

## Efecto del protocolo de refrigeración aplicado a canales de añajos de raza Tudanca sobre la longitud de los sarcómeros y la calidad higiénica y físico-química de la carne

E. Serrano\*, M.J. Humada, S. Gutiérrez y B. Castrillo

Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA), D.G. Desarrollo Rural, Gobierno de Cantabria.  
C/ Héroes Dos de Mayo, 27, 39600, Muriedas, Cantabria

### Resumen

Se utilizaron 9 canales de añajos de raza Tudanca para estudiar en las condiciones de un matadero comercial el efecto de dos protocolos de refrigeración (convencional: introducción en una cámara a 1,8°C inmediatamente después del sacrificio, media canal derecha (n = 9) o lenta: introducción en una cámara a temperatura ambiente (13,9°C) hasta las 7 horas *postmortem*, media canal izquierda (n = 9)) sobre la calidad higiénica de la canal y sobre las características físico-químicas de la carne. Se observaron diferencias en la temperatura del músculo *Longissimus dorsi* en todos los tiempos de medida (5, 9, 10, 11, 12, y 24 horas *postmortem*) ( $P \leq 0,05$ ). No se observaron diferencias en el pH a las 24 horas *postmortem* (todos los valores inferiores a 5,7) ( $P > 0,05$ ) pero sí en los valores de pH en el resto de los tiempos (valores superiores en la refrigeración convencional) ( $P \leq 0,05$ ). Las canales sometidas a la refrigeración convencional presentaron valores inferiores ( $P \leq 0,05$ ) de longitud de los sarcómeros. No se observaron diferencias en la fuerza de resistencia al corte a los 3 y 14 días *postmortem* ( $P > 0,05$ ), pero sí se observó una tendencia a valores inferiores de resistencia al corte del músculo *Longissimus dorsi* de las medias canales sometidas a la refrigeración lenta a los 7 días *postmortem* ( $P = 0,07$ ). El protocolo de refrigeración no tuvo un efecto sobre el recuento de aerobios totales a las 24 horas *postmortem*, ni sobre el color del lomo, las pérdidas de agua por cocción y la oxidación de los lípidos, evaluados a los 3, 7, y 14 días *postmortem* ( $P > 0,05$ ).

**Palabras clave:** Endurecimiento por frío, terneza, color, oxidación de los lípidos, carga microbiana.

### Abstract

**Effect of post-slaughter refrigeration method applied to yearling Tudanca male carcasses on sarcomere length and hygienic and physicochemical meat quality**

Nine carcasses of yearling Tudanca males were used to evaluate, in the conditions of a commercial slaughterhouse, the effect of two chilling treatments (*conventional*: introduction of right half carcasses (n = 9) in a chilling room at 1.8°C immediately after slaughter, or *slow*: introduction of left half carcasses (n = 9) in a chilling room at 13.9°C until 7 hours *postmortem*) on carcass hygienic quality and meat physicochemical characteristics. Differences were observed in *Longissimus dorsi* muscle temperature at 5, 9, 10, 11, 12 and 24 hours *postmortem* ( $P \leq 0.05$ ). No differences were observed in pH values at 24 hours *postmortem* (all values below 5.7) ( $P > 0.05$ ), but higher values ( $P \leq 0.05$ ) were registered at 5, 9, 10, 11 and 12 hours *postmortem* in conventional than in slow refrigerated carcasses. Sarcomere length of conventional refrigerated carcasses was lower than sarcomere length of slow refrigerated carcasses ( $P \leq 0.05$ ).

---

\* Autor para correspondencia: emmaserrano@cifacantabria.org

<http://doi.org/10.12706/itea.2017.004>

No differences were observed in shear force values of *Longissimus dorsi* muscle at 3 and 14 days *postmortem* ( $P > 0.05$ ) but a trend was observed at 7 days *postmortem*, with lower values for slow refrigerated carcasses than for conventional refrigerated carcasses ( $P = 0.07$ ). Chilling treatment had no effect on total aerobic viable counts at 24 hours *postmortem*, neither on *Longissimus dorsi* colour, cooking losses and lipid oxidation measured at 3, 7, and 14 days *postmortem* ( $P > 0.05$ ).

**Key words:** Cold toughening, tenderness, colour, lipid oxidation, microbiological contamination.

## Introducción

En España es una práctica habitual en los mataderos comerciales introducir las canales inmediatamente después del sacrificio en cámaras de refrigeración con temperaturas bajas (entre 0 y 4°C). En la bibliografía se pueden encontrar trabajos en los que se demuestra la relación entre la temperatura de refrigeración de las canales desde el sacrificio hasta la instauración del *rigor mortis* y aspectos de calidad de la carne como la terneza (Sørheim et al., 2001; Yu et al., 2008). La aplicación de temperaturas demasiado bajas inmediatamente después del sacrificio puede dar lugar al fenómeno denominado *acortamiento por frío* o *endurecimiento por frío*. El término *acortamiento por frío* hace referencia al incremento en la disminución normal en la longitud de los sarcómeros que tiene lugar como consecuencia del *rigor mortis*, cuando se somete la carne a temperaturas demasiado bajas (Locker y Hagyard, 1963). La disminución en la terneza de la carne sometida a temperaturas desencadenantes del fenómeno de *endurecimiento por frío* es debida al acortamiento de los sarcómeros y también a una ralentización de los procesos que dan lugar al incremento de la terneza que se produce durante la maduración (Huff-Lonergan et al., 2010). Diversos trabajos han puesto de manifiesto que esta ralentización del proceso de maduración está relacionada con la evolución de la temperatura y del pH desde el sacrificio hasta la instauración del *rigor mortis* y su efecto sobre los sistemas proteolíticos de las células musculares (Sørheim et al., 2001; Hannula

y Puolanne, 2004; Huff-Lonergan et al., 2010). Así, se ha observado que una caída relativamente rápida del pH en las primeras horas *postmortem* favorece la actividad del sistema enzimático de las calpaínas y acelera el proceso de tenderización. Los resultados de algunos trabajos indican que el acortamiento de los sarcómeros tendría una importancia relativa menor o secundaria en la disminución de la terneza de la carne que presenta endurecimiento por frío, respecto al enlentecimiento de los procesos proteolíticos (Bruce y Ball, 1990; Sørheim et al., 2001).

Por otro lado, un enfriamiento rápido de las canales es beneficioso desde el punto de vista higiénico-sanitario para mantener la carga microbiana en los límites exigidos por la legislación (Reglamento (CE) 1441/2007) y para reducir las pérdidas de peso ocurridas durante la refrigeración (Savell et al., 2005). Se han desarrollado varios sistemas para minimizar los efectos negativos de un enfriamiento demasiado rápido de las canales, y estos sistemas se usan tanto de forma separada como combinados entre ellos (sistemas alternativos de suspensión de las canales, estimulación eléctrica, refrigeración lenta o retardada, refrigeración super-rápida) (Sørheim et al., 2001; Maher et al., 2004; Yu et al., 2008).

En la bibliografía pueden encontrarse referencias sobre pautas de evolución de la temperatura que eviten el proceso de *acortamiento por frío*. Por ejemplo, se ha observado que el acortamiento de los sarcómeros es mínimo si el músculo en *pre-rigor* se mantiene a temperaturas comprendidas entre los 14 y los

20°C. Por debajo y por encima de este rango de temperaturas se produce un mayor acortamiento de los sarcómeros (acortamiento por frío y acortamiento por calor, respectivamente) (Geesink et al., 2000; Huff-Lonergan et al., 2010). Bendall (1973a,b) recomienda no disminuir la temperatura de la canal por debajo de los 10-12°C hasta la instauración del *rigor mortis* a las 10-15 horas *postmortem* y Olsson et al. (1994) no disminuir la temperatura de la canal por debajo de 7°C hasta las 10 horas *postmortem*. Según Hannula y Puolanne (2004), lo importante es la evolución conjunta de pH y temperatura y sería recomendable alcanzar valores de pH de 5,7 o inferiores cuando la temperatura de la carne alcance los 7°C.

Es necesario tener en cuenta que la susceptibilidad de las canales al fenómeno del acortamiento por frío es mayor en el caso de canales pequeñas y poco engrasadas (Jeremiah, 1996; Janz et al., 2000), tales como las obtenidas de razas rústicas como la Tudanca y/o de animales acabados en pastoreo o con sistemas con bajo uso de concentrados (Humada et al., 2013). La susceptibilidad de los distintos músculos también varía según su situación en la canal y su contenido en fibras oxidativas. Por su situación externa y su alto contenido en fibras oxidativas, el músculo *Longísimus dorsi* es especialmente sensible al fenómeno de acortamiento por frío (Sørheim et al., 2001; Hannula y Puolanne, 2004; Hwang et al., 2004).

Además de sobre la caída de pH, la longitud de los sarcómeros, la terneza y los recuentos microbiológicos de la canal, el protocolo de refrigeración podría tener efecto sobre otros parámetros de calidad, como el color de la grasa de la canal, el color de la carne, la capacidad de retención de agua o el estado oxidativo (Geesink et al., 2000; Janz et al., 2000).

El objetivo de este trabajo es estudiar, en las condiciones de trabajo de un matadero comercial, el efecto de dos protocolos de refrige-

ración (convencional o *lento*) sobre la calidad higiénica de la canal y sobre las características físico-químicas de la carne de añojos de raza Tudanca acabados en pastoreo.

## Material y métodos

Se utilizaron 9 añojos de raza Tudanca sacrificados entre los 14 y los 15 meses de edad después de un periodo de acabado en pastoreo de 4 meses, durante los que recibieron también una suplementación de 2,5 kg de harina de cebada por animal y día. En la Tabla 1 se recogen algunas características de los animales y de las canales obtenidas.

Los animales se sacrificaron en una única tanda de sacrificio en un matadero comercial situado a 35 km de la explotación. El periodo de espera en el matadero fue de 12 horas. Inmediatamente después de la obtención de la canal y división en dos medias canales, las 9 medias canales derechas se asignaron al tratamiento de refrigeración convencional (el aplicado rutinariamente en el matadero) y las nueve medias canales izquierdas al tratamiento de refrigeración lenta. El tiempo transcurrido desde el sangrado de los animales hasta la aplicación de los correspondientes tratamientos de refrigeración, fue de aproximadamente 1 hora. En el tratamiento de refrigeración convencional las canales se introdujeron en una cámara con una temperatura inicial de 1,8°C, una velocidad del aire de 2 m/s y una humedad relativa del 90%. En el tratamiento de refrigeración lenta las canales se introdujeron en una cámara a temperatura ambiente (13,9°C), sin ningún sistema de movilización del aire y con una humedad relativa del 76%, en la que permanecieron hasta las 7 horas *postmortem*. Una vez transcurrido dicho periodo, todas las medias canales se juntaron en una única cámara con una temperatura de entre 2 y 4°C y una humedad relativa del 93%, hasta las 24 horas

Tabla 1. Características de los animales, de las canales y de la carne  
 Table 1. Animal, carcass and meat characteristics

	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
Edad de sacrificio (días)	462,8	40,59	525	415
Peso vivo sacrificio (kg)	353,2	38,93	412	287
Peso canal fría (kg) <sup>1</sup>	177,2	23,94	216	145
Conformación (1-18) <sup>2</sup>	2,1	0,33	3	2
Engrasamiento (1-15) <sup>3</sup>	4,0	0,71	5	3
Medidas morfológicas de la canal (cm) <sup>4</sup> :				
Longitud de la pierna	75,3	2,51	79	70
Longitud de la canal	118,9	4,19	125	111
Profundidad interna del pecho	44,7	1,20	47	43
Perímetro de la pierna	95,1	2,97	101	93
Espesor de la pierna	24,1	0,82	25	23
Composición tisular de la 6ª costilla (%) <sup>5</sup>				
Músculo	72,4	1,83	74	69
Hueso	20,0	1,57	22	17
Grasa	7,6	1,99	11	5
Composición química del músculo <i>Longissimus dorsi</i> (%) <sup>6</sup>				
Humedad	75,7	0,81	77	74
Grasa	1,8	0,74	3	1
Proteína	21,4	0,19	22	21
Cenizas	1,1	0,03	1	1

<sup>1</sup>: peso de la canal caliente menos 2%; <sup>2</sup>: Transformación de la escala SEUROP de 6 puntos (P = 1, mala conformación; 5 = 6, conformación excelente) del Reglamento (CE) 1183/2006 en una escala de 18 puntos; <sup>3</sup>: Transformación de la escala de 1 (poco engrasada) a 5 (muy engrasada) del Reglamento (CE) 1183/2006 a una escala de 15 puntos; <sup>4</sup>: García-Torres et al. (2005); <sup>5</sup>: Carballo et al., 2005; <sup>6</sup>: Métodos de Análisis de Productos Cárnicos recogidos en el BOE de 29 de agosto de 1979.

*postmortem*. Los datos de temperatura y humedad relativa de las cámaras se tomaron del sistema de control y registro del matadero.

Inmediatamente después del desollado y a las 24 horas *postmortem*, se muestreó la superficie de todas las medias canales para valorar la contaminación microbiana mediante

un recuento de colonias aerobias totales y enterobacteriáceas (Reglamento (CE) 1441/2007). Las muestras se tomaron utilizando la técnica de los hisopos de algodón y se muestrearon cuatro zonas de 100 cm<sup>2</sup> cada una, situadas en el cuello, el pecho, la falda y la cadera. Los ocho hisopos utilizados para muestrear cada

media canal (2 por localización, uno húmedo y otro seco) se introdujeron en un frasco estéril con 10 ml de agua de peptona taponada (Merk 1.07228.0500) con un 1% de peptona. Los frascos se homogeneizaron y a partir de la solución inicial de 10 ml se prepararon 5 diluciones decimales seriadas utilizando el mismo diluyente. Para cada determinación, de cada dilución se sembraron 2 placas (1 ml por placa). Para el recuento de colonias aerobias totales se utilizó el método de siembra en profundidad, el medio de siembra fue PCA y las placas se incubaron a 30°C durante 72 horas. Para el recuento de enterobacteriáceas se utilizó el método de siembra en profundidad con doble capa en un medio VRBG y las placas se incubaron a 37°C durante 24 horas. Los resultados se expresan como  $\log \text{ufc/cm}^2$ .

A las 5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas *postmortem* se midió por duplicado el pH y la temperatura del músculo *Longissimus dorsi* entre la 4ª y la 5ª vértebra lumbar, en todas las medias canales de los dos tratamientos de refrigeración, utilizando un pHmetro portátil (Crison 507, Crison, España) equipado con una sonda de temperatura. La sonda de temperatura se introdujo a 4 cm de profundidad.

A las 24 horas *postmortem*, se registraron los parámetros de color del espacio CIE L\* a\* b\* de la grasa subcutánea de todas las medias canales, en tres puntos de la zona del lomo, utilizando un colorímetro portátil Minolta CR-400 (iluminante D65, observador 2°).

A las 48 horas *postmortem*, se extrajo el músculo *Longissimus dorsi* desde la 7ª costilla hasta el final del lomo. Del músculo *Longissimus dorsi*, se cortaron en dirección craneocaudal un filete de 2 cm de espesor, que se utilizó para la determinación de la longitud de los sarcómeros, y tres porciones de 7 cm de longitud que se envasaron al vacío y se asignaron al azar a tres periodos de maduración (hasta los 3 días *postmortem*; hasta los 7 días *postmortem* y hasta los 14 días *postmortem*).

El proceso necesario para completar cada tratamiento de maduración se realizó a 4°C. Una vez transcurrido el periodo de maduración, de cada porción de lomo de 7 cm se cortaron dos filetes, uno de 3 cm y otro de 2,5 cm de espesor. El primero se utilizó para determinar los parámetros CIE L\*, a\*, b\* de color; a continuación, se envasó al vacío y se congeló hasta el momento de ser utilizado para la determinación de las pérdidas por cocción y la resistencia al corte. El segundo se utilizó para determinar inmediatamente la oxidación de los lípidos.

La longitud de los sarcómeros se determinó mediante microscopía de contraste de fase según la técnica descrita en Torrescano et al. (2003). Inmediatamente tras la extracción de la muestra, se cortaron pequeños cubos de aproximadamente 1 cm de lado que se fijaron sumergiéndolos durante 1 hora en una solución de glutaraldehído (2,5% v/v en buffer fosfato pH 6.5). A continuación se cogieron pequeños haces de fibras sobre los que se midió la longitud de 10 sarcómeros ubicados en 10 campos diferentes utilizando un objetivo de inmersión 100x y un ocular graduado 10x. La longitud del sarcómero se calculó como la media de las longitudes obtenidas en los 10 campos.

Para determinar los parámetros de color del espacio CIE L\* a\* b\* del músculo *Longissimus dorsi*, las muestras envasadas al vacío se extrajeron de las bolsas, se secaron con papel absorbente, se colocaron en bandejas de poliestireno envueltas con film plástico permeable al oxígeno, y se dejaron oxigenar durante 1 hora a 4°C. Los parámetros L\* (luminosidad), a\* (índice de rojo) y b\* (índice de amarillo) se midieron en tres zonas homogéneas libres de grasa y de vasos sanguíneos. Los valores de C\* (croma) y H\* (tono) se calcularon como  $C^*_{a,b} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0,5}$  y  $H^*_{a,b} = \arctan (b^*/a^*)$ . La conversión de los valores de H\* de radianes a grados se hizo multiplicando los valores obtenidos por  $180^\circ/\pi$ .

Para estudiar la textura de la carne las muestras se cocieron en un baño de agua con control de temperatura automático (Selecta Untronic OR, España) regulado a 100° C, introducidas en bolsas de plástico, hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C. Una vez alcanzada esta temperatura en el interior de los filetes, éstos se extrajeron del baño y se enfriaron rápidamente introduciendo las bolsas en un baño de agua con hielo picado. A continuación, los filetes se mantuvieron en refrigeración a 4°C durante 24 h. Al día siguiente de la cocción, los filetes se sacaron de la cámara de refrigeración y se dejaron atemperar a temperatura ambiente durante 1 hora. A continuación, las muestras para determinar la resistencia al corte se obtuvieron cortando prismas de aproximadamente 1 x 1 x 2,5 cm,

paralelos a la dirección de las fibras musculares. Se midió la resistencia al corte de un mínimo de 4 submuestras por filete. La resistencia al corte se determinó usando un texturómetro TA.XT plus (Stable Micro Systems, Reino Unido) equipado con una sonda Warner-Bratzler con cuchilla triangular. Las muestras fueron completamente cortadas en perpendicular a las fibras musculares, la velocidad de avance de la cuchilla fue de 1 mm/s y se registró el parámetro fuerza máxima de corte (pico más alto de la curva fuerza-tiempo).

Las pérdidas de agua por cocción se calcularon utilizando las mismas muestras utilizadas para el análisis de textura. Las pérdidas por cocción se calcularon como la diferencia de peso entre las muestras cocidas y crudas:

$$\text{Pérdidas por cocción (\%)} = \frac{(\text{Peso de la carne cruda} - \text{Peso de la carne cocida})}{\text{Peso de la carne cruda}} \times 100$$

La oxidación de los lípidos se midió mediante el método de determinación de las sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Pfalzgraf et al., 1995).

Los valores de pH y temperatura medidos para un mismo animal en las dos medias canales y en seis momentos *postmortem*, se compararon estadísticamente utilizando un modelo dos factores con medidas repetidas en ambos. El modelo considerado incluía los factores protocolo de refrigeración (convencional, lenta), el momento de la determinación (5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas *postmortem*) y su interacción. Cuando  $P \leq 0,05$  para el factor protocolo de refrigeración, se separaron las medias entre tratamientos dentro de cada momento de determinación utilizando el test de Bonferroni. Para el resto de variables, los dos tratamientos se compararon utilizando un modelo de medidas repetidas de un factor (protocolo de refrigeración). Todos los análisis se realizaron utilizando el procedimiento GLM del programa SPSS 17.0 (2008).

## Resultados

Los animales utilizados se sacrificaron al inicio de la jornada de matanza, inmediatamente después de los animales menores de un año. La cámara utilizada para el tratamiento de refrigeración convencional fue la utilizada como cámara de refrigeración inicial en la rutina de trabajo habitual del matadero y su temperatura osciló entre 1,8 y 8,6°C durante las 6 horas en las que las medias canales de los dos tratamientos permanecieron separadas (Figura 1). Esta variación de temperatura se debió a la introducción de canales a lo largo de la jornada de matanza y a la entrada y salida de operarios. La temperatura de la cámara de refrigeración lenta osciló entre 13,9 y 16,7°C (Figura 1). La temperatura en el momento de introducción de la primera canal de un animal menor de 1 año era de 1,1°C.

En la Tabla 2 se muestran la significación de los efectos del protocolo de refrigeración y el



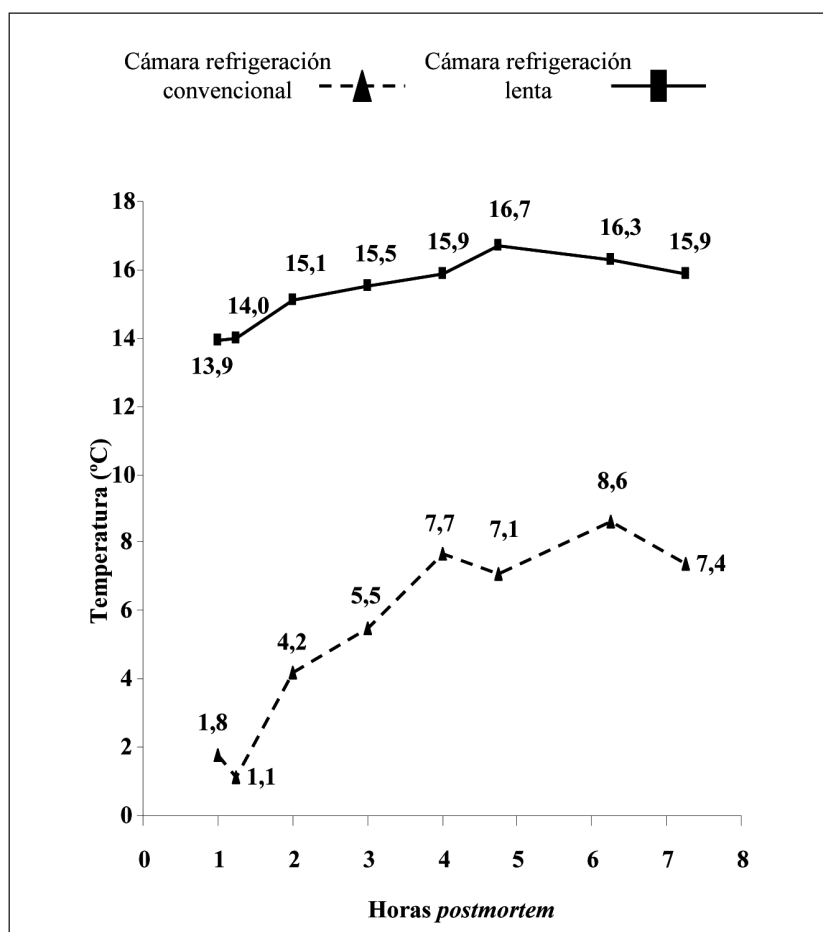


Figura 1. Evolución de la temperatura (°C) en las cámaras de refrigeración.  
 Figure 1. Evolution of temperature (°C) in the chilling rooms.

Tabla 2. Efecto del protocolo de refrigeración (convencional vs. lenta) y del tiempo transcurrido desde el sacrificio (5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas) sobre los valores de pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi*  
 Table 2. Effect of chilling method (conventional vs. slow) and time from slaughter (5, 9, 10, 11, 12 and 24 hours) on pH and temperature values of *Longissimus dorsi* muscle

Factores	pH		Temperatura	
	F	P-valor	F	P-valor
Refrigeración	381,12	0,000	995,65	0,000
Tiempo <i>postmortem</i>	109,77	0,000	1603,21	0,000
Refrigeración x Tiempo <i>postmortem</i>	16,450	0,000	404,94	0,000

tiempo transcurrido desde el sacrificio sobre el pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi* según. En la Figura 2 se puede ver la evolución de la temperatura y del pH del músculo *Longissimus dorsi*, entre las 5 y las 24 horas *postmortem*, en los dos protocolos de refrigeración. Se observaron diferencias en la temperatura del músculo *Longissimus dorsi* en todos los tiempos de medida, incluso a las 24 horas *postmortem* ( $P \leq 0,05$ ), aunque la diferencia en los valores en este momento fue de poca cuantía, tanto considerando los valores medios (4,0 vs. 4,2°C) como considerando los valores individuales dentro de cada tratamiento (0,7°C en el tratamiento de refrigeración convencional y 0,2°C en el tratamiento de refrigeración lenta).

No se observaron diferencias entre protocolos de refrigeración en el pH final medido a las 24 horas *postmortem* ( $P > 0,05$ ) y los valores individuales de todas las medias canales oscilaron entre 5,55 y 5,70. Sí se observaron diferencias entre tratamientos en el resto de tiempos de medida ( $P \leq 0,001$ ). La caída del pH fue más lenta en las canales sometidas al protocolo de refrigeración convencional. A las 10 horas *postmortem*, los valores medios de temperatura y pH del músculo *Longissimus dorsi* eran 10,5°C y 5,90 puntos de pH para el tratamiento de refrigeración lenta, y 6,4°C y 6,43 puntos de pH para el tratamiento de refrigeración convencional ( $P \leq 0,001$  para ambos parámetros).

El protocolo de refrigeración tuvo un efecto significativo sobre los parámetros de color  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (índice de rojo) y  $H^*$  (tono) de la grasa subcutánea (Tabla 3). La grasa subcutánea de las medias canales sometidas al protocolo de refrigeración lenta presentó valores superiores de  $L^*$  y  $a^*$  ( $P \leq 0,05$ ) e inferiores de  $H^*$  ( $P \leq 0,05$ ).

No se observaron diferencias en el recuento total de colonias aerobias, ni inmediatamente después del sacrificio, ni a las 24 horas *post-*

*mortem* ( $P > 0,05$ ). Todos los valores individuales se situaron por debajo de 2,8 log UFC/cm<sup>2</sup> (límite inferior del intervalo de valores aceptables según la Decisión 471/2001/CE para muestras tomadas con el método no destructivo). No se detectaron enterobacterias en las superficies muestreadas.

El protocolo de refrigeración tuvo efecto sobre la longitud de los sarcómeros ( $P < 0,01$ ). La longitud de los sarcómeros del músculo *Longissimus dorsi* de las medias canales sometidas al proceso de refrigeración lenta fue superior a la de las medias canales sometidas al proceso de refrigeración convencional (2,14 vs. 1,88  $\mu\text{m}$ ;  $P < 0,01$ ).

No se observó efecto del protocolo de refrigeración sobre los parámetros de color del músculo *Longissimus dorsi*, luminosidad ( $L^*$ ), tono ( $H^*$ ) y saturación ( $C^*$ ), ni sobre las pérdidas de agua por cocción, ni sobre la oxidación de la carne, medidos a los 3, 7 y 14 días *postmortem* ( $P > 0,05$ ) (Tabla 3).

No se observaron diferencias entre sistemas de refrigeración en los valores de fuerza máxima de resistencia al corte en la carne madurada hasta los 3 y 14 días *postmortem* ( $P > 0,05$ ). Se observó una tendencia a valores inferiores de resistencia al corte de la carne sometida al proceso de refrigeración lenta, evaluada a los 7 días *postmortem* (5,74 vs. 6,55 kg;  $P = 0,07$ ). En la Figura 3 se representan los valores individuales de fuerza máxima de resistencia al corte de los dos tratamientos de refrigeración a los 3, 7 y 14 días *postmortem*. En esta figura se observa como se reduce la fuerza de corte con el tiempo de maduración en los dos protocolos de refrigeración. A los 7 días *postmortem* se observa que, mientras que en las muestras correspondientes al tratamiento de refrigeración convencional, sólo dos valores individuales se sitúan por debajo de 6 kg, en las muestras del tratamiento de refrigeración lenta, 5 muestras se sitúan por debajo de dicho umbral.



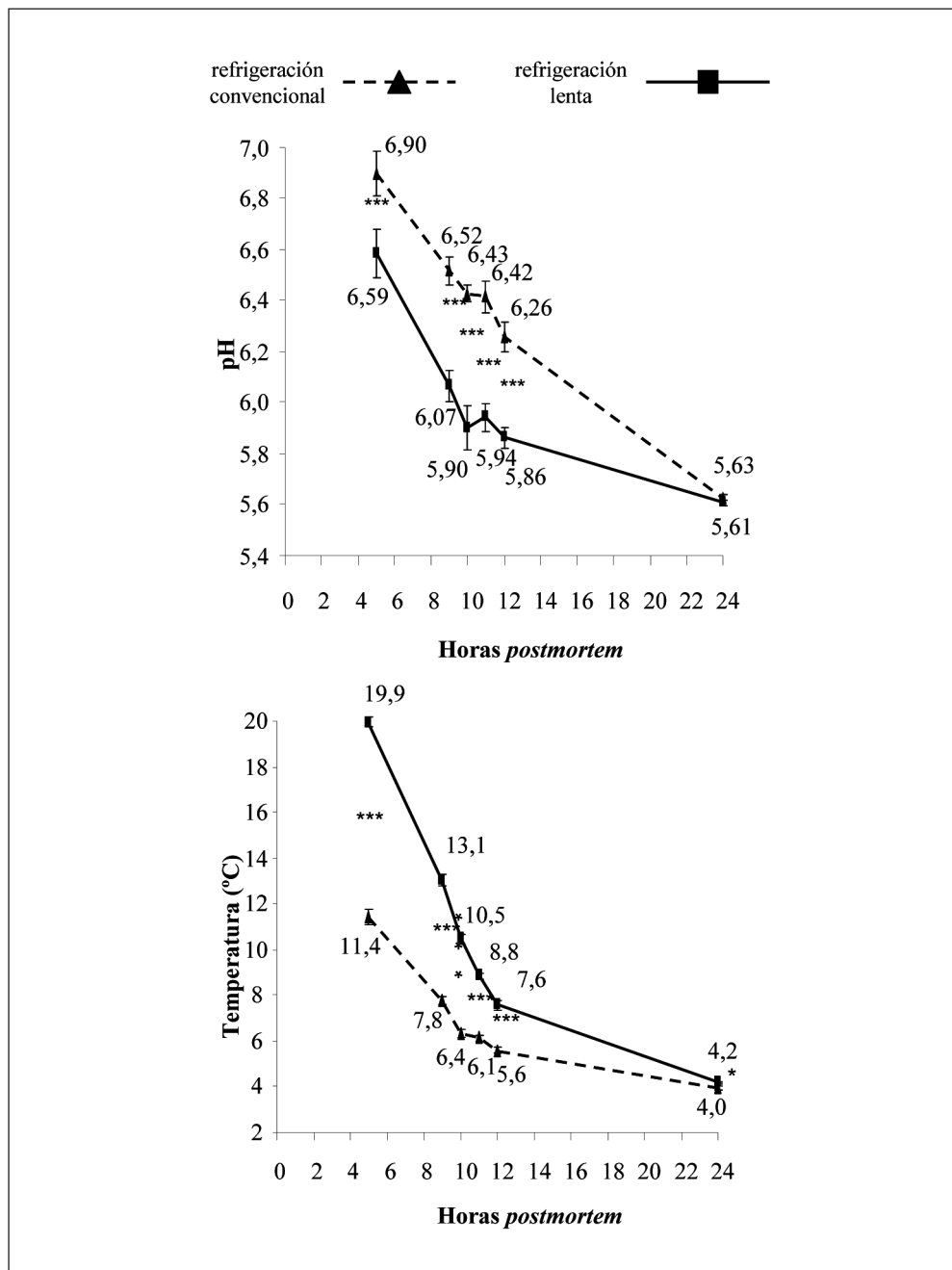


Figura 2. Efecto del protocolo de refrigeración de la canal (convencional o lento) sobre la disminución de temperatura y pH del músculo *Longissimus dorsi* durante las 24 h postmortem.  
 Figure 2. Effect of carcass chilling treatment (conventional or slow) on pH and temperature falling during 24 h post-mortem in *Longissimus dorsi* muscle.

Tabla 3. Efecto del tratamiento de refrigeración sobre el color de la grasa subcutánea, la contaminación microbiana de la canal, la longitud de los sarcómeros y las características de la carne a los 3, 7 y 14 días *postmortem*

Table 3. Effect of carcass chilling treatment (conventional or slow) on subcutaneous fat colour, carcass microbial contamination, sarcomere length and meat characteristics at 3, 7 and 14 days post-slaughter

	Refrigeración		Desviación estándar	P-valor
	Convencional	Lenta		
Color de la grasa subcutánea 24 h				
Luminosidad (L*)	71,8	72,6	0,88	0,000
Índice de rojo (a*)	2,9	3,5	0,53	0,044
Índice de amarillo (b*)	9,1	9,1	1,70	0,982
Tono (H°)	71,4	66,2	3,20	0,009
Saturación (C*)	9,3	9,3	1,18	0,969
Recuento total colonias aerobias (log ufc/cm <sup>2</sup> ):				
0 h	1,51	1,65	0,46	0,671
24 h	2,05	1,98	0,52	0,809
Longitud de los sarcómeros (µm)	1,88	2,14	0,123	0,004
Color del músculo <i>Longissimus dorsi</i>				
Luminosidad (L*)				
3 días	35,0	34,9	1,12	0,869
7 días	35,2	34,4	1,15	0,783
14 días	34,7	34,5	0,83	0,564
Tono (H°)				
3 días	5,0	2,7	4,58	0,316
7 días	9,6	3,8	6,23	0,270
14 días	7,7	5,4	4,81	0,332
Saturación (C*)				
3 días	17,7	17,3	1,21	0,486
7 días	20,2	18,9	1,62	0,348
14 días	19,7	19,3	0,95	0,492
Pérdidas por cocción (%)				
3 días	17,8	18,4	1,27	0,379
7 días	19,6	18,9	2,65	0,633
14 días	18,4	18,2	1,75	0,828
Fuerza máxima de corte (kg)				
3 días	8,67	8,72	0,780	0,894
7 días	6,55	5,74	0,820	0,072
14 días	4,44	4,51	0,503	0,775
Oxidación lipídica (mg de malonaldehído/kg de carne)				
3 días	0,079	0,080	0,0138	0,907
7 días	0,088	0,095	0,0165	0,241
14 días	0,098	0,102	0,0125	0,358

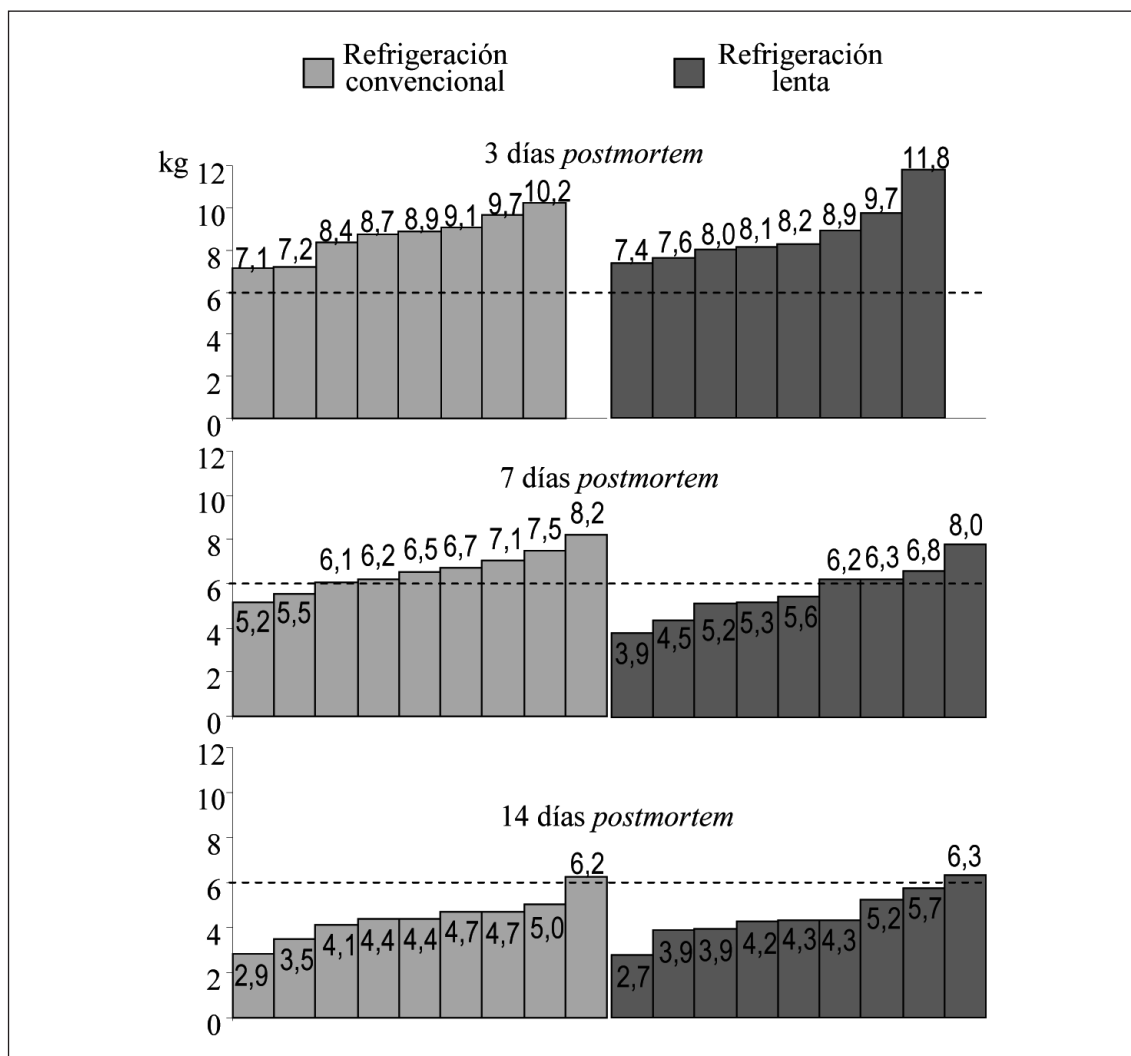


Figura 3. Valores individuales de resistencia al corte a los 3, 7 y 14 días postmortem del músculo *Longissimus dorsi* sometido a los protocolos de refrigeración convencional o lenta.

Figure 3. Individual shear force values at 3, 7 and 14 days post-slaughter of *Longissimus dorsi* muscle exposed to conventional or slow chilling treatments.

## Discusión

A pesar de la subida de temperatura ocurrida en la cámara de refrigeración convencional a lo largo de la jornada de matanza, los valores de pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi* de las medias canales del protocolo

de refrigeración convencional entrarían en la denominada zona de acortamiento por frío definida por diversos autores. Por ejemplo, según Olsson *et al.* (1994), para evitar el acortamiento por frío la temperatura de la carne no debe situarse por debajo de 7°C en las primeras 10 h postmortem. En la Figura 2 se ob-

serva que los valores medios de temperatura de la carne fueron a las 10 horas *postmortem* de 6,4 y 10,5°C para las medias canales del protocolo de refrigeración convencional y lenta, respectivamente. Considerando los valores individuales de temperatura, se observa que en el caso del protocolo de refrigeración convencional, todos los valores menos 1 (7,2°C) se situaron por debajo de este umbral, mientras que en el caso de la refrigeración lenta, ninguna media canal alcanzó valores inferiores a 7 en las 10 horas *postmortem*. Esta información concuerda con la menor longitud de los sarcómeros de los músculos *Longissimus dorsi* sometidos al protocolo de refrigeración convencional.

A pesar de las diferencias en la longitud de los sarcómeros, no se observaron diferencias en la resistencia al corte evaluada a los 3 y 14 días *postmortem*. El protocolo de refrigeración sí tuvo un efecto sobre la resistencia al corte de la carne valorada a los 7 días *postmortem* (mayor en las muestras sometidas a la refrigeración convencional). Coincidiendo con los resultados de autores como White et al. (2006), en ambos tratamientos hubo un incremento de la terneza desde los 3 hasta los 14 días de maduración, de forma que el efecto sobre esta variable observado a los 7 días no se observó a los 14. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros trabajos en los que se ha puesto de manifiesto que el efecto de un enfriamiento demasiado rápido sobre la terneza, se debería principalmente al efecto de la disminución de la velocidad de caída del pH sobre los procesos proteolíticos que tienen lugar durante la maduración de la carne, los cuales se ven también ralentizados (Hwang et al., 2004). Purchas et al. (1999) observaron un incremento en la resistencia al corte al incrementarse el pH final de 5,5 a 6. En el presente trabajo, se observó una correlación positiva entre los valores de pH a las 5, 9, 11, 12 y 24 horas *postmortem* y la fuerza máxima de corte a los 7 días de maduración (Tabla 4) ( $P \leq 0,05$ ). Además, la

longitud de los sarcómeros presentó una correlación negativa con los valores de pH entre las 9 y las 12 horas *postmortem* ( $P \leq 0,05$ ), y positiva con los valores de temperatura entre las 5 y las 12 horas *postmortem* ( $P \leq 0,05$ ). Por el contrario, no se observó una correlación significativa ( $P > 0,1$ ) entre la longitud de los sarcómeros y los valores de fuerza máxima de corte en ninguno de los tiempos de maduración considerados (Tabla 4).

Comparando la terneza de la carne obtenida en 7 mataderos comerciales con distintos protocolos de refrigeración, Hannula y Puolanne (2004) observaron que la máxima terneza y la menor variabilidad entre canales se obtenía aplicando protocolos de refrigeración que permitiesen alcanzar valores de pH inferiores a 5,7 cuando la temperatura de la carne alcanzase los 7°C. En el presente trabajo, las medias canales sometidas a la refrigeración convencional tardaron en promedio 9,5 horas en alcanzar los 7°C de temperatura, mientras que las sometidas al protocolo de refrigeración lenta tardaron 14 horas. Los valores medios de pH de los dos tratamientos cuando la temperatura alcanzó los 7°C, fueron 6,4 y 5,8, respectivamente.

En la bibliografía pueden encontrarse trabajos en los que se ha observado un efecto de la temperatura a la que se alcanza el *rigor mortis* sobre el color de la carne (Young et al. (1999) en vacuno; Geesink et al. (2000) en cordero; Janz et al. (2000) en bisonte americano). Por el contrario, Yu et al. (2008) no observaron diferencias en la luminosidad, índice de rojo e índice de amarillo de la carne de vacas de raza Hanwoo sometidas a dos protocolos de refrigeración (2°C hasta las 24 horas *postmortem* vs. 4 h a 2°C, 4 h a 12°C y 16 h a 2°C). En las condiciones del presente trabajo, tampoco se ha observado un efecto del protocolo de refrigeración sobre la luminosidad, el tono o la saturación de la carne medidos a los 3, 7 y 14 días *postmortem*. Esta ausencia de diferencias podría deberse a las condiciones de refri-

Tabla 4. Correlaciones de Pearson entre los valores de pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi* tomados a las 5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas *postmortem*, la longitud de los sarcómeros (Lsarc) y la fuerza máxima de corte (FMAX) a los 3, 7 y 14 días *postmortem*  
 Table 4. Pearson correlations between pH and T values of *Longissimus dorsi* muscle measured at 5, 9, 10, 11, 12 and 24 hours *post-slaughter*, sarcomere length (Lsarc) and maximum shear force (FMAX) at 3, 7 and 14 days *post-slaughter*

	pH5	pH9	pH10	pH11	pH12	pH24	T <sup>5</sup>	T <sup>9</sup>	T <sup>10</sup>	T <sup>11</sup>	T <sup>12</sup>	T <sup>24</sup>	Lsarc	FMAX3	FMAX7	FMAX14
pH5	1	,808***	,671**	,834***	,824***	,525*	-,589**	-,592**	-,574*	-,627**	-,552*	-,388	-,413	-,482	,719**	,614**
pH9	,808**	1	,813***	,834***	,860***	,342	-,846***	-,842***	-,845***	-,867***	-,785***	-,579*	-,602*	-,192	,524*	,381
pH10	,671**	,813***	1	,880***	,875***	,331	-,858***	-,852***	-,893***	-,905***	-,902***	-,472*	-,688**	-,137	,339	,260
pH11	,834***	,834***	,880***	1	,967***	,509*	-,885***	-,889***	-,882***	-,904***	-,873***	-,540*	-,561*	-,359	,556*	,226
pH12	,824**	,860***	,875***	,967***	1	,514*	-,882***	-,878***	-,875***	-,914***	-,881***	-,585*	-,541*	-,286	,561*	,254
pH24	,525*	,342	,331	,509*	,514*	1	-,307	-,298	-,258	-,337	-,288	-,385	-,296	-,170	,500*	,329
T <sup>5</sup>	-,589**	-,846***	-,858***	-,885***	-,882***	-,307	1	,988***	,981***	,987***	,948***	,597**	,632**	,043	-,384	-,020
T <sup>9</sup>	-,592**	-,842***	-,852***	-,889***	-,878***	-,298	,988***	1	,977***	,980***	,961***	,592**	,592*	,085	-,438	,004
T <sup>10</sup>	-,574*	-,845***	-,893***	-,882***	-,875***	-,258	,981***	,977***	1	,989***	,965***	,606**	,673**	,136	-,338	-,043
T <sup>11</sup>	-,627**	-,867***	-,905***	-,904***	-,914***	-,337	,987***	,980***	,989***	1	,970***	,615**	,676**	,097	-,387	-,098
T <sup>12</sup>	-,552*	-,785***	-,902***	-,873***	-,881***	-,288	,948***	,961***	,965***	,970***	1	,590**	,630**	,122	-,338	-,034
T <sup>24</sup>	-,388	-,579*	-,472*	-,540*	-,585*	-,385	,597**	,592**	,606**	,615**	,590**	1	,438	,186	-,203	-,106
Lsarc	-,413	-,602*	-,688**	-,561*	-,541*	-,296	,632**	,592*	,673**	,676**	,630**	,438	1	-,220	-,010	-,339
FMAX3	-,482	-,192	-,137	-,359	-,286	-,170	,043	,085	,136	,097	,122	,186	-,220	1	-,203	-,232
FMAX7	,719**	,524*	,339	,556*	,561*	,500*	-,384	-,438	-,338	-,387	-,338	-,203	-,010	-,203	1	,373
FMAX14	,614**	,381	,260	,226	,254	,329	-,020	,004	-,043	-,098	-,034	-,106	-,339	-,232	,373	1

geración de los dos tratamientos (evolución de temperatura de la cámara convencional, tramo con las mismas condiciones de refrigeración entre las 7 y las 24 horas *postmortem*) y a la ausencia de diferencias en el pH final.

De acuerdo con los resultados de Geesink et al. (2000) y Fernández y Vieira (2012) en carne de cordero, y Yu et al. (2008) en vacuno, no se observó un efecto del protocolo de refrigeración sobre las pérdidas de agua por cocción.

El protocolo de refrigeración lenta no supuso un incremento de la carga microbiana evaluada a las 24 horas *postmortem*. Yu et al. (2008) y Fernández y Vieira (2012) tampoco observaron que los protocolos de refrigeración lenta o retardada aplicados en sus trabajos supusiesen un incremento del riesgo de crecimiento microbiano.

En la bibliografía no se ha encontrado ningún trabajo en el que se haya evaluado el efecto del protocolo de refrigeración sobre el estado oxidativo de la carne. En este trabajo, no se observó que una refrigeración más lenta incrementase el contenido en productos de la oxidación de los lípidos evaluado a los 3, 7 y 14 días *postmortem*, lo que indicaría que la aplicación de un protocolo de refrigeración similar al estudiado, no acortaría la vida útil de la carne como consecuencia de una mayor oxidación de los lípidos. La alimentación con una dieta rica en compuestos antioxidantes también podría haber contribuido a esta ausencia de diferencias. Humada et al. (2014) observaron un mayor contenido en vitamina E y una mayor estabilidad frente a la oxidación de los lípidos en la carne de terneros y añojos producidos en pasto, como los utilizados en este trabajo, frente a los alimentados con concentrado y paja.

Tampoco se ha encontrado en la bibliografía ningún trabajo en el que se haya evaluado el efecto del protocolo de refrigeración sobre el color de la grasa subcutánea. La grasa de las

medias canales sometidas al tratamiento de refrigeración lenta presentó una mayor luminosidad y un color más anaranjado. Aunque en este trabajo no ha sido posible evaluar las pérdidas de peso de las canales por evaporación, se podría plantear la hipótesis de que la refrigeración lenta haya supuesto unas mayores pérdidas por evaporación y que esto se haya traducido en una concentración de ciertos pigmentos, como los carotenoides, en la grasa. Esta hipótesis concuerda con la menor humedad relativa registrada en la cámara de refrigeración lenta respecto a la convencional. Janz et al. (2000), Prado y Felicio (2010) y Fernández y Vieira (2012) no observaron diferencias en las pérdidas de peso de la canal comparando protocolos de refrigeración convencionales y de refrigeración retardada.

Los resultados obtenidos demuestran, en las condiciones de un matadero comercial, que la práctica de fijar una temperatura inicial baja en la cámara de refrigeración en la que se introducen las canales inmediatamente después del sacrificio, previendo la subida de temperatura que tiene lugar a lo largo de la jornada de matanza, puede tener implicaciones negativas sobre la calidad de la carne obtenida, en concreto sobre la terneza. Esta práctica afecta negativamente especialmente a animales que por su edad (animales menores de un año) o su temperamento (algunas razas rústicas) se sacrifican al inicio de la jornada de matanza. Los resultados también muestran la importancia del protocolo de refrigeración en la reducción de la heterogeneidad de la terneza de la carne obtenida.

Como conclusión, se puede destacar la necesidad buscar rutinas de funcionamiento y, en particular protocolos de refrigeración, adaptados a los distintos tipos de canales, que permitan el cumplimiento de los requisitos higiénicos sin perjudicar otros aspectos de la calidad de la carne. La aplicación de protocolos de refrigeración retardada a algunos tipos de canales podría ser una solución.



## Agradecimientos

César Cimadevilla y Personal de la Finca Aranda por su colaboración en la producción de los animales. Rommel Moros y Carlos Murga por su colaboración en la toma de muestras. Personal del Laboratorio Agrícola del CIFA y del Servicio de Laboratorio y Control del Gobierno de Cantabria por su colaboración en los análisis de laboratorio. Ana Fernández y Ceferina Vieira (ITACyL) por sus orientaciones sobre la técnica de medida de los sarcómeros. Personal y SVO del matadero de Guarnizo. Cooperativa Agrocantabria. Programa DOC-INIA-CCAA 2008 (Emma Serrano). Proyecto RTA-INIA-2012-00084-C03-00.

## Bibliografía

- Bendall JR (1973a). The biochemistry of *rigor mortis* and cold-contraction. Proceedings of the 19<sup>th</sup> European meeting of meat research workers, 27 septiembre 1973, París, Francia, pp. 1-27).
- Bendall JR (1973b). *Postmortem* changes in muscle. En: Structure and function of muscle (Ed. Bourne G H), pp. 244-309. Academic Press.
- Bruce HL, Ball RO (1990). *Postmortem* interactions of muscle temperature, pH and extension on beef quality. Journal of Animal Science 68: 4167-4175.
- Carballo JA, Monserrat L, Sánchez L (2005). Composición regional y tisular de la canal bovina. En: V. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA Serie Ganadera (Eds. Cañeque V, Sañudo C), pp. 120-140. INIA.
- Fernández AM, Vieira C (2012) Effect of chilling applied to suckling lamb carcasses on hygienic, physicochemical and sensory meat quality. Meat Science 92: 569-574.
- García-Torres S, Espejo M, López M, Izquierdo M, Mendizábal J, Purroy A (2005). Conformación, engrasamiento y sistemas de clasificación de la canal bovina. En: V. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA Serie Ganadera (Eds. Cañeque V, Sañudo C), pp. 105-119. INIA.
- Geesink GH, Bekhit AD, Bickerstaffe R (2000). Rigor temperature and meat quality characteristics of lamb *longissimus* muscle. Journal of Animal Science 78: 2842-2848.
- Hannula T, Puolanne E (2004). The effect of cooling rate on beef tenderness: the significance of pH at 7°C. Meat Science 67: 403-408.
- Huff-Lonergan E, Zhang W, Lonergan SM (2010). Biochemistry of *postmortem* muscle. Lessons on mechanisms of meat tenderization. Review. Meat Science 86: 184-195.
- Humada MJ, Sañudo C, Cimadevilla C, Serrano E (2013). Efecto del sistema de producción y la edad de sacrificio sobre parámetros productivos, calidad de la canal y rendimiento económico de la producción de terneros y añejos de raza Tudanca. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 109: 183-200.
- Humada MJ, Sañudo C, Serrano E (2014). Chemical composition, vitamin E content, lipid oxidation, color and cooking losses in meat from Tudanca bulls finished on semi-extensive or intensive systems and slaughtered at 12 or 14 months. Meat Science 96: 908-915.
- Hwang IH, Park BY., Cho SH., Lee JM (2004). Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner-Bratzler shear force in beef *longissimus* and *semitendinosus*. Meat Science 68: 497-505.
- Janz JAM, Aalhus JL, Price MA, Schaefer AL (2000). The influence of elevated temperature conditioning on bison (*Bison bison bison*) meat quality. Meat Science 56: 279-284.
- Jeremiah LE (1996). The influence of subcutaneous fat thickness and marbling of beef. Palatability and consumer acceptability. Food Research International 29: 513-520.
- Locker RH, Haggard CJ (1963). A cold shortening effect in beef muscles. Journal of the Science of Food and Agriculture 14: 787-793.
- Maher SC, Mullen AM, Keane MG, Buckley DJ, Kerry JP, Moloney AP (2004). Decreasing varia-

- tion in the eating quality of beef through homogeneous pre- and post-slaughter management. *Meat Science* 67: 33-43.
- Olsson U, Herzman C, Tornberg E (1994). The influence of low temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of *rigor mortis*, aging and tenderness on beef muscles. *Meat Science* 37: 115-131.
- Pfalzgraf A, Frigg M, Steinhart H (1995). -Tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 1339-1342.
- Prado CS, de Felício PE (2010). Effects of chilling rate and spray-chilling on weight loss and tenderness in beef strip loin steaks. *Meat Science* 86: 430-435.
- Purchas RW, Yan X, Hartley DG (1999). The influence of a period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef *m. longissimus thoracis*. *Meat Science* 51: 135-141.
- Reglamento (CE) n° 1441/2007 de la Comisión, de 5 de diciembre de 2007, que modifica el Reglamento (CE) n° 2073/2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L322: 12-29.
- Reglamento (CE) n° 1183/2006 del Consejo, de 24 de julio de 2006, sobre el modelo comunitario de clasificación de las canales de vacuno pesado. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 1, L 214/211-214/216.
- Savell JW, Mueller SL, Baird BE (2005). The chilling of carcasses. Review. *Meat Science* 70: 449-459.
- Sørheim O, Idland J, Halvorsen EC, Frøystein T, Lea P, Hildrum KI (2001). Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of *m. longissimus dorsi*. *Meat Science* 57: 79-85.
- SPSS 17.0 (2008). User's guide. SPSS Inc. Chicago, IL, EE.UU.
- Torrescano G, Sanchez-Escalante A, Giménez B, Roncalés P, Beltrán JA (2003). Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science* 64: 85-91.
- White A, O Sullivan A, Troy DJ, O'Neill EE (2006). Manipulation of the pre-rigor glycolytic behaviour of bovine *M. longissimus dorsi* in order to identify causes of inconsistencies in tenderness. *Meat Science* 73: 151-156.
- Young O A, Priolo A, Simmons NJ, West J (1999). Effects of rigor attainment temperature on meat blooming and colour on display. *Meat Science*, 52: 47-56.
- Yu LH, Lim DG, Jeong SG, In TS, Kim JH, Ahn CN, Kim CJ, Park BY (2008). Effects of temperature conditioning on *postmortem* changes in physico-chemical properties in Korean native cattle (Hanwoo). *Meat Science* 79: 64-70.

(Aceptado para publicación el 4 de julio de 2016)