retail display conditions. *Food Chemistry*, 124, 1423-1429.

- Pearson, A. M., Love, J. D., & Shorland, F. B. (1977). "Warmed-over" flavour in meat, poultry and fish. *Advances in Food Research*, 23, 1–74.
- Pegg, R. B., & Shahidi, F. (2007). Off flavors and rancidity in foods. In: *Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality*. (Pp. 217-228). Iowa, USA: Blackwell Publishing.
- Resconi, V.C., Escudero, A., & Campo, M.M. (2013). The development of aromas in ruminant meat. *Molecules*, 18, 6748–6781.
- Roldán, M., Ruiz, J., Sánchez del Pulgar, J., Pérez Palacios, T., & Antequer, T. (2015). Volatile compound profile of sous-vide cooked lamb loins at different temperature–time combinations. *Meat Science*, 100, 52–57.
- Ruiz., M. (2012). Efecto de la alimentación en el perfil aromático de la carne cocinada de cordero de la raza navarra. Tesis Ingeniero Agrónomo, 129 pp.
- Shahidi, F. (1994). Flavor of meat and meat products-an overview. In F. Shahidi (Ed.), *Flavor of Meat and Meat Products*. London: Blackie Academic and Professional.
- Shahidi, F., & Pegg, R. B. (1994). Hexanal as an indicator of the flavor deterioration of meat and meat products. *ACS symposium series*, 558, 18-29.
- Sivadier, G., Ratel, J., Bouvier, F., & Engel, E. (2008). Authentication of meat products: Determination of animal feeding by parallel GC-MS analysis of three adipose tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 9803–9812.
- Stetzer, A. J., Cadwallader, K., Singh, T. K., Mckeith, F. K., & Brewer, M. S. (2008). Effect of enhancement and ageing on flavor and volatile compounds in various beef muscles. *Meat Science*, 79, 13-19.

- Tudela, R. 2006. Perfil aromático de la carne de cordero de Raza Navarra. Tesis Ingeniero Agrónomo.
- Vasta, V., & Priolo, A. (2006). Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. *Meat Science*, 73, 218–228.
- Ventanas, S., Ventanas, J., Estevéz, M., Ramirez, R., Cava, R. (2003). Deterioro de la carne fresca de cerdo durante la refrigeración: cambios en el perfil de ácidos grasos y generación de compuestos volátiles. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 346, 47-53.
- Vieira C., Fernández-Diez A., Mateo J., Bodas R., Soto, S., & Manso, T. (2012). Effects of addition of different vegetable oils to lactating dairy ewes' diet on meat quality characteristics of suckling lambs reared on the ewes' milk. *Meat Science*, 91, 277-283.
- Watanabe, A., Kamada, A., Imanari, M., Shiba, N., Yonai, M., Muramoto, T. (2015) Effect of aging on volatile compounds in cooked beef. *Meat Science*, 107, 12-19.
- Wrolstad, R. E., Acree, T. E., Decker., Penner, M. H., Reid, D. S., Schwartz, S. J., Shoemaker, C. F., Smith, D., & Sporns, P. (2005). Lipid oxidation/stability. In: *Handbook of food analytical chemistry: water, proteins, enzymes, lipids and carbohydrates*. (Pp, 513-564). New Jersey, USA: Wiley and Sons,.
- Zumalacárregui Rodríguez, J. M., Domínguez, M. C., & Mateo, J. (2000). *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 19, Nº 3, 67-71

## **CAPÍTULO 4**

**Efecto del tipo de almacenamiento: refrigeración aerobia, vacío y congelación, sobre la calidad de la carne de cordero lechal**

## CAPÍTULO 4

### Índice

	Página
Resumen	128
1. Introducción	130
2. Material y métodos	133
2.1 Muestras	133
2.2 Plan experimental	134
2.2.1. <i>Tratamientos de almacenamiento</i>	134
2.2.2 <i>Preparación de las muestras y análisis realizados</i>	135
2.3 Análisis de laboratorio	137
2.3.1 <i>Análisis realizados en carne cruda: pH, capacidad de retención de agua, color</i>	137
2.3.2 <i>Parámetros evaluados en la carne cocinada: Textura, análisis sensorial y oxidación lipídica</i>	139
3. Resultados y discusión	144
3.1 Color de las piernas enteras y de los filetes obtenidos de las mismas	144
3.2 Valor de pH, capacidad de retención de agua de la carne cruda	152
3.3 Textura, oxidación y valoración sensorial de la carne de lechal cocinada	155
Referencias	161
Anexo I	167

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado cómo el almacenamiento de la carne de cordero lechal afecta a sus características de calidad. Se estudiaron 3 tipos de almacenamiento: aerobio durante 7 días (TA), envasado al vacío por 3 semanas (TV) y congelación de 3 meses (TC), que se compararon con carne control (C), utilizando 32 piernas de cordero lechal, 8 por tratamiento. Al terminar el almacenamiento, sobre la carne cruda se determinó el pH, capacidad de retención de agua (CRA) y color, y sobre la carne cocinada la textura, estabilidad oxidativa y valoración sensorial. Además, una pieza de carne (la tapa) obtenida de las piernas de cada tratamiento fue sometida a un almacenamiento adicional en aerobiosis de 72 horas con el fin de ver cómo se comportaba el color, el pH y la CRA tras ese periodo.

En relación a la carne cruda, la carne congelada presentó menor luminosidad y CRA, el almacenamiento aerobio incrementó el índice de amarillos y el almacenamiento a vacío el pH con respecto a la carne control. Durante el almacenamiento aerobio de las tapas (72 h) empeoró considerablemente el color de los filetes (más marrones y menos rojos) debido a la oxidación del pigmento, siendo este empeoramiento menos notorio en los filetes de las piernas almacenadas a vacío. También se observó un aumento en el pH. Con respecto a la carne cocinada, la carne control presentó una tendencia hacia mayor dureza y masticabilidad. No se observaron diferencias significativas en la valoración sensorial de la carne en función al tipo de almacenamiento; no obstante, hubo una correlación significativa entre aceptabilidad sensorial y dureza instrumental. Finalmente, la estabilidad a la oxidación de la carne de lechazo cocinada fue menor en carne previamente envasada al vacío que en la carne control y del resto de tratamientos.

## ABSTRACT

Meat flavour is related to its volatile profile, and both change with storage time. Thus, the evolution of volatile compounds was determined during aerobic storage of raw and cooked lamb meat. *Biceps femoris* and *semitendinosus* muscles were taken from the legs of 11 lambs reared under the same system. Those from one side of the carcasses were vacuum-packed and stored for 21 days, while those from the other were not. Then, the meat from the stored muscles were filleted. Steaks from the *biceps femoris* were stored raw on trays under aerobic conditions, while those from the *semitendinosus* were cooked and stored on trays under aerobic conditions. Headspace sampling was performed on steaks at days 1, 3, 7 and 14 of aerobic storage to determine the volatile compound content, using gas chromatography coupled to mass spectrometry. Previous vacuum-packed storage had a significant effect on the volatile profile of the lamb meat, and this was more marked in the meat stored raw than in the cooked meat. The main difference was a higher quantity of volatile compounds derived from the Strecker degradation (2-methylbutanal, 3-methylbutanol, benzene acetaldehyde and 2-ethylhexanol) in previously vacuum-packed meat. On the other hand, lower levels of linear-chain aldehydes, indicators of oxidation, were also observed in steaks from previously vacuum-packed raw meat. Increasing storage time of raw meat resulted in a loss of aldehydes and ketones. Conversely, the two compounds that showed a clear increase during storage of raw meat were 3-methylbutanol in previously vacuum-packed meat and in 2-ethylhexanol in non-vacuum-packed meat. The volatile profile of cooked meat presented changes in various compounds, including a significant increase in linear-chain aldehydes and 2-octenol during the first 8 days of storage in vacuum-packed meat.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el área Mediterránea de Europa y específicamente en Castilla y León, así como en otras regiones de dicha área, la carne de cordero lechal se considera típica y tradicional. En estas zonas, el cordero lechal se produce en explotaciones de ovino de aptitud láctea en régimen semi-intensivo cuando se trata de razas autóctonas, o en régimen intensivo cuando se trata de razas de alta producción láctea, como la Assaf (Sañudo *et al.*, 1998).

A la carne de cordero lechal se le considera una carne de alta calidad en las regiones donde más se produce, prefiriéndose en mayor medida que la carne de corderos de más peso (Bernabéu y Tendero, 2005). Desde un punto de vista comercial se valoran positivamente las canales con buena conformación y más concretamente una riñonada amplia y llena y unos contornos ligeramente redondeados, y con un grado de engrasamiento en superficie y riñonada medio-alto (Comunicación personal, Directora Técnica de la Asociación Nacional de Ovino de Raza Castellana). Además, el consumidor aprecia en la carne de cordero lechal el color claro y una reducida intensidad en el sabor, características que son propias de los animales jóvenes (Díaz, 2001). En distintos trabajos se ha descrito la carne de cordero lechal como carne con alta humedad, bajo contenido en grasa, color pálido-rosado, sabor suave y alta ternura (Gorráiz *et al.*, 2000; Martínez-Cerezo *et al.*, 2005; Teixeira *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2007).

Justificado en su calidad y tradición, la carne de cordero lechal en Castilla y León cuenta con una Marca de Calidad amparada por Unión Europea: Indicación Geográfica Protegida (IGP) “Lechazo de Castilla y León” desde 1999 (Reglamento CE nº 2107/1999 de la Comisión de 4 de octubre de 1999). En el reglamento de esta IGP se dice que las canales han de tener un peso, sin cabeza ni asadura, de entre 4,5 y 7 kg, han de haber sido obtenidas de animales con 20 a 35 días de edad, alimentados exclusivamente con leche materna y pertenecientes a las razas locales Churra, Castellana y Ojalada o sus cruces. En el mencionado reglamento de la IGP también se indica que el

color de la carne ha de ser nacarado o rosa pálido, la carne será muy tierna, con escasa infiltración grasa, gran jugosidad y textura suave.

Son diversos los estudios realizados para conocer cómo afectan diferentes factores de producción a la calidad de la carne de cordero lechal, como el peso, la raza, el sexo o la alimentación. Así se ha encontrado que a pesar de la corta edad de los animales el peso, la raza o el sexo pueden afectar a la cantidad de grasa intramuscular, el pH o el color de la carne (Sañudo *et al.*, 1997; Martínez-Cerezo *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2007; Miguélez *et al.*, 2008). También se ha visto como la alimentación de los lechazos con leche materna vs maternizada, o incluso el tipo de alimentación de las ovejas lactantes, pueden modificar las características de la carne de los corderos lechales: perfil lipídico, contenido en tocoferol, compuestos volátiles, percepción sensorial (Osorio *et al.*, 2007; Osorio *et al.*, 2008; Revilla *et al.*, 2009; Wilches *et al.*, 2011; Vieira *et al.*, 2012).

También se han encontrado estudios sobre el efecto de los tratamientos *post-mortem* en matadero sobre la calidad de la carne de cordero lechal. Así, Fernández y Vieira (2012) estudiaron el efecto de la velocidad de enfriamiento de las canales sobre la calidad de la carne, recomendando el enfriamiento lento sobre el rápido por generar este primero una carne más tierna sin afectar ni a las pérdidas de peso, ni a la calidad higiénica. Por otra parte, Vergara *et al.* (2005) y Linares *et al.* (2008) estudiaron el efecto del aturdimiento con CO<sub>2</sub> frente a otras formas de aturdimiento convencionales sobre la calidad de la carne de los corderos lechales, encontrando que este método produjo una carne más tierna y con menos petequias musculares.

Al respecto del efecto del almacenamiento de la carne de cordero lechal su calidad, a pesar de su importancia, la investigación realizada parece ceñirse a unos pocos trabajos. Cabe decir que, en España, esta carne, como la carne de ovino en general, suele comercializarse fresca, en establecimientos minoristas, dentro del periodo comprendido entre los pocos días posteriores al sacrificio de los animales (MARM, 2010). En este sentido, en el reglamento de la IGP Lechazo de Castilla y León, anteriormente mencionado, se indica que,

después del oreo, que se realizará en cámaras a 4 °C hasta el día siguiente del sacrificio, las canales en los mataderos o salas de despiece deben de conservarse en cámaras de refrigeración a 1 °C por un periodo máximo de 5 días y el periodo máximo de comercialización no debe superar los 8 días desde el sacrificio, conservando la cadena del frío. No obstante lo dicho, también se encuentra en el mercado una parte de la carne de cordero lechal envasada al vacío, en atmósferas modificadas o congelada, con una vida útil superior a 8 días.

Son tres los estudios encontrados en la bibliografía especializada internacional sobre almacenamiento de carne de lechazo. Bórnez et al. (2009; 2010) estudiaron el efecto del almacenamiento, hasta 21 días, en dos atmósferas modificadas diferentes ( $O_2+CO_2$  vs  $N_2+CO_2+CO$ ). En estos trabajos se encontró que el tipo de atmósfera tuvo un efecto significativo sobre el color de la carne, aunque no sobre la capacidad de retención de agua, pH o crecimiento microbiano. Por otra parte, Osés et al. (2015) determinaron el efecto de la composición de la atmósfera usada para el almacenamiento de la carne de cordero lechal (aire, atmósferas con o sin oxígeno, o con mayor o menor proporción de  $CO_2$  - 30 vs 85%) sobre el crecimiento microbiano y vida útil de dicha carne. Los autores concluyeron que la atmósfera que más alargó la vida útil de la carne de cordero lechal fue la que contuvo alto porcentaje de  $CO_2$  (un 85%). A parte de estos estudios, no se han podido encontrar en la bibliografía más estudios que traten del efecto del almacenamiento sobre la calidad de la carne de cordero lechal. Específicamente, parece no haberse estudiado nada sobre el envasado al vacío o la congelación sobre la calidad de la carne de cordero lechal.

No obstante, hay estudios específicos del efecto de la congelación y el vacío sobre la carne de corderos de mayor edad a la de los lechales. Así Muela et al. (2015) estudiaron el efecto de la congelación sobre la carne de corderos de aproximadamente 4 meses de vida, observando que los consumidores valoraban mejor la carne fresca, aunque la diferencia de calidad entre carne fresca y congelada no fue suficientemente marcada como para rechazar la

compra de carne congelada. En relación al envasado al vacío, Berruga et al. (2005) indicaron que el envasado al vacío (de carne de cordero de unos 25 kg de peso vivo), frente al envasado en atmósferas modificadas con CO<sub>2</sub> y con o sin O<sub>2</sub>, retrasó la oxidación de la carne y mantuvo una mejor estabilidad del color rojo, aunque el crecimiento microbiano fuese más rápido en la carne envasada al vacío.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo de investigación ha sido estudiar el efecto que tiene el almacenamiento de la carne de cordero lechal de raza autóctona de Castilla y León sobre las características de calidad de la misma (pH, capacidad de retención de agua, color, textura, estabilidad oxidativa y valoración sensorial). Se estudiaron 3 tipos de almacenamiento comunes en la práctica comercial: aerobio durante 7 días, envasado al vacío durante 3 semanas y congelación durante 3 meses, que se compararon con carne control (sin almacenamiento).

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Muestras**

Se utilizaron 32 piernas de cordero lechal con un peso promedio de 717 g procedentes de corderos de raza Churra, machos y hembras, cuyas canales fueron clasificadas en matadero en la categoría primera, con un peso aproximado de 5-6 kg sin cabeza ni asadura. Las piernas se adquirieron por compra en tres carnicerías conocidas, en 8 días diferentes y con un número inferior a 6 piernas por día. Siempre se indicó como requisito compra que los animales hubiesen sido sacrificados dos días antes de la adquisición. Las piernas pertenecían siempre a distintos animales. Se contó para la gestión de la compra con la colaboración del personal laboral y socios de las asociaciones de ganaderos de raza Churra y Castellana (Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra, ANCHE, y Asociación Nacional de Ovino de Raza Castellana, ANCA). Las piernas se transportaron al laboratorio en condiciones de refrigeración entre 0-6 °C. Al llegar al laboratorio las piernas se cubrieron de film plástico y se conservaron en refrigeración a 4°C durante 24

horas, de forma que en el momento del análisis el tiempo post-mortem fue de 3 días. En el momento del análisis las piernas se perfilaron cortando la parte de músculo abdominal que pudiesen tener adherido, el epiplón situado en su superficie y el rabo y, después, se pesaron.

## **2.2 Plan experimental**

### **2.2.1. Tratamientos de almacenamiento**

Se diseñaron 3 tratamientos de almacenamiento de las piernas simulando condiciones de almacenamiento en el mercado, establecimientos de restauración u hogares, y se agregó un tratamiento control (C): sin almacenamiento. Las 32 piernas de cordero lechal fueron asignadas a uno de los cuatro tratamientos experimentales de forma aleatoria pero condicionada a que de ser posible al menos 2 y no más de 3 piernas de cada día de compra fuesen asignadas a un mismo tratamiento. Este criterio fue tomado para organizar y facilitar el trabajo posterior.

Un tratamiento consistió en el almacenamiento de la carne en condiciones aerobias, cubierta de una película plástica con alta permeabilidad al oxígeno (TA). Las 8 piernas asignadas al tratamiento fueron envueltas en una película de polietileno de 8,5  $\mu\text{m}$  de grosor, permeable al oxígeno (4000 ml por  $\text{m}^2$  cada 24 h a temperatura ambiente y diferencia de presión de una atm), y se almacenaron refrigeradas a 4  $^{\circ}\text{C}$  en oscuridad durante 7 días.

Otro tratamiento consistió en envasar las piernas a vacío (TV). Las piernas se envasaron a vacío en bolsas de poliamida y polietileno PA/PE, 30/120 de 150  $\mu\text{m}$  de espesor con baja permeabilidad al oxígeno (30 ml por  $\text{m}^2$  a 23  $^{\circ}\text{C}$  cada 24 h y con diferencia de presión de una atm y una humedad relativa del 0%), y se conservaron en refrigeración y en oscuridad a 4  $^{\circ}\text{C}$  durante 21 días.

Finalmente, el otro tratamiento consistió en congelar las piernas (TC). Las piernas se envolvieron en una película de polietileno igual a la usada en el

tratamiento TA y se congelaron a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , manteniéndose congeladas a esa temperatura durante 90 días.

### **2.2.2. Preparación de las muestras y análisis realizados**

Sobre las piernas, en el laboratorio, antes de iniciar el tratamiento de almacenamiento se determinó el pH en el músculo *Semimembranosus*, el color en la superficie del músculo *Gracilis*, sobre la fascia, retirando en caso necesario la grasa subcutánea (ver Figura 2.1).

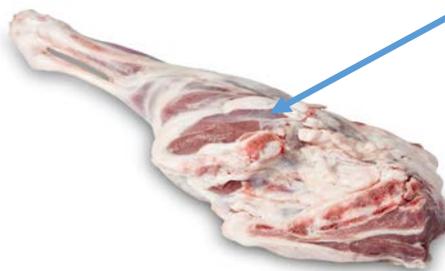


Figura 2.1. Lugar de medida del color de la carne de la pierna.

Posteriormente, acabado el tratamiento de almacenamiento, de las piernas se determinó el color en la superficie del músculo *Gracilis* y se extrajo el bloque muscular correspondiente a la tapa, compuesta principalmente por los músculos *Semimembranosus*, *Aductor* y *Gracilis*, (en el caso de la congelación las piernas se descongelaron antes a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 12 horas). Este bloque muscular se colocó apoyado por su parte más plana sobre una tabla de corte y fue seccionado a la mitad de forma transversal a su eje mayor. Una de las partes fue utilizada para hacer análisis inmediatos y la otra fue cubierta con la película plástica de polietileno antes mencionada y almacenada a  $4^{\circ}\text{C}$  en oscuridad durante 72 horas, simulando un almacenamiento de carne en pieza pequeña en un establecimiento de venta al por menor o en un frigorífico. Para cada bloque muscular, cada mitad fue asignada a análisis inmediato o bien a almacenamiento de forma aleatoria.

Las determinaciones que se llevaron a cabo en la carne cruda justo en día de finalización del tratamiento de almacenamiento a vacío, congelación, maduración, o en el primer día de análisis en el caso de las muestras control, fueron los siguientes: medida del pH y capacidad de retención de agua (CRA) en el músculo *Semimembranosus*, determinación del color en la superficie del músculo *Gracilis* (tal y como fue explicado anteriormente) y determinación del color en la superficie de un corte de un filete obtenido de la tapa. Posteriormente, tras las 72 horas de almacenamiento en la tapa se determinó el pH y la CRA en el músculo *Semimembranosus* y el color en la superficie de un filete de la tapa.

La parte restante de cada pierna (la pierna entera sin la tapa) se envolvió en una película de polietileno de las características mencionadas anteriormente, con tres capas, se congeló en un abatidor de temperatura a -40 °C de forma rápida y las piernas congeladas se mantuvieron a -25 ° durante un periodo inferior a 3 meses, hasta un par de semanas antes de la realización de los análisis en carne cocinada, cuando las piernas, de seis en seis, se descongelaron a 4 °C durante 12 horas y se asaron sobre dos bandejas en un horno con aire forzado a 180 °C hasta alcanzarse en el interior una temperatura de 80 °C determinada con termómetro de punción. Durante el asado se cambió cada 15 min y de forma alternativa la posición de la bandeja en el horno y la cara expuesta al aire de la pierna para hacer más homogéneo el proceso de asado, que duró aproximadamente 80 min. Acabado el asado las piernas se dejaron enfriar durante 15-30 min. Transcurrido ese tiempo se separaron los bloques musculares correspondientes, por una parte, a la babilla (músculo *Quádriceps femoris*) y, por otra, a la contra (músculo *Biceps femoris*) junto con el redondo (músculo *Semitendinosus*). Los dos bloques musculares de cada pierna se envasaron a vacío de forma individual y se congelaron a -25 °C hasta la realización de los análisis de carne cocida por un periodo inferior a 15 días.

Los análisis realizados en carne asada fueron los siguientes: análisis sensorial, para lo que se utilizó la babilla, análisis de perfil de textura, realizado en la contra, y determinación de la estabilidad oxidativa de las grasas mediante

el método de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), utilizando el redondo.

## **2.3 Análisis de laboratorio**

### **2.3.1 Análisis realizados en carne cruda: pH, capacidad de retención de agua, color**

#### **Determinación del pH**

Se utilizó un pHmetro Crisson (Modelo GLP 22, Barcelona, España) provisto de un electrodo de punción (Modelo 52-32; Crison), insertándolo en una hendidura practicada en la carne (músculo *Semimembranosus*). La medida se realizó por duplicado.

#### **Capacidad de retención de agua (CRA)**

La capacidad de retención de agua se puede definir como la aptitud de la carne para mantener ligada su propia agua, incluso bajo la influencia de fuerzas externas (presión, calor, etc.), o también como la aptitud para fijar agua añadida (Swatland, 1991). Existen varios métodos efectivos que determinan la CRA pero la decisión de su uso depende de diversas circunstancias incluyendo el tiempo requerido, coste inicial, adaptabilidad, tipo de producto a ser medido y propósito del estudio. En el presente trabajo debido principalmente a la cantidad escasa de muestra se utilizó el método de compresión sobre papel filtro. La versión original de este método la desarrollaron Grau y Hamm (1957). En este estudio usaremos una modificación de este método de acuerdo al siguiente procedimiento. Se tomó una muestra de 10 g de carne la parte central del músculo *Semimembranosus* borde del bistec cortado, a partir de ella se pesaron, por duplicado, hilachas de aproximadamente 0,3 g de carne magra, cortada de la parte interna de la muestra de análisis, intentando que el corte fuera paralelo a la dirección de las fibras musculares. Las hilachas de carne de cada muestra se colocaron sobre un papel filtro para análisis cualitativo de 7 cm de diámetro, marca Papelera del Besos, Ref 500), pesado previamente, que fue doblado por la mitad para que la carne fuera cubierta por el papel en su parte inferior y superior. Se colocó el papel filtro con la muestra entre dos

placas de vidrio y se sometió a compresión con una pesa de 1 kg durante 10 min. Transcurridos los 10 min se pesaron cada una de las muestras en balanza de precisión, luego se retiró la carne y se pesó el papel filtro con el jugo expulsado. Las pesadas se realizaron en balanza de 4 decimales.

La capacidad de retención de agua (CRA) se expresa como porcentaje de jugo expulsado mediante la siguiente fórmula  $\% \text{ Jugo liberado} = 100 \times (\text{Peso del papel filtro con el jugo que expulsó la carne} - \text{Peso Inicial del papel filtro}) / (\text{Peso del papel de filtro con la muestra de carne} - \text{Peso Inicial del papel filtro})$ .

### **Determinación del color de la carne**

Las medidas de color se realizaron en dos localizaciones distintas de las piernas. Una, como se explicó antes, fue sobre la superficie externa del músculo *Gracilis* con la pierna entera, por triplicado. La otra fue en filetes obtenidos de la tapa tal y como se explica a continuación. Tras extraer el bloque muscular de la tapa de las piernas sometidas a almacenamiento y de las piernas control, como se describió anteriormente se procedió a la división de la tapa en dos mitades, una para análisis inmediato y otra para análisis después de 72 h de almacenamiento aerobio a refrigeración. De cada mitad de la tapa se obtuvo un filete de 2 cm de forma paralela al corte de sección al que se sometió a este bloque muscular. El color se determinó sobre la superficie recién cortada del filete, inmediatamente después del corte y a los 60 min del corte, con la superficie de la carne no oxigenada y oxigenada, respectivamente. La medida se realizó por triplicado en tres localizaciones distintas de la parte más central del filete, evitando los bordes (considerando borde la zona comprendida a partir de 1 cm de distancia al exterior del filete).

El equipo utilizado para cuantificar el color de la carne fue un colorímetro de reflectancia Konica Minolta CM-700d/600d (Osaka, Japón). Las mediciones se realizaron considerando un espacio tridimensional en los ejes  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (índice de rojos y verdes) y  $b^*$  (índice de amarillos y azules) (CIE, 1986). Las condiciones de configuración del instrumento fueron las siguientes: ángulo estándar del observador de  $10^\circ$ , iluminante D65, modo SCI,

11 mm de apertura de iluminación y 8 mm de diámetro de medida. El colorímetro fue calibrado con la placa blanca de calibración proporcionada en el equipo.

Si se representan en un espacio circular los valores de  $a^*$  y  $b^*$ , el valor del parámetro  $a^*$  (en el eje de abscisas) varía desde -60 (verde) a +60 (rojo); la coordenada  $b^*$  (en el eje de ordenadas) también varía entre los valores -60 (azul) a +60 (amarillo). El centro de este espacio es acromático y a medida que los valores de los índices  $a^*$  y  $b^*$  se incrementan, el punto que representa al color se aleja del centro y la saturación de dicho color aumenta. La coordenada  $L^*$  varía entre -100 (negro) y +100 (blanco) y se sitúa perpendicularmente al espacio cromático definido por  $a^*$  y  $b^*$ , formando así una esfera en la que se puede representar un color determinado mediante las tres coordenadas obtenidas de la lectura del colorímetro. Relacionando estos parámetros, mediante las fórmulas que se exponen a continuación, se obtienen los valores de saturación y tonalidad del color (Hunter y Harold, 1987).

$$\text{Saturación} = [(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$$

$$\text{Tonalidad} = [\arctang (b^*/a^*) \times 57,29]$$

### ***2.3.2 Parámetros evaluados en la carne cocinada: Textura, análisis sensorial y oxidación lipídica***

#### **Análisis de perfil de Textura**

La textura de la carne cocinada se determinó mediante un método mecánico de compresión, realizado con un texturómetro SMS TA-XT2i (Texture Technologies, Westchester county, NY, EEUU), basándose en el análisis de perfil de textura (TPA), propuesto por Szczesniak (1963), adaptado por Bourne (1978). El TPA consiste en definir la textura como un atributo multiparamétrico. Como parámetros de textura se calcularon: dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad. La dureza corresponde a la fuerza máxima ejercida por la sonda cilíndrica en su recorrido en profundidad de la muestra. La elasticidad se relaciona con el grado en el que el alimento recupera altura durante el tiempo que transcurre entre la primera y la segunda compresión y se calcula como el

ratio entre los tiempos de segundo y primer ciclo. La cohesividad se define como el ratio entre las áreas de segundo y primer ciclo y mide la desintegración de la muestra bajo una acción mecánica de compresión. Finalmente, la masticabilidad se calcula como el producto de dureza x cohesividad x elasticidad, y se refiere a la cantidad de energía requerida para masticar un alimento sólido. No se expresa con unidades.

Para el análisis de dichos parámetros se tomaron tres prismas de carne obtenidos de la parte central de contra (músculo *Biceps femoris*) cocinada y mantenida durante 1 día en refrigeración. Los prismas se obtuvieron de la cabeza mayor del músculo, descartando la parte más exterior del mismo (al menos 2 mm). Las medidas se realizaron a temperatura ambiente (20 °C). Los parámetros instrumentales fueron los siguientes: velocidad de la sonda preensayo, ensayo y retorno: 10; 0,5 y 10 mm/s; distancia de compresión: 80% de la altura; fuerza de *trigger*: 0,2 N; diámetro sonda: 75 mm (sonda SMSF 75); tiempo de espera entre ciclos: 6 s; peso para calibración de fuerza de 5 kg.

### **Análisis sensorial de las muestras**

Se realizó un análisis sensorial descriptivo del sabor y la textura de las muestras de carne de cordero lechal sometidas a los diferentes tratamientos de almacenamiento realizados. En cuanto al sabor, los parámetros evaluados fueron intensidad de sabor a cordero (sabor típico de la carne de cordero), intensidad de sabor atípico (cualquier sabor diferente al de carne fresca cocinada) y la deseabilidad del sabor (grado de adecuación del sabor de la muestra con el sabor esperable de la carne de cordero lechal fresca y de buena calidad). En cuanto a la textura, los parámetros evaluados fueron la jugosidad (sensación de liberación de jugo en la boca), la facilidad para fracturar la muestra (esfuerzo o masticaciones necesarias para fracturar la muestra hasta que esté lista para ser deglutida) y la deseabilidad de la textura (grado de adecuación de la textura de la muestra con la textura de la carne de cordero lechal fresca y de buena calidad).

El análisis se realizó con 16 catadores, estudiantes del último curso de veterinaria, familiarizados con el consumo de cordero lechal (condición cumplida si la frecuencia de consumo de esta carne era más de 6 veces al año). La mitad de los catadores realizó el análisis de sabor y la otra mitad el de textura. Los catadores fueron entrenados en dos sesiones de 2 horas.

Para el entrenamiento se utilizó la carne asada de 3 piernas de cordero lechal de raza Churra, con denominación de origen IGP Lechazo de Castilla y León y con tiempo post-mortem de 3 días. Las piernas fueron asadas según el procedimiento descrito anteriormente (sección 2.2.2.), que fue el mismo utilizado para las muestras de análisis. De las piernas asadas se extrajeron los bloques musculares correspondientes a la contra, la babilla y la tapa. Las piezas se rebanaron obteniendo filetes de 4 mm de grosor. Se juntaron los filetes de cada pierna y se dividieron de dos partes iguales, una para cada sesión de entrenamiento. Los filetes así separados se envasaron a vacío y se conservaron a refrigeración durante un máximo de 48 horas. Para su uso en las sesiones de entrenamiento los filetes se calentaron en las bolsas en baño maría a 55 °C antes de ser probados por los catadores.

En la primera sesión de entrenamiento se explicaron las características de calidad de la carne de cordero asada, con énfasis en las características del sabor y la textura que iban a ser analizadas. Se probaron los filetes de carne de lechazo obtenidos para el entrenamiento fijándose en las características comentadas. Todos los catadores probaron filetes de cada una de las tres piernas. Las muestras de entrenamiento se utilizaron como referencia de ausencia de sabor atípico. También esas muestras junto con la experiencia de los catadores en el consumo de lechazo se utilizaron como referencia para un alto grado de adecuación del sabor y textura a lo esperable en una carne de cordero lechal de calidad asada. Se estableció que la carne de cordero lechal debía de tener un sabor suave y textura moderadamente blanda y jugosa. En la segunda sesión se habló del análisis sensorial descriptivo y se comentaron las fichas de cata que se iban a usar en los análisis (ANEXO 1). También se probó otra vez la carne de las muestras de entrenamiento repasando lo visto en la

anterior sesión y puntuando las muestras en la escala. La cata se llevó a cabo en la sala de catas normalizada del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTAL) de la Universidad de León en dos sesiones, una para el sabor y otra para la textura, realizadas en el mismo día de forma sucesiva y en ese orden.

Las muestras utilizadas para el análisis consistieron en filetes obtenidos de la babilla (músculo *Quadriceps femoris*) de las piernas de los corderos lechales de los tres diferentes tratamientos de almacenamiento y del tratamiento control. Los músculos se extrajeron inmediatamente después de asar las piernas de los corderos en un horno como se describió previamente (sección 2.2.2.). Una vez extraídos, los músculos fueron envasados individualmente a vacío y congelados a -35 °C hasta que se realizó el análisis (por un tiempo máximo de 2 meses). Antes del análisis los músculos se descongelaron durante 12 horas a 4 °C y se rebanaron en filetes de 4 mm, empleando para el análisis solo los filetes de la mitad proximal de la pieza, ya que la distal presenta una elevada presencia de tendones. Los filetes de las piezas de cada tratamiento se juntaron todos y se colocaron en dos platos, los filetes de uno de los platos se usaron para el análisis del sabor y los del otro para el de textura. Los platos se cubrieron con papel aluminio. Antes de cada análisis, los filetes de cada tratamiento se colocaron sobre un plato caliente (50 °C) que se cubrió con papel aluminio y se mantuvo en un horno de aire estático durante 20-30 min.

El análisis se realizó en cabinas separadas para cada catador y con luz verde para enmascarar el color de la carne. La prueba se realizó por duplicado. Los catadores tenían en su cabina un vaso con agua y pan tostado para ingerir entre muestra y muestra. A los catadores se les sirvió en cada prueba un plato de plástico con 4 pares de filetes, uno por tratamiento, codificados con dígitos de tres cifras. El orden de presentación de los pares de filetes en el plato fue alterado entre platos y consumidores como resultado de un diseño en bloques balanceado (cada orden posible de muestras se evaluó a ser posible un mismo número de veces). Se pidió a los catadores que probaran las muestras

empezando por la colocada en la parte superior del plato (donde estaba escrito el número de catador) y siguiendo las agujas del reloj, pudiendo probar los dos filetes del par si fuese necesario y se permitió no ingerir la muestra si así se deseaba. Los catadores evaluaron las características de las muestras en escala de 1 a 6 (ANEXO 1), en la que 1 es ausencia de la propiedad y 6 es propiedad muy marcada.

### **Determinación de la estabilidad oxidativa mediante análisis de sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS)**

El día anterior a la realización de los análisis de TBARS se descongeló la pieza completa (contra y redondo) de cada pierna. Se retiró el músculo semitendinoso y este músculo se dividió transversalmente en dos mitades, una mitad se utilizó para hacer el análisis de TBARS en ese mismo momento y la otra se almacenó a refrigeración (4 °C) durante 48 h para posteriormente hacer en análisis de TBARS y poder establecer el grado de oxidación durante el almacenamiento. La preparación de la mitad de músculo para su conservación consistió en dividir esa mitad en dos partes iguales de forma longitudinal para aumentar la superficie expuesta al aire, colocar los dos trozos en una bandeja poliespan con las superficies de corte hacia arriba, envolver las bandejas con película de polietileno permeable al oxígeno de las características antes mencionadas.

Las TBARS se determinaron mediante espectrofotometría de acuerdo al método descrito por Nam y Ahn (2003), con ligeras modificaciones, tal y cómo se describe a continuación. Una cantidad de 2 g de carne picada de cada una de las muestras de los diferentes tratamientos, a tiempo 0 y 48 horas de almacenamiento fue homogeneizada con 20 ml de agua ultrapura en un homogeneizador Ultra Turrax marca IKA modelo T18 basic (E斯塔芬, Alemania). Se tomó 1 ml del homogenizado previamente pasado por un colador y se transfirió a un tubo añadiéndose inmediatamente 50 µl de una solución alcohólica de 2,3 Di-ter-butyl-4-metilfenol (7,2%) con el fin de detener la oxidación durante la preparación de las muestras y se mezclaron cada uno de los homogeneizados por agitación con 2 ml de solución de ácido tiobarbitúrico

0,02 M en ácido tricloroacético al 15%. Posteriormente, los tubos se introdujeron en un baño de agua a 80 °C durante 20 min para el desarrollo del color. A continuación, los tubos se retiraron del baño de agua, se enfriaron con agua durante 10 minutos, se agitaron, se centrifugaron a 5 °C durante 20 min a 3000 rpm y se transfirió el sobrenadante a una jeringa que contenía fibra de vidrio para su filtración hacia una cubeta donde finalmente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Milton Roy Spectronic 401, EEUU) a 531 nm. La absorbancia se utilizó para calcular la cantidad de TBARS, que se expresaron como ppm de malondialdehído, a partir de una curva patrón, realizada con una solución de cantidades crecientes de 1,1,3,3-tetra-etoxi-propano (TEP), siguiendo el mismo procedimiento de análisis que el de las muestras.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Color de las piernas enteras y de los filetes obtenidos de las mismas

En la Tabla 1 se muestra el efecto del tratamiento de almacenamiento de las piernas de cordero lechal sobre las características del color de las mismas, determinadas en la superficie del músculo *Semimembranosus* a los 60 min después de retirar la película plástica utilizada en el almacenamiento. Se puede observar como el tipo de tratamiento aplicado influyó significativamente sobre la luminosidad ( $P < 0,05$ ) y sobre el cociente  $R_{630}/R_{580}$  ( $P < 0,01$ ). La luminosidad en las piernas almacenadas a congelación fue menor que en las de los otros dos tratamientos de almacenamiento, aunque no se diferenció del control. En cuanto al cociente  $R_{630}/R_{580}$  las piernas almacenadas a refrigeración aerobia y a congelación mostraron valores significativamente menores que los obtenidos en la pierna control (pierna sin almacenamiento). Sin embargo, las piernas almacenadas a vacío dieron valores similares a las piernas control.

Los resultados obtenidos en cuanto al descenso en la luminosidad asociado a la congelación son los que cabría esperar, ya que según (Palombo y Wijngaards, 1990 y Sayas 1997) este parámetro se ve afectado por la integridad de la estructura muscular, aumentando su valor. En las piernas

congeladas y, posteriormente, descongeladas la integridad de la estructura muscular a nivel tisular estaría deteriorada como consecuencia de la acción física de los cristales de hielo formados durante el periodo de congelación y los fenómenos de desnaturalización.

Por otra parte, el cociente  $R_{630}/R_{580}$  está relacionado con el contenido en metamioglobina de la carne de forma que un menor valor en el cociente indica un mayor contenido en metamioglobina y consecuentemente menor enrojecimiento (AMSA, 2012). De esta forma se puede inferir que durante el almacenamiento de las piernas en aerobiosis durante 7 días y durante la congelación se ha producido la oxidación de parte del Fe de la mioglobina (responsable del menor cociente  $R_{630}/R_{580}$  observado en estas piernas con respecto a las piernas control), que no se habría producido durante el almacenamiento a vacío.

La coordenada  $L^*$ , junto con la coordenada  $a^*$ , son las más relacionadas con la valoración visual del consumidor (Murray *et al.*, 1989; Hopkins *et al.*, 1996 y Callejas Cárdenas *et al.*, 2014). En estos trabajos se han establecido valores mínimos de  $L^*$  por debajo de los cuales la apreciación del color de la carne se ve especialmente disminuido (valores próximos a 40). En el lechazo esta  $L^*$  es especialmente importante ya que se valoran las carnes claras sobre las oscuras. Por este motivo, desde un punto de vista comercial y considerando solo este parámetro las piernas descongeladas tendrían menor aceptación visual que las almacenadas a refrigeración (aerobia o a vacío).

Tabla 1. Efecto del almacenamiento<sup>x</sup> de las piernas de lechazo sobre las características del color en su superficie (músculo *Semimembranoso*) a los 60 min posteriores de retirar el envase

Tratamientos	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	P
<i>L</i> <sup>*</sup>	42,88 ± 2,20 <sup>ab</sup>	43,12 ± 2,42 <sup>b</sup>	45,24 ± 3,91 <sup>b</sup>	40,00 ± 2,59 <sup>a</sup>	*
<i>a</i> <sup>*</sup>	7,65 ± 2,33	8,02 ± 1,34	6,76 ± 2,11	6,23 ± 1,54	NS
<i>b</i> <sup>*</sup>	11,61 ± 3,02	10,78 ± 2,50	8,76 ± 3,59	8,80 ± 2,50	NS
<i>Croma</i>	13,98 ± 3,45	13,48 ± 2,21	11,29 ± 3,70	10,94 ± 2,13	NS
<i>Tono</i>	56,45 ± 6,43	52,56 ± 7,95	51,59 ± 9,46	53,91 ± 10,52	NS
<i>R</i> <sub>630</sub> / <i>R</i> <sub>580</sub> <sup>#</sup>	2,53 ± 0,33 <sup>b</sup>	2,06 ± 0,20 <sup>a</sup>	2,43 ± 0,49 <sup>b</sup>	1,99 ± 0,18 <sup>a</sup>	**
<i>a</i> <sup>*</sup> / <i>b</i> <sup>*</sup>	0,67 ± 0,17	0,79 ± 0,24	0,83 ± 0,28	0,77 ± 0,31	NS

# Cociente entre la reflectancia a 630 nm y a 580 nm

<sup>x</sup> Tratamientos: Cl: Control, piernas refrigeradas a las 48 h *post mortem*; TA: Piernas almacenadas a refrigeración con película permeable al oxígeno durante 7 días; TV: Piernas envasadas a vacío almacenadas a refrigeración durante 21 días; TC: Piernas almacenadas a congelación durante 3 meses.

P: Nivel de probabilidad; NS: No significativo; \*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ;

<sup>ab</sup>: Valores de cada fila sin ninguna letra en común presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ; prueba LSD de Fisher).

En la Tabla 2 se muestran los efectos del almacenamiento previo de la pierna entera y del posterior almacenamiento aerobio a refrigeración de la tapa (pieza obtenida de la pierna) sobre las características del color en la superficie de filetes obtenidos de la tapa a los 60 min después del corte. También se muestran los cambios en el color entre el momento del corte (min 0) y los 60 min después del corte (min 60) (enrojecimiento por exposición al aire) a partir de los incrementos  $\Delta a^*$ ,  $\Delta E$  y  $\Delta R_{630}/R_{580}$ .

Antes del almacenamiento aerobio de la tapa (con la tapa recién despiezada de la pierna) se puede observar como el tipo de almacenamiento previo de la pierna influyó significativamente sobre alguna de las características del color de los filetes de tapa. En primer lugar, el almacenamiento de las piernas influyó sobre la luminosidad ( $P < 0,05$ ). La luminosidad de los filetes de tapa de la pierna almacenada a congelación presentó valores significativamente menores de  $L^*$  que la de los filetes de tapa de las piernas control (sin almacenamiento). Este efecto ya se observó y discutió al hablar del color de las piernas enteras y se atribuye a la desestructuración (por ejemplo la separación celular) del músculo, mediada por la congelación. En cuanto a los parámetros de enrojecimiento ( $a^*$ ,  $a^*/b^*$ ,  $R_{630}/R_{580}$  y Tono; AMSA, 2012) los filetes de tapa no presentaron diferencias significativas entre tratamientos de almacenamiento de las piernas. Con respecto a los parámetros  $b^*$  (índice de amarillo) y Croma se observó que los filetes de tapa de las piernas sometidas a almacenamiento aerobio (TA) presentaron valores significativamente mayores ( $P < 0,05$ ) que los de las piernas control. Ese aumento de  $b^*$  sería el principal responsable del cambio del Croma (intensidad de color) ya que en el cálculo de su valor interviene  $b^*$ , estando ambos parámetros relacionados. En estudios previos con carne de vacuno u ovino (Boakey y Mittal, 1996; Dunne *et al.*, 2011; Ponnampalam *et al.*, 2013) se ha observado como la maduración de la carne a vacío o en canal resultó en un incremento en los valores de  $b^*$ . En esos estudios no se ha dado una explicación del mecanismo responsable de esta relación positiva entre tiempo de maduración y  $b^*$ . En el presente estudio el efecto de la maduración fue significativo en el caso del almacenamiento aerobio, pero no lo fue en el de almacenamiento a vacío.

El almacenamiento aerobio de piezas o trozos de carne obtenidos de la canal, o de un corte primario de la misma, es una práctica común en los establecimientos de venta de carne. Las canales o los cortes primarios, almacenados previamente o no, se despiezan para la venta, pero la venta puede no ser inmediata y por lo tanto las piezas tienen que ser almacenadas. Esta situación justifica el planteamiento del experimento de almacenar la tapa en aerobiosis durante un periodo corto de tiempo (72 horas) y comparar su aptitud tecnológica con respecto a la no almacenada.

Al estudiar el color de los filetes de tapa obtenidos después de su almacenamiento aerobio (72 h) se observó como el tipo de almacenamiento previo de las piernas influyó significativamente sobre el color. Este efecto fue más marcado que el descrito para los filetes de tapa recién despiezada (antes de su almacenamiento aerobio). La luminosidad de los filetes de las piernas almacenadas previamente, con indiferencia del tipo de almacenamiento, fue menor que la obtenida para los filetes control. Este oscurecimiento estuvo acompañado con un aumento en los valores de  $a^*$  y  $b^*$  así como en la cantidad de color (Croma), que en general fueron mayores en los filetes de tapa de piernas almacenadas que en los de pierna control. Las diferencias en el color de los filetes entre la carne control y la carne almacenada se pueden atribuir a un mayor paso de luz (menor dispersión) en los filetes de la tapa cuyas piernas fueron almacenadas, en los que el almacenamiento habría producido una mayor separación celular (Lindahl *et al.*, 2001).

En cuanto a los parámetros relacionados con el color rojo ( $a^*$ ,  $a^*/b^*$ ,  $R_{630}/R_{580}$  y Tono) se observaron diferencias en los valores de  $a^*$  (índice de rojos) y en el cociente  $R_{630}/R_{580}$  (inversamente relacionado con el porcentaje de metamioglobina). Los filetes de tapa procedentes de las piernas almacenadas a refrigeración aerobia y a vacío presentaron un mayor valor de  $a^*$  que los filetes de las piernas control. Por su parte, el valor del cociente  $R_{630}/R_{580}$  fue significativamente mayor en los filetes de las piernas almacenadas a vacío que en los de las piernas control y de los otros tratamientos de almacenamiento. De este resultado se deduce que la superficie

de la carne almacenada previamente a vacío tendría menos metamioglobina, menos hierro hémico oxidado, que el resto (AMSA, 2012).

Comparando el cociente  $R_{630}/R_{580}$  entre los filetes obtenidos antes y después del almacenamiento aerobio de las tapas se aprecia cómo dichos valores fueron considerablemente menores tras el almacenamiento ( $P < 0,001$ ). Esto indica que durante el mismo se produjo en las tapas una gran oxidación irreversible de la mioglobina a metamioglobina, que fue algo menor en los filetes de tapa de piernas almacenadas a vacío. La oxidación del pigmento cárnico podría estar relacionada con un avance en la oxidación lipídica (Faustman *et al.*, 2010) o también con una pérdida de la capacidad de reducción de la metamioglobina de la carne (Mancini y Hunt, 2005), durante el almacenamiento aerobio de las tapas. Los valores de  $R_{630}/R_{580}$  encontrados en los filetes del presente estudio antes del almacenamiento aerobio de las tapas estuvieron cerca o fueron ligeramente inferiores de 3,3-3,5. Este estrecho rango ha sido considerado como punto de corte para la aceptabilidad del color (rojo) de la carne de cordero, de forma que valores inferiores implican rechazo (Khliji *et al.*, 2010; Jacob *et al.*, 2014). No obstante, este corte ha sido propuesto para carne de corderos de cebo y no sería aplicable a la carne de cordero lechal por ser más blanca. En cualquier caso los bajos valores obtenidos después de almacenar las tapas, muy inferiores a 3, denotan una considerable pérdida de color rojo en favor del marrón (causado por un alto % de metamioglobina) y por lo tanto una pérdida de calidad del color de los filetes (AMSA, 2012). Esta pérdida en calidad del color es menos drástica cuando la pierna se almacenó previamente a vacío.

Finalmente, con respecto a la variación del color (enrojecimiento) de los filetes de tapa entre el momento de corte (min 0) y los 60 min después ( $\Delta a^*$ ,  $\Delta E$ ,  $\Delta R_{630}/R_{580}$ ) se observó lo siguiente: Antes del almacenamiento aerobio de la tapa, los valores de  $\Delta a^*$  y  $\Delta R_{630}/R_{580}$  fueron mayores en los filetes de piernas almacenadas, con independencia del tratamiento, que en los controles ( $P < 0,05$ ). La diferencia en  $\Delta a^*$  se puede explicar, al menos parcialmente, por el daño en la estructura muscular asociado a la maduración (almacenamiento de

las piernas). La desestructuración facilitaría la difusión de oxígeno en la carne recién cortada. Esta mayor difusión, a su vez, sería responsable de una mayor profundidad de la mioglobina oxigenada en la superficie de los filetes, generando un mayor valor de  $a^*$  en la medida (Ledward, 1992; Feldhusen *et al.*, 1995). El mayor grosor de la capa con oximioglobina también podría ser atribuido a una menor actividad tisular del consumo de oxígeno en la carne almacenada por más tiempo y, por tanto con actividad enzimática disminuída (Calkins y Hodgen, 2007). De forma similar, después del almacenamiento aerobio también se observó mayor  $\Delta a^*$  y cambio de color en los filetes de piernas almacenadas que en los filetes control. Comparando los resultados de los cambios en el color durante el enrojecimiento de los filetes de tapa antes y después del almacenamiento aerobio de la tapa, vemos que la principal diferencia radica en  $\Delta R_{630}/R_{580}$ , cuyos valores después del almacenamiento aerobio fueron notablemente menores y muy cercanos a cero en todos los casos. Esta observación indicaría que, donde el incremento fue cercano a 0, el enrojecimiento de la carne debido a la exposición de la misma al aire no conllevaría la reducción de la metamioglobina (AMSA, 2012).

Como resumen de la parte relacionada con el color cabe decir que i) la carne congelada fue la más oscura, lo que representa un problema importante para este método de almacenamiento en caso de que la carne se venda descongelada; ii) el almacenamiento de las piernas en general provoca un aumento en los índices de amarillos y un enrojecimiento de la superficie de la carne más pronunciado tras la exposición de la misma al aire, lo que puede resultar en carne algo más roja; iii) que el almacenamiento aerobio de las tapas (72 h) empeoró considerablemente el color de los filetes (más marrones y menos rojos) debido a la oxidación del pigmento, siendo este empeoramiento menos notorio en los filetes de las piernas almacenadas a vacío.

Tabla 2. Características del color en la superficie de filetes de tapa de cordero lechal a los 60 min después del corte; efectos del tratamiento previo de almacenamiento de la pierna entera<sup>x</sup> y del posterior almacenamiento aerobio a refrigeración de la tapa<sup>y</sup>

Tratamientos	Antes del almacenamiento aerobio de la tapa				Después del almacenamiento aerobio de la tapa				P		
	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	P	A	PxA
<i>L*</i>	40,28 ± 2,56 <sup>de</sup>	37,54 ± 3,37 <sup>bcd</sup>	39,07 ± 4,23 <sup>cde</sup>	33,32 ± 3,91 <sup>a</sup>	41,46 ± 3,74 <sup>e</sup>	36,24 ± 3,67 <sup>abc</sup>	36,51 ± 2,13 <sup>abc</sup>	34,64 ± 3,34 <sup>ab</sup>	***	NS	NS
<i>a*</i>	7,62 ± 1,49 <sup>ab</sup>	9,37 ± 1,79 <sup>bc</sup>	9,19 ± 1,71 <sup>abc</sup>	8,01 ± 2,90 <sup>ab</sup>	7,41 ± 1,61 <sup>a</sup>	10,08 ± 1,88 <sup>c</sup>	10,12 ± 1,32 <sup>c</sup>	8,31 ± 2,38 <sup>abc</sup>	**	NS	NS
<i>b*</i>	15,12 ± 1,52 <sup>ab</sup>	17,42 ± 1,31 <sup>cde</sup>	16,05 ± 2,62 <sup>bc</sup>	16,63 ± 1,03 <sup>bcd</sup>	13,97 ± 3,35 <sup>a</sup>	18,49 ± 1,47 <sup>e</sup>	18,35 ± 0,93 <sup>de</sup>	17,90 ± 0,94 <sup>cde</sup>	***	#	#
<i>Croma</i>	16,95 ± 1,98 <sup>ab</sup>	19,81 ± 1,86 <sup>cd</sup>	18,53 ± 2,93 <sup>bc</sup>	18,59 ± 1,94 <sup>bc</sup>	15,97 ± 2,81 <sup>a</sup>	21,10 ± 1,94 <sup>d</sup>	20,97 ± 1,24 <sup>d</sup>	19,82 ± 1,63 <sup>cd</sup>	***	#	NS
<i>Tono</i>	63,43 ± 2,65	61,95 ± 3,68	60,21 ± 3,60	64,91 ± 7,57	61,12 ± 9,35	61,54 ± 3,82	61,20 ± 2,81	65,47 ± 5,89	NS	NS	NS
<i>Cocientes</i>											
<i>R<sub>630</sub>/R<sub>580</sub></i>	2,91 ± 0,36 <sup>c</sup>	3,40 ± 0,47 <sup>c</sup>	3,27 ± 0,62 <sup>c</sup>	3,57 ± 0,85 <sup>c</sup>	0,38 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,28 ± 0,05 <sup>a</sup>	1,46 ± 1,66 <sup>b</sup>	0,31 ± 0,06 <sup>a</sup>	*	***	*
<i>a*/b*</i>	0,50 ± 0,06	0,54 ± 0,08	0,58 ± 0,09	0,48 ± 0,16	0,57 ± 0,23	0,54 ± 0,08	0,55 ± 0,06	0,46 ± 0,12	NS	NS	NS
<i>Incrementos<sup>#</sup></i>											
<i>Δa*</i>	0,40 ± 0,58 <sup>a</sup>	2,42 ± 0,88 <sup>b</sup>	2,76 ± 0,80 <sup>b</sup>	2,47 ± 1,13 <sup>b</sup>	1,02 ± 0,76 <sup>a</sup>	2,41 ± 0,73 <sup>b</sup>	3,02 ± 0,71 <sup>b</sup>	3,09 ± 1,01 <sup>b</sup>	***	#	NS
<i>ΔE</i>	2,97 ± 0,73 <sup>ab</sup>	4,23 ± 1,39 <sup>bc</sup>	4,43 ± 1,34 <sup>bc</sup>	4,76 ± 1,73 <sup>c</sup>	2,67 ± 0,99 <sup>a</sup>	4,34 ± 1,28 <sup>bc</sup>	4,90 ± 1,03 <sup>c</sup>	5,21 ± 1,99 <sup>c</sup>	***	NS	NS
<i>Δ R<sub>630</sub>/R<sub>580</sub></i>	-0,26 ± 0,14 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,24 <sup>cd</sup>	0,46 ± 0,26 <sup>d</sup>	0,38 ± 0,44 <sup>cd</sup>	0,01 ± 0,05 <sup>b</sup>	-0,03 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,17 ± 0,32 <sup>bc</sup>	-0,05 ± 0,03 <sup>ab</sup>	***	***	***

<sup>x</sup> Tratamientos: C: Control, piernas refrigeradas a las 48 h *post mortem*; TA: Piernas almacenadas a refrigeración con película permeable al oxígeno durante 7 días; TV: Piernas envasadas al vacío almacenadas a refrigeración durante 21 días; TC: Piernas almacenadas a congelación durante 3 meses.

<sup>y</sup> Almacenamiento de una mitad de la tapa obtenida de las piernas en condiciones simuladas de una cámara de establecimiento minorista: recubierta con película plástica con alta permeabilidad al oxígeno, a refrigeración y oscuridad, durante 72 horas.

<sup>#</sup> Incremento entre los valores del color presentados en el momento inmediatamente posterior al corte de los filetes y los valores de color presentados a los 60 min siguientes.

P: Nivel de probabilidad. P: Tratamiento previo; A: Almacenamiento aerobio de la tapa; PxA: Interacción tratamiento previo x almacenamiento aerobio. NS: No significativo; #:  $P < 0,1$ ; \*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ .

<sup>a-e</sup>: Valores de cada fila sin ninguna letra en común presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ; prueba LSD de Fisher).

### 3.2. Valor de pH, capacidad de retención de agua de la carne cruda

En la Tabla 3 se muestran los efectos del tratamiento previo de almacenamiento de las piernas de cordero lechal y del posterior almacenamiento aerobio a refrigeración de las tapas (72 h) obtenidas de las mismas sobre los valores de pH y porcentaje de pérdida de jugo por presión (CRA) de los filetes de tapa.

Antes del almacenamiento aerobio de las tapas, en las tapas recién despiezadas, el tipo de almacenamiento aplicado a las piernas influyó significativamente sobre el pH ( $P < 0,001$ ) y la CRA ( $P < 0,001$ ) de los filetes. El pH de los filetes de tapa de las piernas almacenadas en refrigeración a vacío presentó valores ligeramente, pero significativamente, mayores en relación al control. El aumento del pH de la carne durante su almacenamiento se considera normal y pasado un límite se asocia con el deterioro microbiano de la carne y la acción de los microorganismos sobre los aminoácidos y otras sustancias nitrogenadas (Nychas *et al.*, 2008). En cuanto a la capacidad de retención de agua, los filetes del tratamiento de almacenamiento a vacío y congelación mostraron valores significativamente mayores que los del control, siendo los filetes descongelados los que presentaron mayores pérdidas de jugo. Es totalmente conocido que la carne congelada tiene menor CRA que la carne fresca, lo que se explica por fenómenos de desnaturalización proteica y desestructuración del tejido muscular. No obstante, la pérdida de CRA depende en gran medida de las condiciones y el tiempo de congelación (Ballin y Lametsch, 2008). La explicación de la menor CRA en carne envasada al vacío es menos clara. Aunque se ha observado que maduraciones suficientemente largas (mayores a 2 semanas), al contrario que las maduraciones de corta duración, ocasionan una disminución de la CRA de la carne (Cheng y Sun, 2008), no hay en la bibliografía trabajos que expliquen el fenómeno.

En relación a los filetes de tapa obtenidos después del almacenamiento aerobio de las mismas (72 h), el pH de los filetes de las piernas que fueron previamente almacenadas a refrigeración aerobia y a vacío fue mayor que el de los filetes de las piernas control y almacenadas a congelación. Además, se

puede observar como el pH de los filetes de tapa de piernas almacenadas a refrigeración se incrementó durante el almacenamiento aerobio de las tapas (lo que no ocurrió en ningún otro tratamiento de las piernas). Este incremento puede atribuirse a un mayor desarrollo microbiano en la tapa durante las 72 h de almacenamiento. Finalmente, la CRA fue mayor en los filetes descongelados aunque la diferencia con respecto a los otros tratamientos no fue significativa.

Tabla 3. Valor de pH y porcentaje de pérdida de jugo por presión (CRA) de filetes de tapa de cordero lechal; efectos del tratamiento previo de almacenamiento de la pierna entera<sup>x</sup> y del posterior almacenamiento aerobio a refrigeración de la tapa<sup>y</sup>

Tratamientos	Antes del almacenamiento aerobio de la tapa				Después del almacenamiento aerobio de la tapa				<i>P</i>		
	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	P	A	P*A
pH	5,69 ± 0,06 <sup>a</sup>	5,72 ± 0,11 <sup>a</sup>	5,95 ± 0,09 <sup>b</sup>	5,77 ± 0,11 <sup>a</sup>	5,74 ± 0,10 <sup>a</sup>	5,89 ± 0,10 <sup>b</sup>	5,93 ± 0,15 <sup>b</sup>	5,78 ± 0,11 <sup>a</sup>	***	#	#
CRA	17,30 ± 3,4 <sup>a</sup>	17,90 ± 3,90 <sup>ab</sup>	21,40 ± 4,60 <sup>bc</sup>	27,50 ± 4,20 <sup>c</sup>	20,50 ± 7,90 <sup>bc</sup>	20,00 ± 4,70 <sup>bc</sup>	21,50 ± 5,60 <sup>bc</sup>	25,80 ± 3,10 <sup>bc</sup>	***	NS	#

<sup>x</sup>Tratamientos: C: Control, piernas refrigeradas a las 48 h *post mortem*; TA: Piernas almacenadas a refrigeración con película permeable al oxígeno durante 7 días; TV: Piernas envasadas al vacío almacenadas a refrigeración durante 21 días; TC: Piernas almacenadas a congelación durante 3 meses.

<sup>y</sup> Almacenamiento de una mitad de la tapa obtenida de las piernas en condiciones simuladas de una cámara de establecimiento minorista: recubierta con película plástica con alta permeabilidad al oxígeno, a refrigeración y oscuridad, durante 72 horas.

*P*: Nivel de probabilidad. P: Tratamiento previo; A: Almacenamiento aerobio de la tapa; P\*A.: Interacción tratamiento previo x almacenamiento aerobio. NS: No significativo; #:  $P < 0,1$  \*\*\*;  $P < 0,001$ .

<sup>a-e</sup>: Valores de cada fila sin ninguna letra en común presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ; prueba LSD de Fisher).

### 3.3. Textura, oxidación y valoración sensorial de la carne de lechal cocinada

En la Tabla 4 se muestra el efecto del tratamiento previo de almacenamiento de la pierna entera de cordero lechal sobre el análisis de perfil de textura de la carne asada (músculo *Biceps femoris*). Se puede observar que aunque no hubo diferencias significativas sobre ninguno de los parámetros de textura ( $P < 0,05$ ), hubo una tendencia significativa hacia mayores valores de fuerza y masticabilidad en la carne control que en la carne de cualquiera de los tratamientos aplicados, siendo la carne congelada y envasada al vacío la que menores valores presentó. Ante esta tendencia estadística se puede inferir que el almacenamiento de las piernas a vacío o congelación podría producir un ablandamiento de la carne de forma que una vez cocinada es más blanda y más fácil de masticar que el control.

Por otra parte, las observaciones realizadas durante el experimento, aunque no estuvo contemplada la determinación de la textura en la carne cruda, nos permiten decir que la textura de la carne de cordero lechal descongelada en crudo fue con gran diferencia más deformable y menos elástica que la de los otros tratamientos (observaciones percibidas durante la manipulación de las muestras por la vista y tacto). Sin embargo, después del asado esta diferencia no sería tan evidente ya que la fuerza necesaria para deformar la carne asada de las muestras que fueron congeladas no es estadísticamente diferente de la de otros tratamientos. Sería interesante, para futuros estudios, conocer el porqué de esa posible pérdida de firmeza en la carne cruda descongelada, que podría estar relacionada con una desnaturalización proteica.

En la Tabla 5 se muestra el efecto del tratamiento previo de almacenamiento de la pierna entera de cordero lechal sobre la valoración sensorial de la textura de la carne asada (músculo *Quadriceps femoris*). Se puede observar que estadísticamente el almacenamiento previo de las piernas no influyó significativamente sobre ninguno de los descriptores evaluados de la textura y en el sabor de la carne asada. No obstante, cabe señalar el que los

valores de facilidad para fracturar (esfuerzo necesario para la masticación antes de la deglución) y de deseabilidad en la textura fueron menores y mayores, respectivamente en las muestras control, aunque la diferencia no fue significativa. Ante esta situación, se estudió la posible correlación entre ambos descriptores (esfuerzo y deseabilidad) y se encontró que ambos estarían relacionados entre sí (más esfuerzo, más deseabilidad; coeficiente de correlación de Spearman de 0,690,  $P < 0,05$ ). Esto indicaría que el posible ablandamiento (disminución de la fuerza para la deformación) asociado al almacenamiento (tendencia significativa; Tabla 4), podría ir en contra de la deseabilidad de la textura de la carne.

Por lo tanto, el posible ablandamiento de la carne de lechazo asada, que podría estar asociado a un almacenamiento de la carne a vacío o a congelación, debería tenerse en cuenta a la hora de ofrecer carne de calidad. No obstante, este efecto parece ser de poca magnitud. En previos estudios se ha observado, al igual que en este, el escaso efecto de la congelación sobre la textura y la calidad sensorial de la carne de cordero, aunque en corderos de más tamaño (Muela *et al.*, 2010 y 2015). Estos autores concluyeron que *“la congelación industrial de la carne de cordero por un periodo de hasta 6 meses no causa un deterioro sensorial suficiente para ser detectado por un panel de catadores ni para producir un rechazo en los consumidores debido a que los cambios en la textura son pequeños cambios en la textura y no se generan olores indeseables”*.

Como último experimento del capítulo, en la Tabla 6 se muestra el efecto del tratamiento previo de almacenamiento de la pierna entera de cordero lechal (cruda) y del posterior almacenamiento aerobio a refrigeración de la carne asada (músculo *Semitendinosus* cocinado) sobre la concentración de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) en dicha carne asada. En primer lugar se puede observar como el tipo de almacenamiento aplicado a la pierna cruda no influyó significativamente sobre el TBARS de la carne asada antes de su almacenamiento aerobio. En segundo lugar, el almacenamiento de la carne asada a refrigeración durante 2 días generó un aumento significativo

de los niveles de TBARS para las muestras de carne asada procedentes de los cuatro almacenamientos previos de las piernas ( $P < 0,001$ ). En tercer lugar, en la carne asada almacenada por dos días hubo diferencias asociadas al almacenamiento previo de la pierna cruda de forma que la procedente de envasado al vacío presentó niveles de TBARS más elevados (más oxidación) que la carne del grupo control.

Ante estos resultados se puede inferir que el almacenamiento de las piernas en los tratamientos empleados no produce una oxidación significativa de la carne cruda pues no aumentan los niveles de TBARS con respecto al tratamiento control. En sintonía con el presente estudio, en estudios previos se ha observado que ni el almacenamiento a vacío, ni la congelación (por un periodo no superior a 6 meses) generaron un incremento significativo de los niveles de TBARS u otros indicadores de oxidación en la carne de cordero (Muela *et al.*, 2010; Callejas Cárdenas *et al.*, 2014). No obstante, una vez que la carne es cocinada, la oxidación sería más rápida en la carne previamente almacenada a vacío. La explicación a este hecho debe de buscarse en los cambios que el almacenamiento a vacío (21 días a temperatura de refrigeración) haya producido en la estructura y composición química de la carne. Cambios en la estructura que facilite la difusión de oxígeno en la carne cocinada o en la composición química que disminuya la estabilidad a la oxidación de la carne una vez cocinada, como puede ser la pérdida de antioxidantes naturales. No se han encontrado estudios en la bibliografía que permitan contrastar este hecho o encontrar explicaciones específicas.

Tabla 4. Efecto del almacenamiento<sup>x</sup> de las piernas de cordero lechal (carne cruda) sobre el análisis de perfil de textura de la carne asada (músculo *Biceps femoris*)

Tratamientos	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	P
Fuerza (N)	18,90 ± 2,05	17,06 ± 1,65	15,35 ± 3,14	16,45 ± 2,84	#
Cohesividad	0,45 ± 0,02	0,44 ± 0,02	0,43 ± 0,03	0,44 ± 0,03	NS
Elasticidad	0,45 ± 0,05	0,43 ± 0,03	0,43 ± 0,03	0,43 ± 0,04	NS
Masticabilidad (N)	3,87 ± 0,85	3,24 ± 0,48	2,88 ± 0,86	3,10 ± 0,73	#

<sup>x</sup>Tratamientos: C: Control, piernas refrigeradas a las 48 h *post mortem*; TA: Piernas almacenadas a refrigeración con película permeable al oxígeno durante 7 días; TV: Piernas envasadas al vacío almacenadas a refrigeración durante 21 días; TC: Piernas almacenadas a congelación durante 3 meses.

P: Nivel de probabilidad; NS: No significativo; #:  $P < 0,1$ .

Tabla 5. Efecto del almacenamiento<sup>x</sup> de las piernas de cordero lechal (carne cruda) sobre la valoración sensorial<sup>y</sup> de la textura y sabor de la carne asada (músculo *Quadriceps femoris*)

Tratamientos		C	TA	TV	TC	P
		(n=16)	(n=16)	(n=16)	(n=16)	
Textura	Jugosidad	3,50	4,50	4,50	3,50	NS
	Facilidad para fracturar	3,00	4,50	5,00	4,00	NS
	Deseabilidad de la textura	4,00	3,00	3,00	3,00	NS
Sabor	Intensidad sabor cordero	3,75	3,81	3,38	3,75	NS
	intensidad sabor atípico	1,86	1,71	2,29	1,64	NS
	Deseabilidad del sabor	3,73	3,67	3,56	4,00	NS

<sup>x</sup>Tratamientos: C: Control, piernas refrigeradas a las 48 h post mortem; TA: Piernas almacenadas a refrigeración con película permeable al oxígeno durante 7 días; TV: Piernas envasadas al vacío almacenadas a refrigeración durante 21 días; TC: Piernas almacenadas a congelación durante 3 meses.

<sup>y</sup>Valoración media en una escala de 1 (ausencia de la propiedad) a 6 (propiedad muy marcada).

P: Nivel de probabilidad; NS: No significativo.

Tabla 6. Concentración de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, expresada como mg de malonaldehído por kg de carne) en la carne asada de cordero lechal (músculo *Semitendinosus*); efectos del tratamiento previo de almacenamiento de la pierna entera (carne cruda)<sup>x</sup> y del posterior almacenamiento aerobio a refrigeración del músculo *Semitendinosus*<sup>y</sup> cocinado

Tratamientos	Antes de del almacenamiento aerobio				Después del almacenamiento aerobio				P		
	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	C (n=8)	TA (n=8)	TV (n=8)	TC (n=8)	P	A	P*A
TBARS	1,28 ± 1,05 <sup>a</sup>	1,90 ± 1,02 <sup>a</sup>	1,44 ± 0,89 <sup>a</sup>	1,58 ± 0,83 <sup>a</sup>	5,43 ± 1,49 <sup>b</sup>	5,88 ± 0,53 <sup>bc</sup>	6,79 ± 1,05 <sup>c</sup>	5,17 ± 1,99 <sup>b</sup>	NS	***	NS

<sup>x</sup>Tratamientos: C: Control, piernas refrigeradas a las 48 h post mortem; TA: Piernas almacenadas a refrigeración con película permeable al oxígeno durante 7 días; TV: Piernas envasadas a vacío almacenadas a refrigeración durante 21 días; TC: Piernas almacenadas a congelación durante 3 meses.

<sup>y</sup> Almacenamiento de una mitad del músculo *semitendinoso* obtenido de las piernas previamente cocinadas, recubierta con película plástica con alta permeabilidad al oxígeno, a refrigeración y oscuridad, durante 48 horas.

P: Nivel de probabilidad. P: Almacenamiento previo de las piernas; A: Almacenamiento aerobio de las piezas de carne cocinada; P\*A: Interacción almacenamiento de las piernas x almacenamiento de la carne cocinada. NS: No significativo; \*\*\*:  $P < 0.001$

<sup>abc</sup>: Valores de cada fila sin ninguna letra en común presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ; prueba LSD de Fisher)

## REFERENCIAS

- AMSA (2012). *Guidelines for meat color evaluation*. Champaign, IL: American Meat Science Association. Available online at <http://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/Hot-Topics/download-the-ebook-format-pdf-of-the-meat-color-measurement-guidelines.pdf?sfvrsn=0> (10th, October, 2013).
- Ballin, N. Z., & Lametsch, R. (2008). Analytical methods for authentication of fresh vs. thawed meat – A review. *Meat Science*, 80, 151–158.
- Bernabéu, R., & Tendero, A. (2005). Preference structure for lamb meat consumers. A Spanish case study. *Meat Science*, 71, 464-470.
- Berruga, M. I., Vergara, H., & Gallego, L. (2005). Influence of packaging conditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat. *Small Ruminant Research*, 57 (2-3), 257-264.
- Boakey, K., & Mittal, G. S. (1996). Changes in colour of Beef *M. longissimus dorsi* muscle during ageing. *Meat Science*, 3, 347-354.
- Bórnez, R., Linares, M. B., & Vergara, H. (2009). Microbial quality and lipid oxidation of Manchega breed suckling lamb meat: Effect of stunning method and modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 83, 383-389.
- Bórnez, R., Linares, M. B., & Vergara, H. (2010). Effect of different gas stunning methods on Manchega suckling lamb meat packed under different modified atmospheres. *Meat Science*, 84, 727-734.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62–66.
- Calkings, C. R., & Hodgen, J. M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, 77, 63-80.

- Callejas Cárdenas, A. R., Caro, I., Blanco, C., Villalobos Delgado, L. H., Prieto, N., Bodas, R., Giráldez, F. J., & Mateo, J. (2014). Effect of vacuum ageing on quality changes of lamb steaks from early fattening lambs during aerobic display. *Meat Science*, 98, 646–651.
- CE, Reglamento CE nº 2107/1999 de la Comisión de 4 de octubre de 1999.
- Cheng, Q., & Sun D. (2008). Factors Affecting the Water Holding Capacity of Red Meat Products: A Review of Recent Research Advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 137-159.
- CIE, (Commission International de l'Eclairage). (1986). *Colorimetry*, 2<sup>nd</sup> Ed. Viena.
- Díaz, M. T. (2001). Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid (España).
- Dunne, P. G., Monahan, F. J., & Moloney, A. P. (2011). Current perspectives on the darker beef often reported from extensively-managed cattle: Does physical activity play a significant role? *Livestock Science*, 142, 1–22.
- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86, 86-94.
- Feldhusen, F., Warnatz, A., Erdmann, R., & Wenzel, S. (1995). Influence of storage time on parameters of colour stability. *Meat Science*, 40, 235–243.
- Fernández, A. M., & Vieira, C. (2012). Effect of chilling applied to suckling lamb carcasses on hygienic, physicochemical and sensory meat quality. *Meat Science*, 92, 569–574.

- Gorraiz, C., Beriain, M. J., Chasco, J., & Iraizoz, M. (2000). Descriptive analysis of meat from young ruminants in Mediterranean systems. *Journal of Sensory Studies*, 15,137-150.
- Grau, R., & Hamm, R. (1957). Über das Wasserbindungs vermögen des Säugetier muskels II Mitt. Über die Bestimmung der Wasserbindung des Muskels. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung*, 105, 446–460.
- Hopkins, D. L. (1996). Assessment of lamb meat colour. *Meat Focus International*, 5 (Part 11), 400–401.
- Hunter, R. S., & Harold, R. W. (1987). *The Measurement of Appearance*. (2<sup>nd</sup> edition). New York: John Wiley & Sons.
- Jacob, H. R., D'Antuono, F. M., Gilmour, R. A., & Warner, D. R. (2014). Phenotypic characterisation of colour stability of lamb meat. *Meat Science* 96, 1040-1048.
- Khlijji, S., van de Ven, R., Lamb, T. A., Lanza, M., & Hopkins, D. L. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85, 224–229.
- Ledward, D. A. (1992). Colour of raw and cooked meat. In: D. A. Johnston, M. K. Knight, & D. A. Ledward (Eds.), *The Chemistry of Muscle-Based Foods* (Pp. 128–144). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Linares, M. B., Bórnez, R., & Vergara, H. (2008). Effect of stunning systems on meat quality of Manchego suckling lamb packed under modified atmospheres. *Meat Science*, 78, 279–287.
- Lindahl, G., Lundström, K., & Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*, 59, 141-151.

- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.
- MARM (2010). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. "Base de datos de consumo de hogares" (Enero-Diciembre 2010).
- Martínez Cerezo, S., Sañudo, C., Medel, I., & Olleta, J. L. (2005). Breed, slaughter weight and ageing time effects on sensory characteristics of lamb. *Meat Science*, 69, 571–578.
- Miguélez, E., Zumalacárregui, J. M., Osorio, M. T., Figueira, A. C., Fonseca, B., & Mateo, J. (2008). Quality traits of suckling-lamb meat covered by the protected geographical indication "Lechazo de Castilla y León" European quality label. *Small Ruminant Research*, 77, 65–70.
- Muela, E., Monge, P., Sañudo, C., Campo, M. M., & Beltrán, J. A. (2015). Meat quality of lamb frozen stored up to 21 months: Instrumental analyses on thawed meat during display. *Meat Science*, 102, 35–40.
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M. M., Medel, I., & Beltrán, J. A. (2010). Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. *Meat Science*, 84, 662-669.
- Murray, A. C. (1989). Factors affecting beef colour at time of grading. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 347-355.
- Nam, K. C., & Ahn, D. U. (2003). Combination of aerobic and vacuum packaging to control lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated raw turkey breast. *Meat Science*, 63, 389–395.
- Nychas, G. J., E., Skandamis, P. N., Tassou, C. C., & Koutsoumanis, K. P. (2008). Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78, 77-89.
- Osés, S. M., Diez, A. M., Gómez, E.M., Wilches Pérez, D., Luning, P. A., Jaime, I., & Rovira, J. (2015). Control of *Escherichia coli* and *Listeria*

monocytogenes in suckling-lamb meat evaluated using microbial challenge tests. *Meat Science*, 110, 262-269.

Osorio, M. T., Zumalacárregui, J. M., Cabeza, E. A., Figueira, A. C., & Mateo, J. (2008). Effect of rearing system on some meat quality traits and volatile compounds of suckling lamb meat. *Small Ruminant Research*, 78, 1–12.

Osorio, M. T., Zumalacárregui, J. M., Figueira, A. C., & Mateo, J. (2007). Fatty acid composition in subcutaneous, intermuscular and intramuscular fat deposits of suckling lamb meat: Effect of milk source. *Small Ruminant Research*, 73, 127–134.

Palombo, R., & Wijngaards, G. (1990). Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Science*, 28, 61-76.

Ponnampalam, E. N., Butler, K. L., Burnett, V. F., McDonagh, M. B., Jacobs, J. L., & Hopkins, D. L. (2013). Aged vacuum packaged lamb cuts are less brown than fresh muscle cuts under simulated retail display. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 147–153.

Revilla, I., Lurueña Martínez, M. A., Blanco López, M. A., Vivar Quintanta, A. M., Palacios, C., & Severiano Pérez, P. (2009). Comparison of the sensory characteristics of suckling lamb meat: Organic vs conventional production. *Journal of Food Science*, 27, S267-S270.

Santos, V. A. C., Silva, S. R., Mena, E. G., & Azevedo, J. M. T. (2007). Live weight and sex effects on carcass and meat quality of “Borrego Terrincho–PDO” suckling lambs. *Meat Science*, 77, 654–661.

Sañudo, C., Campo, M. M., Sierra, I. M., María, G. A., Olleta, J. L., & Santolaria, P. (1997). Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs. *Meat Science*, 46, 357–365.

- Sañudo, C., Sánchez, A., & Alfonso, M. (1998). Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Science*, 49 (Suppl. 1), S29–S64.
- Sayas, M. E. (1997). Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, fisicoquímicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Swatland, H. J. (1991). Estructura y desarrollo de los animales de abasto. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A; 373.
- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28, 385-389.
- Teixeira, A., Batista, S., Delfa, R., & Cadavez, V. (2005). Lamb meat quality of two breeds with protected origin designation. Influence of breed, sex and live weight. *Meat Science*, 71, 530-536.
- Vergara, H., Linares, M. B., Berruga, M. I., & Gallego, L. (2005). Meat quality in suckling lambs: effect of pre-slaughter handling. *Meat Science*, 69, 473-478.
- Vieira, C., Fernández Diez, A., Mateo, J., Bodas, R., Soto, S., & Manso, T. (2012). Effects of addition of different vegetable oils to lactating dairy ewes' diet on meat quality characteristics of suckling lambs reared on the ewes' milk. *Meat Science*, 91, 277-283.
- Wilches, D., Rovira, J., Jaime, I., Palacios, C., Lurueña Martínez, M.A., Vivar-Quintana, A.M., & Revilla, I. (2011). Evaluation of the effect of a maternal rearing system on the odour profile of meat from suckling lamb. *Meat Science*, 88, 415-423.

ANEXO I: Cuestionarios para evaluar los atributos de textura y sabor.

**Número de catador y prueba:**

Pruebe una a una las muestras del plato, comenzando con la de arriba a la izquierda y siguiendo la dirección de las agujas del reloj, y evalúe cada una (de acuerdo a su código) marcando con X donde corresponda

Código \_\_\_\_\_

Atributos de sabor	1	2	3	4	5	6
Intensidad de sabor a cordero						
Sabor atípico						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

De haber sabor atípico, descríballo:

Sabor deseable						
----------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

Código \_\_\_\_\_

Atributos de sabor	1	2	3	4	5	6
Intensidad de sabor a cordero						
Intensidad de sabor atípico						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

De haber sabor atípico, descríballo:

Sabor deseable						
----------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

Código \_\_\_\_\_

Atributos de sabor	1	2	3	4	5	6
Intensidad de sabor a cordero						
Sabor atípico						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

De haber sabor atípico, descríballo:

Sabor deseable						
----------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

Código \_\_\_\_\_

Atributos de sabor	1	2	3	4	5	6
Intensidad de sabor a cordero						
Sabor atípico						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

De haber sabor atípico, descríballo:

Sabor deseable						
----------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

**Número de catador y prueba:**

Pruebe una a una las muestras del plato, comenzando con la de arriba a la izquierda y siguiendo la dirección de las agujas del reloj, evalúe cada una (de acuerdo a su código) marcando con X donde corresponda

Código \_\_\_\_\_

Atributos de Textura	1	2	3	4	5	6
Jugosidad						
Fracturabilidad						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

Textura deseable						
------------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

Código \_\_\_\_\_

Atributos de Textura	1	2	3	4	5	6
Jugosidad						
Fracturabilidad						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

Textura deseable						
------------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

Código \_\_\_\_\_

Atributos de Textura	1	2	3	4	5	6
Jugosidad						
Fracturabilidad						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

Textura deseable						
------------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

Código \_\_\_\_\_

Atributos de Textura	1	2	3	4	5	6
Jugosidad						
Fracturabilidad						

1: nada; 2: muy poco; 3: poco; 4: moderado-medio; 5: bastante notorio; 6: muy notorio

Textura deseable						
------------------	--	--	--	--	--	--

1: nada deseable; 2: muy poco deseable; 3: poco deseable; 4: deseabilidad moderada-media; 5: bastante deseable; 6: muy deseable

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Primera: En el presente trabajo se ha evaluado el efecto de almacenar piezas de carne de cordero precoz a vacío (tres semanas) sobre la evolución del color de los filetes obtenidos de esas piezas durante su exposición en bandejas en condiciones de aerobiosis. Al comienzo de la exposición (en el día 1 del almacenamiento aerobio) el color rojo fue más intenso en los filetes de las piezas previamente envasadas a vacío. Sin embargo, la estabilidad del color fue superior en los filetes de las piezas que no fueron almacenadas a vacío, ya que conservaron su color rojo atractivo durante más tiempo, 7 días vs 3 días. En la primera semana de almacenamiento aerobio de los filetes de cordero procedentes de piezas envasadas a vacío hubo una disminución de la aceptabilidad sensorial del color relacionada con un decrecimiento en los valores de aquellos parámetros del color instrumental indicadores de enrojecimiento. Durante la segunda semana de almacenamiento aerobio de los filetes obtenidos tanto de piezas previamente maduradas a vacío como de las no maduradas, se observó una dramática disminución en la valoración sensorial del color que fue acompañada por una menor luminosidad y un aumento sustancial del valor del pH, siendo los cambios más pronunciados en el cordero previamente almacenado a vacío. Los resultados del trabajo sugieren valores críticos de  $L^*$  y  $a^*$ , por debajo de los cuales el color de los filetes de cordero de cebo precoz es rechazable por los consumidores, de 42 para  $L^*$  y de 7 para  $a^*$ .

Segunda: También se ha evaluado el efecto del almacenamiento a vacío (tres semanas) de piezas de carne de cordero de cebo precoz sobre la evolución del perfil volátil de los filetes obtenidos de dichas piezas durante su almacenamiento en bandejas en condiciones de aerobiosis, estando los filetes crudos o cocinados. El almacenamiento previo a vacío de las piezas de carne provoca mayores niveles de muchos volátiles en los filetes almacenados crudos. Como hecho más destacable, con almacenamiento previo a vacío los filetes generaron un mayor contenido en diversos volátiles derivados de la degradación de Strecker, aldehídos y alcoholes metil-ramificados y benceno

acetaldehído, lo que podría tener un impacto sobre el aroma debido a los bajos umbrales de percepción de estos compuestos. Por otra parte, con el tiempo de almacenamiento de los filetes de carne cruda, con o sin almacenamiento previo a vacío de las piezas, disminuyen los compuestos volátiles (se pierde potencial aromático), destacando las pérdidas de aldehídos y cetonas. Por el contrario, hay dos compuestos que muestran un incremento claro durante el almacenamiento de la carne cruda: el 3-metilbutanol, en carne previamente envasada al vacío, y el 2-etilhexanol. En relación a los filetes de carne cocinada, el tiempo de almacenamiento se acompañó de un aumento en los niveles de aldehídos y el 2-octenol, que son considerados indicadores de la oxidación lipídica, hasta el día 8 de exposición aerobia, para luego descender.

Tercera: En relación a la carne de cordero lechal, el almacenamiento aerobio a refrigeración (7 días) fue el que menor afectó a la calidad de la carne cruda, de forma que este almacenamiento presentó como efectos significativos principales un aumento en la tonalidad de amarillos de la carne con respecto a la carne no almacenada. El almacenamiento a vacío (21 días) también presenta un aumento en el índice de amarillos y además produce un incremento en el pH. La congelación (3 meses a -18 °C) afecta negativamente al color de la carne (luminosidad) y a su capacidad de retención de agua, mientras que el resto de características de calidad determinadas no parecen verse afectadas.

Cuarta: Cuando la carne de cordero lechal almacenada mediante cualquiera de las formas estudiadas si una vez despiezada se somete a un segundo almacenamiento aerobio de 3 días de duración, situación que podría presentarse en establecimientos minoristas, pierde más luminosidad e incrementa más los índices de rojos y amarillos que la carne sin almacenamiento previo.

Quinta: En relación a la calidad de la carne asada de cordero lechal, cualquiera de los tres tipos de almacenamiento estudiados (refrigeración en aerobiosis y vacío y congelación) afecta poco a la calidad sensorial con

respecto a la carne no almacenada. No obstante, la carne asada procedente de piernas almacenadas, especialmente las almacenadas a vacío y a congelación, fue algo más blanda y este efecto podría ser negativo en cuanto a la valoración de calidad de carne de lechazo por los consumidores. Asimismo, en la carne asada de piernas previamente envasadas a vacío se observa una disminución de la estabilidad a la oxidación lipídica *post* cocinado.

En resumen:

- El almacenamiento de la carne de cordero de cebo precoz a vacío antes del corte de los filetes produce unos filetes con más color rojo que los filetes de piernas de animales recién sacrificados; sin embargo, en los primeros la estabilidad del color es inferior y la valoración sensorial de apariencia disminuye más rápidamente, alcanzándose antes el color de rechazo sensorial. Además, el envasado al vacío previo de las piezas provoca un incremento en el contenido en una serie de compuestos volátiles desprendidos por los filetes expuestos a la venta con respecto a los filetes de pierna de animales recién sacrificados, que podría generar cambios en el sabor. Dentro de esos volátiles es notorio y característico el incremento en sustancias derivadas de la reacción de Strecker.
- El almacenamiento de la carne (piernas) de cordero lechal en refrigeración aerobia, a vacío o a congelación modifica ligeramente la calidad de la carne con respecto a la de la carne no almacenada. El almacenamiento aerobio (de una semana) es el que menos cambia la calidad. El vacío afecta al pH y la estabilidad oxidativa de la carne cocinada. La congelación afecta sobre todo a la luminosidad y capacidad de retención de agua. Los tres tipos de almacenamiento disminuyen la firmeza de la carne asada, especialmente el vacío y la congelación, lo que podría considerarse como factor negativo.