

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



Desarrollo de medidas correctoras para problemas de textura en jamón curado

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

ALUMNO: ALEJANDRO NAVARRO CABO

TUTOR: JOSÉ VICENTE GARCÍA PÉREZ

CO-TUTOR: JOSE JAVIER BENEDITO FORT

Curso Académico: 2014-2015

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2015





UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO
NATURAL

Ficha resumen del Trabajo Fin de
Carrera

Datos del trabajo de fin de grado (TFG)

Título del TFG: Desarrollo de medidas correctoras para problemas de textura en jamón curado

Autor: Alejandro Navarro Cabo

Tutor Académico: José Vicente García Pérez

Cotutor: José Javier Benedito Fort

Lugar y fecha: Valencia, septiembre de 2015

Resumen

La reducción de sal implica un aumento de la incidencia de jamones con problemas de textura pastosa que dificultan el loncheado y promueven una mayor adhesividad entre lonchas. La textura es uno de los principales atributos de calidad del jamón, por lo que la pastosidad y la adhesividad de las lonchas influyen negativamente en la calidad percibida por parte del consumidor. En este proyecto, se pretende evaluar la eficacia de la aplicación de tratamientos térmicos moderados asistidos por ultrasonidos de potencia (UdP) para la corrección de los defectos de textura.

Los tratamientos térmicos se llevaron a cabo en medio acuoso utilizando un baño de ultrasonidos con control de temperatura. En primer lugar, se realizaron tratamientos térmicos en lonchas de 2 cm de espesor de jamones comerciales sin defecto de pastosidad a diferentes temperaturas (35, 40 y 45°C) sin y con aplicación de UdP. En segundo lugar, se llevaron a cabo tratamientos térmicos a 45°C con la aplicación de UdP sobre cilindros de 2 cm de diámetro y 2 cm de altura de jamones con defecto de pastosidad. Se analizaron los cambios texturales en los dos principales músculos del jamón (*Semimembranosus*-SM y *Biceps femoris*-BF) mediante ensayos instrumentales de compresión-relajación (4°C) y además, realizando medidas de ultrasonidos de señal (velocidad y atenuación).

Las propiedades texturales del músculo SM (mayor dureza, menor capacidad de relajación) fueron muy diferentes a las del BF. En jamón curado sin defecto de pastosidad, se observó que el tratamiento térmico a 45°C provocó un aumento de la dureza de ambos músculos, mientras que en el resto de temperaturas no se observaron cambios importantes. En el caso de las muestras pastosas, el tratamiento a 45°C con UdP causó un aumento significativo ($p < 0.05$) en la fuerza máxima de compresión y un descenso de la capacidad de relajación, que conllevaron una disminución de la velocidad ultrasónica y un incremento de la atenuación. Por lo tanto, los tratamientos térmicos moderados con UdP pueden considerarse como una alternativa interesante para provocar cambios texturales en jamón curado con defecto de pastosidad, mientras que los ultrasonidos de señal pueden considerarse como una herramienta útil para caracterizar de manera no-destructiva dichos cambios.

Palabras clave

Jamón, ultrasonidos de potencia, transferencia de calor, textura

Abstract

Salt reduction involves an increase in the incidence of hams with pasty texture problems, which hinder the slicing and promote greater adhesion between slices. Texture is one of the main attributes of ham quality, so the stickiness and adhesiveness of the slices adversely affect the quality perceived by the consumer. The objective of this project is to evaluate the effectiveness of the application of moderate heat treatments assisted by power ultrasounds (PU) for correcting textural defects.

Heat treatments were performed in aqueous medium using an ultrasonic bath with temperature control. First, heat treatments were carried out in slices of 2 cm thickness commercial hams without stickiness at different temperatures (35, 40 and 45°C) without and with application of PU. Second, heat treatments were carried out at 45°C with the application of PU in 2 cm of diameter and 2 cm height cylinders of pasty ham. Textural changes were analyzed in the two main muscles of the ham (*Semimembranosus*-SM and *Biceps femoris*-BF) by instrumental compression-relaxation tests (4°C) and also taking low intensity ultrasound measurements (velocity and attenuation).

The textural properties of the muscle SM (greater hardness, lower capacity of relaxation) were very different from the BF. In dry-cured ham without stickiness, it was found that the heat treatment at 45°C caused an increase in the hardness of both muscles, while at the rest of temperatures no significant changes were observed. In the case of pasty samples, the treatment at 45°C with PU caused a significant increase ($p < 0.05$) at the maximum compressive force and a decrease in the capacity of relaxation, which involved a decrease of ultrasonic velocity and an increase of attenuation. Therefore, mild heat treatments with the application of PU may be considered an interesting way to cause textural changes in pasty dry-cured ham while the low intensity ultrasound measurements can be considered as a useful non-destructive tool for characterizing such changes.

Keywords

Hams, stickiness, adhesiveness, ultrasound, heat transfer mechanisms

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. IMPORTANCIA DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDO-CURADOS.....	1
1.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE JAMÓN CURADO	3
1.3. TEXTURA EN JAMÓN CURADO	5
1.4. CORRECCIÓN DE TEXTURA MEDIANTE TRATAMIENTOS TÉRMICOS MODERADOS	6
1.4.1. ULTRASONIDOS DE POTENCIA EN PROCESOS AGROALIMENTARIOS.....	6
1.5. ANÁLISIS DE TEXTURA EN JAMÓN CURADO	7
2. OBJETIVOS.....	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1. MUESTRAS.....	9
3.1.1. MUESTRAS SIN DEFECTO DE TEXTURA.....	9
3.1.2. MUESTRAS CON DEFECTO DE TEXTURA.....	9
3.2. TRATAMIENTO TÉRMICO	10
3.3. ANÁLISIS DE TEXTURA	11
3.3.1. ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO MEDIANTE ULTRASONIDOS DE SEÑAL	11
3.3.2. ANÁLISIS INSTRUMENTAL.....	13
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN JAMÓN CURADO SIN DEFECTO DE TEXTURA	16
4.1.1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA TEXTURA Y PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.....	16
4.1.2. INFLUENCIA DE LOS ULTRASONIDOS DE POTENCIA SOBRE LA TEXTURA Y PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.	19
4.2. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN JAMÓN CURADO CON DEFECTO DE TEXTURA ...	24
4.2.1. INFLUENCIA SOBRE LOS PARÁMETROS TEXTURALES.....	24
4.2.2. INFLUENCIA SOBRE LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.....	25
5. CONCLUSIONES.....	28
6. BIBLIOGRAFÍA.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1. Ventas netas de productos en la industria agroalimentaria dividida por subsectores para el año 2011. (MAGRAMA, 2013).....	1
- Figura 1.2. Diagrama del proceso de elaboración general de jamón curado (Eurocarne, 2013).....	4
- Figura 3.1. Muestra de una loncha de jamón de 2 cm de espesor. El punto 1 y 2 localizados en el músculo <i>Semimembranosus</i> ; punto 3 y 4 localizados en el músculo <i>Bíceps femoris</i>	9
- Figura 3.2. Loncha de jamón curado con defecto de textura.....	10
- Figura 3.3. Cilindros de 2cm de alto y 2cm de diámetro de jamón curado con defecto de textura.....	10
- Figura 3.4. Esquema del equipo de ultrasonidos de potencia.....	11
- Figura 3.5. Esquema del equipo de ultrasonidos de señal.....	12
- Figura 3.6. Transductores del equipo de US de señal.....	13
- Figura 3.7. Imagen de la medida de US señal en el punto 1 del músculo <i>Semimembranosus</i>	13
- Figura 3.8. Obtención de las muestras cilíndricas de 2 cm de diámetro y 2 cm de altura.....	14
- Figura 3.9. Imagen del test de compresión.....	14
- Figura 4.1. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (F0) de los músculos <i>Semimembranosus</i> (SM) y <i>Bíceps femoris</i> (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C. Muestras control (C).....	16
- Figura 4.2. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación Y(90s) de los músculos <i>Semimembranosus</i> (SM) y <i>Bíceps femoris</i> (BF) en jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C. Muestras control (C).....	17
- Figura 4.3. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en jamón curado sin defecto de textura para los músculos <i>Semimembranosus</i> (SM) y <i>Bíceps femoris</i> (BF) tratados térmicamente.....	18
- Figura 4.4. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en jamón curado sin defecto de textura para los músculos <i>Semimembranosus</i> (SM) y <i>Bíceps femoris</i> (BF) tratados térmicamente.....	18
- Figura 4.5. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (F0) del músculo <i>Semimembranosus</i> (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	19

- Figura 4.6. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (F0) del músculo <i>Bíceps femoris</i> (BF) en jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	20
- Figura 4.7. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación Y(90s) en <i>Semimembranosus</i> (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	20
- Figura 4.8. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación Y(90s) en <i>Bíceps femoris</i> (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	21
- Figura 4.9. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en <i>Semimembranosus</i> (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	22
- Figura 4.10. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en <i>Bíceps femoris</i> (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	22
- Figura 4.11. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en <i>Semimembranosus</i> (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	23
- Figura 4.12. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en <i>Bíceps femoris</i> (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.....	23
- Figura 4.13. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (F0) en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).....	24
- Figura 4.14. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación Y(90s) en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).....	25
- Figura 4.15. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).....	26
- Figura 4.16. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).....	27

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.1. Productos cárnicos elaborados. Producción en España (ANICE, 2014).....	2
--	---

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDO-CURADOS

En España, la Industria de alimentación y bebidas se sitúa como primer sector industrial del país representando alrededor del 18% del total de negocio (MAGRAMA, 2013). Dentro del sector agroalimentario, la industria cárnica (Figura 1.1.) representa el 22% del total de ventas netas anuales (MAGRAMA, 2013) siendo uno de los principales sectores económicos del país. En España, en 2013, la industria cárnica exportó 1,57 millones de toneladas de productos por valor de 4.189 millones de euros a mercados de todo el mundo, con una balanza comercial muy positiva del 356%, un dato que muy pocos sectores económicos alcanzan (Asociación Nacional de Industrias de la Carne de España (ANICE) 2014).

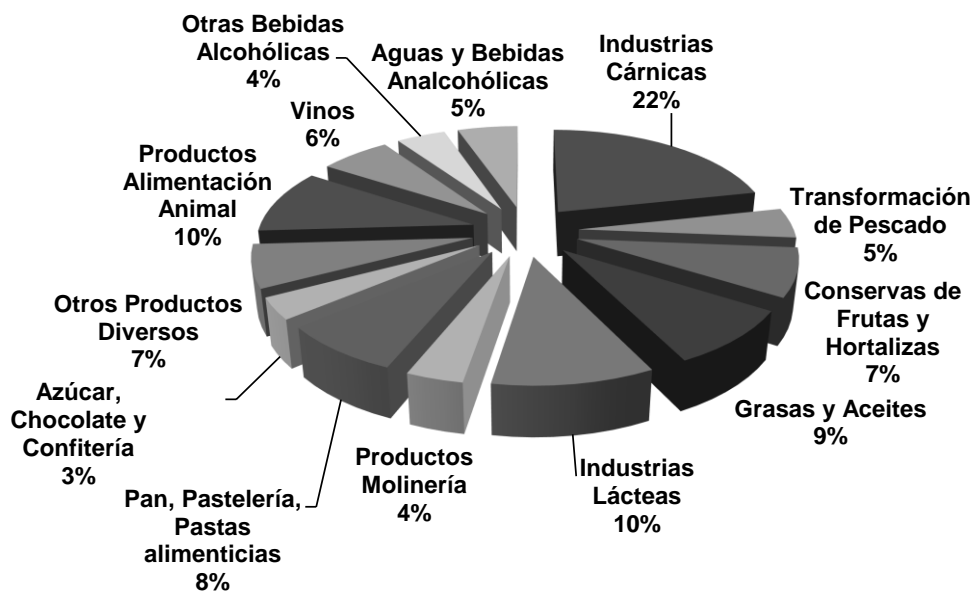


Figura 1.1. Ventas netas de productos en la industria agroalimentaria dividida por subsectores para el año 2011. (MAGRAMA, 2013).

A nivel mundial, China se consolida como el mayor productor de porcino englobando el 50% de la producción y Europa se sitúa en segundo lugar (21%) (Eurocarne, 2014). España es el segundo país europeo en producción de carne de cerdo con un 16% del total de la producción.

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. La producción de elaborados cárnicos en España (Tabla 1.1.), con 1,3 millones de toneladas anuales, sitúa al país en el cuarto lugar de la Unión Europea por detrás de Alemania, Italia y Francia (ANICE, 2014). España es el primer productor de jamón curado con unos 38.5 millones de jamones y paletas al año (ANICE, 2014) y, también, el primer consumidor con 5 kg de jamón curado al año por habitante. Además, es prácticamente el único exportador mundial de jamón siendo Europa su principal destino, con Francia, Alemania y Portugal como principales compradores.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la importancia de los productos cárnicos y en especial a la de los productos crudo-curados, cualquier avance desde el punto de vista tecnológico que conlleve una mejora sobre la calidad final del producto será de gran importancia para el sector.

Producto	Producción 2012(tm)	% del total
Jamón y paleta curados	247500	19,0
Embutidos curados	18300	14,1
Jamón y paleta cocidos	17600	13,5
Otros tratados por el calor	421000	32,4
Productos adobados y frescos	187200	14,4
Platos preparados	86300	6,6

Tabla 1.1. Productos cárnicos elaborados. Producción en España (ANICE, 2014).

1.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE JAMÓN CURADO

Los productos cárnicos crudo-curados son productos de origen animal a los que se le han adicionado sales de curado, aditivos y/o especias y pueden sufrir una etapa de fermentación y/o ahumado opcional para finalizar con una etapa de secado-maduración a temperaturas no superiores a 37°C (Pérez, 2006). El principio de conservación se basa en la reducción de la actividad de agua mediante acción combinada de la sal y el secado que permiten su almacenamiento a temperatura ambiente, evitando así la refrigeración (Pérez-Álvarez et al., 1997). Además, estos productos pueden clasificarse según si presentan integridad anatómica (jamón y lomo...) o no (fuet, salchichón, chorizo...) (Pérez, 2006).

Uno de los productos crudo-curados más elaborados es el jamón curado. El jamón es definido por el Real Decreto 4/2014, de 10 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico (B.O.E. 11/01/2014) como *"producto elaborado con la extremidad posterior, cortada a nivel de la sínfisis isquiopubiana, con pata y hueso, que incluye la pieza osteomuscular íntegra, procedente de cerdos adultos, sometida al correspondiente proceso de salazón y curado-maduración"*.

El proceso de elaboración de jamón curado (Ordoñez, 1998) se muestra en la Figura 1.2. El proceso comienza con la recepción de la materia prima a una temperatura no superior a 3°C y medida de su pH. Luego se elimina la sangre residual de venas y arterias para evitar posibles problemas microbiológicos y de aspecto en el corte y se clasifica según tamaño, peso y cantidad de grasa. Así pues, se realiza un frotado con sales nitrificantes y para eliminar los residuos de sangre todavía presentes en venas y arterias se efectúa un masaje, y posteriormente se recubren las piezas totalmente con sal común (NaCl). El salado debe realizarse tan pronto como la temperatura alcance un valor entre 1 y 3 °C, ya que con ello se logra inhibir el crecimiento de bacterias, con una humedad relativa superior al 90% y con un reposo de 1,1 días/kg de jamón. Luego se realiza el lavado para eliminar el exceso de sal adherido a la superficie del jamón y se pasa a la etapa de post-salado. La finalidad de la etapa de post-salado es conseguir un reparto homogéneo de la sal por todo el jamón al tiempo que se logra una ligera deshidratación. Para obtener un secado regular, la cantidad de agua que se evapora debe estar compensada por la difusión de agua del interior al exterior del jamón. Las condiciones óptimas son temperaturas inferiores a 4°C, humedad entre 75-85% y de 40 a 60 días de reposo. Finalmente, la etapa de secado y maduración se realiza a 14-20°C con humedades de entre 60-80% y tiempos desde 6 meses a 2 años. En esta fase del proceso se

intenta conseguir la total estabilización del jamón mediante la exposición progresiva a temperaturas más elevadas y humedades relativas más bajas. Durante esta etapa el jamón sigue deshidratándose y, además, con la elevación de la temperatura se pretende favorecer las reacciones de formación de compuestos responsables del sabor y aroma. El tiempo de envejecimiento o afinado dependerá del tipo de materia prima y del tipo de jamón que se quiera elaborar (Bello, 2008).

La temperatura del proceso de elaboración afecta directamente a la textura (Arnau et al., 1997) dando lugar a defectos, la mayoría de los cuales pueden ser detectados al final de la etapa de salado y, principalmente, sobre las regiones de la línea Z de las fibras musculares (Monin et al., 1997).

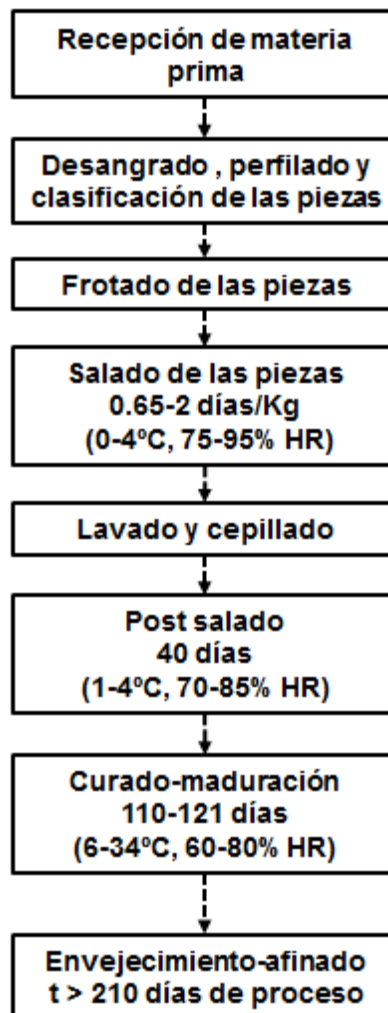


Figura 1.2. Diagrama del proceso de elaboración general de jamón curado (Eurocarne, 2013).

1.3. TEXTURA EN JAMÓN CURADO

La textura es la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos detectadas a través de los sentidos del tacto, visión, audición y cinestésica (Szczeniak, 2002). La textura es un importante factor de calidad para todos los productos cárnicos. Para el jamón curado se evita utilizar piezas con $\text{pH} > 6,2$ por razones de seguridad microbiológica, con el fin de mejorar la salazón y evitar problemas de aspecto y de textura blanda. Además, la ausencia de textura blanda es un criterio de certificación para algunos productos como el Jamón de Parma (“Prosciutto di Parma”) con Denominación de Origen Protegida (Concilio Regulador (EEC) No. 2081/ 1992) y la variedad tradicional española de jamón curado (“Jamón Serrano”) con Especialidad Tradicional Garantizada (Concilio Regulador (EEC) No. 2082/1992).

Actualmente hay una tendencia de los consumidores a demandar productos cárnicos crudo-curados con un bajo contenido en sal debido a la creciente preocupación por su influencia en la presión sanguínea y enfermedades coronarias del corazón (FAO, 2003). Sin embargo, la reducción de sal implica un aumento de la incidencia de algunos problemas texturales. Dos de los problemas más importantes en jamón curado son una textura excesivamente blanda (Parolari et al., 1994; Virgili et al., 1995) y pastosa (Arnau, 1991; Arnau et al., 1998; García-Garrido et al., 2000; García-Rey et al., 2004). Ésta textura excesivamente blanda y pastosa en jamón curado dificulta el loncheado y corte del jamón y produce una sensación de recubrimiento en boca que puede afectar a la aceptabilidad del producto por parte del consumidor (Arnau, 1991).

Parolari et al., (1988) determinaron que la textura blanda en jamón curado se incrementa por altos niveles de grasa intramuscular, así como por un bajo contenido en sal. La textura blanda está asociada con un aumento de la proteólisis (Parolari et al., 1994; Virgili et al., 1995), una elevada actividad de la enzima catepsina (Arnau et al., 1998), pH elevado (Arnau et al., 1998; Guerrero et al., 1999), bajo pH (García-Rey et al., 2004) y un alto contenido en agua (Ruiz-Ramírez et al., 2006).

Las razones por las que se produce un exceso de proteólisis son variadas, como pueden ser los tipos de razas y/o la edad del animal, que tienen una marcada influencia en la presencia de algunas enzimas (Armero et al., 1999; Barbosa et al., 1999). En otros casos, el exceso de proteólisis puede ser debido a variaciones en la actividad de la enzima catepsina por elevados o bajos niveles de sal, que es un importante inhibidor de la actividad enzimática (Parolari et al.,

1994). Por lo tanto, el contenido de sal va a influir considerablemente en la actividad de las proteasas y, en consecuencia, sobre la formación de una textura blanda y pastosa.

Aparte de la selección de la materia prima, la única forma de frenar la incidencia de texturas pastosas consiste en actuar sobre aquellos parámetros que disminuyan la proteólisis (acelerar el salado y el secado, y disminuir la temperatura media del proceso de elaboración).

1.4. CORRECCIÓN DE TEXTURA MEDIANTE TRATAMIENTOS TÉRMICOS MODERADOS

El músculo *Biceps femoris* puede presentar una elevada incidencia de textura blanda y pastosa (Tapiador & García-Garrido, 2003). Por lo tanto, un tratamiento térmico moderado de corta duración podría reducir éstos problemas de textura en el *Biceps femoris*. De acuerdo con los resultados de Morales et al., (2008), un tratamiento térmico a 30 o 36°C durante 24 horas al final del proceso podría mejorar la textura del *Biceps femoris* sin afectar la textura y los parámetros fisicoquímicos del músculo *Semimembranosus*. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores que afirman que los cambios estructurales en los músculos empiezan a temperaturas sobre 30°C, como por ejemplo, la agregación de cabezas globulares de miosina a temperaturas entre 30°C y 50°C (Tornberg, 2005); el despliegue de las proteínas, paso previo a la interacción entre proteínas, y la gelificación que se produce a altas temperaturas, 30-32 °C (Xiong & Brekke, 1990).

1.4.1. ULTRASONIDOS DE POTENCIA EN PROCESOS AGROALIMENTARIOS

Los ultrasonidos son ondas elásticas con una frecuencia superior a 20 kHz y que tienen la misma naturaleza que el sonido (Benedito, 1998). Los ultrasonidos de potencia presentan frecuencias entre 20 y 100 kHz e intensidades por encima de 1 Wcm⁻¹ y son aquellos capaces de modificar un proceso o un producto. Se utilizan para acelerar los procesos de transferencia de masa, por ejemplo para reducir los tiempos de salado en salmuera (McDonnell et al., 2014) y los procesos de transferencia de calor. Además, pueden ser utilizados para modificar estructuras celulares y otros procesos como evitar la formación de espuma, emulsiones, inhibición o activación de enzimas y cristalización (Mason et al., 1996; Mason et al., 2011).

La textura depende de factores como la dureza de la carne, su capacidad de retención de agua y también de su grado de maduración. Mientras que autores como Jayasooriya et al., (2004) afirman que una prolongada exposición de ultrasonidos de potencia causa un ablandamiento de la carne, otros no han podido confirmar éste efecto (Lyng et al., 1997,

1998). La textura de la carne depende de su capacidad de retención de agua, la cual es afectada por el calentamiento. Dolatowski et al., (2000) sugirieron que un tratamiento con ultrasonidos podría facilitar el cambio de las propiedades texturales de la carne e incrementar su capacidad de retención de agua después de la descongelación y un tratamiento térmico sin efectos sobre el pH. También, Dolatowski y Stadnik (2007) confirmaron que un tratamiento con ultrasonidos de potencia podía causar una aceleración en el proceso de maduración.

1.5. ANÁLISIS DE TEXTURA EN JAMÓN CURADO

Los métodos de análisis sensorial e instrumental son los más utilizados para caracterizar la textura de los alimentos.

Por un lado, el análisis sensorial se lleva a cabo con un panel de expertos que se encargan de evaluar parámetros detectables a través de los sentidos como la pastosidad, formación de costra, presencia de precipitados blancos o color anormal en la zona de corte. Sin embargo, éste análisis es muy laborioso, relativamente lento y requiere una gran cantidad de muestra (Guerrero et al., 2005). Por otro lado, el análisis del perfil de textura (Texture Profile Analysis, TPA) (Bourne, 1978) y el test de compresión-relajación son métodos instrumentales comúnmente utilizados para el análisis de textura en alimentos (Pons & Fiszman, 1996). El TPA y el test de compresión-relajación son métodos destructivos muy usados para el análisis de textura en jamón curado (Guerrero et al., 2000; Guerrero et al., 1999; Ruiz-Ramírez et al., 2006; Serra et al., 2005; Tabilo et al., 1999). En conclusión, ambos métodos de análisis requieren de tiempo, son destructivos y no pueden ser automatizados para la realización de medidas on-line.

Frente a las tecnologías convencionales, la industria demanda nuevas tecnologías de análisis de textura, como los ultrasonidos de señal, un método instrumental no destructivo mediante el cual puede analizarse la textura. Los ultrasonidos de señal utilizan frecuencias desde 100 kHz hasta 1 MHz e intensidades menores a 1 Wcm^{-1} . Mediante los ultrasonidos de señal no se busca provocar cambios en el producto, sino determinar las propiedades ultrasónicas del mismo. Así, dicha técnica se basa en la medida de los parámetros de la onda y su principal relación con las características fisicoquímicas del producto como la textura y la composición (Mulet et al., 1999; Coupland, 2004).

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo fue contribuir a la corrección de la pastosidad, como defecto textural en jamón curado, mediante la aplicación de tratamientos térmicos moderados asistidos por ultrasonidos de potencia en medio líquido. Para la consecución de este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- Evaluar las diferencias de las propiedades texturales entre los músculos *Semimembranosus* y *Bíceps femoris* de jamón curado sin defecto.
- Evaluar la influencia de los tratamientos térmicos moderados sobre la textura de jamón curado sin defecto.
- Evaluar el efecto de la aplicación de ultrasonidos de potencia a los tratamientos térmicos moderados sobre la textura de jamón curado sin defecto.
- Evaluar la influencia de los tratamientos térmicos moderados asistidos por ultrasonidos de potencia sobre la textura de jamón curado con defecto.
- Evaluar el uso de ultrasonidos de señal como método de análisis no-destrutivo de textura en jamón curado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MUESTRAS

3.1.1. MUESTRAS SIN DEFECTO DE TEXTURA

Se utilizaron lonchas de jamón curado de 2 cm de espesor compradas en un supermercado local (Figura 3.1.). Se adquirieron dos lonchas contiguas, una de las cuales fue sometida al tratamiento térmico y la otra permaneció como control. En todos los casos, las lonchas fueron envasadas al vacío previamente a cualquier calentamiento o análisis de las mismas. Además, se localizaron dos puntos de medida, de 2 cm de diámetro, sobre el músculo *Semimembranosus* y otros dos sobre el músculo *Bíceps femoris* para su estudio.

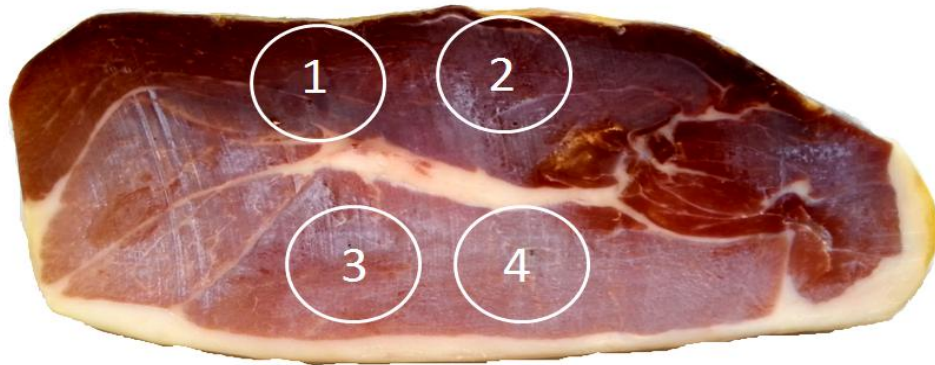


Figura 3.1. Muestra de una loncha de jamón de 2 cm de espesor. El punto 1 y 2 localizados en el músculo *Semimembranosus*; punto 3 y 4 localizados en el músculo *Bíceps femoris*.

3.1.2. MUESTRAS CON DEFECTO DE TEXTURA

Se utilizaron lonchas de jamón curado con un alto grado de pastosidad (Figura 3.2.), que fueron seleccionadas por el IRTA (Monells, Girona). Se obtuvieron cilindros de 2 cm de alto y 2 cm de diámetro, cada uno con su respectivo control (Figura 3.3.). Estos cilindros fueron envasados al vacío previamente a cualquier análisis y tratamiento térmico.



Figura 3.2. Loncha de jamón curado con defecto de textura.



Figura 3.3. Cilindros de 2cm de alto y 2cm de diámetro de jamón curado con defecto de textura.

3.2. TRATAMIENTO TÉRMICO

Para realizar los tratamientos térmicos se utilizó un montaje como el que muestra la figura 3.4. Las temperaturas de los calentamientos fueron 35, 40 y 45°C realizándose tratamientos con y sin la aplicación de ultrasonidos para las muestras de jamón curado sin defecto de textura. En todos los casos se realizaron tres repeticiones para cada combinación de temperatura con/sin ultrasonidos de potencia. Para las muestras con defecto de textura el calentamiento se realizó a 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Se llevaron a cabo 18 experiencias tanto para jamón sin defecto como para jamón con defecto, finalizando cada una de ellas cuando la diferencia de temperaturas entre el punto más frío de la muestra y el agua del baño era igual o inferior a 5°C.

En los tratamientos sin ultrasonidos se utilizó un agitador (D91126, Heidolph instruments, Alemania) de tipo hélice a 360 r.p.m en el baño ultrasónico de 15L (AT615LEO, ATU, España) para romper el flujo laminar y asegurar un calentamiento más homogéneo. Mientras, en los tratamientos con ultrasonidos se suministró una potencia de 600 W al generador ultrasónico (GAT600 / 20kHz, ATU, España). La temperatura se reguló mediante la recirculación del agua del interior del baño ultrasónico a un baño de temperatura utilizando las salidas superior e inferior del baño ultrasónico. El agua del baño ultrasónico salía por el

desagüe superior permitiendo mantener constante el nivel del agua. El agua del baño de temperatura se mantuvo en agitación (Tectron 2000, J.P Selecta, España) y se hizo pasar a contracorriente por un intercambiador de calor de 20 placas (EL852, Mas Malta Cervecera, España) antes de introducirse en el baño ultrasónico por el desagüe inferior. En el intercambiador de calor se utilizó como fluido refrigerante una solución de etilenglicol (-15°C y concentración 40%) proveniente de un equipo de refrigeración (1190s, Refrigerator Circ, U.S.A). El tiempo medio de residencia del agua en el baño fue de 20 minutos. Se realizó un control de temperatura ON-OFF utilizando un controlador de procesos (E5CK, OMRON, JAPON) y actuando sobre la bomba que recirculaba el agua del baño de temperatura al baño de ultrasonidos.

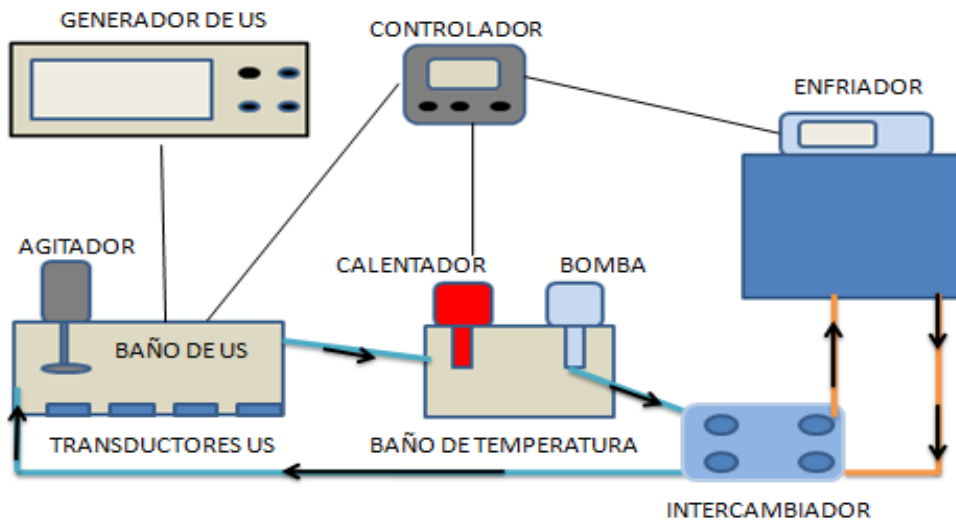


Figura 3.4. Esquema del equipo de ultrasonidos de potencia.

3.3. ANÁLISIS DE TEXTURA

3.3.1. ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO MEDIANTE ULTRASONIDOS DE SEÑAL

Para determinar la influencia de los tratamientos térmicos con y sin ultrasonidos de potencia sobre la textura de jamón curado se utilizaron los ultrasonidos de baja intensidad o ultrasonidos de señal (Figura 3.5.). Los parámetros ultrasónicos analizados fueron la velocidad ultrasónica y la atenuación, que se midieron mediante el método de transmisión-recepción. El sistema de medida utilizado consistió en un generador-receptor (5053PR, Parametrics, USA), el cual emite una señal eléctrica de tipo “spike” con una amplitud y duración específicas. Esta señal es convertida en una onda ultrasónica por el transductor-emisor (A303S de 1 MHz/75’,

Olympus, Japón) que es transmitida a través de la pieza de jamón y recibida por el transductor-receptor (A303S de 1 MHz/75', Olympus, Japón) que la convierte en una señal eléctrica. Esta señal se recibe en el generador-receptor que amplifica y filtra la señal antes de ser enviada al osciloscopio (TDS 5034, Tecktronix, USA). El osciloscopio, integrado en un ordenador, digitaliza la señal y a partir de esta señal digitalizada se calcula el tiempo de vuelo, que hace referencia al tiempo que transcurre desde que se genera la onda hasta que se recibe en el transductor-receptor. Todas las medidas se realizaron en una cámara frigorífica a 4°C.

Para la medida del espesor de las muestras se utilizó un dispositivo constituido por un calibre digital y un sensor de presión. Este dispositivo mide la separación entre los transductores que están en contacto directo con la muestra y determina la presión que estos ejercen sobre la misma, que se mantuvo en 10N. La velocidad ultrasónica se determinó como el cociente entre el espesor de muestra y el tiempo de vuelo (Coronas, 2012). La atenuación se obtuvo mediante el cálculo experimental del coeficiente de atenuación (Ec.1), siendo A1 y A2 las amplitudes de la señal antes y después de atravesar el espesor de la muestra (e).

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{A1}{A2}\right)}{e} \quad (\text{Ec.1})$$

Los parámetros de medida utilizados en el generador-receptor para las muestras de jamón fueron los siguientes: frecuencia de 200 Hz, factor Damping 100 Ω, altura del pulso 200V, atenuación de 0 dB, Vernier de 0 dB, ganancia de 40 dB, fase normal y filtro de 0.3 MHz (HP) y OUT (LP).

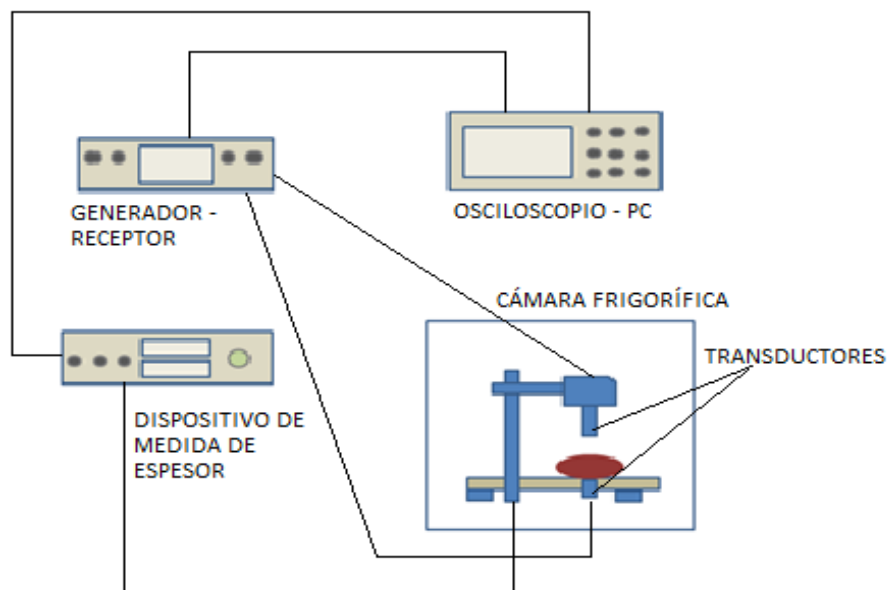


Figura 3.5. Esquema del equipo de ultrasonidos de señal.

El análisis mediante ultrasonidos de señal se realizó en 6 muestras de jamón sin defecto para cada tratamiento (35, 40 y 45°C) y sobre sus respectivas muestras control, haciéndose tres repeticiones para el calentamiento sin ultrasonidos de potencia y otras tres repeticiones para el calentamiento con ultrasonidos de potencia.

Las medidas de la velocidad ultrasónica y de la atenuación se tomaron antes del tratamiento térmico de las muestras y después de éste, realizándose tres mediciones en cada uno de los puntos de medida localizados en el músculo *Semimembranosus* y el músculo *Bíceps femoris* (Figura 3.7.). El mismo proceso se repitió para los cilindros de las muestras con textura pastosa.

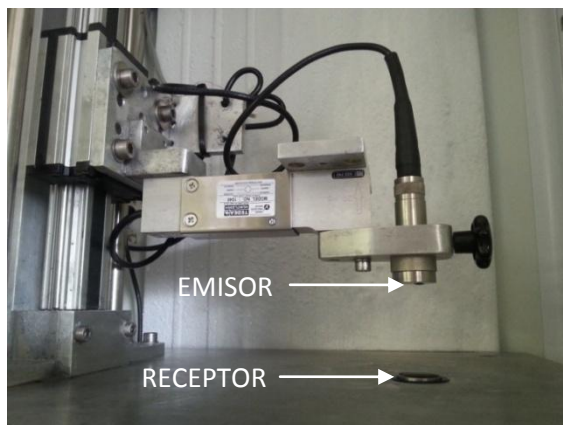


Figura 3.6. Transductores del equipo de US de señal.



Figura 3.7. Imagen de la medida de US señal en el punto 1 del músculo *Semimembranosus*.

3.3.2. ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Para analizar la textura de las lonchas de jamón se usó un texturómetro universal (TA XT2i, Inglaterra). El principio por el que se rige un equipo de medida de textura es el de deformar la muestra de una manera controlada y medir su respuesta. En este caso, se realizó un test de compresión-relajación definiendo los siguientes parámetros: velocidad de bajada de la prensa hasta la superficie de la muestra de 1mm/s; velocidad durante la compresión de 1mm/s; deformación de la muestra del 25% que se corresponde con 5mm; tiempo de compresión de 90s; velocidad de subida de la prensa al finalizar la compresión de 10mm/s. El analizador de textura se encuentra dentro de una cámara frigorífica donde se realizaron las medidas a 4°C y está conectado a un ordenador en el que se recoge el perfil fuerza-tiempo mediante el software "Texture Exponent". A partir del perfil fuerza-tiempo se obtuvieron los

parámetros de la fuerza máxima de compresión (F_0), la capacidad de relajación ($Y(90s)$) calculada mediante la Ec.2 y la relación entre el área y la fuerza máxima de compresión.

$$Y(90) = \frac{F(0) - F(90)}{F(0)} \quad (\text{Ec.2})$$

Tras finalizar las medidas de los parámetros ultrasónicos, los puntos de medida localizados en las muestras de jamón sin defecto fueron extraídos mediante un sacabocados para obtener los cilindros (Figura 3.8.) y llevar a cabo el test de compresión-relajación (Figura 3.9.). El mismo proceso se realizó para la obtención de las muestras con defecto de pastosidad, en este caso, antes de realizar las medidas ultrasónicas.



Figura 3.8. Obtención de las muestras cilíndricas de 2 cm de diámetro y 2 cm de altura.

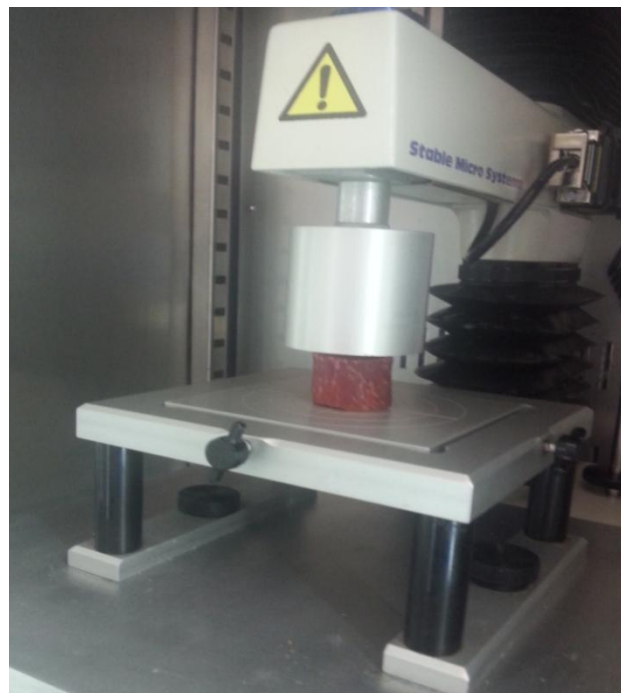


Figura 3.9. Imagen del test de compresión.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el software estadístico Statgraphics Centurión XVI se realizaron ANOVAs multifactoriales para determinar la influencia ($p < 0.05$) de la temperatura y de la aplicación de ultrasonidos de potencia sobre los parámetros ultrasónicos y texturales de muestras de jamón sin defecto de textura. También, se realizaron ANOVAs simples para determinar la influencia ($p < 0.05$) del tratamiento térmico a 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia sobre los parámetros ultrasónicos y texturales de muestras de jamón con defecto de pastosidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN JAMÓN CURADO SIN DEFECTO DE TEXTURA

4.1.1 . INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA TEXTURA Y PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.

En el jamón curado sin defecto de textura no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) en la fuerza máxima de compresión (F_0) entre las muestras tratadas térmicamente a diferentes temperaturas (35, 40 y 45 °C) y las no tratadas (C) (Figura 4.1.). Por el contrario, sí que se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los músculos SM y BF, siendo los valores de la fuerza máxima de compresión del músculo SM más elevados que los valores del músculo BF. Por lo tanto, el músculo SM presenta una mayor resistencia a la deformación (Figura 4.1.). Esto es debido a que el BF es un músculo más interno, con mayor contenido en agua y por lo tanto menos duro que el SM.

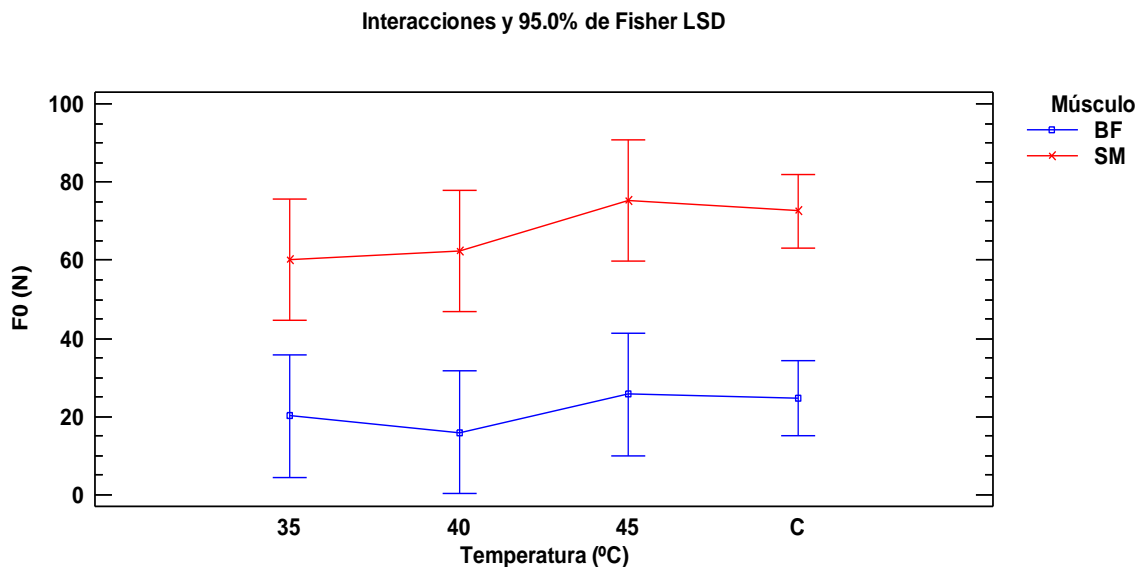


Figura 4.1. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (F_0) de los músculos *Semimembranosus* (SM) y *Biceps femoris* (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C. Muestras control (C).

En lo referente al parámetro que evalúa la capacidad de relajación ($Y(90s)$) del ensayo de compresión-relajación, en general, no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre las muestras tratadas a diferentes temperaturas y las no tratadas (Figura 4.2.) Aunque, tras el calentamiento a 45°C se obtuvieron valores de $Y(90s)$ menores que en el resto de

tratamientos. Por lo tanto, el calentamiento a esta temperatura disminuyó la capacidad de relajación de las muestras, siendo este descenso significativo ($p < 0.05$) en el músculo BF.

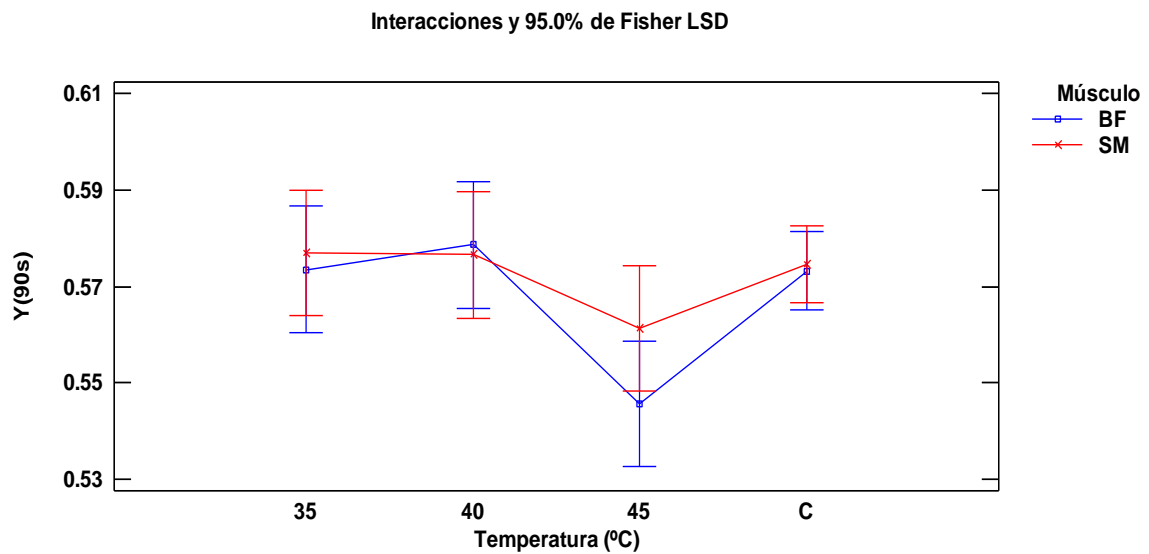


Figura 4.2. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación $Y(90s)$ de los músculos *Semimembranosus* (SM) y *Biceps femoris* (BF) en jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C. Muestras control (C).

La velocidad ultrasónica depende de la composición y estructura del alimento, así como también de la temperatura a la que se hace la medida (Benedito et al., 2001, Niños et al., 2007; Corona, 2012). Se observó una disminución de la velocidad en las muestras tratadas a 45°C (Figura 4.3.), respecto a las muestras no tratadas y a las tratadas a otras temperaturas. Este hecho podría deberse a que el calentamiento a la temperatura más elevada provocó cambios en el producto, afectando a la propagación de los ultrasonidos (Corona, 2011). Estos cambios podrían estar relacionados con la menor capacidad de relajación de las muestras calentadas a 45°C (Figura 4.2).

El músculo SM presentó valores de velocidad de ultrasonidos mayores que el músculo BF (Figura 4.3.), lo cual podría estar relacionado con su mayor dureza (Figura 4.1.).

Interacciones y 95.0% de Fisher LSD

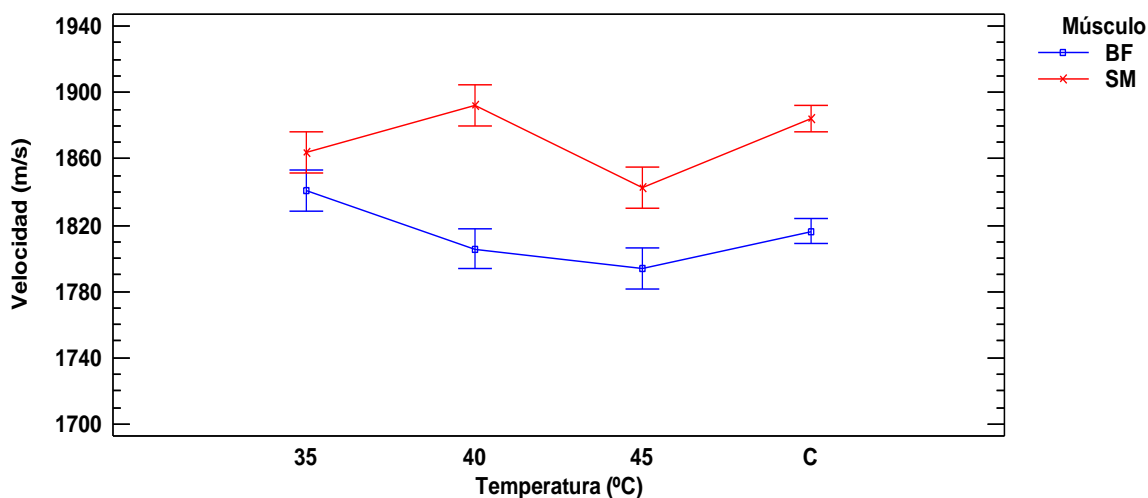


Figura 4.3. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en jamón curado sin defecto de textura para los músculos *Semimembranosus* (SM) y *Bíceps femoris* (BF) tratados térmicamente.

Respecto al coeficiente de atenuación, se observó una disminución de la atenuación como consecuencia del tratamiento térmico (Figura 4.4.), siendo significativa ($p < 0.05$) en el músculo SM. En cuanto al tipo de músculo (Figura 4.4.), no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ambos músculos. Así pues, la temperatura de 45 °C fue la que dio lugar a un mayor cambio en las propiedades texturales y ultrasónicas del jamón, por lo que fue la temperatura escogida para realizar las experiencias en los jamones con defecto de textura.

Interacciones y 95.0% de Fisher LSD

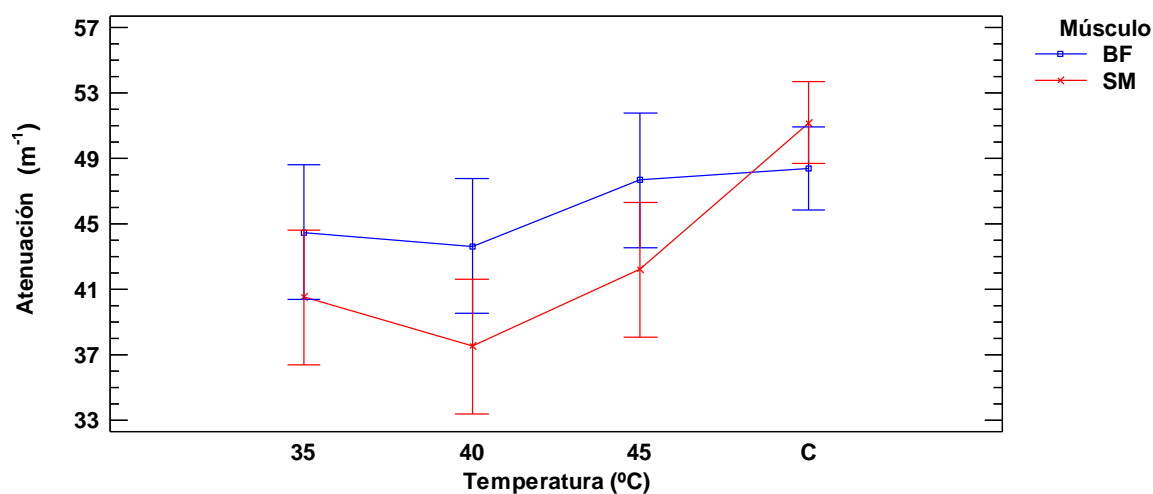


Figura 4.4. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en jamón curado sin defecto de textura para los músculos *Semimembranosus* (SM) y *Bíceps femoris* (BF) tratados térmicamente.

4.1.2. INFLUENCIA DE LOS ULTRASONIDOS DE POTENCIA SOBRE LA TEXTURA Y PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.

En el músculo SM no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) en la fuerza máxima de compresión (F_0) de las muestras tratadas térmicamente con la aplicación de UdP respecto de las muestras tratadas sin UdP (Figura 4.5.)

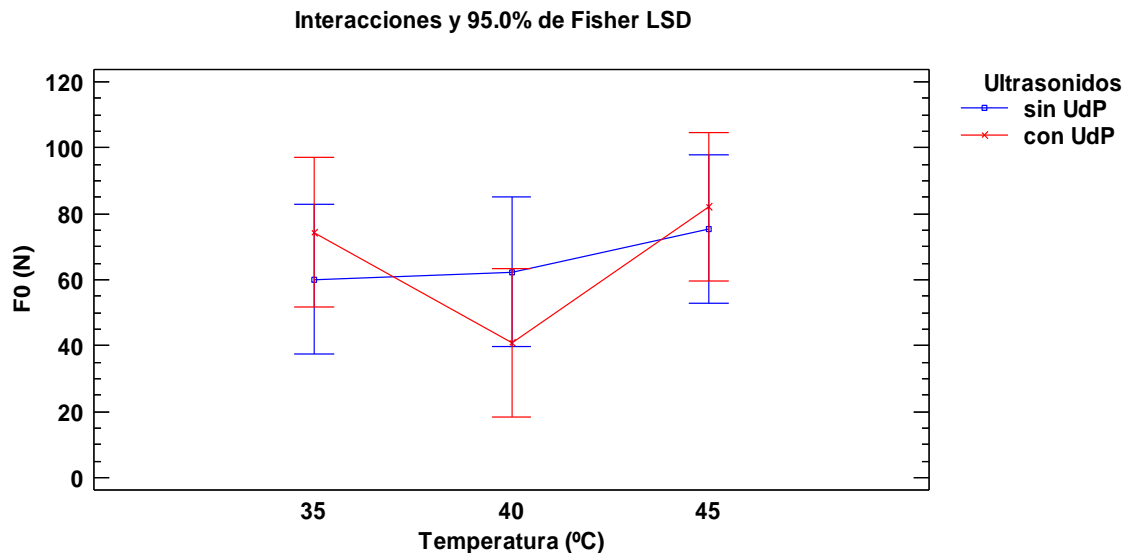


Figura 4.5. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (F_0) del músculo *Semimembranosus* (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

La fuerza máxima de compresión (F_0) en el músculo BF no presentó diferencias significativas ($p>0.05$) entre las muestras tratadas con ultrasonidos y las muestras tratadas sin ultrasonidos (Figura 4.6.). Se observa que el tratamiento a 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia presenta valores de fuerza significativamente ($p<0.05$) más elevados que el resto de tratamientos con UdP.

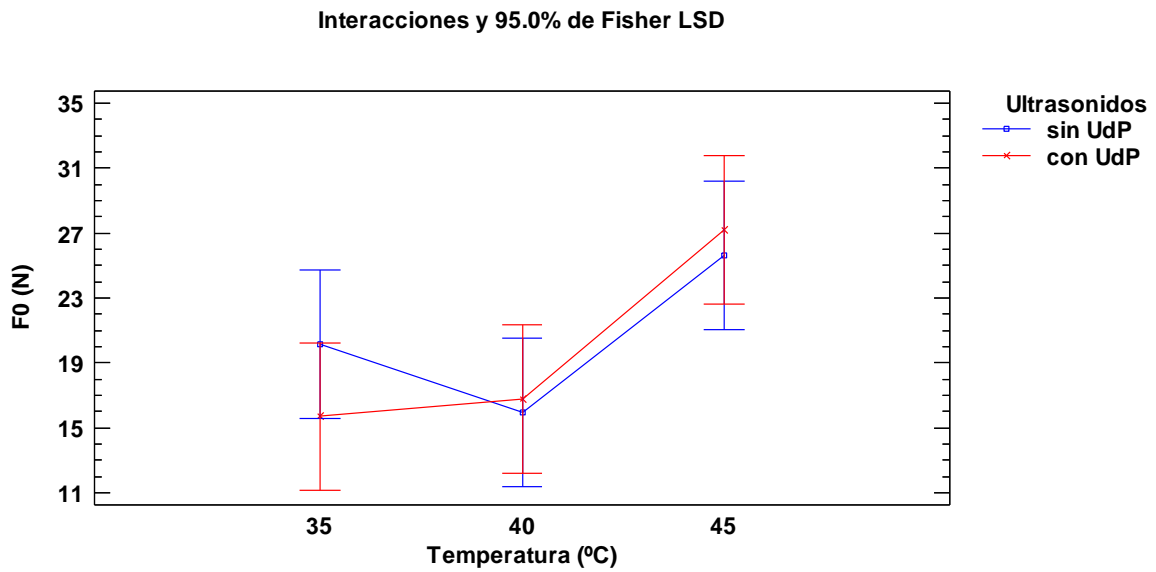


Figura 4.6. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (FO) del músculo *Biceps femoris* (BF) en jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

Los tratamientos a las diferentes temperaturas con UdP no tuvieron ningún efecto sobre la capacidad de relajación $Y(90s)$ en los músculos *Semimembranosus* (SM) (Figura 4.7.) y *Biceps femoris* (BF) (Figura 4.8.).

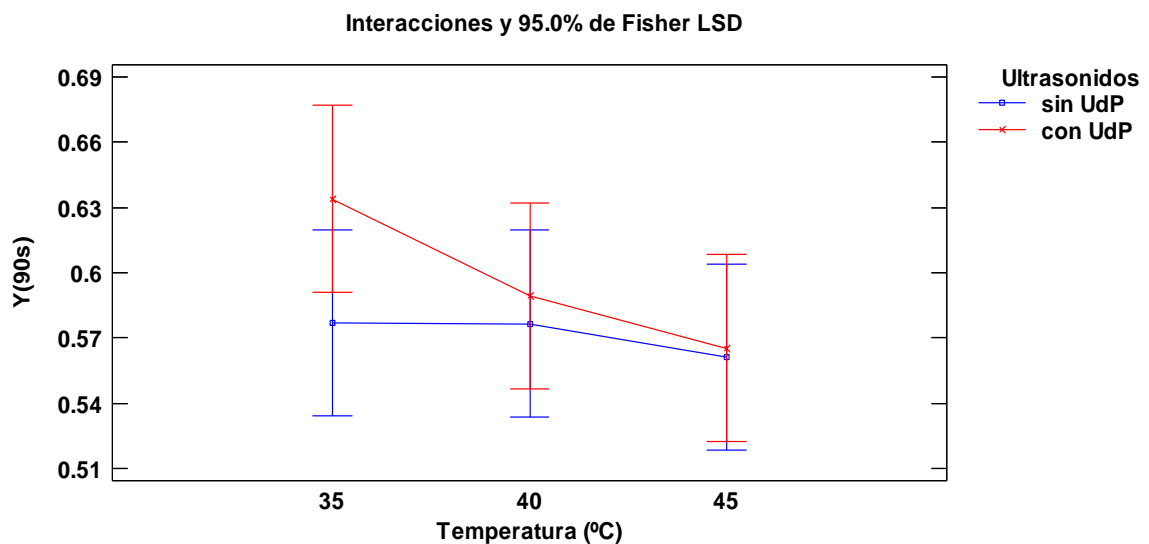


Figura 4.7. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación $Y(90s)$ en *Semimembranosus* (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

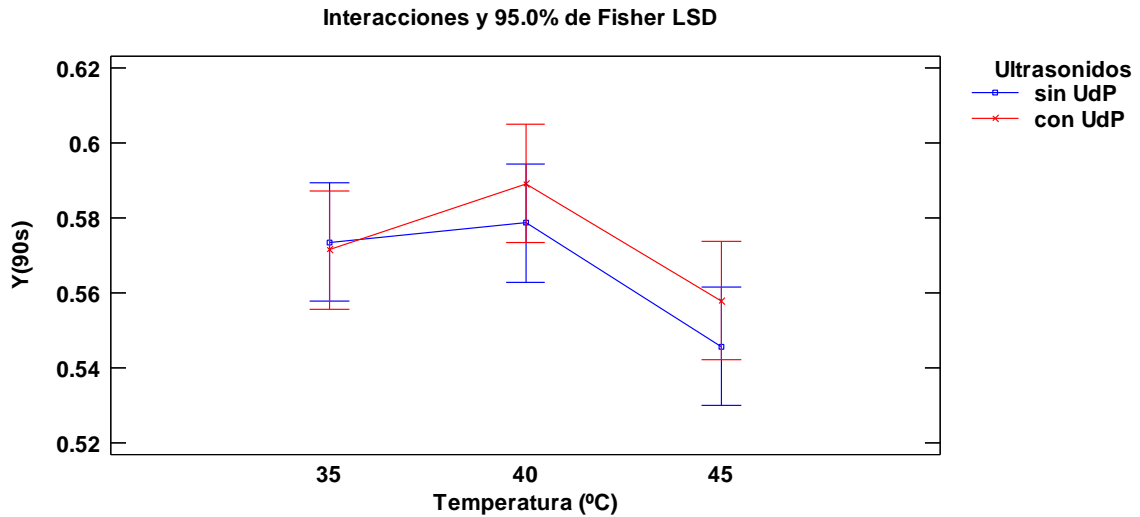


Figura 4.8. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación Y(90s) en *Biceps femoris* (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

Respecto a la velocidad ultrasónica en el músculo SM sí que se produjeron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el tratamientos a 45°C con UdP y el mismo tratamiento sin la aplicación de ultrasonidos (Figura 4.9.). Los valores de velocidad obtenidos en el tratamiento sin UdP se encontraban alrededor de 1840m/s mientras que con UdP se encontraban alrededor de 1870m/s. Del mismo modo, en *Biceps femoris* (BF) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la medida de la velocidad ultrasónica entre los tratamientos con y sin UdP (Figura 4.10.). En el tratamiento a 35°C sin UdP la velocidad fue mayor que con la aplicación de ultrasonidos, mientras que con el tratamiento a 45°C se observó el caso contrario.

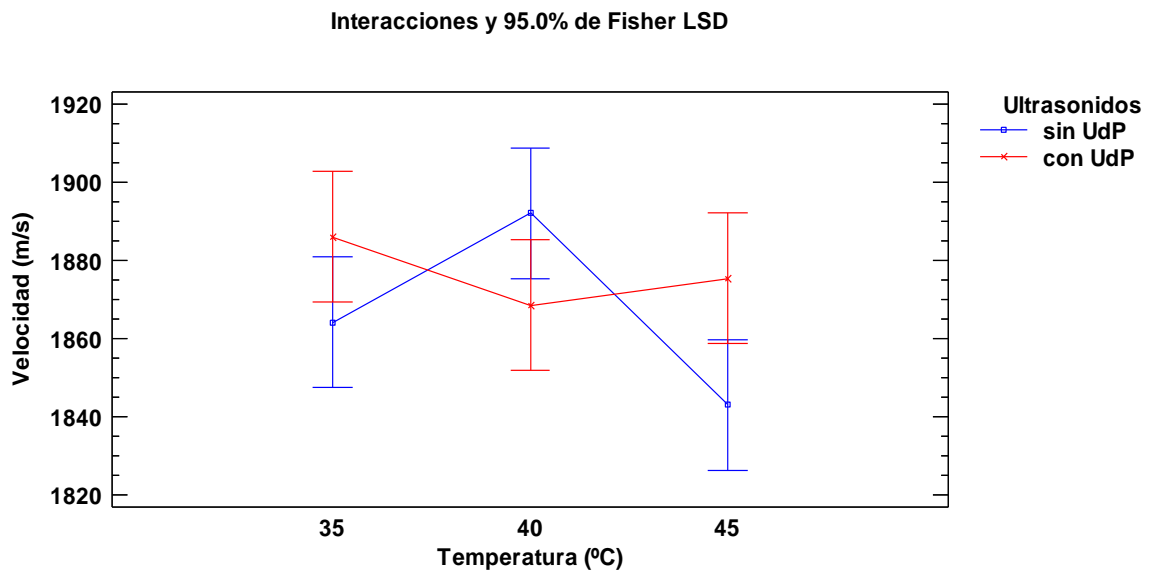


Figura 4.9. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en *Semimembranosus* (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

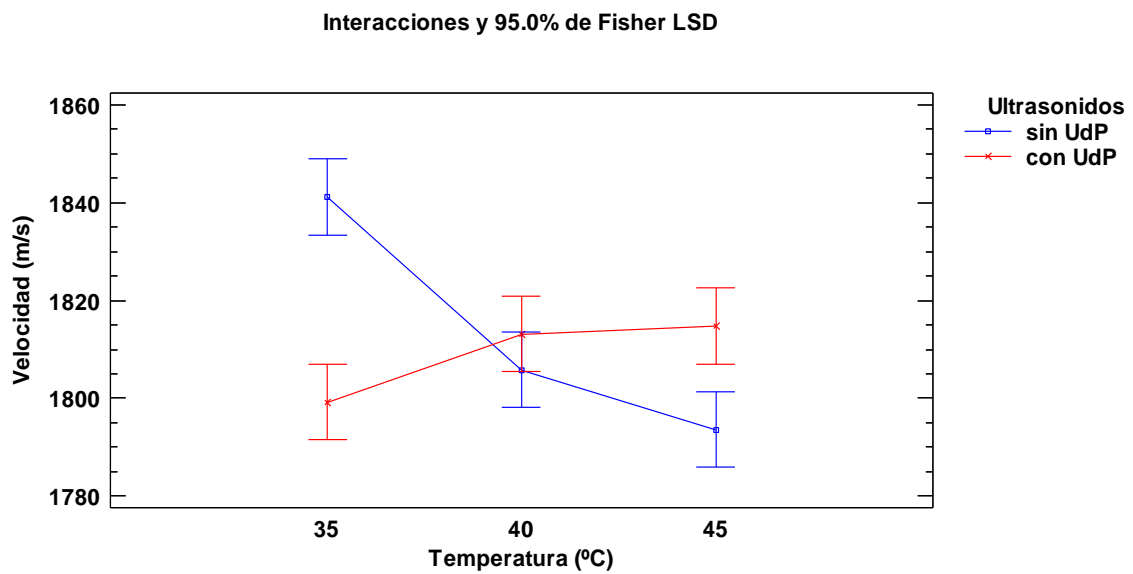


Figura 4.10. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en *Biceps femoris* (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

En el coeficiente de atenuación del músculo SM las mayores diferencias se encontraron en el tratamiento a 45°C, obteniéndose mayores valores de atenuación sin UdP durante el calentamiento que con UdP (Figura 4.11.). Sin embargo, en el músculo BF no se observaron diferencias entre las muestras tratadas con y sin UdP (Figura 4.12.).

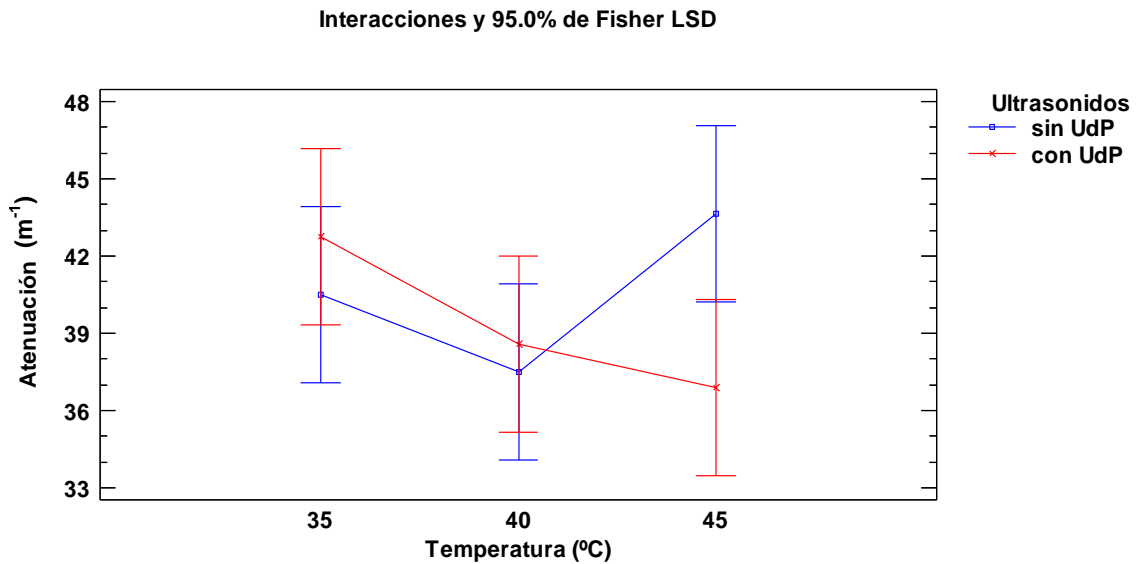


Figura 4.11. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en *Semimembranosus* (SM) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

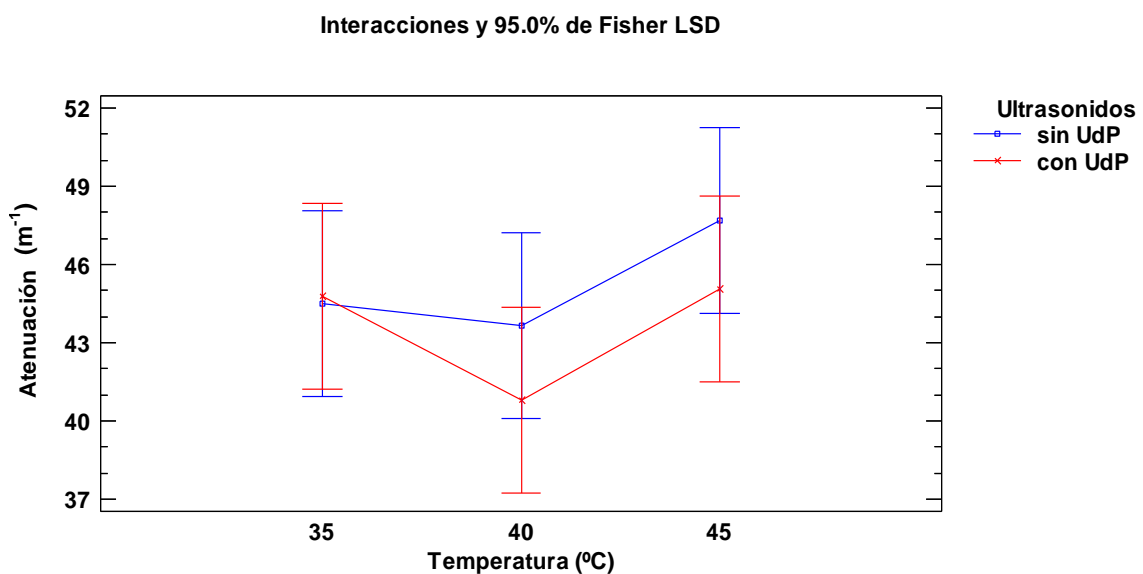


Figura 4.12. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en *Biceps femoris* (BF) de jamón curado sin defecto de textura para calentamientos de 35, 40 y 45°C con UdP y sin UdP.

4.2. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN JAMÓN CURADO CON DEFECTO DE TEXTURA

4.2.1 . INFLUENCIA SOBRE LOS PARÁMETROS TEXTURALES.

Tras el calentamiento a 45°C con la aplicación de ultrasonidos en muestras de jamón curado con una elevada intensidad en el defecto de pastosidad, se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) de la fuerza máxima de compresión respecto de las muestras no tratadas (Figura 4.13). Este hecho puede relacionarse con la capacidad de los ultrasonidos de potencia para facilitar la liberación de proteínas miofibrilares responsables de las propiedades de unión de la carne como la capacidad de retención de agua, dureza y cohesión de los productos cárnicos (McClements, 1995). Además, éstos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores que sugirieron tratamientos con ultrasonidos de potencia para cambiar las propiedades texturales de la carne (Dolatowski et al., 2000).

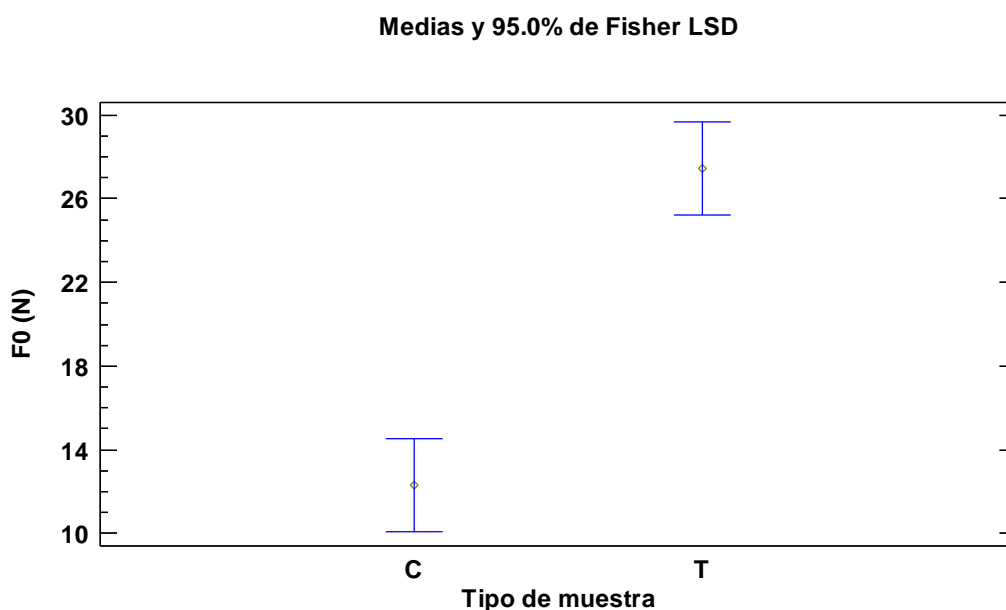


Figura 4.13. Medias e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de compresión (F0) en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).

En cuanto a la capacidad de relajación, $Y(90s)$ fue significativamente ($p < 0.05$) inferior en las muestras tratadas a 45°C con ultrasonidos (Figura 4.14.) comparadas con las muestras control. Por lo tanto, el tratamiento térmico asistido por ultrasonidos de potencia indujo un aumento de la dureza y descenso de la capacidad de relajación del músculo, que podría relacionarse con una mejora de sus propiedades texturales.

Medias y 95.0% de Fisher LSD

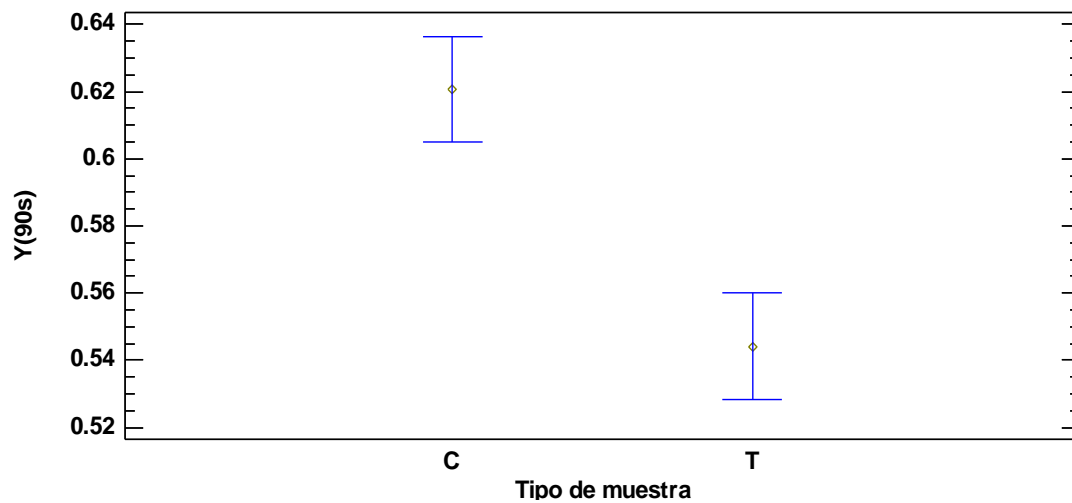


Figura 4.14. Medias e intervalos LSD (95%) de la capacidad de relajación Y(90s) en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).

4.2.2 . INFLUENCIA SOBRE LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.

La velocidad ultrasónica disminuyó significativamente ($p < 0.05$) respecto de las muestras control (Figura 4.15.) tras el tratamiento a 45°C con ultrasonidos. Los mismos resultados se observaron en el tratamiento a 45°C sin aplicación de ultrasonidos en muestras sin defecto de textura. Los valores de las muestras no tratadas que se obtuvieron oscilaron entre 1800m/s y 1815m/s mientras que en el caso de las muestras tratadas los valores se encontraron entre 1740m/s y 1755m/s. Estos resultados están en desacuerdo con los obtenidos por otros autores que indican que una mayor dureza de la carne está relacionada con una mayor velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas (Corona et al., 2013). De forma similar, Benedito et al., (2000) mostraron que una disminución del contenido en agua en queso provocó un aumento de la velocidad ultrasónica. Sin embargo, no hay que olvidar que los parámetros texturales instrumentales están obtenidos sometiendo a las muestras a una elevada deformación, mientras que la deformación provocada por los ultrasonidos al atravesar la muestra es mucho menor, lo que podría explicar las diferencias observadas.

Medias y 95.0% de Fisher LSD

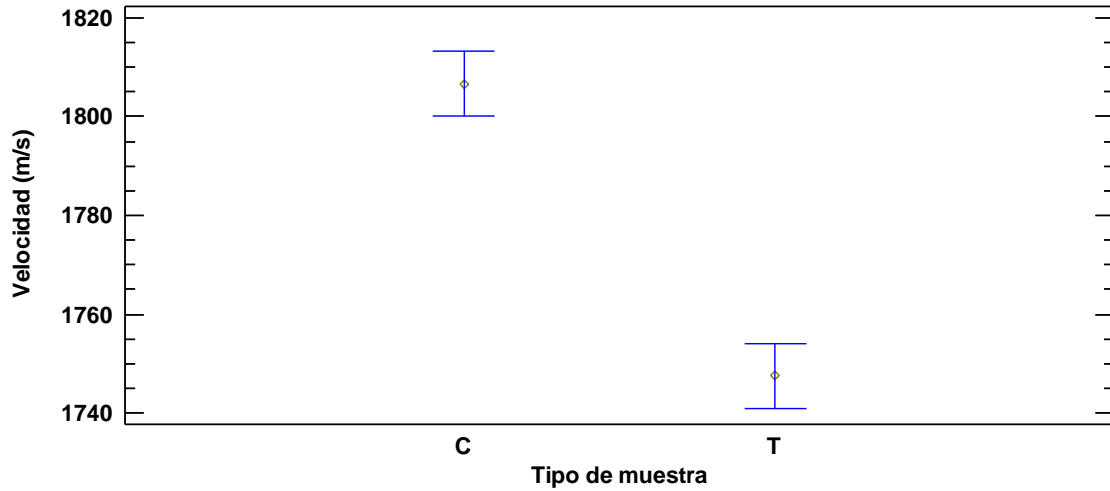


Figura 4.15. Medias e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).

Por el contrario, el coeficiente de atenuación aumentó de forma significativa ($p < 0.05$) en las muestras tratadas respecto a las muestras control (Figura 4.16.), contrariamente a lo observado en jamón sin defecto donde el coeficiente de atenuación de las muestras tratadas siempre fue inferior que las muestras no tratadas. Los valores del coeficiente de atenuación de las muestras control oscilan entre 34m^{-1} y 42m^{-1} , mientras que en las muestras tratadas los valores se encuentran entre 50m^{-1} y 56m^{-1} . Según Koch et al. (2011), existe una gran correlación entre la atenuación y la grasa intramuscular del producto. Por lo tanto, el aumento en el coeficiente de atenuación podría deberse a que el tratamiento térmico a 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia provocó cambios en la fracción grasa de las muestras.

Medias y 95.0% de Fisher LSD

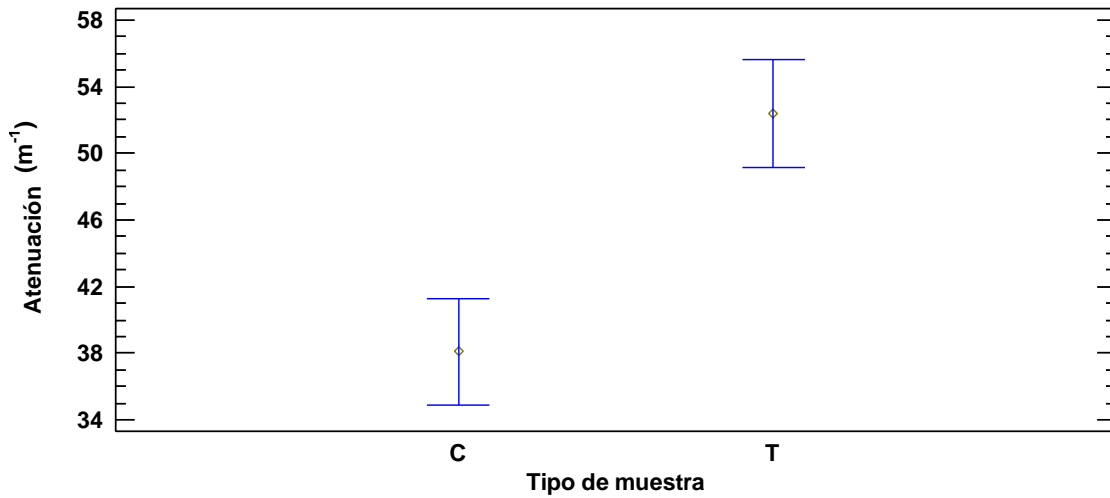


Figura 4.16. Medias e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación en jamón curado con defecto de textura para calentamientos de 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia. Muestras tratadas (T); Muestras control (C).

Según los resultados obtenidos en este trabajo se abre una nueva línea de investigación para desarrollar medidas correctoras para problemas de textura en jamón curado. Se recomienda realizar un estudio posterior a este trabajo con un número mayor de muestras y mayores tiempos de tratamiento, con el objetivo de determinar la influencia de un tratamiento térmico con la aplicación de ultrasonidos de potencia sobre las propiedades texturales de jamón curado con defecto de pastosidad. De esta forma, se podría desarrollar una metodología que permitiera corregir los problemas de textura en jamón curado, disminuyendo los problemas de loncheado y mejorando la calidad general del producto.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo son:

- Se evidenció la elevada heterogeneidad en las propiedades texturales de los diferentes músculos del jamón curado. Así, el músculo *Semimembranosus* presentó una mayor dureza y menor capacidad de relajación que el músculo *Bíceps femoris*. Estas diferencias texturales provocaron cambios en los parámetros ultrasónicos (velocidad y atenuación).
- En jamón curado sin defecto de pastosidad, los tratamientos térmicos provocaron cambios de poca intensidad en las propiedades texturales. De igual modo, la aplicación de ultrasonidos de potencia tuvo un bajo impacto en las propiedades texturales. Los mayores cambios se dieron en los tratamientos realizados a 45°C.
- Un tratamiento térmico a 45°C con la aplicación de ultrasonidos de potencia provocó el aumento de la dureza y el descenso de la capacidad de relajación de jamón curado con elevada intensidad del defecto de pastosidad, lo que da lugar a una mejora en sus propiedades texturales y una corrección del defecto.
- Los cambios texturales provocados por el tratamiento térmico con aplicación de ultrasonidos de potencia en jamón curado con elevada intensidad en el defecto de pastosidad provocaron un descenso de la velocidad ultrasónica y un incremento de la atenuación. Por lo tanto, los ultrasonidos de señal pueden considerarse como una herramienta útil para caracterizar los cambios texturales en jamón curado.
- La metodología desarrollada debe validarse en trabajos posteriores utilizando un mayor número de muestras y considerando diferentes tratamientos y niveles de intensidad en el defecto de pastosidad. Además, debería ampliarse el estudio considerando la percepción sensorial y estableciendo relaciones entre los parámetros ultrasónicos, texturales y sensoriales.

6. BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

Aliño, M., Grau, R., Fuentes, A., Barat, J.M. (2010). Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process. *Journal of Food Engineering*, 99, 198–205.

Armero, E., Barbosa, J.A., Toldrá, F., Baselga, M., & Pla, M. (1999). Effect of the terminal sire and sex on pork muscle cathepsins (B, B+L and H), cysteine proteinase inhibitors and lipolytic enzyme activities. *Meat Science* 51, 185–189.

Armero, E., Baselga, M., Aristoy, M.C., & Toldrá, F. (1999). Effects of sire type and sex on pork muscle cathepsins (B, B+L and H), cysteine proteinase inhibitors and lipolytic enzyme activities. *Meat Science* 51, 185–189.

Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Thesis. Barcelona, Spain: Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinària.

Arnau, J., Guerrero, L., & Gou, P. (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged for six months. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 193–198.

Arnau, J., Guerrero, L., & Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 387–392.

Bello J. (2008) Jamón curado, aspectos científicos y tecnológicos. Perspectiva desde la Unión Europea. "Planteamiento tecnológico del procesado de curación" Ed: Díaz de Santos. 171-253.

Benedito J.J. (1998). Contribución a la caracterización de quesos mediante el uso de ultrasonidos de señal. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Benedito, J., Carcel, J.A., Rosello, C., & Mulet, A. (2001). Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science*, 57, 365-370.

Benedito, J., Carcel, J., Clemente, G., & Mulet, A. (2000). Cheese maturity assessment using ultrasonics. *Journal of Dairy Science*, 83, 248–254.

Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(7), 62–66, 72.

Corona, E. (2011). Ultrasonidos de señal no destructivos aplicados para la evaluación del porcentaje de grasa fundida en los productos cárnicos curados. Tesina de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Corona, E. (2012). Caracterización de la calidad de productos cárnicos crudo-curados mediante ultrasonidos de señal. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Corona, E., García-Pérez, J.V., Mulet, A., Benedito, J. (2013). Ultrasonic assessment of textural changes in vacuum packaged sliced Iberian ham induced by high pressure treatment or cold storage. *Meat Science*, 95, 389–395.

Coupland, J.N. (2004). Low intensity ultrasound. *Food Research International*, Volume 37, Issue 6, July 2004, Pages 537-543.

Dolatowski, Z., Stasiak, D., & Latoch, A. (2000). Effect of ultrasound processing of meat before freezing on its texture after thawing. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 3(2), 02.

Dolatowski, Z.J., & Stadnik, J. (2007). Effect of sonication on technological properties of beef. *Agricultural University of Lublin, Poland (УДК 577.322 + 63, 504.055)*.

García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J., & Luque de Castro, M. (2000). Activity of cathepsin B, D, H and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56, 1–6.

García-Rey, R., García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J., & Luque de Castro, M. (2004). Relationship between pH before salting and dry-cured ham quality. *Meat Science*, 67, 625–632.

Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., Guàrdia, M.D., & Arnau, J. (2000). Efecto de la disminución del contenido en sodio del jamón curado sobre sus propiedades sensoriales y reológicas. II Simposium Intenacional de Jamón curado, Barcelona (p. 94).

Guerrero, L., Guàrdia, M. D., & Arnau, J. (2005). Methodological proposal about sensorial analysis on dry-cured ham: Criteria to take into consideration and systems to validate them. In Proceedings III dry cured ham world congress on science, technology and marketing (pp. 187–196), Teruel, Spain.

Jayasooriya, S.D., Bhandari, B.R., Torley, P., & D'Arej, B.R. (2004). Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review. *International Journal of Food Properties*, 7, 301–319.

Koch, T., Lakshmanan, S., Brand, S., Wicke, M., Raum, K., & Mörlein, D. (2011). Ultrasound velocity and attenuation of porcine soft tissues with respect to structure and composition: I. Muscle. *Meat Science*, 88, 51-58.

Lyng, J.G., Allen, P., & Mckenna, B.M. (1997). The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness. *Journal of Muscle Foods*, 8, 237–249.

Lyng, J.G., Allen, P., & McKenna, B.M. (1998). The effect on aspects of beef tenderness of pre- and post-rigor exposure to a high intensity ultrasound probe. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78, 308–314.

Mason, T.J., Paniwnyk, L., & Lorimer, J.P. (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3, S253–S260.

Mason, T.J., Paniwnyk, L., Chemat, F., & Abert Vian, M. (2011). Ultrasonics processing. *Green food science and technology alternatives to conventional food processing*, chapter 10. RSC Green Chemistry Series 10. (pp. 387–414).

McClements, D.J. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*, 6, 293–299.

McDonnell, C.K., Lyng, J.G., Arimi, J.M., & Allen, P. (2014). The acceleration of pork curing by power ultrasound: Apilot-scale production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 191–198.

Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martin, J. F., Cornet, M., Lanore, D., et al. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat Science*, 47, 29–47.

Morales, R., Arnau, J., Serra, X., Guerrero, L., & Gou, P. (2008). Texture changes in dry-cured ham pieces by mild thermal treatments at the end of the drying process. *Meat Science* 80, 231–238.

Mulet A., Benedito J., Bon J., & Sanjuán N. (1999). Low intensity ultrasonics in food technology. *Food Science and Technology International*, 5, 285-297.

Niñoles, L., Clemente, G., Ventanas, S. & Benedito, J. (2007). Quality assessment of Iberian pigs through backfat ultrasound characterization and fatty acid composition. *Meat Science*, 76, 102-111.

Ordoñez, J.A. (1998). *Alimentos de origen animal*. Editorial Síntesis, D.L. Madrid.

Parolari, G., Rivaldi, R., Leonelli, C., Bellatti, M., & Bovis, N. (1988). Colore e consistenza del prosciutto crudo in rapporto alla material prima e alla tecnica di stagionatura. *Industria Conserve*, 63, 45–49.

Parolari, G., Virgili, R., & Schivazappa, C. (1994). Relationship between cathepsin B activity and compositional parameters in dry-cured hams of normal and defective texture. *Meat Science*, 38, 117–122.

Pérez, J.A. (2006) *Ciencia y tecnología de carnes*. "Aspectos tecnológicos de los productos crudo-curados" Ed: Limusa, 463-480.

Pérez-Álvarez J.A., Sánchez M.E., Sayas M.E., Fernández J., Gago M.A., Pagán M.J., López F., & Aranda V. (1997). Chemical and color characteristics of "Lomo embuchado" during salting seasoning. *Journal of Muscle Food* 8(4): 395-411.

Pons, M., & Fiszman, S. M. (1996). Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, 27(6), 597–624.

Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2006). Effect of pH, NaCl content and proteolysis index on the relationship between water content and texture parameters in biceps femoris and semimembranosus muscles in dry-cured ham. *Meat Science*, 72, 185–194.

Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., & Gou, P. (2005). Texture parameters of muscle biceps femoris from dry-cured hams as a function of water activity and water content. *Meat Science*, 69, 249–254.

Szczesniak, A. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 410–420.

Tabilo, G., Flores, M., Fiszman, S. M., & Toldrá, F. (1999). Postmortem meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255–260.

Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70, 493–508.

Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Bordini, C. S., & Borri, M. (1995). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60(6), 1183–1186.

Xiong, Y. L., & Brekke, C. J. (1990). Physicochemical and gelation properties of pre- and post rigor chicken salt-soluble proteins. *Journal of Food Science*, 55(6), 1544–1548.

Referencias electrónicas:

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, (MAGRAMA, 2013): www.magrama.gob.es (06/06/2015)

Asociación Nacional de Industria de la Carne de España (ANICE, 2014): www.anice.es (11/06/2015)

Eurocarne, 2014: www.eurocarne.com (12/06/2015)

Boletín Oficial del Estado (BOE, 2015): www.boe.es (24/06/2015)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 2003): www.fao.org (05/07/2015)