

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



## ***Calentamientos a tiempos cortos y temperaturas moderadas de jamón curado para la corrección de defectos texturales***

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO: ALBA BELLOD FRANCÉS

TUTOR: JOSÉ VICENTE GARCÍA PÉREZ

CO-TUTOR: JOSÉ JAVIER BENEDITO FORT

DIRECTOR EXPERIMENTAL: MARINA CONTRERAS RUIZ

*Curso Académico: 2015-2016*

**VALENCIA, JULIO 2016**







UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO  
NATURAL

Ficha resumen del Trabajo  
de Fin de Carrera

### Datos del trabajo de fin de grado (TFG)

**Título del TFG:** Calentamientos a tiempos cortos y temperaturas moderadas de jamón curado para la corrección de defectos texturales

**Autor:** Alba Bellod Francés

**Tutor académico:** José Vicente García Pérez

**Cotutor:** José Javier Benedito Fort

**Director experimental:** Marina Contreras Ruiz

**Lugar y fecha:** Valencia, Julio de 2016

### Resumen

Actualmente, existe una tendencia en la industria en reducir el contenido en sodio de los productos cárnicos crudos-curados por la problemática que conlleva un alto contenido de este mineral en la salud. La disminución de sal durante el procesado del jamón curado puede originar una serie de problemas texturales, tales como la pastosidad, las texturas blandas o la adhesividad, como consecuencia de una excesiva acción proteolítica. Estos defectos disminuyen la calidad del producto provocando el rechazo del consumidor. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios de textura que conlleva un calentamiento a temperaturas moderadas y diferentes tiempos de jamón curado.

Los tratamientos térmicos se realizaron en cilindros de 2 cm de espesor y 2" de diámetro tomados de los tres principales músculos del jamón (*Biceps femoris*, *Semitendinosus* y *Semimembranosus*). En las muestras control, se realizaron medidas de ultrasonidos de señal y se hizo un análisis de textura instrumental mediante un ensayo de compresión simple; posteriormente se determinó el contenido de humedad. Por otro lado, las muestras a tratar se calentaron en agua (50°C) con y sin la aplicación de ultrasonidos de potencia durante 1, 3 y 5 horas, y se monitorizó el cambio de la temperatura en el centro geométrico del cilindro. Para evaluar los cambios de textura también se realizaron medidas de ultrasonidos de señal antes y después del calentamiento (24horas). En las muestras tratadas se realizó el análisis de textura instrumental mediante compresión simple y se determinó el contenido en grasa.

Los resultados experimentales mostraron que, a mayor contenido en humedad, las muestras presentaron una menor dureza, la cual se relacionó de manera significativa ( $p < 0.05$ ) con la velocidad ultrasónica. El calentamiento provocó una mejora de los parámetros texturales, principalmente dureza y rigidez. En relación al tiempo de calentamiento (1, 3 y 5 horas), se observó un incremento progresivo en la dureza con el tiempo, pero su influencia no fue significativa ( $p > 0.05$ ). Los ultrasonidos de potencia mejoraron la cinética de calentamiento (reducción del tiempo de calentamiento de hasta 14,3%) y no influyeron en los cambios texturales. Los cambios de velocidad ultrasónica en el jamón curado tras el calentamiento se relacionaron de manera significativa ( $p < 0.05$ ) con los cambios texturales, por lo tanto, se puede afirmar que la técnica de ultrasonidos de señal se considera como una tecnología adecuada para evaluar y cuantificar las mejoras texturales que provoca el tratamiento térmico moderado.

### Palabras clave

Jamón curado, ultrasonidos de potencia, ultrasonidos de señal, textura, calentamiento.

## Abstract

In the meat industry, there is currently a trend to reduce the sodium content of the dry-cured products due to the health issues related to its consumption. The reduction of salt in dry-cured ham processing could cause some textural problems, such as pastiness, soft textures or adhesiveness, as a consequence of very intense proteolytic action. These defects reduce the quality of the product because of the consumer rejection. Thus, the main objective of this project was to assess the textural changes linked to a heat treatment at mild temperatures and different times in dry-cured ham.

Thermal treatments were carried out in cylindrical samples (2 cm in height, 2" in diameter), which were taken from the three main muscles of the ham (*Biceps femoris*, *Semitendinosus* y *Semimembranosus*). In the control samples, firstly, low-intensity ultrasonic measurements were carried out, secondly instrumental texture was measured by the simple compression method and finally, the moisture content was also determined. The samples to be treated were heated in water (50°C) with or without the application of power ultrasound during 1, 3 and 5 hours, and the temperature change was monitored in the geometric centre of the cylinder. In order to assess the changes in texture, low intensity ultrasonic measurements were also performed before and after the heating (24 hours). Finally, in the treated samples, the analysis of the instrumental texture was carried out through simple compression method and the fat content was determined.

The experimental results showed that the higher the moisture content, the softer the samples, which was significantly ( $p < 0.05$ ) related to the ultrasonic velocity. The heating caused an improvement of the texture parameters, especially of hardness and stiffness. As for the heating time (1, 3 and 5 hours), a progressive increase in the hardness was observed as the treatment time was longer, but its influence was not significant ( $p > 0.05$ ). Power ultrasound sped-up the heating kinetics (heating times shortening of up to 14,3%) and did not have an impact on the textural changes. The ultrasonic velocity changes in the dry-cured ham after the heating were significantly ( $p < 0.05$ ) related to the textural ones, so it could be stated that low-intensity ultrasound is considered to be an appropriate technology to assess and quantify the textural enhancement caused by a mild thermal treatment.

## Keywords

Dry-cured ham, high intensity ultrasound, low intensity ultrasound, texture, heating.

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1. IMPORTANCIA ECONÓMICA	1
1.2. GENERALIDADES DEL JAMÓN CURADO	1
1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO	2
1.4. PROBLEMAS TEXTURALES DEL JAMÓN CURADO	3
1.5. CORRECCIÓN DE LA TEXTURA: TRATAMIENTOS TÉRMICOS	4
1.5.1. GENERALIDADES DE LOS ULTRASONIDOS	4
1.5.2. ULTRASONIDOS DE POTENCIA	5
1.5.3. ULTRASONIDOS DE SEÑAL	6
1.6. ANÁLISIS DE TEXTURA EN EL JAMÓN CURADO	6
<b>2. OBJETIVOS</b>	8
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	9
3.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS	9
3.2. TRATAMIENTO TÉRMICO DEL JAMÓN CURADO	9
3.2.1. CALIBRACIÓN DE SONDAS	9
3.2.2. MONTAJE EXPERIMENTAL	10
3.2.3. MEDIDA DE LA POTENCIA ULTRASÓNICA EN EL MEDIO	11
3.2.4. EXPERIENCIAS DE CALENTAMIENTO	12
3.3. TEXTURA	12
3.3.1. ULTRASONIDOS DE SEÑAL	12
3.3.2. ANÁLISIS INSTRUMENTAL	14
3.4. ANÁLISIS COMPOSICIONAL	15
3.4.1. ANÁLISIS DE HUMEDAD	15
3.4.2. ANÁLISIS DE GRASA	16
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	18
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	18
4.2. INFLUENCIA DE LOS ULTRASONIDOS DE POTENCIA EN EL CALENTAMIENTO	20
4.2.1. POTENCIA ULTRASÓNICA EN EL MEDIO	20
4.2.2. CINÉTICAS DE CALENTAMIENTO	21
4.3. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LOS PARÁMETROS TEXTURALES	22
4.4. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS	25
4.5. RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS TEXTURALES Y ULTRASÓNICOS	26
<b>5. CONCLUSIONES</b>	28
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	29

<b>Figura 1.1.</b> Loncha de jamón y localización de los principales músculos: A. <i>Semimembranosus</i> (SM), B. <i>Bíceps femoris</i> (BF), C. <i>Semitendinosus</i> (ST) .....	2
<b>Figura 3.1.</b> Lonchas de jamón de 4 cm de espesor .....	9
<b>Figura 3.2.</b> Cilindros de jamón de 2 cm de altura y 2" de diámetro envasados .....	9
<b>Figura 3.3.</b> Recta de calibración de un sensor de temperatura.....	10
<b>Figura 3.4.</b> Montaje experimental para el tratamiento térmico .....	10
<b>Figura 3.5.</b> Colocación de sondas de tipo T en los distintos cilindros de jamón (2cm de espesor y 2" de diámetro) .....	11
<b>Figura 3.6.</b> Montaje experimental del baño ultrasónico para el tratamiento térmico .....	12
<b>Figura 3.7.</b> Esquema del equipo de ultrasonidos de señal .....	13
<b>Figura 3.8.</b> Medida de ultrasonidos de señal, colocación de los transductores.....	13
<b>Figura 3.9.</b> Equipo de ultrasonido de señal .....	14
<b>Figura 3.10.</b> Texturómetro universal utilizado para realizar el test de compresión .....	14
<b>Figura 3.11.</b> Representación de dos ciclos de compresión – descompresión en un análisis de textura .....	15
<b>Figura 3.12.</b> Análisis de humedad de las muestras control .....	16
<b>Figura 3.13.</b> Montaje experimental para análisis de grasa de las muestras tratadas .....	16
<b>Figura 3.14.</b> Rotavapor: para separar el disolvente de la grasa .....,.....	17
<b>Figura 4.1.</b> Relación entre el contenido de humedad de las muestras control y la fuerza máxima (F <sub>máx</sub> , dureza) .....	18
<b>Figura 4.2.</b> Relación entre la velocidad de las muestras control y la fuerza máxima (F <sub>máx</sub> , dureza) .....	19
<b>Figura 4.3.</b> Evolución de la temperatura del baño cuando se aplican ultrasonidos de potencia sin control de la temperatura .....	20
<b>Figura 4.4.</b> Evolución de la temperatura del baño con ultrasonidos (US) y sin aplicación de ultrasonidos (SUS).....	21

<b>Figura 4.5.</b> Cinética de calentamiento de jamón curado durante 5 h .....	21
<b>Figura 4.6.</b> Cinéticas de calentamiento con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos de potencia de cilindros de jamón curado de 2 cm de espesor y 2" de diámetro en agua a 50°C para tratamientos de 1 y 5 h .....	22
<b>Figura 4.7.</b> Influencia del tiempo de calentamiento a 50°C en la fuerza máxima de compresión en jamón curado. Se muestran valores medios $\pm$ intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD.....	23
<b>Figura 4.8.</b> Influencia del tiempo de calentamiento a 50°C en el trabajo de compresión en jamón curado. Se muestran valores medios $\pm$ intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD.....	23
<b>Figura 4.9.</b> Influencia del tiempo de calentamiento a 50°C en la rigidez en jamón curado. Se muestran valores medios $\pm$ intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD.....	24
<b>Figura 4.10.</b> Fuerza máxima (A) y trabajo de compresión (B) para las muestras de jamón curado calentadas a 50°C con (US) y sin aplicación de ultrasonidos. Se muestran valores medios $\pm$ intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD .....	24
<b>Figura 4.11.</b> Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica y el tratamiento realizado en los cilindros de jamón curado (2 cm de espesor y 2" de diámetro) con la aplicación de los ultrasonidos (US) o sin ultrasonidos (SUS). $\Delta V_1$ : Diferencia entre la muestra tratada y la muestra control. $\Delta V_2$ : Diferencia entre la muestra antes y después de tratar. Se muestran valores medios $\pm$ intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD .....	25
<b>Figura 4.12.</b> Relación entre la velocidad ultrasónica de la muestra tratada ( $V_2$ ) y el tiempo y tipo (Con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos) de tratamiento. Se muestran valores medios $\pm$ intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD .....	26
<b>Figura 4.13.</b> Relación entre los incrementos de velocidad ultrasónica y la raíz de los incrementos de los parámetros texturales. $\Delta V_2$ , $\Delta F_{m\acute{a}x}$ , $\Delta Rigidez$ , $\Delta W_{Compresión}$ : Diferencia entre la muestra antes y después de tratar.....	27

**Tabla 1.1.** Composición química del jamón, Lawrie (1998) .....2

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. IMPORTANCIA ECONÓMICA

Uno de los más importantes sectores integrados en la ganadería de nuestro país hace referencia al constituido por el sector cárnico, donde destaca el ganado porcino como especie con mayor presencia en la alimentación humana. La producción del jamón supone uno de los factores que más dinamizan la industria cárnica nacional, habiéndose convertido en el producto cárnico estrella de todos los que pueden obtenerse del cerdo.

España es el primer productor y consumidor mundial de este producto. La producción de jamones y paletas curados supuso en el año 2008 un total de 41,62 millones de piezas, lo que representa 265168 toneladas de producto; según los datos facilitados por CONFECARNE (2008). Según esta misma fuente hay que destacar que en los últimos años se ha registrado un incremento continuado en su elaboración.

Los datos facilitados por la Dirección General de Alimentación del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación muestran como en el año 2007 los españoles compraron 106251 toneladas de jamón curado, con un valor cercano a los 1500 millones de euros y con un consumo per cápita de 2,39 kg/ persona y año, lo que representa el 21% de la ingesta del jamón curado total en el hogar. Este producto manifiesta una clara primicia entre las distintas variedades de productos transformados, con amplia diferencia sobre los demás productos curados, ya que el consumo de algunos alimentos como es el chorizo se encuentra en un 14%.

Los alimentos crudos – curados se caracterizan principalmente, por tener una etapa secado-maduración que le proporciona seguridad microbiológica y por una serie de reacciones enzimáticas y bioquímicas que se dan en el producto; las cuales tienen una gran influencia tanto en la textura como en el aroma y sabor. Los productos crudos-curados se pueden clasificar en dos grandes grupos; por un lado, aquellos que presentan integridad anatómica (jamón, lomo...) y, por otro lado, aquellos que no presentan integridad anatómica (chorizo, salchichón...). Dentro del primer grupo, destaca el jamón curado, uno de los productos tradicionales más característico de nuestro país desde el punto de vista nutricional, gastronómico, cultural, económico y social.

### 1.2. GENERALIDADES DEL JAMÓN CURADO

Según el Código Alimentario Español (BOE, 2015) se define al jamón curado como “aquel producto cárnico elaborado mediante la salazón en seco con posterior desecación y maduración, de la extremidad posterior del cerdo, seccionada por la sínfisis isquiopubiana, que conserva todos sus huesos, músculos, tejido adiposos de infiltración, vasos y nervios, así como una porción variable de la piel y el tejido adiposo de revestimiento”.

El principio de conservación se basa en la reducción de la actividad de agua mediante la acción combinada de la sal y el secado que permiten su almacenamiento a temperatura ambiente, evitando así la necesidad de refrigeración (Pérez- Álvarez et al., 1997). La composición es variable en función de la raza, sexo, edad y estado de engrasamiento. Los valores medios de la

composición química del jamón se muestran en la tabla 1.1; siendo los músculos principales del jamón el *Bíceps femoris*, *Semimembranosus* y *Semitendinosus* (Figura 1.1).

Agua	75%
Proteína	19%
Nitrógeno no proteico	1,65%
Lípidos	2,50%
Minerales	0,65%
Carbohidratos	1,20%

Tabla 1.1. Composición química del jamón, Lawrie (1988)

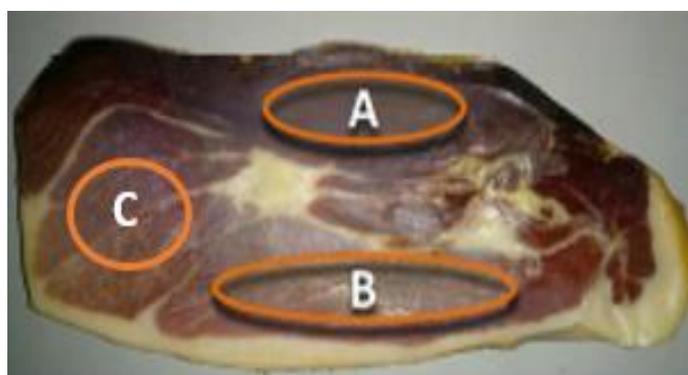


Figura 1.1. Loncha de jamón y localización de los principales músculos: A. *Semimembranosus* (SM), B. *Bíceps femoris* (BF), C. *Semitendinosus* (ST)

El jamón curado aporta cantidades notables de vitaminas indispensables para nuestro organismo, con especial importancia de las vitaminas del grupo B, especialmente en tiamina (B1), en riboflavina (B2), en piridoxina (B6) y en niacina. Además, es fuente de fósforo, hierro, zinc y de proteínas de alto valor biológico; cuenta con un perfil lipídico equilibrado y moderado en calorías (ANICE, 2014). Se puede decir, que el jamón curado cuenta con un alto contenido en grasa, la cual influye enormemente en las características sensoriales y texturales proporcionando alimentos de alta calidad sensorial. Entre los atributos que determinan el grado de aceptabilidad del jamón destacan especialmente su aroma intenso y, a curado y la persistencia del aroma, así como la intensidad del olor y el matiz específico de olor a bellota para los productos ibéricos.

### 1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO

La elaboración del jamón curado ha constituido desde tiempos inmemoriales una forma de conservación de la carne mediante el salado y posterior secado. Existen distintas tecnologías de fabricación de jamones curados, pero básicamente todas ellas pretenden, por una parte, estabilizar el producto para que pueda mantenerse a temperatura ambiente sin peligro para la

salud ni riesgo de alteración microbiológica y, por otra parte, facilitar el desarrollo de unas características sensoriales deseadas.

La elaboración de este alimento se lleva a cabo de diferentes maneras según el contenido de grasa-proteína que tenga la materia prima ya que varía en función de la raza, sexo, alimentación... Generalmente, este proceso se empieza con la recepción y el acondicionamiento de la materia prima donde se realiza un perfilado con el fin de eliminar la grasa superficial, el tejido conectivo, los tendones y los nervios; la temperatura debe ser inferior a 3°C y el pH entre 5,6-6,2. Seguidamente, se hace una clasificación en cuanto a su peso, tamaño y cantidad de grasa. Se extrae la mayor cantidad de sangre posible para así reducir al máximo la probabilidad de contaminación microbiológica interna. Posteriormente, se realiza el nitrificado, cuya finalidad es cubrir y frotar de sales nitrificantes el jamón. Esta etapa se lleva a cabo durante 24 h en una cámara a 3°C y 90-95% HR. A continuación, se realiza el salado se trata de una etapa donde los jamones se cubren con NaCl, que va penetrando de manera progresiva al interior de la pieza. Por ello, es una etapa clave tanto para la estabilidad como para la calidad organoléptica final del producto. El salado puede durar entre 0,65 y 2 días/kg de jamón fresco a 3°C y 90-95%HR. Posteriormente, se realiza el lavado para eliminar la sal superficial. Seguidamente, se lleva a cabo la etapa de post- salado o reposo (2-5°C, 85%HR), durante este tiempo, se produce la difusión de la sal absorbida en la superficie del jamón. Además, se reduce progresivamente el valor de la actividad de agua en el interior del jamón y por tanto se inhibe el desarrollo de microorganismos alterantes y se controla la actividad enzimática endógena. Por último, se lleva a cabo un proceso de secado, donde la sal se sigue distribuyendo por igual entre las masas musculares a la vez que se va evaporando el agua para así conseguir la total estabilización del jamón en un tiempo que oscila entre 6 meses hasta 2 años con unas humedades relativas más bajas (60-80%) y temperaturas más elevadas (12-20°C) lo que favorece las reacciones de formación de compuestos responsables del sabor y aroma.

#### **1.4. PROBLEMAS TEXTURALES EN JAMÓN CURADO**

La textura se define como el conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y de composición de un producto perceptible por los sentidos del tacto, la vista y el oído (Pons y Fiszman, 1996). Más recientemente, Szczesniak (2002) define la textura como la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y de superficie de los alimentos, detectada a través de los sentidos de la visión, oído y tacto. La textura del jamón curado depende del contenido en grasa intramuscular e intermuscular y composición de ésta, del proceso de maduración y del tratamiento del producto final.

Actualmente, existe una tendencia que consiste en la reducción del contenido en sodio durante la elaboración del jamón curado; debido a la problemática que conlleva un alto contenido de este mineral en la salud. La disminución de sal durante su procesado origina una serie de problemas de textura como la aparición de pastosidad, de texturas blandas o la adhesión entre lonchas. Este hecho, da lugar a una peor calidad del producto y supone por lo tanto un mayor rechazo por parte del consumidor. La sal presenta efectos sobre la estructura de la materia prima, ya que las

proteínas solubilizadas durante la maduración del jamón conforman un gel proteico, lo que provoca el ligazón de diferentes partículas y termina afectando a la textura.

Dos de los problemas más importantes en el 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). Estos defectos se caracterizan por una elevada adhesividad, baja dureza y elasticidad del jamón; y un mayor brillo al corte; dificultando su loncheado y su corte pudiendo llegar a provocar el rechazo del consumidor. Una textura blanda y/o pastosa puede estar ocasionada por un pH elevado de la materia prima (Arnau et al., 1998), por el uso de una carne que posea un elevado potencial proteolítico (Parolari et al., 1994; Virgili et al., 1995), por un pH muy bajo (García-Rey et al., 2004), por la presencia de grasa intramuscular e intermuscular que dificulte el salado y secado, por un contenido bajo en sal o bien por una temperatura de proceso elevada (Arnau et al., 1997). Una mayor pastosidad se debe a una reducción de la relación NaCl/ humedad que puede estar provocada por el mayor contenido en grasa intramuscular e intermuscular que dificulta la difusión de agua y sal.

Una opción que permite reducir esta problemática es intervenir en los parámetros relacionados con la proteólisis como lo son la reducción de la temperatura en el proceso de elaboración y apresurar la etapa del salado y secado.

## 1.5. CORRECCIÓN DE LA TEXTURA: TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El músculo *Bíceps femoris* puede presentar una elevada incidencia de textura blanda y pastosa (García-Garrido, 2000) debido a un mayor grado de extractibilidad y funcionalidad (capacidad de retención de agua, solubilidad, viscosidad...) de las proteínas de la carne con  $\text{pH} > 6,2$  y a un mayor contenido en humedad en éste músculo (Guerrero et al., 2000). De acuerdo con los resultados de Morales et al., (2008), un tratamiento térmico a 30 o 36°C durante 24 h al final del proceso de elaboración de los jamones podría mejorar la textura del *Bíceps 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, 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 et al., 1990). Por lo tanto, el tratamiento térmico puede favorecer la formación de una nueva matriz proteica que presente una mejor textura.

### 1.5.1. GENERALIDADES DE LOS ULTRASONIDOS

Los ultrasonidos se pueden definir como una forma de energía que viaja en ondas mecánicas con frecuencias iguales o superiores a 20 kHz (Benedito, 1998) y que necesitan un medio material para propagarse (Mulet et al., 1999). Los principales parámetros que determinan una onda ultrasónica son frecuencia, velocidad y amplitud. Se puede definir frecuencia como el número de vibraciones o ciclos completados por la onda en una unidad de tiempo siendo su unidad de

medida el Hercio (Hz). La velocidad acústica, medida en m/s, es la velocidad de propagación de la onda. Por último, la amplitud es el máximo desplazamiento de la partícula desde la posición de equilibrio (m).

Se diferencian dos tipos de ultrasonidos dependiendo de la intensidad y frecuencia que tengan. Los ultrasonidos de potencia provocan cambios en los procesos o medios donde se aplican y se caracterizan por su alta intensidad ( $>1 \text{ W/cm}^2$ ) y por su baja frecuencia (20-100 kHz). Los mecanismos que provocan los ultrasonidos de potencia incluyen corrientes, difusión, agitación, implosiones, compresiones y dilataciones, turbulencia, inestabilidades en las interfases, etc. y son dependientes del medio donde se aplican. Así, se utilizan para acelerar procesos de transferencia de materia y de calor. Por otro lado, los ultrasonidos de señal se caracterizan por su baja intensidad ( $<1 \text{ W/cm}^2$ ) y por su alta frecuencia (100 kHz y 20 MHz). No afectan a los productos ni a los procesos ya que la energía involucrada es débil. Se utilizan para el control de procesos o el análisis no destructivo de materiales. Generalmente, los ultrasonidos de potencia se aplican en forma continua mientras que los de señal se aplican en pulsos. En tecnología de alimentos, son importantes tanto las aplicaciones de los ultrasonidos de potencia como las de señal.

### 1.5.2. ULTRASONIDOS DE POTENCIA

Existen diferentes mecanismos que provocan la aplicación de ultrasonidos de potencia. Por un lado, tiene lugar un calentamiento progresivo por absorción específica de la energía acústica de las membranas celulares, especialmente en las interfases. Las ondas acústicas a su paso a través de los materiales sólidos provocan, además, expansiones y contracciones rápidas y sucesivas dando lugar a lo que se conoce como efecto esponja. Por otro lado, los ultrasonidos provocan una agitación violenta, ocasionando una elevada turbulencia en la interfase sólido/fluido en medios fluidos de baja viscosidad. Por último, la formación, el crecimiento y colapso de pequeñas burbujas generadas por gradientes de presión provocan la liberación de energía en el seno de la matriz (Mason et al., 1996). Este fenómeno conocido como cavitación produce altas temperaturas y presiones, favoreciendo la transferencia de calor en medio líquido y que pueden provocar en el alimento cambios físicos, químicos y bioquímicos (Awad et al., 2012). Podría ser útil durante el procesado de alimentos al reducir el tiempo de proceso (Mason et al., 2011).

Actualmente, los ultrasonidos se consideran una tecnología emergente, con un número escaso de aplicaciones a nivel industrial. A pesar de ello, han sido numerosos los estudios donde se ha aplicado esta técnica para modificar procesos o mejorar los existentes. Alarcón-Rojo et al., (2015) demostraron la capacidad que tienen los ultrasonidos para mejorar las características asociadas con la transferencia de calor. También, se ha utilizado para mejorar la producción de carne procesada (McClements, 1995). Otro estudio muestra que los ultrasonidos pueden mejorar la ternura y las propiedades tecnológicas de la carne (Jayasooriya et al., 2004). Además, se ha demostrado que el ultrasonido puede acelerar la cocción convencional y mejorar los atributos de textura de la carne (Alarcón-Rojo et al., 2015).

### 1.5.3. ULTRASONIDOS DE SEÑAL

En la actualidad se considera unas de las tecnologías con mayor proyección para la determinación de parámetros de calidad de forma no destructiva, entre otros, parámetros composicionales y texturales. La medida ultrasónica se lleva a cabo a partir de la colocación de los transductores sobre la muestra a analizar. Estos transductores convierten la energía eléctrica en vibración a la frecuencia ultrasónica. La medida ultrasónica llevada a cabo por los transductores se puede realizar a partir de dos métodos: pulso-eco y transmisión-recepción. El método pulso-eco (Coupland, 2004) se basa en la utilización de un transductor, el cual sirve tanto de emisor como de receptor de la onda ultrasónica. En este método, la onda es emitida por el transductor (emisor), pasa a través de la muestra hasta chocar con un material barrera y vuelve al transductor (receptor). El otro es el método transmisión-recepción (McClements, 1995) que consiste en la colocación de dos transductores en las caras opuestas de la muestra. En este caso, uno de ellos actúa como emisor y el otro como receptor.

Tanto el poder de atenuación de los alimentos, la estructura interna de los productos como el elevado porcentaje de su volumen ocupado por aire, son algunos de los factores que pueden afectar a la transmisión de energía ultrasónica; lo cual hace difícil que esta se transmita por su interior. A pesar de los inconvenientes comentados anteriormente, existen multitud de estudios que han utilizado los ultrasonidos para evaluar las propiedades texturales de alimentos. Así, Benedito (1998) monitorizó el proceso de elaboración de quesos a partir de la velocidad ultrasónica. También se ha podido estudiar la textura (terneza) de la carne (Povery y Manson, 1998). Además, se ha evaluado la calidad de cerdos ibéricos mediante la caracterización ultrasónica de su grasa dorsal (Niñoles et al. 2007), encontrándose una influencia de la raza y la alimentación de los cerdos ibéricos sobre los valores de velocidad.

### 1.6. ANÁLISIS DE TEXTURA EN JAMÓN CURADO

Las diferentes técnicas destructivas para la determinación de la textura del jamón curado, han sido objeto de estudio desde hace tiempo, se clasifican los métodos instrumentales utilizados para medir la textura de los alimentos en tres grupos, los cuales se basan principalmente en medidas de tipo físico.

#### - Métodos fundamentales

Se utilizan para medir las propiedades reológicas fundamentales de los alimentos como la viscosidad o el módulo de la elasticidad. Dentro de este grupo uno de los más habituales es el ensayo de compresión-relajación. Este test consiste en aplicar una fuerza la cual se mide a los 2 s; obteniéndose a partir de éste valor la rigidez del alimento. Se comprime la muestra hasta un 25% de su altura, esto se corresponde con el valor de la fuerza máxima (dureza). Seguidamente, se mantiene la posición 90 s, durante ese tiempo se mide la fuerza a los 2 s y a los 90 s, es a partir de estos valores de donde se calcula capacidad de relajación para cada uno de estos tiempos. Este método se ha utilizado en el jamón, para diferenciar una textura normal y suave en el músculo semimembranoso, seco-curado y el bíceps femoral (Morales et al., 2007).

- Métodos empíricos

Miden parámetros poco definidos desde un punto de vista reológico. Dentro de este grupo los ensayos más habituales son los de punción, compresión y corte. Miden las propiedades de los productos que no están bien definidas y no pueden expresarse fácilmente.

- Métodos imitativos

Intentan imitar las condiciones en que se encuentran los alimentos en la boca. Dentro de este grupo, el Análisis de Perfiles de Textura (PCA), es el que más se ha utilizado para evaluar todo tipo de alimento (Pons y Fiszman, 1996). El método se basa en la realización de dos ciclos de compresión-descompresión sucesivos sobre el alimento, imitando la acción de las mandíbulas.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue determinar la viabilidad de los tratamientos térmicos a temperaturas moderadas en medio líquido como método corrector de defectos de textura del jamón curado. Para alcanzar este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- Evaluar el uso de ultrasonidos de señal como tecnología no destructiva para caracterizar la composición y propiedades texturales del jamón curado.
- Cuantificar la influencia de la aplicación de ultrasonidos en la cinética de calentamiento.
- Determinar la influencia del tiempo de calentamiento en la textura final de las muestras de jamón curado.
- Relacionar los cambios de velocidad ultrasónica con los cambios en las propiedades texturales provocados por el calentamiento del jamón curado.

### 3.MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

En este estudio se utilizaron lonchas de jamón curado de cerdo blanco de 4 cm de espesor (Figura 3.1) con alto grado de pastosidad proporcionadas por el Institut de Recerca en Tecnologia d'Aliments (IRTA).

En cada loncha, se localizaron los puntos de extracción de las muestras en los tres músculos principales del jamón: *Bíceps femoris*, *Semitendinosus* y *Semimembranosus*. Se evitó en todo momento la presencia de tejido conectivo y tejido adiposo no infiltrado en los puntos de extracción. Cada punto de extracción se extrajo con ayuda de un sacabocados de 2" de diámetro interno, obteniéndose cilindros de  $\pm 4$  cm de diámetro. Cada cilindro se dividió en dos idénticos de 2 cm de espesor, uno que fue como control y el otro como tratado.

Tanto las muestras control como las que se sometieron a tratamiento térmico, se envasaron a vacío (VAC-10S, Edesa) (90%, bolsas de 9,5x9,5 cm); para evitar posibles pérdidas de humedad durante el tratamiento térmico. Los cilindros ya envasados, se dejaron en refrigeración a 4°C hasta el tratamiento térmico (Figura 3.2).



**Figura 3.1. Lonchas de jamón de 4 cm de espesor**



**Figura 3.2. Cilindros de jamón de 2 cm de altura y 2" de diámetro envasados**

### 3.2. TRATAMIENTO TÉRMICO DE JAMÓN CURADO

#### 3.2.1. CALIBRACIÓN DE SONDAS

Previamente al tratamiento, se realizaron la calibración de los termopares (tipo T y K) que se utilizaron en las experiencias de calentamiento. Para ello, se colocaron en contacto con el termómetro de alcohol y se introdujeron en un vaso de precipitados de 600 mL con agua destilada colocado sobre una placa calefactora. Se hicieron registros con la medida de los termopares y con el termómetro cada 20 s en un intervalo de temperaturas entre 20 y 60°C (Figura 3.3)

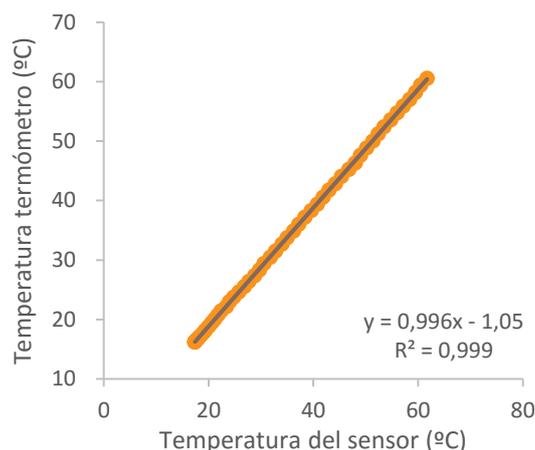


Figura 3.3. Recta de calibración de un sensor de temperatura

### 3.2.2. MONTAJE EXPERIMENTAL

Los tratamientos térmicos se llevaron a cabo en un baño de ultrasonidos de acero inoxidable (AT615LEO, ATU) de 12 L. El baño de ultrasonidos dispone de dos salidas (parte superior e inferior del baño) para recirculación del fluido. El esquema del montaje experimental realizado se muestra en la Figura 3.4.

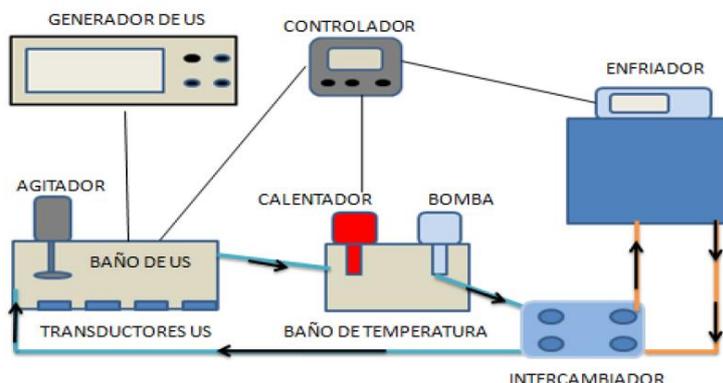


Figura 3.4. Montaje experimental para el tratamiento térmico

En las experiencias sin la aplicación ultrasonidos, se usó un agitador (D91126, Heidolph instruments) de hélices a 360 r.p.m para incrementar la turbulencia. En los tratamientos con aplicación de ultrasonidos, se suministró una potencia de 600 W a los transductores ultrasónicos proveniente de un generador de ultrasonidos (GAT600 / 20 kHz, ATU). La utilización de ultrasonidos conllevó un aumento de temperatura dentro del baño de ultrasonidos debido al fenómeno de la cavitación. Así, se diseñó un sistema de control basado en la recirculación del agua del baño de ultrasonidos desde un baño de temperatura controlada que actuó como depósito pulmón, tal y como se muestra en la Figura 3.4. El agua del baño de ultrasonidos se extraía por el orificio superior del baño y se pasaba al baño de temperatura controlada donde un termostato de inmersión (Tectrom 2000, JP Selecta) realizaba tres funciones agitar-bombear y

calentar. El termostato de inmersión se encargaba de bombear el agua hacia un intercambiador de calor de 20 placas, que funcionaba en contracorriente (EL852, Mas Malta Cervecera) y por donde circulaba un líquido refrigerante (15°C, etilenglicol (40% v/v) proveniente de un enfriador (1190s, Refrigerator Circ) que se encontraba a 15°C. Así, finalmente el agua tras pasar por el intercambiador de calor se introducía en el baño de ultrasonidos por su orificio inferior. Se realizó un control de temperatura de tipo ON-OFF conectando el termostato de inmersión del baño al controlador de procesos (E5CK, OMRON) y la temperatura en el baño de ultrasonidos se midió con una sonda pt-100 (unida al controlador) y diferentes termopares de tipo K. En las experiencias donde no se aplicaron ultrasonidos, se adoptó un sistema similar utilizando el sistema de agitación del baño de temperatura para calentar el agua que se recirculó en todo momento por el baño ultrasónico, y no se accionó el sistema enfriador del líquido refrigerante. En ambos casos, el control de la temperatura del baño fue adecuado. Las medidas de temperatura del centro del jamón se realizaron mediante termopares de tipo T de alta precisión (0,5 mm de diámetro) que estaban conectadas a un multiplexador (34970A, Agilent) unido a un PC para la adquisición de datos.

Para poder introducir los termopares de tipo T en el cilindro de jamón sin romper el vacío y sin que entrase agua, se usó una cinta de silicona (CHA-475, CYH Sistemas), tal y como se muestra en la Figura 3.5.

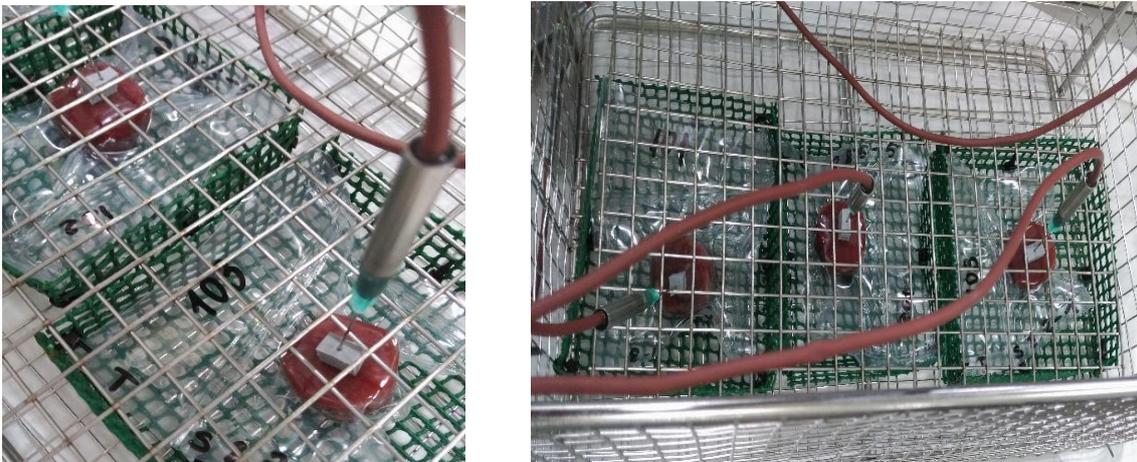


Figura 3.5. Colocación de sondas de tipo T en los distintos cilindros de jamón (2 cm de espesor y 2" de diámetro)

### 3.2.3. MEDIDA DE LA POTENCIA ULTRASÓNICA EN EL MEDIO

Se realizaron varios calentamientos de 5 min en el baño ultrasónico para determinar la potencia ultrasónica real (Ec.1) del medio utilizando el método calorimétrico (Ozuna et al., 2014). En cada experiencia se emplearon dos sensores de tipo T, la medida con cada uno de ellos se hizo por triplicado.

$$Potencia \left( \frac{J}{s} \right) = m \times Cp \times \left( \frac{dT}{dt} \right) \quad (Ec.1)$$

Dónde:  $m$  (cantidad de medio que hay en el baño (kg)),  $C_p$  (calor específico del agua (J/kg·K)),  $\frac{dT}{dt}$  (diferencia de temperatura/diferencial de tiempo (K/s)).

#### 3.2.4. EXPERIENCIAS DE CALENTAMIENTO

Se realizaron experiencias de calentamiento aplicando diferentes tiempos de tratamiento 1, 3, y 5 h a una temperatura de 50°C (Figura 3.6). Los tiempos de tratamiento fueron fijados a partir de unas experiencias previas donde se identificó que tiempos más largos de tratamiento térmico inducían la aparición de sabor a “cocido” en el jamón. En las experiencias donde se aplicaron ultrasonidos, se monitorizó la fase de calentamiento y se finalizó la aplicación de ultrasonidos cuando la temperatura del centro del producto alcanzó los 45°C, continuando el proceso de calentamiento hasta el final del tiempo de manera convencional. Para cada tiempo de tratamiento se hicieron tres réplicas, realizándose un total de 18 tratamientos independientes.



Figura 3.6. Montaje experimental del baño ultrasónico para el tratamiento térmico

### 3.3. TEXTURA

Para el análisis de textura se utilizaron dos métodos distintos. En primer lugar, se utilizaron los ultrasonidos de señal como tecnología no destructiva para determinar su viabilidad para la medida de propiedades texturales. En segundo lugar, se realizaron ensayos instrumentales convencionales (destructivos).

#### 3.3.1. ULTRASONIDOS DE SEÑAL

Se realizaron análisis de ultrasonidos de señal con el objetivo de correlacionar las propiedades acústicas del jamón con propiedades texturales. El método que se usó fue el de transmisión-recepción. El generador (5053PR, Parametrics) emite una señal eléctrica de tipo “spike”, la cual llega al transductor-emisor (A303S de 1 MHz/75’, Olympus) y se convierte en una onda ultrasónica. Se transmite a través del cilindro de jamón y llega al transductor-receptor (A303S de

1 MHz/75', Olympus) convirtiéndose en una señal eléctrica, que es recibida en el generador-receptor. En el generador, se amplifica y se filtra la señal antes de ser enviada al osciloscopio (TDS 5034, Tecktronix), este equipo tiene integrado un ordenador y se encarga de digitalizar la señal y calcular el tiempo de vuelo, este se puede definir como el tiempo que tarda la onda ultrasónica en atravesar el cilindro de jamón desde que se genera en el transductor-emisor hasta que se recibe en el transductor-receptor. Todas las medidas se realizaron en una cámara refrigeradora a 4°C (Figura 3.7, 3.8 y 3.9).

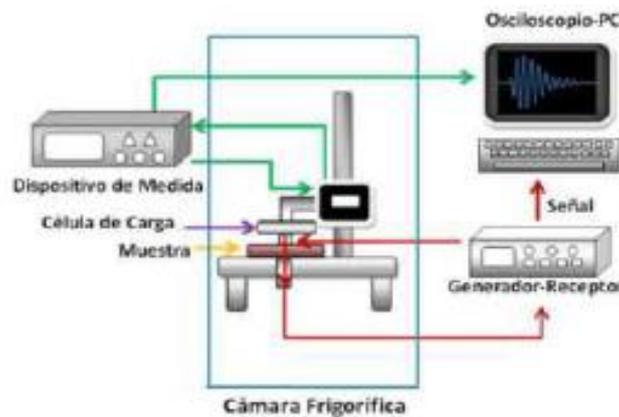


Figura 3.7. Esquema del equipo de ultrasonidos de señal

Para la determinación del espesor, se usó un dispositivo formado por un calibre digital y un sensor de presión que determina la distancia que existe entre los dos transductores que están en contacto con la muestra, al mismo tiempo, se establece la presión que ejercen ambos transductores sobre el jamón (Figura 3.8); que se fijó en 10 N. La velocidad ultrasónica se determinó como el cociente entre el espesor de la muestra y el tiempo de vuelo calculado por el método del umbral de energía (Corona, 2012) y también se consideró el tiempo de retardo de la señal por todos los componentes.



Figura 3.8. Medida de ultrasonidos de señal, colocación de los transductores

Los valores de configuración que se utilizaron en el generador- receptor fueron los siguientes: frecuencia del pulso 200 Hz, factor Damping 100  $\Omega$ , altura del pulso 200 V, atenuación de 0 dB, Vernier de 0 dB, ganancia de 40 dB, fase normal y filtro de 0.3 MHz (HP) y OUT (LP). Se adquirieron 25000 puntos y la velocidad de adquisición fue de 125 MS/s.

Se analizaron todas muestras tratadas térmicamente, realizadas antes y después del calentamiento (24 h), y también se midieron los cilindros control antes del análisis de textura instrumental, que se detallará en la siguiente sección.



Figura 3.9. Equipo de ultrasonidos de señal

### 3.3.2. ANÁLISIS INSTRUMENTAL

El equipo que se utilizó para determinar las propiedades texturales fue un texturómetro universal (TA XT2i, Stable Micro Systems) (Figura 3.10), se trata de un equipo que permite deformar la muestra y determinar su respuesta ante esa deformación. Se aplicó el método de compresión simple que se corresponde con la primera etapa del ensayo que ilustra la Figura 3.11. Los parámetros del análisis fueron los siguientes: sonda cilíndrica de 20 mm de diámetro, la velocidad de compresión (1 mm/s) y una deformación del 25%. Todas estas medidas se hicieron en el interior de una cámara refrigeradora a 4°C.

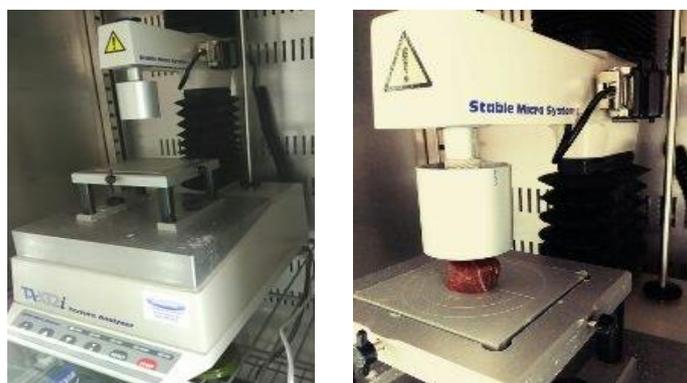


Figura 3.10. Texturómetro universal utilizado para realizar el test de compresión

A partir del perfil fuerza/tiempo se determinaron los siguientes parámetros:

- DUREZA: Se considera el valor máximo de fuerza durante el ensayo (N).
- RIGIDEZ: Se trata de la pendiente inicial de la curva (N/s), así, se calculó como la pendiente media a los 2 s.
- TRABAJO DE COMPRESIÓN: Es el área de la curva durante la fase de compresión (Nxs).

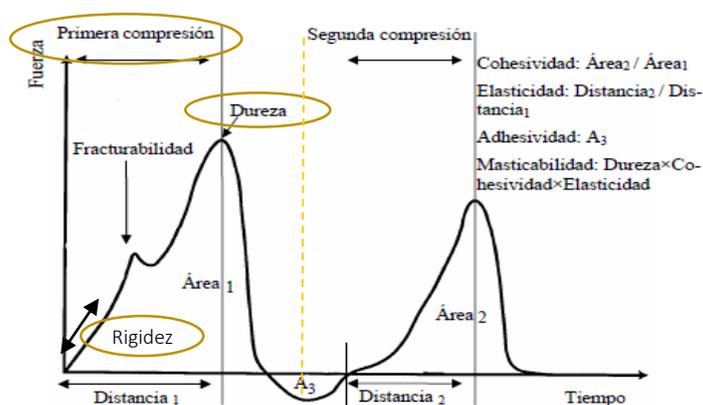


Figura 3.11. Representación de dos ciclos de compresión – descompresión en un análisis de textura

### 3.4. ANÁLISIS COMPOSICIONAL

#### 3.4.1. ANÁLISIS DE HUMEDAD

El contenido de humedad en los cilindros de jamón (Figura 3.12); se determinó mediante el método de la AOAC 950.46 (1996). Para ello, se prepararon y pesaron ( $P_1$ ) crisoles, previamente mantenidos en un desecador unos días para asegurar la ausencia de humedad, con aproximadamente 0.5 g de arena de mar lavada. A continuación, se añadió aproximadamente 3 g de muestra, previamente homogeneizada, en cada crisol ( $P_2$ ). Seguidamente, se mezcló el jamón con la arena y se homogeneizó con la ayuda de una varilla y etanol (96°, Alvita).

Los crisoles se mantuvieron durante 24 h en estufa a 105°C hasta que alcanzaron peso constante. Una vez transcurridas 24 h, se sacaron y se mantuvieron en un desecador hasta que se atemperaron, para evitar cualquier perturbación posible en la balanza por el efecto de la temperatura. Posteriormente, se pesaron ( $P_3$ ) y se determinó el contenido en humedad a partir de la Ec.2. La determinación se realizó por triplicado.

$$Humedad\left(\frac{kg\ agua}{100kg\ producto}\right) = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \times 100 \quad (Ec.2)$$

Donde:  $P_1$  es la masa crisol + arena (kg),  $P_2$  es la masa crisol + arena + muestra fresca (kg),  $P_3$  es la masa crisol + arena + muestra desecada (kg). Las unidades de la humedad son kg de agua/100 kg de producto.



Figura 3.12. Análisis de humedad de las muestras control

### 3.4.2 ANÁLISIS DE GRASA

La medida del contenido en grasa se realizó en los cilindros de jamón curado mediante el método AOAC 991.36 (1996), basado en la utilización de un equipo Soxhlet y el uso de un disolvente orgánico. Se introdujeron 3 g de jamón triturado en un cartucho de papel de filtro ( $P_1$ ). A continuación, la muestra se homogeneizó con arena de mar lavada con la ayuda de una aguja. Finalmente, el cartucho con la muestra homogeneizada se colocó en la estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 1.5 h con el objetivo de eliminar el agua presente en la carne. Posteriormente, el cartucho se introdujo en el equipo Soxhlet (Figura 3.13), formado por un balón vacío, previamente pesado ( $P_2$ ), el cuerpo Soxhlet (donde se introdujo el cartucho), un condensador y un baño de agua a una temperatura superior a  $70^{\circ}\text{C}$  (punto de ebullición del disolvente orgánico utilizado). El disolvente orgánico utilizado en nuestro caso fue éter de petróleo ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ).

Este método permite extraer la grasa presente en las muestras a partir del continuo paso del disolvente orgánico. Para ello, el disolvente localizado en el balón se evapora al estar sumergido en el baño a  $70^{\circ}\text{C}$ . Cuando el disolvente en forma de vapor pasa por el refrigerador, condensa y cae sobre la muestra. El exceso de disolvente se recoge de nuevo en el balón y el proceso se repite. El periodo de extracción de grasa se prolongó durante 6 h, procurando que todas las columnas de refrigeración gotearan a la misma velocidad.



Figura 3.13. Montaje experimental para análisis de grasa de las muestras tratadas

Transcurridas las 6 h de extracción, los balones que contenían la grasa disuelta en el disolvente orgánico se rota-evaporaron para separar el disolvente de la grasa (Figura 3.14). Tras su rota-evaporación, los balones se dejaron reposar durante 24 h en una campana de extracción para eliminar por completo los restos de éter y se pesaron ( $P_3$ ). Para el cálculo de grasa se tuvo en cuenta la Ec.3:

$$Grasa \left( \frac{kg \text{ grasa}}{100kg \text{ producto}} \right) = \frac{P_3 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (Ec.3)$$

Donde:  $P_1$  (kg) de la muestra triturada que contiene el cartucho,  $P_2$  (kg) del matraz balón limpio,  $P_3$  (kg) del matraz balón con grasa.



Figura 3.14. Rotavapor: para separar el disolvente de la grasa

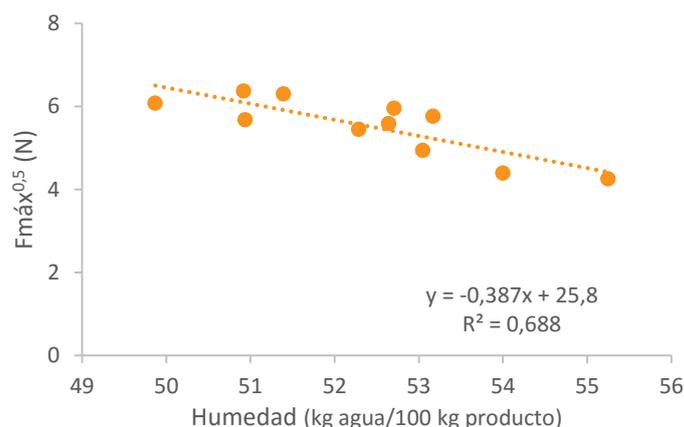
### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para estudiar la influencia ( $p < 0.05$ ) de los distintos factores (tiempo de calentamiento y aplicación de ultrasonidos), así como de la combinación de ellos, sobre los parámetros texturales del jamón curado, se realizaron Análisis de Varianza unifactorial y multifactorial utilizando el paquete estadístico "Statgraphics Centurion XVI" (Statistical Graphics Corporation, Warrenton).

## 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para determinar las propiedades de la materia prima del jamón curado, se midió su contenido de agua y se realizaron pruebas texturales realizando un ensayo de compresión simple. Se obtuvo una relación lineal significativa ( $p < 0,05$ ) entre la humedad y la fuerza máxima de compresión (Figura 4.1). Se escogió la raíz cuadrada dada la relación mostrada en la Ec. 4. La pendiente negativa de esta relación indica que cuando la humedad aumenta, la dureza del jamón disminuye.



**Figura 4.1. Relación entre el contenido de humedad de las muestras control y la fuerza máxima (Fmáx, dureza)**

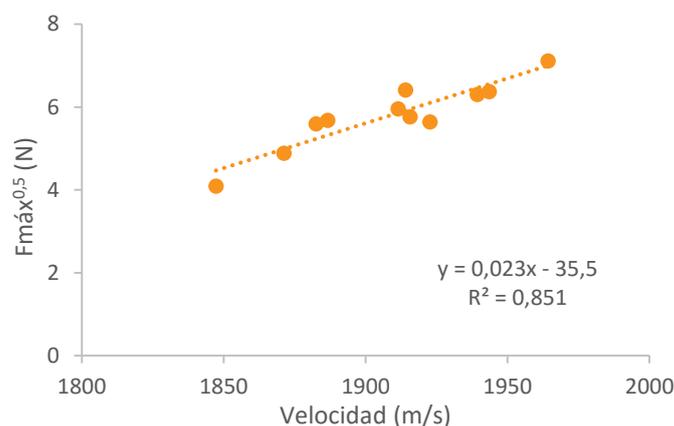
Los resultados mostrados en la Figura 4.1 coinciden con los hallados por Pérez (2006), quien concluyó que las muestras de jamón más secas muestran mayor dureza; ya que, durante el procesado de los productos cárnicos, éstos sufren un encogimiento proporcional a la pérdida de agua. Generalmente en jamón curado, el contenido de sal y humedad está inversamente relacionados, a mayor contenido de sal, menor de agua y viceversa. Ozuna et al. (2013) observaron que cuanto mayor fue el contenido de sal en el lomo, mayor fue su dureza debido al efecto de la proteólisis, tiene una relevante importancia en la textura del jamón ya que, provoca la descomposición de las proteínas miofibrilares responsables de la red muscular. Además, cuando el grado de proteólisis es superior, la estructura puede quedar dañada y dar lugar a texturas desagradables, un ejemplo típico es el defecto de pastosidad (Morales et al., 2008). Estos hechos explican los resultados mostrados en la Figura 4.1, de manera que las muestras de mayor humedad, y por tanto menor contenido en sal, fueron más blandas (menor dureza). Una razón por la que se puede dar un exceso de proteólisis puede ser el tipo de raza, la edad o que tienen una influencia sobre algunas enzimas (Armero et al., 1999). En otros casos, el exceso de la proteólisis puede ser debido a altos valores de la actividad de la catepsina B y bajos contenidos en sal, la cual es un fuerte inhibidor de la actividad de la catepsina B (Armero et al., 1999).

Por otro lado, se estableció una relación lineal significativa ( $p < 0,05$ ) entre la velocidad y dureza de las muestras (Figura 4.2). El incremento de la velocidad con la dureza se explica por la Ec. 4,

donde existe una relación directa entre el módulo de Young y la velocidad ultrasónica (Corona et al., 2013). Se escogió la raíz cuadrada dada la relación mostrada en la Ec. 4.

$$V(m/s) = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde E representa el módulo de Young ( $\text{kg/ms}^2$ ) y  $\rho$  es la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ).



**Figura 4.2. Relación entre la velocidad de las muestras control y la fuerza máxima (Fmáx, dureza)**

Los resultados mostrados en la Figura 4.2 coinciden con los publicados por Fulladosa et al. (2015), quienes determinaron que un aumento del contenido de sal en jamón curado da lugar a velocidades ultrasónicas más altas; lo que conlleva a una reducción de humedad y, por lo tanto, a un aumento de dureza. Benedini et al. (2012) encontraron que un aumento del contenido de sal en una solución acuosa de agua de mar provoca un aumento de la velocidad ultrasónica debido a un aumento en el contenido de sólidos del medio. Por lo tanto, cuanto mayor sea la relación sólido/líquido, mayor es la velocidad ultrasónica. El mismo efecto se observó en el proceso de salazón del músculo de cerdo (García-Pérez et al., 2012 y de Prados et al., 2014) y jamones (de Prados et al., 2012).

Finalmente se analizó el contenido en grasa de las muestras, el análisis del contenido de grasa se realizó en las muestras tratadas. El contenido máximo en grasa de los cilindros analizados fue de 9,15 % y el mínimo de 1,1 %, y el valor medio de  $3,2 \pm 2,4$  %. Corona et al. (2013) determinaron que el contenido de grasa en el músculo del jamón curado era 6.1 % b.h., valor que es similar al obtenido en este trabajo. No se encontró ninguna relación del contenido de grasa con la dureza de las muestras ni con la velocidad de los ultrasonidos. Fulladosa et al. (2015) relacionaron que cuando la temperatura es cercana a 4°C, la velocidad ultrasónica en la fracción de proteína y de grasa en el jamón curado proveniente de cerdo blanco es similar, por lo tanto, esto explica que no se encontrara ninguna relación entre estas (Corona et al., 2013). Fulladosa et al. (2015) concluyeron que los cambios en la textura que tienen lugar en el jamón curado son en su mayoría vinculados a la pérdida de agua y su interacción con la matriz proteica, siendo así la principal responsable de las modificaciones de textura y, por tanto, de velocidad ultrasónica. Considerando los resultados mostrados en este apartado se puede afirmar que los ultrasonidos de señal pueden

considerarse como una herramienta adecuada para cuantificar de manera no destructiva y no invasiva el contenido de humedad y dureza de muestras de jamón curado.

## 4.2. INFLUENCIA DE LOS ULTRASONIDOS DE POTENCIA EN EL CALENTAMIENTO

### 4.2.1. POTENCIA ULTRASÓNICA EN EL MEDIO

Tal y como se detalla en el apartado 3.2.3 de materiales y métodos, se realizaron ensayos para determinar la potencia ultrasónica real del medio utilizando el método calorimétrico (Ozuna et al., 2014). En este ensayo, se considera que la potencia ultrasónica coincide con la potencia de calentamiento de los ultrasonidos. En la Figura 4.3, se muestra como la temperatura del baño aumenta cuando se enciende el generador ultrasónico y no se utiliza el sistema de control de temperatura. Cuando las ondas acústicas de elevada intensidad viajan a través de un medio líquido, generan zonas de compresión y descompresión de las partículas en el medio (Povey et al., 1998) con el resultado de la formación y crecimiento de burbujas de aire e implosión de las mismas. Este fenómeno es conocido como cavitación y provoca un aumento de la temperatura del medio, tal y como se muestra en la Figura 4.3. Así, a partir de la pendiente de la relación lineal de la Figura 4.3 y considerando la masa de agua en el baño ( $m = 11,8 \text{ kg}$ ), el calor específico del agua ( $C_p = 4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ), se obtiene la potencia ultrasónica en el medio. El valor medio obtenido fue de  $455 \pm 38 \text{ W}$ . Si el consumo eléctrico del baño es de  $600 \text{ W}$ , el rendimiento acústico-eléctrico superó el  $75 \%$ , se trata de un valor muy elevado teniendo en cuenta que los ultrasonidos no producen únicamente efectos térmicos sino también otros como turbulencias en la interfase, microcorrientes y variaciones de presión (Awad et al., 2012). Por lo tanto, el rendimiento acústico-eléctrico todavía fue superior, ya que el método calorimétrico no es capaz de medir esta energía.

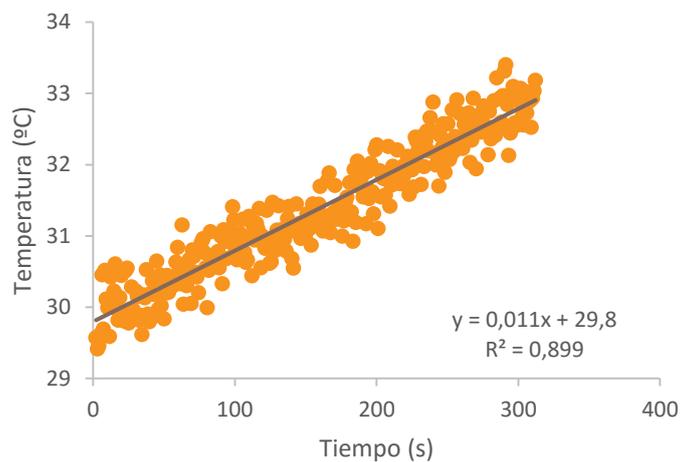


Figura 4.3. Evolución de la temperatura del baño cuando se aplican ultrasonidos de potencia sin control de la temperatura

#### 4.2.2. CINÉTICAS DE CALENTAMIENTO

En la Figura 4.4, se muestra la evolución de la temperatura del agua del baño para experiencias con y sin aplicación de ultrasonidos. Se puede observar que en ambos casos el control de temperatura fue muy efectivo, ya que la temperatura del baño oscila alrededor de 50°C. Obviamente, en el caso de las experiencias con aplicación de ultrasonidos la variabilidad es más acusada.

El tratamiento térmico realizado en el jamón curado puede dividirse en dos etapas: fase de calentamiento y fase de mantenimiento. En la Figura 4.5, se muestra como la fase de calentamiento ocupa aproximadamente 20 min y la fase de mantenimiento el resto de tiempo del tratamiento térmico. En la fase de calentamiento la temperatura oscila entre  $2\pm 1^\circ\text{C}$  hasta una temperatura cercana a  $50^\circ\text{C}$ . En la fase de mantenimiento, la temperatura se mantiene prácticamente constante en un valor próximo a  $50^\circ\text{C}$ .

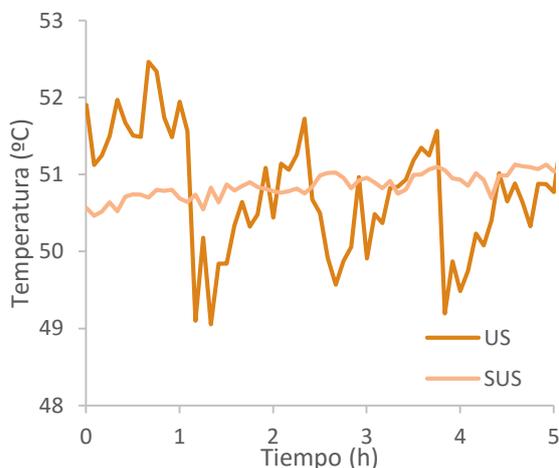


Figura 4.4. Evolución de la temperatura del baño con ultrasonidos (US) y sin aplicación de ultrasonidos (SUS)

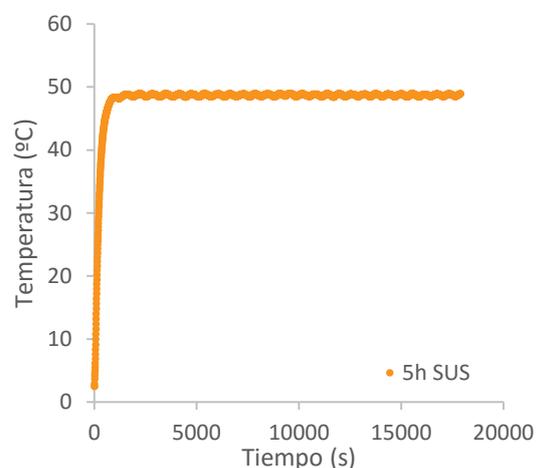
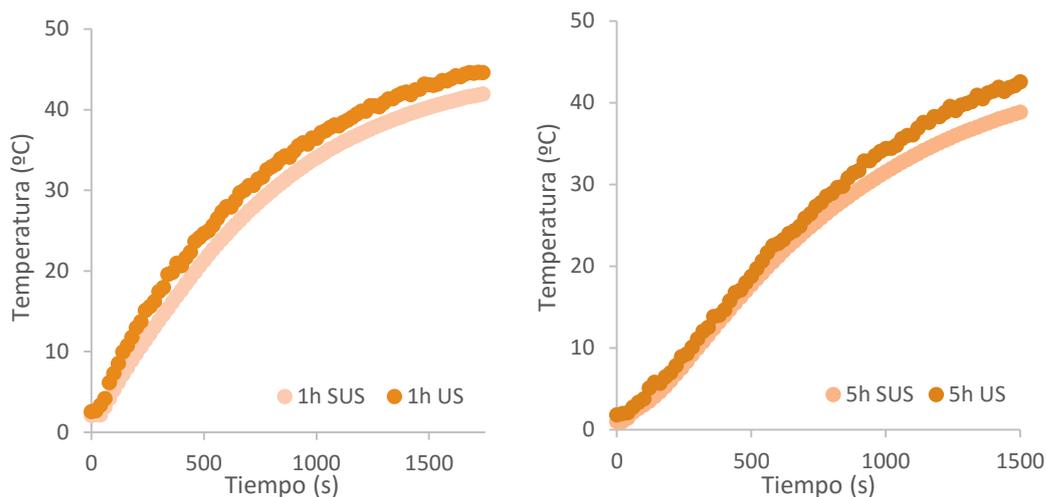


Figura 4.5. Cinética de calentamiento de jamón curado durante 5 h

En la Figura 4.6, se muestran cinéticas de calentamiento con y sin aplicación de ultrasonidos de los cilindros de jamón curado. Tal y como se puede observar la cinética de calentamiento fue más rápida cuando se aplicaron ultrasonidos. En el calentamiento de 5 h, para alcanzar una temperatura de  $40^\circ\text{C}$ , la muestra SUS necesita 23,3 min mientras que la muestra US 20 min. Esto es un ahorro temporal de 3,3 min, lo que representa un 14,3 %. En la Figura 4.6, la fase del calentamiento del tratamiento de 1 h representa casi el 40 %, por ello, la temperatura del centro del jamón curado durante todo el calentamiento no siempre es de  $45^\circ\text{C}$ . La influencia de los ultrasonidos en la cinética de calentamiento no es demasiado relevante ya que la temperatura del medio es bastante alta, tal y como se ilustró en un trabajo previo (Portilla, 2015).

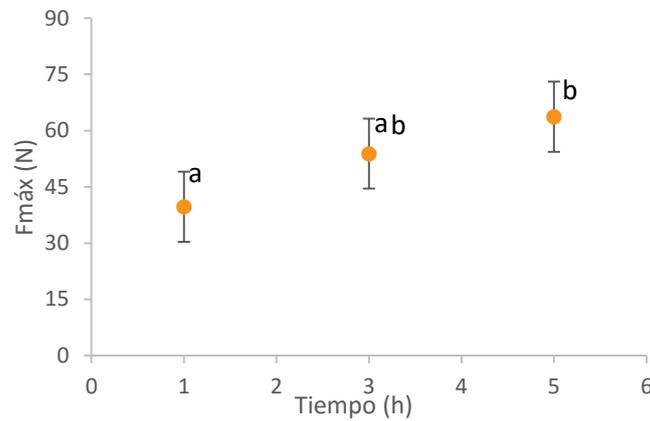


**Figura 4.6. Cinéticas de calentamiento con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos de potencia de cilindros de jamón curado de 2 cm de espesor y 2" de diámetro en agua a 50°C para tratamientos de 1 y 5 h**

En las experiencias con ultrasonidos (US) se aprecian inestabilidades en la curva, estas pueden ser consecuencia de los efectos mecánicos de compresión y expansión que los ultrasonidos provocan y que pueden conllevar modificaciones puntuales de la temperatura debido al rozamiento (Awad et al., 2012). Por lo tanto, y teniendo en cuenta los resultados de este trabajo, los ultrasonidos serían una técnica eficaz para reducir los tiempos de tratamiento. Considerando que los ultrasonidos pueden provocar efectos estructurales, es probable que tenga un efecto relacionado con la textura del jamón, hipótesis que se abordará en los apartados siguientes.

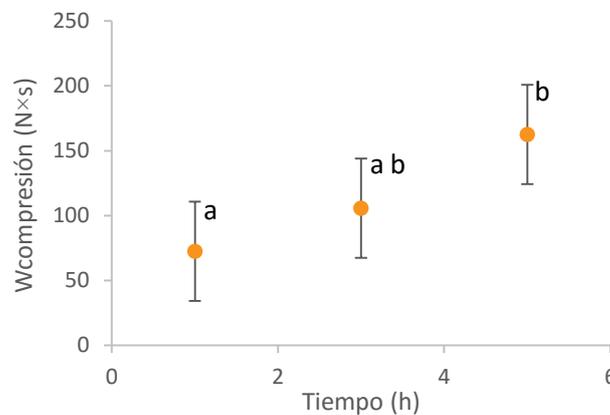
#### 4.3. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LOS PARÁMETROS TEXTURALES

Se observó un incremento progresivo de la dureza de las muestras de jamón curado con el tiempo de tratamiento a 50°C (Figura 4.7). Por ello, las muestras tratadas 5 h, fueron más duras que las tratadas a 1 y 3 h. El valor medio de dureza de las muestras control fue de 32,1 N mientras que el de las muestras tratadas fue de 84,5 N. Estos resultados coinciden con los presentados por Gou et al. (2008), quienes observaron un aumento de la dureza de las muestras cuando jamones enteros fueron sometidos a un proceso de estufaje de 10 días a 30°C. Del mismo modo, Morales et al. (2008) identificaron cambios en la estructura de diferentes músculos de cerdo tras someterlos a tratamientos de 4 a 24 h a 36°C, donde se produjo una disminución de la textura blanda dando lugar a un aumento de la dureza. Sin embargo, el análisis estadístico de los resultados mostrados en la Figura 4.7 indicó que la influencia de la variable tiempo de tratamiento no fue significativa ( $p > 0.05$ ). Este resultado puede estar relacionado con una elevada variabilidad experimental por lo que se debería de analizar un mayor número de muestras para poder corroborar las tendencias observadas.



**Figura 4.7.** Influencia del tiempo de calentamiento a 50°C en la fuerza máxima de compresión en jamón curado. Se muestran valores medios  $\pm$  intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD

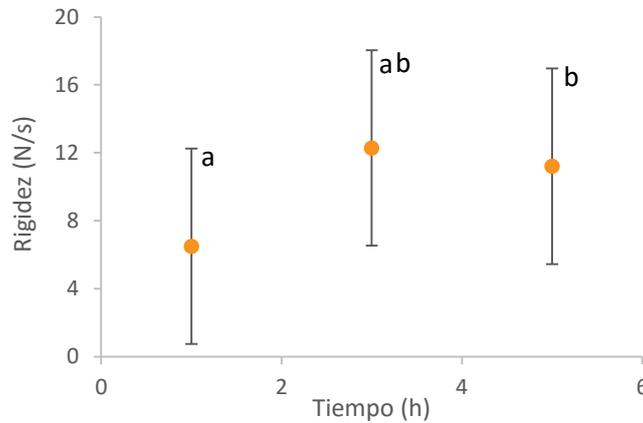
En relación al trabajo de compresión (Figura 4.8), se encontró la misma tendencia que en el caso de la dureza, es decir, se observó un aumento progresivo del trabajo de compresión de las muestras de jamón curado con el tiempo de tratamiento (Figura 4.8). El valor medio del trabajo de compresión para las muestras control fue de 95,3 Nxs mientras que el valor de las muestras tratadas fue de 208,9 Nxs. Aunque, la influencia de la variable tampoco fue significativa ( $p > 0.05$ ). La relación entre fuerza máxima (dureza) y trabajo de compresión ya ha sido previamente ilustrada en trabajos previos (Bourne, 1978).



**Figura 4.8.** Influencia del tiempo de calentamiento a 50°C en el trabajo de compresión en jamón curado. Se muestran valores medios  $\pm$  intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD

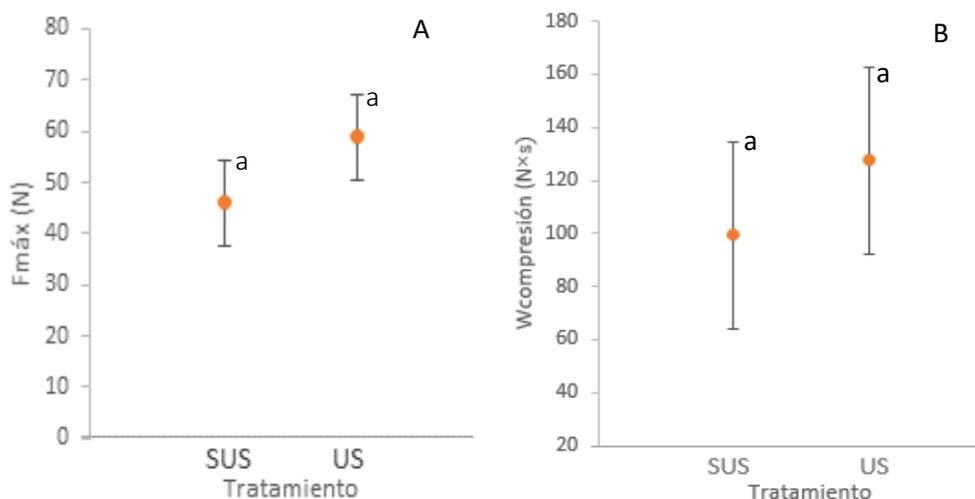
Al igual que en la dureza y en el trabajo de compresión, tampoco se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la rigidez (Figura 4.9) de las muestras tratadas en los distintos tiempos de calentamiento (1, 3, 5 h). Aunque es necesario indicar que la variabilidad experimental fue todavía mayor que en la dureza y en el trabajo de compresión, por lo tanto, se observó una

tendencia de aumento de la rigidez con el tiempo de tratamiento, aunque las muestras tratadas 5 h presentaron una rigidez ligeramente inferior a las tratadas 3 h.



**Figura 4.9.** Influencia del tiempo de calentamiento a 50°C en la rigidez en jamón curado. Se muestran valores medios  $\pm$  intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD

Con lo que respecta a la relación entre los parámetros texturales y la aplicación de ultrasonidos, se observó que las muestras donde se ha aplicado ultrasonidos presentaron una mayor dureza y que también fue mayor el trabajo de compresión para ellas. Sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) (Figura 4.10). Ozuna et al., (2013) determinaron que la aplicación de los ultrasonidos en las muestras en salmuera provocaba un mayor aumento de dureza respecto las muestras control. Lo mismo ocurre con el trabajo de compresión, resulta ser mayor cuando se aplican ultrasonidos. Sin en cambio, sucede lo inverso en la rigidez de la muestra ya que, esta resulta ser menor.



**Figura 4.10.** Fuerza máxima (A) y trabajo de compresión (B) para las muestras de jamón curado calentadas a 50°C con (US) y sin aplicación de ultrasonidos. Se muestran valores medios  $\pm$  intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD

A pesar de que se observe una tendencia en todos los parámetros texturales, ningún Análisis de Variancia unifactorial y multifactorial fue estadísticamente significativo ( $p > 0.05$ ). Esto como ya se ha apuntado puede deberse a la elevada variabilidad experimental que existe y al reducido número de muestras analizadas.

#### 4.4. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS

La medida de la velocidad ultrasónica en las muestras de jamón curado, se realizaron antes ( $V_1$ ) y después ( $V_2$ ) de aplicar el tratamiento y, también en las muestras control. Se puede definir  $\Delta V_1$  como la diferencia entre la velocidad de las muestras tratadas respecto las muestras control mientras que  $\Delta V_2$  representa la diferencia entre la velocidad de antes y después del tratamiento de las muestras. A raíz de los resultados mostrados en el apartado anterior, era de esperar que la velocidad de las muestras tratadas aumentara, pero no en todas las muestras se observaron esos incrementos y en algunos casos la velocidad disminuyó (hasta 1840,7 m/s). Sin embargo, los incrementos de velocidad fueron negativos (de hasta -150 m/s) (Figura 4.11) para la mayor parte de las muestras, y para otras las variaciones fueron muy pequeñas. Estos resultados resultan contradictorios dado los observados para las variables texturales, podrían explicarse considerando la metodología utilizada para medir la velocidad tras el calentamiento. La velocidad ultrasónica se midió 24 h después que las muestras fueran tratadas, periodo en el cual estuvieron almacenadas a temperatura de refrigeración (4°C). El periodo de almacenamiento en refrigeración pudo afectar a la velocidad ultrasónica, ya que la cristalización de la fracción grasa no es instantánea y sigue una cinética controlada por la temperatura y el perfil de ácidos grasos (Santacatalina et al., 2011). A las 24 h del tratamiento, la fracción de grasa más insaturada aún podría encontrarse en estado líquido no habiendo cristalizado (Santacatalina et al., 2011). Así, la velocidad medida tras el calentamiento hubiera sido mayor si toda la grasa estuviera en estado sólido, ya que los ultrasonidos se propagan más rápido en sólidos que en líquidos (Corona, 2012). Esto podría explicar en parte los valores negativos de los incrementos de velocidad observados.

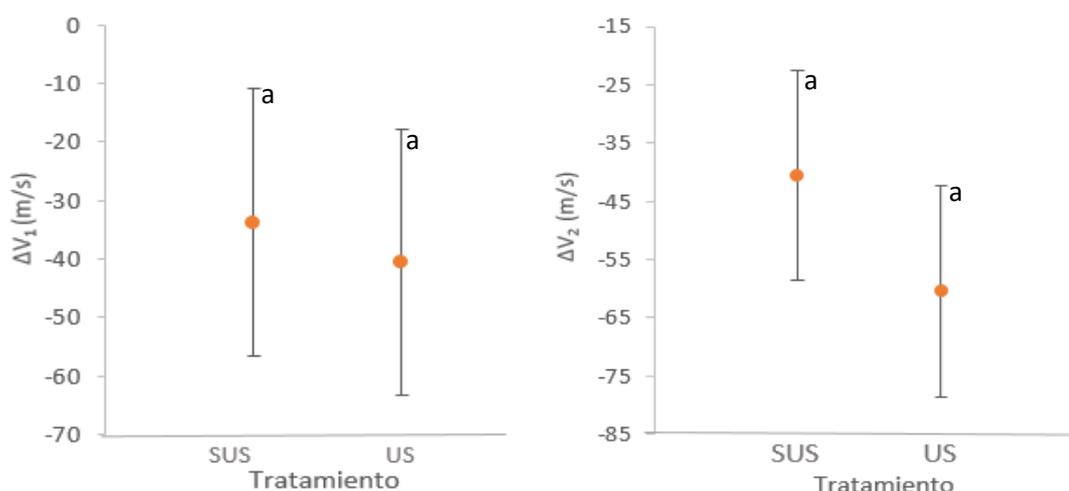


Figura 4.11. Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica y el tratamiento realizado en los cilindros de jamón curado (2 cm de espesor y 2" de diámetro) con la aplicación de los ultrasonidos (US) o sin ultrasonidos (SUS).  $\Delta V_1$ : Diferencia entre la muestra tratada y la muestra control.  $\Delta V_2$ : Diferencia entre la muestra antes y después de tratar. Se muestran valores medios  $\pm$  intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD

Tal y como se muestra en la Figura 4.11, los  $\Delta V_1$  presentaron más variabilidad que los  $\Delta V_2$ . Esto podría deberse a que medimos la velocidad en muestras diferentes y es una medida muy sensible tanto a la composición como a las propiedades texturales. Así, se escogieron los  $\Delta V_2$  para describir los cambios texturales producidos en el jamón.

En la Figura 4.12, se observa que las velocidades ultrasónicas de las muestras tratadas no siguieron ninguna tendencia con el tiempo de calentamiento. Se produce un aumento progresivo de la velocidad en los calentamientos de 1 y 3 h; mientras que 5 h se reduce (Figura 4.12). Tampoco se observó ninguna influencia de la aplicación de ultrasonidos durante el tratamiento en la velocidad.

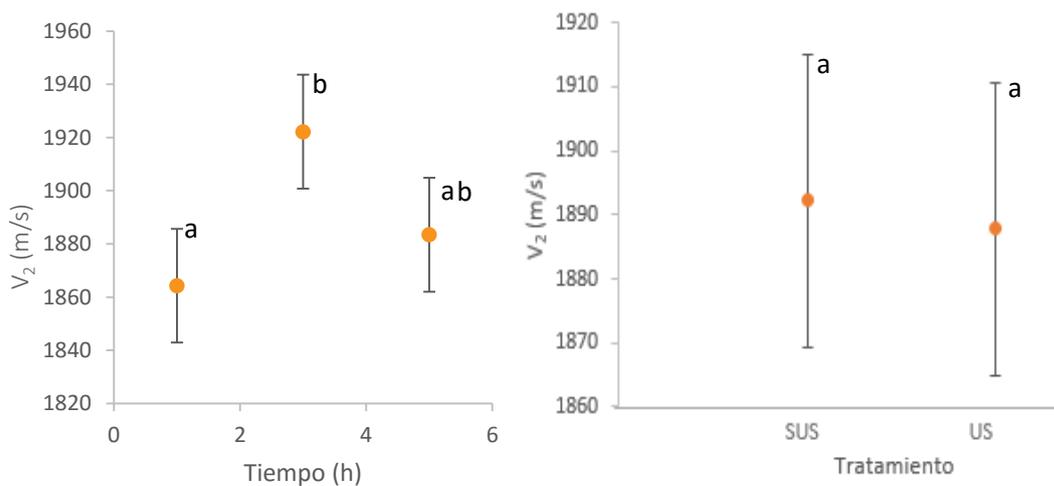
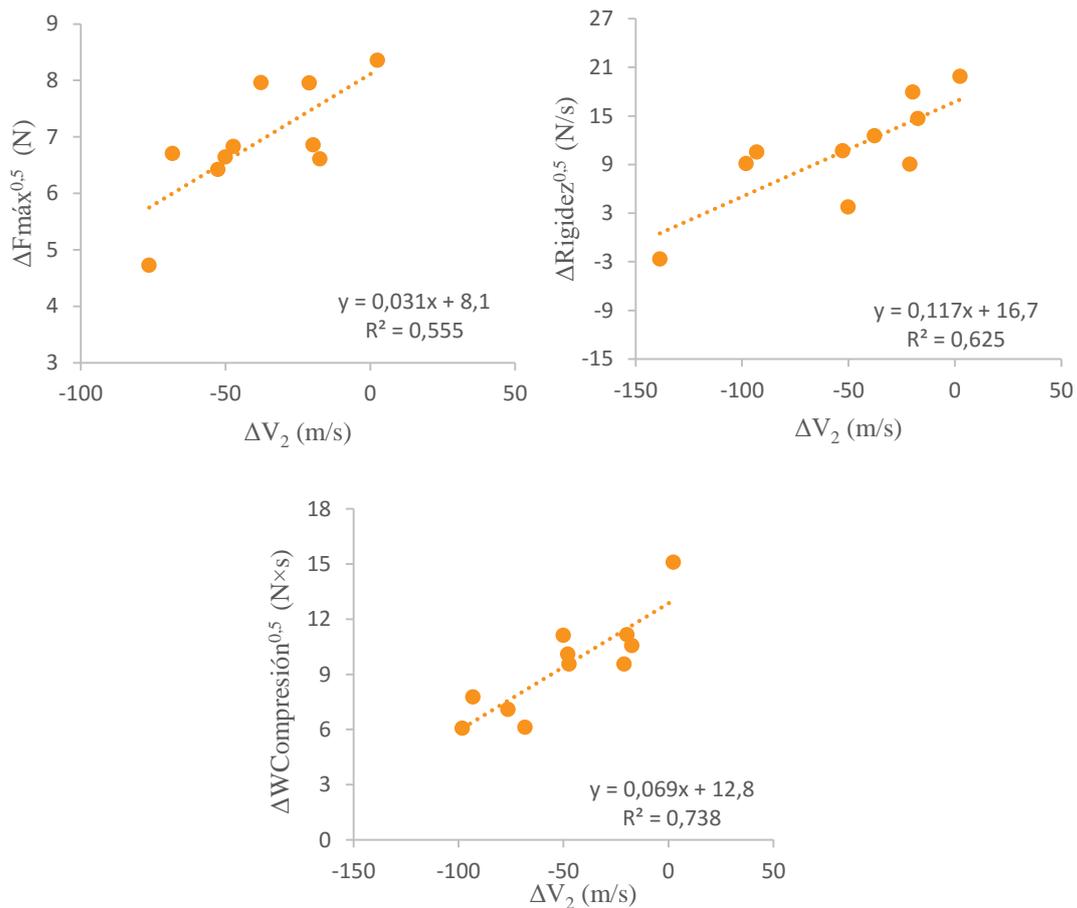


Figura 4.12. Relación entre la velocidad ultrasónica de la muestra tratada ( $V_2$ ) y el tiempo y tipo (Con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos) de tratamiento. Se muestran valores medios  $\pm$  intervalos LSD (95%), las letras (a, b) indican grupos homogéneos establecidos a partir de los intervalos LSD

#### 4.5. RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS TEXTURALES Y LOS ULTRASÓNICOS

Por último y de cara a evaluar si los ultrasonidos pueden considerarse como una tecnología adecuada para cuantificar los cambios texturales que provoca el calentamiento de jamón curado, se intentó establecer relaciones entre los parámetros ultrasónicos ( $\Delta V$ ) y los texturales (dureza, rigidez y trabajo de compresión). Así, en la Figura 4.13 se muestran dichas relaciones, se puede observar que, en todos los casos, se encontró una relación lineal significativa ( $p < 0.05$ ) entre el incremento de velocidad y la raíz cuadrada de cada uno de los parámetros texturales. Se escogió la raíz cuadrada dada la relación mostrada en la Ec. 4. Para todos los parámetros, a mayor incremento de velocidad, mayor incremento del parámetro textural. Concluyendo, se puede afirmar que la técnica de ultrasonidos de señal se considera como una tecnología adecuada para ver los posibles cambios texturales que se producen en el jamón curado tras el tratamiento térmico.



**Figura 4.13.** Relación entre los incrementos de velocidad ultrasónica y la raíz de los incrementos de los parámetros texturales.  $\Delta V_2$ ,  $\Delta F_{máx}$ ,  $\Delta Rigidez$ ,  $\Delta W_{Compresión}$ : Diferencia entre la muestra antes y después de tratar

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, sería interesante continuar la investigación estudiando las variaciones en la textura del jamón curado provocadas por los ultrasonidos de potencia durante el calentamiento en medio líquido. Para ello, se recomienda utilizar un mayor número de muestras con menor variabilidad experimental. De este modo, se podrán crear metodologías que consigan la corrección de los problemas de textura del jamón, mejorado así su calidad.

## 5.CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo son:

- Los ultrasonidos de señal pueden considerarse como una herramienta adecuada para cuantificar de manera no destructiva y no invasiva el contenido de humedad y dureza de jamón curado.
- El calentamiento provocó una mejora de las propiedades texturales del jamón curado caracterizada principalmente por un aumento de la dureza y rigidez.
- La magnitud de los cambios texturales se incrementó a medida que aumentó el tiempo de tratamiento térmico (de 1 a 3 horas), pero la influencia de esta variable no fue significativa ( $p > 0.05$ ).
- Los ultrasonidos de potencia aceleraron el proceso de calentamiento del jamón curado, pero su aplicación no tuvo ninguna influencia en los cambios texturales provocados.
- Se establecieron relaciones significativas ( $p < 0.05$ ) entre los cambios texturales y los cambios de velocidad ultrasónica. Por lo tanto, además de para la caracterización textural del jamón curado, se puede afirmar que la técnica de ultrasonidos de señal se considera como una tecnología adecuada para cuantificar las modificaciones texturales que se producen en el jamón curado tras el tratamiento térmico.
- En vistas a trabajos futuros, sería recomendable utilizar un mayor número de muestras y realizar tratamientos a otras temperaturas diferentes.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

**Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., Mason, T. J.** (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat science*, 107, 86-93.

**AOAC** (1996). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, Virginia, EEUU.

**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.

**Armero, E., Barbosa, J. A, Toldrá, F., Barseлга, 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.

**Arnau, J.** (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

**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.

**Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asder, D. Youssef, M. M.** (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410-427.

**Benedini, R., Parolari, G., Toscani, T., Virgili, R.** (2012). Sensory and texture properties of Italian typical dry-cured hams as related to maturation time and salt content. *Meat Science*, 90, 431-437.

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

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

**Corona-Jiménez, E.** (2012). Caracterización de la calidad de productos cárnicos crudos-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*, 37, 537-543.
- De Prados, M., Pérez-Muelas, N., Rossello, C., García-Pérez, J. V., Ventanas, S., Benedito, J. J.** (2012). Use of Low Intensity Ultrasound to Monitoring Dry-cured Ham Slating. Institute of Food echnology. Annual Meeting and Food Expo. Las Vegas, NY USA.
- De Prados, M., García-Pérez, J. V., Fulladosa, E., Benedito, J. J.** (2014). Monitorización del Salado de Pila de Longissimus dorsi mediante Ultrasonidos de Señal. Congreso Iberiamericano de Ingeniería de Alimentos. Valencia, Spain.
- Fulladosa E., de Prados M., García-Pérez J. V., Benedito J., Muñoz I., Arnau J., Gou P.** (2015). X-ray absorptiometry and ultrasound technologies for non-destructive compositional analysis of dry-cured ham. *Journal of Food Engineering*, 155, 62-68.
- 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.
- García-Pérez, J. V., Cárcel, J.A., Riera, E., Roselló, C., Mulet, A.** (2012). Intensification of low temperature drying by using ultrasound. *Drying Technology*, 30, 1199-1208.
- Gou, P., Morales, R., Serra, X., Guàrdia, M. D., Arnau, J.** (2008). Effect of a 10-day ageing at 30 C on the texture of dry-cured hams processed at temperatures up to 18 C in relation to raw meat pH and salting time. *Meat science*, 80, 1333-1339.
- 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 International de Jamón curado, Barcelona.
- Jayasooriya, S. D., Bhandari, B. R., Torley, P., D’Arey, B. R.** (2004). Effect of high power ultrasound wave son properties of meat. *International Journal of Food Properties*, 7, 301-319.
- Lawrie, R. A.** (1988). Chemical and biochemical constitution of muscle. *Meat Science*, 4, 43-73.
- Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lorimer, J. P.** (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3, 253–260.

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

**Morales, R., Guerrero, L., Serra, X., Gou, P.** (2007). Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. Meat Science, 75, 536-542.

**Morales, R., Arnau, J., Serra, X., Guerrero, L., Gou, P.** (2008). Texture changes in drycured 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.

**Niños, 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.

**Ozuna C., Puig A., García-Pérez J.V., Mulet A., Cárcel J.A.** (2013). Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. Journal of Food Engineering, 119, 84-93.

**Ozuna C., Puig A., García-Pérez J.V., Mulet A., Cárcel J.A.** (2014). Ultrasonically enhanced desalting of cod (*Gadus morhua*). Mass transport kinetics and structural changes. LWT-Food Science and Technology, 59, 130-137.

**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, 395-411.

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

**Portilla-Pérez, I.** (2015). Aplicación de ultrasonidos de potencia para la mejora del calentamiento moderado de jamón curado. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Valencia.

**Povey, J. W., Mason, T.** (1998). Ultrasound in food processing. Ed: Blackie Academic & Professional.

**Santacatalina J. V., Garcia-Perez J. V., Corona E., Benedito J.** (2011). Ultrasonic monitoring of lard crystallization during storage. *Food Research International*, 44, 146–155.

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

**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, 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, 1544–1548.

#### REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

- Asociación Nacional de Industria de la Carne de España (ANICE, 2014): [www.anice.es](http://www.anice.es) (Fecha de consulta: 17/05/2016).
- Boletín Oficial del Estado (BOE, 2015): [www.boe.es](http://www.boe.es) (Fecha de consulta: 20/05/2016).
- Confederación de Organizaciones empresariales del Sector Cárnico de España (CONFECARNE,2008): [www.confecarne.org](http://www.confecarne.org) (Fecha de consulta: 17/05/2016).
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2007): [www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es) (Fecha de consulta:18/05/2016).