



Revista Mexicana de Ingeniería Química

ISSN: 1665-2738

amidiq@xanum.uam.mx

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad
Iztapalapa
México

Grajales-Lagunes, A.; Ruiz-Cabrera, M.A.; Lepetit, J.; Favier, R.
Cambios mecánicos, estructurales y geométricos provocados por la contracción al frío en carne cocida
Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 6, núm. 1, 2007, pp. 11-17
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62060102>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CAMBIOS MECÁNICOS, ESTRUCTURALES Y GEOMÉTRICOS PROVOCADOS POR LA CONTRACCIÓN AL FRÍO EN CARNE COCIDA

MECHANICAL, STRUCTURAL AND GEOMETRICAL CHANGES CAUSED BY COLD SHORTENING IN COOKED MEAT

A. Grajales-Lagunes^{1*}, M.A. Ruiz-Cabrera¹, J. Lepetit² y R. Favier²

¹Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias Químicas Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Av. Dr. Manuel Nava #6 Zona Universitaria, C.P. 78210. San Luís Potosí, S.L.P. México

²Qualité des Produits Alimentaires (Biophysique) INRA- Theix, 63122 Ceyrat, France

Recibido 9 de Febrero 2006; Aceptado 29 de Enero 2007

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los cambios mecánicos, estructurales y geométricos que provoca la contracción al frío en la carne cocida. Se trabajó con muestras contraídas y no contraídas del músculo *Semimembranosus* de 4 vacas de 6 años de edad. El cocimiento de las muestras fue realizado a temperaturas de 50, 55, 60 65 y 70°C durante 90 minutos. Las pruebas de tensión indicaron que a 50°C la dureza de la carne no contraída fue mayor que la carne contraída. A 55°C se observó una reducción de la dureza solamente en la carne no contraída. A partir de 60°C la carne contraída fue significativamente más dura que la carne no contraída ($p < 0.05$). Estas diferencias de dureza entre los dos tipos de carne son debidas a los cambios que sufrieron la fibra muscular y el tejido conectivo. Las características geométricas (superficie y diámetro) y estructurales (longitud del sarcómero) de la fibra muscular disminuyeron significativamente a 65°C en ambos tipos de carne. La solubilidad del colágeno fue menor en la carne contraída que en la carne no contraída y esto explica en parte las diferencias de dureza entre los dos tipos de carne.

Palabras clave: Contracción al frío, fibra muscular, colágeno, tensión, longitud del sarcómero.

Abstract

The aim of this work was to evaluate the mechanical, structural and geometrical changes caused by cold shortening in cooked meat. Non-contracted and contracted samples of *Semimembranosus* muscle from 4 animals (6 year old, cows) were used. These samples were cooked at temperatures of 50, 55, 60 and 70°C for 90 min. Tensile tests indicated that at 50°C, contracted meat was tougher than the non-contracted meat. At 55°C a reduction in toughness was only observed in non-contracted meat. Above 60°C, the contracted meat was significantly tougher than the non-contracted meat ($p < 0.05$). Geometrical (surface and diameter) and structural (sarcomere length) characteristics decreased in both cases. Collagen solubility reduced in the case of contracted meat and this diminution explains partially the toughness differences observed in both samples.

Keywords: Cold shortening, muscular fiber, collagen, tensile, sarcomere length.

1. Introducción

El fenómeno de contracción al frío fue observado por primera vez por Locker (1960) cuando la temperatura del músculo de bovinos era inferior a 10°C y cuando el pH era igual o superior a 6.0. Este fenómeno provoca la contracción de la fibra muscular y consecuentemente una disminución de la longitud del sarcómero la cual puede ser de hasta un 50% (2 a 1.0 μm) dependiendo de la temperatura y del tamaño de la muestra (Hannula y Puolanne, 2004). La contracción al frío tiene su origen en la falta de retención de Ca^{2+} que ocurre a bajas temperaturas. El calcio liberado hacia el espacio

intracelular se une a la troponina C, las troponinas C, I y T cambian de conformación provocando la liberación de la actina y el desplazamiento de la tropomiosina. Posteriormente a estos cambios, el sitio de unión de la actina con la miosina se encuentra expuesto para formar el complejo actomiosina ocurriendo la contracción. El fenómeno de contracción al frío concierne principalmente a los músculos rojos por diferentes razones: por una parte poseen un retículo sarcoplásmico menos apto para fijar el calcio. Por otra parte el contenido de ATP que participa en el almacenamiento activo del calcio en el retículo sarcoplásmico y la velocidad de caída de

* Autor para la correspondencia: E-mail: grajales@uaslp.mx
Tel. (444) 8 26 24 40 ext. 539. Fax. (444) 8 26 23 72

pH son más bajos que la de los músculos blancos (cerdo, aves, peces) (Savell y col., 2005).

La contracción al frío tiene una repercusión en la dureza de la carne cocida (Barnier, 1995; Grajales, 1999 y Tornberg, 2005), diferentes hipótesis han sido propuestas para explicar el incremento de dureza en las carnes contraídas después de su cocimiento. Algunos autores atribuyen esta dureza a la estructura miofibrilar, es decir a la formación del complejo actomiosina y a la disminución de la longitud del sarcómero (Dransfield y Rhodes 1976; Willems y Purslow 1996), en carne cocida esto se refleja en la dureza, la carne contraída es 2.5 veces más dura que la carne no contraída cuando el cocimiento se lleva a cabo entre 70 y 80°C, una de las características que presentan las carnes contraídas cocidas es la elevada pérdida de peso. Otros autores consideran que el incremento de dureza de la carne es debido al tejido conectivo intramuscular (cantidad y naturaleza química del colágeno del perimysio) (Bailey, 1983). Las fibras de colágeno en estado nativo se encuentran onduladas (Purslow, 1989) esta ondulación se pierde cuando durante la instalación del *rigor mortis* el músculo es sometido a una tensión (contracción o estiramiento) la cual provoca que la fibra de colágeno sea recta y que durante el cocimiento no pueda contraerse libremente (Lepetit y col., 2000). Durante el cocimiento (60 y 70°C) se incrementa la rigidez de las fibras de colágeno debido a su contracción, la contracción del colágeno compacta a las fibras musculares y esto provoca elevadas pérdidas de peso trayendo como consecuencia una carne más dura (Purslow 1994; Grajales 1999). Para poder explicar esta controversia, de cual es la estructura responsable de la dureza de la carne contraída cocida, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades mecánicas, los cambios estructurales y geométricos en carnes cocidas contraídas y no contraídas.

2. Materiales y Métodos

Para poder evaluar de manera estricta los cambios que ocurren tanto en la fibra muscular como en el tejido conectivo, es necesario someter el músculo *anterigor* a bajas temperaturas para provocar la contracción del músculo y observar cambios más severos. Es necesario indicar que la contracción que sufre el músculo extraído no es la misma que la que sufren los músculos anclados en la canal.

2.1 Material Biológico

El músculo *Semimembranosus* (SM) de 4 vacas de reposición de raza Frisonne de 6 años de edad, fue recuperado dos horas después del sacrificio. El músculo de cada media canal fue cortado en 6 paralelepípedos de (6x10x4 cm) y empacado a vacío (25 pulgadas de mercurio). Los seis paralelepípedos de una media canal fueron puestos en tinas de agua-

hielo (0-2°C) para provocar la contracción al frío (muestras contraídas), el músculo tomado de la otra media canal fue preparado de la misma forma y las muestras fueron puestas en tinas de agua a 15°C (muestras no contraídas) durante 24 horas. Después de 24 horas todas las muestras fueron colocadas en una cámara fría a 4°C durante 14 días.

2.2 Diseño de experimentos

El diseño experimental fue un diseño completamente al azar con dos factores: estado de contracción (contraído y no contraído) temperatura de cocimiento (50, 55, 60, 65 y 70°C) y 4 bloques, los bloques representan a cada animal.

2.3 Cocimiento de la carne

El cocimiento de la carne fue realizado a 14 días *post mortem*. Cada muestra (paralelepípedo) fue cocida a una temperatura diferente 50, 55, 60, 65 y 70°C durante 90 minutos en un baño maría. Diferentes pruebas preliminares demostraron que para las dimensiones utilizadas 6x10x4cm, 90 minutos fueron necesarios para que la temperatura requerida llegara al centro de la muestra.

2.4 Medición del estado de contracción de la carne por la longitud del sarcómero.

La longitud del sarcómero fue determinado por difracción láser (según el método de Cross y col., 1981). La lectura fue efectuada por difracción de un rayo láser (Laser Spectra Physics 156 1mW $\lambda=632.8$ nm), la medida de la distancia entre dos arcos de difracción simétricos permite calcular la longitud del sarcómero. Las imágenes fueron capturadas en la computadora por adquisición automatizada.

2.4.1 Preparación de la muestra

Aproximadamente 3 g de carne fueron cortados en trozos pequeños y fijados con 15 mL de una solución tampón (KCl 0.1M, Acido bórico 0.039M, EDTA 5mM, Glutraldehído 2.5%) durante 2 horas a temperatura ambiente. Enseguida la solución fue decantada y se agregó 15 mL de otro tampón (KCl 0.29M, Acido bórico 0.29M, EDTA 5mM, Glutraldehído 2.5%) durante 24 horas o hasta llevar a cabo la lectura del sarcómero. Después de este tiempo las muestras fueron homogenizadas en un mezclador (Waring Blender) dos veces durante 30 segundos. Una pequeña gota del mezclado fue colocada en un portaobjeto cubriéndolo con un cubreobjeto.

Esta medición fue realizada a 1 día *post mortem* en la carne cruda y después del cocimiento. La media de cada medición fue obtenida a partir de 30 determinaciones.

2.5 Medidas mecánicas

La resistencia mecánica de la carne cruda y cocida se llevó a cabo utilizando el método de tensión en muestras de 1x1x8 cm (ancho, espesor y longitud en el sentido de la fibra muscular) respectivamente. La fijación de las muestras se llevó a cabo según el método de Lepetit y col., (2004). La muestra fue tensionada a 25% de deformación (para verificar si la muestra ya estaba madurada) y hasta su rompimiento, en el sentido de la fibra muscular con una velocidad de desplazamiento de 120mm/min., en una máquina INSTRON 4302 a través del software serie IX. La media de cada medición fue obtenida de 10 muestras.

2.6 Superficie y diámetro de la fibra muscular

La superficie de la fibra muscular fue realizada en muestras crudas y cocidas contraídas y no contraídas. Muestras de 5mm³ de dimensión fueron congeladas en nitrógeno líquido para realizar los cortes histológicos en un criotomo (Reichert Jung Frigocut 2800E) a -25°C. Los cortes con un espesor de 10µm fueron observados en un microscopio de transmisión óptica (Polyvar Reichert), al que se le adaptó una videocámara Sony CDD. Una serie de fotografías fueron realizadas y digitalizadas a 300dpi (dots per inch) utilizando un scanner Scanjet 4C de marca Hewlett-Packard. Sobre la imagen digitalizada el contorno de la fibra fue remarcado y nuevamente digitalizado. La superficie de cada fibra fue medido por análisis de imágenes utilizando como software visilog 4 ((Noesis) Canadá) a través de un segmento de imagen (256 nivel de gris) y una imagen binaria donde el contorno de la fibra toma el valor de 1 y el fondo un valor de 0. El algoritmo calcula la superficie al interior del contorno de las fibras en µm², (Fig. 1). La superficie promedio de las fibras por muestra fue obtenida a partir de 200 a 350 fibras por imagen. El diámetro de la fibra muscular fue calculado a partir de la superficie de la fibra muscular considerando que ésta es un cilindro.

2.7 Cantidad y solubilidad de colágeno

El contenido de colágeno fue determinado por el contenido de hidroxiprolina (colágeno = 7.14 x hidroxiprolina) de acuerdo con el método de Bergman y Loxley (1963) modificado por Bonnet y Kopp (1984).

La solubilidad del colágeno fue determinada después de colocar las muestras 2 horas a 65°C en una solución de Tris-HCl 0.02M y NaCl 0.23 M pH 7.4. Posteriormente las muestras fueron centrifugadas a 4500 r.p.m. durante 20 minutos a 20°C. El sobrenadante fue eliminado y la hidrólisis de colágeno no solubilizado fue realizada de la misma forma que para el colágeno total. La solubilidad del colágeno fue expresado como porcentaje de colágeno soluble µg de hidroxiprolina/mg de materia seca.

2.8 Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó utilizando el modelo lineal general (GLM) de SAS (versión 6.12) a un nivel de significancia del 95%. La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Newman-Keuls utilizando el mismo software.

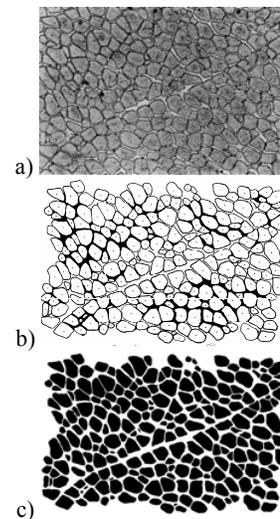


Fig. 1: Representación de las etapas para calcular la superficie de la fibra muscular. a) Fotografía tomada en el microscopio. b) Imagen digitalizada después de haber remarcado el contorno de la fibra. c) Imagen final en la cual la superficie de la fibra fue determinada.

3. Resultados y discusión

3.1 Medidas mecánicas

El valor de la dureza de la carne cruda a 25% de deformación indica el estado de maduración de la misma. El valor promedio de la dureza de la carne contraída y no contraída a 14 días *post mortem* fue de 23.6±4.5 y 24.7±1.98 kPa respectivamente, estadísticamente ($p > 0.05$) no se encontró diferencia significativa entre ambos tipos de carne. Esto indica que la contracción al frío no afecta el proceso de maduración. Estos resultados confirman los resultados de Locker y Wild (1984), Lepetit (1989). Estos autores indican que la contracción al frío no modifica el proceso de maduración y que es posible medir el estado de maduración de la carne a bajas deformaciones, cuando la longitud del sarcómero es menor o igual a 2.4µm.

En la Fig. 2 se observa la dureza a la ruptura de la muestra de la carne cruda (20°C) y cocida a diferentes temperaturas. El valor de la dureza de la carne cocida medida grandes deformaciones representa la dureza de las proteínas miofibrilares y del tejido conectivo. Debido a que durante el cocimiento, las estructuras de la carne (fibras

musculares y tejido conectivo) se contraen, cambian de volumen y sus diferentes enlaces son afectados, por lo tanto cuando una muestra de carne cocida es sometida a una prueba mecánica (tensión, compresión o cizallamiento), diferentes estructuras son medidas y en estas condiciones no es posible acceder a las propiedades mecánicas individuales tanto de la fibra muscular como del tejido conectivo.

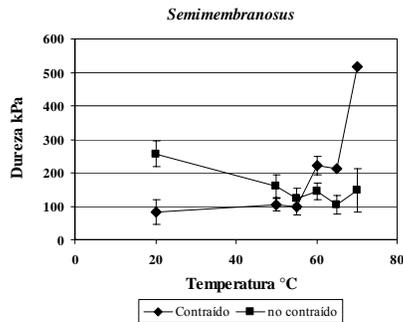


Fig. 2. Dureza máxima de la carne contraída y no contraída a diferentes temperaturas de cocimiento.

Los resultados de la Fig. 2 muestran que la dureza de la carne cruda (20°C) no contraída es significativamente ($p < 0.05$) más elevada que la de la carne contraída. Esto puede ser debido a la diferencia del diámetro que existe entre las fibras musculares contraídas ($67.8 \pm 5.7 \mu\text{m}$) y las fibras musculares no contraídas ($48.2 \pm 4.5 \mu\text{m}$). El diámetro de las fibras musculares contraídas es superior a la de las fibras no contraídas, por lo tanto el número de fibras medidas en una carne contraída durante la prueba de tensión es inferior al de la carne no contraída (Fig. 3). Este mismo razonamiento puede ser aplicado para el tejido conectivo, el número de tramas de tejido conectivo por sección es más débil en una carne contraída que en una no contraída provocando así una menor dureza de la carne contraída cruda. Los resultados de dureza de la carne cocida muestran que a 50°C la dureza de la carne no contraída es superior a la carne contraída, a 55°C existe una disminución de la dureza de la carne no contraída, la cual no se observa en la carne contraída. Entre 60 y 65°C la resistencia de la carne contraída es superior a la de la carne no contraída. Estos resultados están de acuerdo con los resultados de Marsh y Leet (1966), Bouton y col., (1981), Purchas (1973), Barnier (1995), Lepetit y col., (2000) y Tornberg (2005) los cuales utilizaron la compresión y Warner-Bratzler como método para medir la dureza de la carne. El aumento de la dureza de la carne a 50°C ha sido atribuido a la desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares principalmente a la miosina (Davey y Gilbert 1974; Bouton y col., 1981). Tornberg y col., (1997) observan una disminución de la dureza de la carne normal a 60°C, estos autores atribuyen esta disminución al aumento de elasticidad que resulta de la formación de geles y de la agregación de las proteínas sarcoplásmicas que se adhieren a la fibra

muscular. Barnier (1995) encuentra esta disminución de dureza entre 55 y 60°C utilizando pruebas de compresión longitudinal y transversal. Según Lepetit (1989) las medidas realizadas en configuración transversal proporcionan la dureza del tejido conectivo. Esto indica que entre 55 y 60°C hay una disminución de la dureza del tejido conectivo, específicamente del colágeno perimisial. Esta disminución de dureza aparece en la zona donde el colágeno comienza a desnaturalizarse y a contraerse (Lepetit y col., 2000; Christensen y col., 2000). En el caso de la carne contraída esta disminución de dureza no se observa, debido a que las fibras de colágeno se encuentran en tensión y su contracción térmica es limitada.

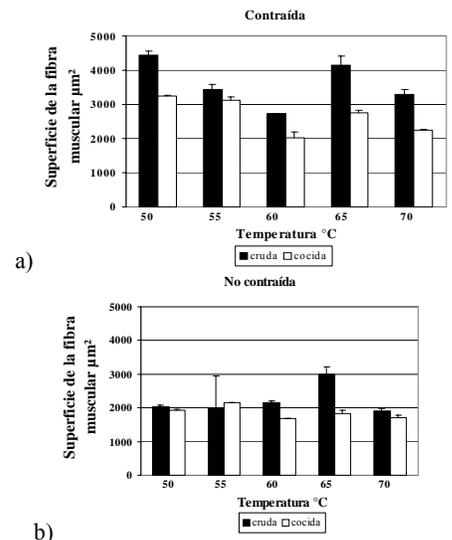


Fig. 3 Evolución de la superficie de la fibra muscular durante el cocimiento de la carne. a) contraída y b) no contraída.

Cuando el colágeno no se puede contraer durante el cocimiento su dureza no cambia (Snowden y col., 1977). Lepetit y col., (2000) demostraron que durante el cocimiento, el colágeno sufre una desnaturalización, una contracción y por último una gelatinización, si el colágeno tiene una mayor capacidad de contraerse libremente la gelatinización incrementa y su dureza disminuye. A 70°C la dureza de la carne contraída es significativamente mayor ($p < 0.05$) a la carne no contraída. El aumento de dureza a ésta temperatura se atribuye a la interacción que existe entre la fibra muscular y el colágeno puesto que durante el cocimiento existe un fenómeno dinámico, las fibras de colágeno ejercen una presión sobre las fibras musculares, las cuales ejercen una reacción a esta presión (Lepetit y col., 2000). Sin embargo para otros autores la dureza de la carne a esta temperatura es debida a la fibra muscular (Mutungi y col., 1996; Christensen y col., 2000). Estos autores trabajaron con fibras musculares

aisladas. La fibra muscular aislada está compuesta de material miofibrilar y de endomisio. Los cambios de dureza de la fibra muscular fueron observados entre 50 y 65°C lo cual fue atribuido a la desnaturalización de la miosina.

3.2 Superficie y diámetro de la fibra muscular.

El diámetro o la superficie de la fibra muscular aumentan cuando la longitud del sarcómero disminuye (Fig. 3). Estos resultados están de acuerdo con los reportados por Offer y col., (1989), Offer y Cousins (1992), Honikel y col., (1986). Por el contrario Tornberg (1996) indica que durante la instalación del *rigor mortis* existe una contracción transversal y longitudinal en la fibra muscular, la cual provoca que el diámetro de la fibra muscular disminuya cuando ésta se contrae. Sin embargo los resultados proporcionados por la literatura (Offer y Cousins, 1992; Honikel y col., 1986) y los resultados obtenidos en este trabajo no confirman la hipótesis de Tornberg (1996). Para la carne contraída cocida la superficie disminuyó ligeramente a 55°C, una disminución importante se observó a 60°C. A 70°C la superficie de la fibra contraída disminuye alrededor de 30% (Fig. 3a). Dicha disminución fue significativamente ($p < 0.05$) superior a la de la carne no contraída a ésta misma temperatura de cocimiento. En el caso de la carne no contraída la disminución de la superficie de la fibra muscular fue a partir de 60°C (Fig. 3b). Estos resultados indican que la superficie de la fibra muscular de la carne contraída y no contraída disminuye después del cocimiento. De acuerdo con los resultados propuestos en la literatura y los resultados de éste trabajo se puede concluir que la modificación de la superficie de la fibra muscular está ligada a las modificaciones estructurales (desnaturalización, hinchamiento, contracción) que intervienen en la fibra muscular. Esta disminución de la superficie de la fibra muscular se observó en la zona de la

temperatura donde el colágeno se contrae. Estos dos fenómenos que suceden contracción térmica del colágeno y contracción de la fibra muscular no es casualidad. Se puede hacer la hipótesis que la variación de la superficie de la fibra muscular entre 55 y 60°C es en parte debida a la presión ejercida por las fibras de endomisio y perimisio.

3.3 Longitud del sarcómero

La longitud promedio del sarcómero en las muestras de los cuatro animales para la carne no contraída y contraída cruda fue de 2.02 y $1.36 \pm 0.15 \mu\text{m}$ respectivamente, lo cual indica que el porcentaje de contracción del músculo contraído fue de aproximadamente 33%. Estos resultados además de confirmar lo reportado por Honikel y col., (1986), muestran que cualquiera que sea el estado de contracción de la carne, la longitud del sarcómero aumenta ligeramente entre 50 y 60°C y disminuye entre 60 y 70°C (Tabla 1). Los trabajos realizados en microscopia electrónica han mostrado que existen cambios en la estructura del sarcómero a partir de 40°C, pero los cambios más severos se observaron a partir de 60°C (Leander y col., 1980). Entre los dos estados de contracción de la carne, la diferencia de longitud del sarcómero fue significativa ($p < 0.05$) a cualquier temperatura, sin embargo, se observó una mayor diferencia en la carne contraída.

3.4 Cantidad y solubilidad de colágeno

El contenido promedio de colágeno total en las muestras contraídas y no contraídas obtenidas de los 4 animales fue de $3.98 \pm 0.65 \mu\text{g}$ de hidroxiprolina / mg de materia seca). El músculo SM es considerado con una elevada concentración de colágeno (Bendall, 1967). Para muchos autores la cantidad total de colágeno está relacionada positivamente con la dureza de la carne cocida (Torrescano y col., 2003).

Tabla 1 Longitud del sarcómero antes y después del cocimiento para el músculo *Semimembranosus* contraído y no contraído.

Estado del músculo	Temperatura °C	L.S* crudo (μm)	L.S* cocido (μm)
Contraído	50	1.27 ± 0.007	1.36 ± 0.05
	55	1.26 ± 0.02	1.48 ± 0.11
	60	1.39 ± 0.21	1.3 ± 0.03
	65	1.66 ± 0.35	1.4 ± 0.19
	70	1.36 ± 0.16	1.27 ± 0.03
No contraído	50	2.02 ± 0.04	2 ± 0.07
	55	2.02 ± 0.03	2.07 ± 0.14
	60	2.02 ± 0.08	2.05 ± 0.06
	65	2.02 ± 0.11	2 ± 0.02
	70	2.02 ± 0.07	1.90 ± 0.08

LS* Longitud del sarcómero

Con respecto a la solubilidad, se observó que el colágeno de la carne no contraída fue más soluble que el de la carne contraída (Fig. 4). A pesar de la diferencia (alrededor de 2%) estadísticamente no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$). Esto es posible debido a que el colágeno de la carne no contraída tiende a contraerse libremente y por lo tanto a tener mayor solubilidad.

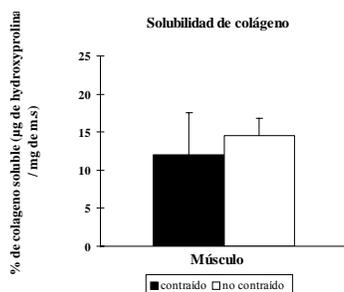


Fig. 4. Porcentaje de colágeno soluble a 65°C para el músculo *Semimembranosus*.

Conclusiones

Las modificaciones mecánicas de las fibras musculares debido a la contracción al frío comienzan a partir de 60°C y concluyen a 70°C donde la dureza medida como ruptura al aplicar tensión en la carne contraída es de 2 a 3 veces superior a la de la carne no contraída.

La superficie de la fibra muscular disminuye significativamente a partir de 65°C en ambos tipos de carne. El colágeno de la carne contraída a 65°C es menos soluble que el de la carne no contraída. La longitud del sarcómero disminuye después del cocimiento tanto en la carne contraída como en la carne no contraída.

De manera general este estudio demostró que la resistencia del colágeno después del cocimiento no está ligada a la cantidad presente en el músculo. Su dureza después del cocimiento está ligada a las características propias de la fibra muscular y a las interacciones que existen entre ambas estructuras.

Para poder conocer de manera precisa la dureza que impone cada una de las estructuras será necesario medir las propiedades mecánicas en estructuras aisladas.

Referencias

Barnier, V.M.H. (1995). Determinants and predictors of beef tenderness. *Thèse de Docteur, Université Utrecht*, 177 pages.

Bailey, A.J. (1983). The chemistry of intramolecular collagen. En: *Recent Advances in the chemistry of meat*, ARC Meat Research Institute, Langford, Bristol, 22-40.

Bendall, J.R. (1967). The Elastin content of various muscles of beef animals. *Journal of Science of Food and Agriculture* 18, 553-558.

Bergam, I. y Loxley, R. (1963). Two improved and simplified methods for the spectrometric determination of hydroxyproline. *Analytical Chemistry* 35, 1961-1965.

Bonnet, M. y Kopp, J. (1984). Dosage de collagène dans les tissus conjonctif, la viande et les produits carnés. *Cahiers techniques INRA* 5, 19-30.

Bouton, P.E., Harris, P.V. y Ratcliff, D. (1981). Effect of cooking temperature and time on the shear properties of meat. *Journal of Food Science* 46, 1082-1087.

Christensen, M., Purslow, P.P. y Larsen, L.M. (2000). The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue. *Meat Science* 55, 301-307.

Cross, H.R., West, R.L. y Duston, T.R. (1981). Comparaison of methods for measuring sarcomere length in beef *Semimembranosus* muscle. *Meat Science* 5, 261-266.

Davey, C.L. y Gilbert, K.V. (1974). Temperature-dependent cooking toughness in beef. *Journal of Science of Food and Agriculture* 25, 931-938.

Dransfield, E. y Rhodes, D.N. (1976). Effect of post rigor muscle length on the texture of meat. *Journal of Food Science of Food Agriculture* 27, 483-486.

Grajales, L. A. (1999). Interactions Mécaniques entre les fibres de collagène et les fibres musculaires dans la viande au cours du chauffage. *Thèse de Docteur, INRA Clermont FdTheix, Université Blaise Pascal*. 139 pages.

Hannula, T. y Puolanne, E. (2004). The effect cooling rate on beef tenderness; The significance of pH at 7°C. *Meat Science* 67, 403-408.

Honikel, K.O., Kim, C.J. y Hamm, R. (1986). Sarcomere shortening of *prerigor* muscles and its influence on drip loss. *Meat Science* 16, 267-282.

Leander, R.C., Hedrick, H.B., Brown, M.F. y White, J.A. (1980). Comparison of structural changes in bovine *Longissimus* and *Semimembranosus* muscles during cooking. *Journal of Food Science* 45, 1-6.

Lepetit, J. (1989). Deformation of collagenous, elastin and muscle fibres in raw meat in relation to anisotropy and length ratio. *Meat Science* 26, 47-66.

Lepetit, J., Favier, R., Grajales, A. y Skjervold, P.O. (2004). A simple cryogenic holder for tensile testing of soft biological tissues. *Journal of Biomechanics* 37, 557-562.

Lepetit, J., Grajales, A. y Favier, R. (2000). Modelling the effect of sarcomere length on collagen thermal shortening in cooked meat:

- consequence on meat toughness. *Meat Science* 54, 239-250.
- Locker, R.H. (1960). Degree of muscular contraction as a factor in tenderness of beef. *Food Research* 25, 304-307.
- Locker, R.H. y Wild, D.J.C. (1984). Tenderisation of meat by pressure-heat involves weakening of the gap filaments in the myofibril. *Meat Science* 10, 207-233.
- Marsh, B.B. y Leet, N.G. (1966). Studies in meat tenderness. III. The effects of cold shortening on tenderness. *Journal of Food Science* 31, 450-459.
- Mutungu, G., Purslow, P. y Warkup, C. (1996). Influence of temperature, fibre diameter and conditioning on the mechanical properties of single fibres extended to fracture. *Journal of Science of Food and Agriculture* 72, 359-366.
- Offer, G. y Cousins, T. (1992). The mechanism of drip production: formation of two compartments of extracellular space in muscle *post mortem*. *Journal of Science of Food and Agriculture* 58, 107-116.
- Offer, G., Purslow, P., Almond, R., Cousins, T., Elsey, J., Lewis, G., Parsons, N. y Sharp, A. (1989). Myofibrils and meat quality. *Proceeding International Congress Meat Science, Brisbane, Australia*. 161-168.
- Purchas, R.W. (1973). Some aspects of raw meat tenderness. A study of some factors affecting its change with cooking and a new means of measurement. *Journal of Food Science* 38, 556-559.
- Purslow, P.P. (1989). Strain-induced reorientation of an intramuscular connective tissue network: implications for passive muscle elasticity. *Journal of Biomechanics* 22, 21-31.
- Purslow, P.P. (1994). The structural basis of meat toughness: What role does the collagenous component play? 40th ICoMST, *The Netherlands*. 27-34.
- S.A.S., 1990. STAT Guide for Personal Computers. Version 6. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Savell, J.W., Mueller, S.L. y Baird, B.E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat Science* 70, 449-459.
- Snowden, J.M., Bouton, P.E. y Harris, P.V. (1977). Influence of constraint during heating and cooling on the mechanical properties of collagenous tissue. *Journal of Food Science* 42, 890-894.
- Tornberg, E. (1996). Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science* 43, 175-191.
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins: implications on structure and quality on meat products. *Meat Science* 70, 493-508.
- Tornberg, E., Anderson, K. y Jossell, A. (1997). The rheological properties of whole and minced meat during cooking as related to sensory and structural characteristics. 1st International Symposium on *Food Rheology and Structure*. Zurich, Swiss 16-20.
- Torrescano, G., Sanchez-Escalante, A., Giménez, B., Roncales, P. y Beltrán, J.A. (2003). Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science* 64, 85-101.
- Willems, M.E.T. y Purslow, P.P. (1996). Effect of *post rigor* sarcomere length on mechanical and structural characteristics of raw and heat-denatured single porcine muscle fibres. *Journal of Texture Studies* 27, 217-233.