

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



Influencia del tratamiento térmico moderado utilizando aire caliente en la textura de jamón curado.

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

AUTORA: MIREIA BAUTISTA CALATAYUD

TUTOR: JOSÉ VICENTE GARCÍA PÉREZ

COTUTOR: JOSÉ JAVIER BENEDITO FORT

DIR. EXPERIMENTAL: MARINA CONTRERAS RUIZ

CURSO 2015-2016

VALENCIA, JULIO 2016





Datos del trabajo de fin de grado (TFG)

Título del TFG: Influencia del tratamiento térmico moderado utilizando aire caliente en la textura de jamón curado.

Autora: Mireia Bautista Calatayud

Titulación: Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Tutor académico: José Vicente García Pérez

Cotutor: José Javier Benedito Fort

Directora experimental: Marina Contreras Ruiz

Lugar y fecha de lectura: Valencia, julio 2016

Resumen

El jamón curado es un producto relevante de la gastronomía y cultura española. Tanto su presencia habitual en la dieta mediterránea como la tendencia a reducir el contenido de sodio en los alimentos, han llevado a que sea frecuente la reducción de sal durante su elaboración. Esto da lugar a problemas de textura como una mayor pastosidad en el producto terminado que provoca el rechazo del consumidor y una disminución de su calidad. Además, las texturas blandas o pastosas introducen problemas durante el loncheado y una mayor adhesividad de las lonchas envasadas. Así, el principal objetivo de este trabajo fue determinar la viabilidad de un tratamiento térmico moderado con aire caliente para provocar cambios texturales en el jamón curado.

Muestras cilíndricas (2cm de altura y 2" de diámetro) envasadas de jamón curado fueron calentadas con aire forzado a diferentes temperaturas (40, 45 o 50°C) con y sin aplicación de ultrasonidos de potencia. La textura del jamón antes y después del tratamiento fue caracterizada de manera instrumental y utilizando ultrasonidos de señal. Finalmente, se determinó el contenido de grasa y agua del producto.

Los resultados experimentales mostraron que la composición del jamón curado puede ser determinante en su textura, así cuanto menor fue el contenido de agua, más duras fueron las muestras. Los tratamientos térmicos asistidos por ultrasonidos de potencia fueron de menor duración que los calentamientos convencionales a la misma temperatura (reducción tiempo de calentamiento de hasta 42%). El tratamiento térmico provocó un aumento en la dureza y elasticidad del jamón curado, y los mayores cambios se dieron a 50°C. Los cambios en los parámetros texturales provocados por el calentamiento se correlacionaron de manera significativa ($p < 0.05$) con la velocidad ultrasónica, la cual puede considerarse como una tecnología no destructiva y no-invasiva para caracterizar la textura del jamón curado.

Palabras clave

Jamón curado, ultrasonidos de potencia, ultrasonidos de señal, texturas defectuosas



Abstract

Dry-cured ham is a relevant product of the Spanish gastronomy and culture. In order to protect the consumers' health, the use of salt has been reduced during ham processing. This fact could cause textural problems in the product, which leads to the consumer rejection. Furthermore, soft or pasty textures could make difficult the ham slicing and induce high adhesiveness in the packaged ham slices. For this reason, the main objective of this project was to evaluate the feasibility of the mild thermal treatment using hot air in order to cause textural changes in dry-cured ham.

Cylindrical packaged (2cm high and 2" in diameter) samples of dry-cured hams were heated with forced air and different temperatures (40, 45 or 50°C). Experiments were carried out with and without the application of high intensity ultrasound. Textural changes were analyzed by instrumental compression-relaxation test and also by low intensity ultrasound measurements. Finally, fat and water content were analyzed.

The experimental results showed that the ham's composition could be decisive in its texture, so the harder the samples, the lower the water. The use of ultrasound sped-up the conventional heating (shortening of heating time of up to 42%). The heat treatment provoked an increase of the hardness and elasticity of dry-cured ham, and the largest changes were found at 50°C. The changes of the textural parameters were significantly related ($p < 0.05$) with the ultrasonic velocity, which can be considered as a non-destructive and non-invasive technique to characterize the texture of dry-cured ham.

Key words

Dry-cured ham, high intensity ultrasound, low intensity ultrasound, defective textures

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA CÁRNICA ESPAÑOLA.....	1
1.2. EL JAMÓN CURADO Y LAS TENDENCIAS NUTRICIONALES.....	2
1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO.....	3
1.4. TEXTURA Y PROBLEMAS TEXTURALES DEL JAMÓN CURADO.....	4
1.5. MÉTODOS DE MEJORA DE LOS PROBLEMAS TEXTURALES.....	5
1.5.1. Tratamientos térmicos moderados.....	5
1.5.2. Aplicación de ultrasonidos de potencia para la mejora del calentamiento.....	5
1.6. ANÁLISIS TEXTURALES.....	6
2. OBJETIVOS	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	9
3.2. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE JAMÓN CURADO.....	10
3.3. ANÁLISIS DE LA TEXTURA.....	11
3.3.1. Ultrasonidos de señal: análisis no destructivo.....	11
3.3.2. Método instrumental.....	12
3.4. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE AGUA.....	14
3.5. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE GRASA.....	15
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	16
4. RESULTADOS	17
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	17
4.1.1. Contenido en agua.....	17
4.1.2. Influencia del contenido de agua en los parámetros texturales y ultrasónicos.....	17
4.1.3. Contenido de grasa.....	18
4.2. CINÉTICAS DE CALENTAMIENTO.....	19
4.2.1. Influencia de la temperatura del aire.....	19
4.2.2. Influencia de la aplicación de ultrasonidos.....	19
4.3. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LA TEXTURA DEL JAMÓN CURADO.....	20
4.3.1. Parámetros texturales de la fase de compresión.....	20
4.3.2. Parámetros texturales de la fase de relajación.....	22
4.4. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA.....	24
4.5. RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS TEXTURALES Y ULTRASÓNICOS.....	25
5. CONCLUSIONES	27
6. BIBLIOGRAFÍA	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolución de la producción de productos curados del cerdo (ANICE, 2016).....	2
Figura 1.2 Propagación de una onda ultrasónica.....	5
Figura 3.1 Loncha de jamón curado de 4 cm de espesor envasada al vacío. Los números de 1 a 7 hacen referencia a los puntos de extracción de las muestras.....	9
Figura 3.2 Muestras antes y después de envasar al vacío.....	9
Figura 3.3 Sistema utilizado en el calentamiento del jamón curado.....	10
Figura 3.4 Colocación de la muestra en la cámara de tratamiento.....	11
Figura 3.5 Análisis no destructivo con ultrasonidos de señal.....	12
Figura 3.6 Análisis instrumental con texturómetro.....	13
Figura 3.7 Perfil fuerza-tiempo en el ensayo de compresión-relajación.....	14
Figura 3.8 Crisoles dentro de la estufa para la deshidratación de la muestra.....	14
Figura 3.9 Equipo Soxhlet de extracción de grasa.....	15
Figura 3.10 Sistema de rota-evaporación.....	16
Figura 4.1 Relación entre la fuerza máxima de compresión y el contenido de agua.....	17
Figura 4.2 Relación entre la raíz cuadrada de la fuerza máxima y la velocidad ultrasónica.....	18
Figura 4.3 Evolución de la cinética de calentamiento de jamón curado con aire a 40, 45 y 50°Cy aplicando ultrasonidos de potencia (US).....	19
Figura 4.4 Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la cinética de calentamiento de jamón curado a 50°C. Experiencias con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos de potencia.....	20
Figura 4.5 Medias e intervalos LSD (95%)de los incrementos de las fuerzas máximas de compresión ($\Delta F_{m\acute{a}x}$)de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.....	20
Figura 4.6 Medias e intervalos LSD de los incrementos de las fuerzas máximas de compresión ($\Delta F_{m\acute{a}x}$) de jamón curado calentado a distintas temperaturas.....	21
Figura 4.7 Medias e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de compresión ($\Delta W_{compresión}$) de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.....	21
Figura 4.8 Medias e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de compresión ($\Delta W_{compresión}$) de jamón curado calentado a distintas temperaturas.....	22
Figura 4.9 Media e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de relajación ($\Delta W_{relajación}$) de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.....	22
Figura 4.10 Medias e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de compresión ($\Delta W_{relajación}$)de jamón curado calentado a distintas temperaturas.....	23
Figura 4.11 Media e intervalos LSD (95%) de los incrementos de la capacidad de relajación (ΔY_{90s})de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.....	23
Figura 4.12 Media e intervalos LSD (95%) de los incrementos de la capacidad	

de relajación (ΔY_{90s}) de jamón curado calentado a distinta temperatura.....	24
Figura 4.13 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de la fuerza máxima ($\Delta F_{m\acute{a}x}$) tras el calentamiento.....	25
Figura 4.14 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de rigidez($\Delta Rigidez$) tras el calentamiento.....	25
Figura 4.15 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento del trabajo de compresión ($\Delta W_{compresión}$) tras el calentamiento.....	26
Figura 4.16 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento del trabajo de relajación ($\Delta W_{relajación}$) tras el calentamiento.....	26
Figura 4.17 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de la capacidad de relajación a los 90s (ΔY_{90s}) tras el calentamiento.....	26
Figura 4.18 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de la capacidad de relajación a los 2s (ΔY_{2s}) tras el calentamiento.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Producción española de elaborados cárnicos (Tm) (ANICE, 2016).....1

Tabla 4.1 Valores medios de los incrementos de velocidad según el tratamiento y temperatura de calentamiento aplicados.....24

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA CÁRNICA ESPAÑOLA

En la actualidad, la industria cárnica ocupa el cuarto sector industrial de nuestro país y el primer lugar de toda la industria española de alimentos y bebidas. Representa una cifra de negocio de 22.168 millones de euros, más el 21,6% de todo el sector alimentario español.

En 2014, la producción española de carne de porcino creció un 4% y las de carne de vacuno y de ovino/caprino siguieron la tendencia descendente de los últimos años. En cuanto a la producción mundial de carne de porcino, España se consolida como el cuarto mayor productor con un volumen del 3,4%, por detrás de China (50%), EE.UU. (10%) y Alemania (5,3%). Además, España se sitúa en cuarto lugar en la Unión Europea en la producción de elaborados cárnicos, por detrás de Alemania, Italia y Francia. Por productos, los fiambres cocidos destacan en volumen y los jamones y paletas en valor.

A continuación, se muestra los datos que la Asociación Nacional de Industrias de la Carne de España (ANICE, 2016) ha proporcionado sobre la producción española de elaborados cárnicos (tabla 1.1). En esta tabla se puede observar la evolución de la producción en los últimos años y la importancia del jamón y paleta curados, siendo los productos cárnicos curados de mayor producción.

Tabla 1.1 Producción española de elaborados cárnicos (Tm) (ANICE, 2016)

Producto	2011	2012	2013	2014
Jamón y paleta curados	255.000	247.500	245.000	260.500
Embutidos curados	185.000	183.000	186.000	191.000
Jamón y paleta cocidos	408.700	421.000	417.000	413.000
Otros tratados por el calor	408.700	421.000	417.000	413.000
Productos adobados y frescos	185.000	187.200	189.000	191.500
Platos preparados	8.3000	8.6300	8.7500	8.9200
TOTAL	1.292.300	1.301.000	1.311.000	1.323.700

En la figura 1.1, se compara la producción de jamón y paleta curados y el resto de embutidos curados. También se puede apreciar como la producción de éstos primeros ha aumentado considerablemente en los últimos años, mientras que la producción del resto de embutidos curados ha crecido de forma más paulatina.

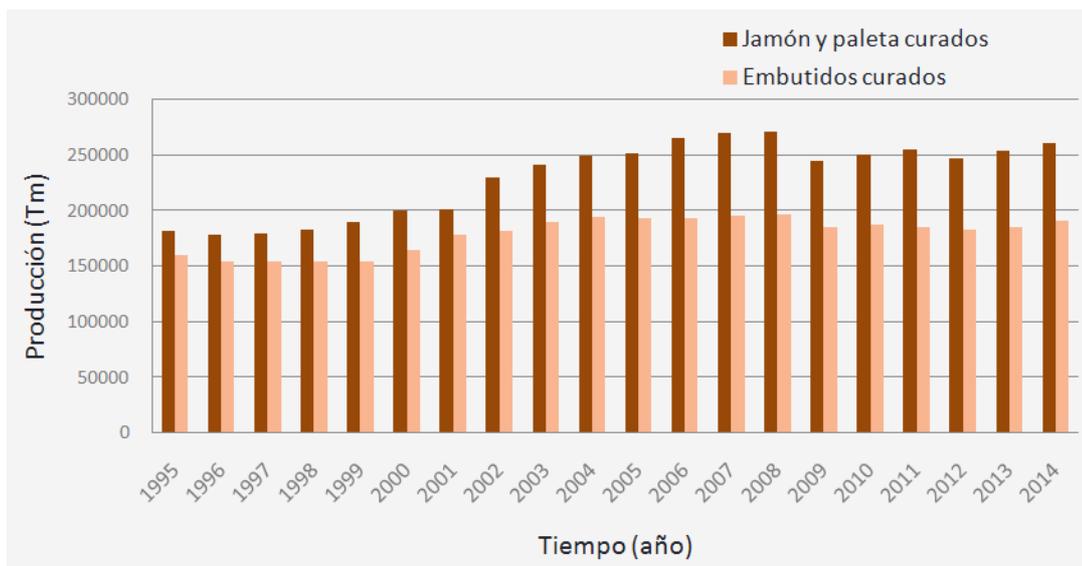


Figura 1.1 Evolución de la producción de productos curados del cerdo (ANICE, 2016)

1.2. EL JAMÓN CURADO Y LAS TENDENCIAS NUTRICIONALES

El jamón curado es uno de los productos más representativos de nuestra cultura y gastronomía. Este producto pertenece al grupo de las salazones cárnicas, el Código Alimentario Español (BOE, 2016) lo define como “producto cárnico elaborado mediante la salazón en seco con posterior desecación y maduración, de la extremidad posterior del cerdo, seccionada por la sínfisis isquio-pubiana, que conserva todos sus huesos, músculos, tejido adiposo de infiltración, vasos y nervios, así como una porción variable de la piel y el tejido adiposo de revestimiento”.

El jamón curado es un producto cárnico con elevado prestigio social, siendo habitual su presencia en la dieta mediterránea. Por este motivo, debe considerarse su situación en el contexto de las nuevas tendencias nutricionales. Además, la industria alimentaria debe considerar el aumento de enfermedades como la obesidad, el sobrepeso o la hipertensión arterial en la elaboración de sus productos. (García-Reguerio, 2006) el principal factor nutricional desfavorable del jamón curado es su elevado contenido en NaCl, por lo que en los últimos años se ha reducido la cantidad de NaCl utilizada durante su elaboración. El consumo diario de sal entre la población de los países de la UE es de 8-11g y los requerimientos diarios de sal para un adulto sano son de 5-6g (OMS, 2016), motivo por el cual la industria alimentaria está reformulando sus productos alimenticios y aplicando nuevos procesos y tecnologías para que esto se pueda llevar a cabo. Aunque esta reducción de NaCl afecte a la calidad sensorial y a los procesos tecnológicos, es necesario producir jamones con la cantidad óptima de sal sin exceder el valor mínimo necesario.

En el contexto de otros productos cárnicos, el jamón curado aporta menos calorías que la mayoría de embutidos crudos-curados. Este valor está relacionado con la cantidad de grasa y de agua que contiene un alimento, así, aquellos alimentos con mayor contenido de grasa y menor de agua son los que aportan más calorías. Aunque, la cantidad de calorías que aporta a la dieta el jamón curado no sea muy elevada, ésta puede variar en función de la forma en que se presente la ración a consumir, siendo bastante bajo en el corte de jamón con poca grasa muscular y subcutánea.

1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO

Durante el proceso de elaboración, el jamón se somete a un proceso de transformación, donde tiene lugar una serie de reacciones bioquímicas y fisicoquímicas dando como resultado la textura, el sabor y aroma característico de este producto. Su estabilidad a temperatura ambiente vendrá dada por el proceso de salado y deshidratación.

El primer paso de la elaboración del jamón curado es la selección de la materia prima según su pH y proporción grasa/músculo. A continuación, se procede al acondicionamiento del pernil. Para ello se realiza un perfilado adecuado de la pieza, dejando la superficie lisa y un aspecto general correcto. Después se realiza el desangrado, ya que, la presencia de sangre podría favorecer el crecimiento de microorganismos. Seguidamente se realiza el nitrificado en el que se embadurna la superficie del producto con nitratos, nitritos, ascorbatos y azúcares (Albarracín-Hernández, 2009). Transcurridas 24h, se realiza el salado del jamón, según el peso y la cantidad de grasa que contenga el producto, la duración de esta etapa estará entre 0,65-2 día/kg (Navarro-Cabo, 2015). El producto siempre se colocará con la parte del abductor (la parte más magra) hacia arriba porque es donde hay mayor difusión. Es necesario incorporar la suficiente sal (NaCl) para alcanzar las características organolépticas deseadas del jamón curado. En el salado es necesario que la humedad relativa de la cámara sea elevada (90-95 % HR). Tras el periodo de salado, se realiza un lavado para eliminar el exceso de sal. En el post-salado se produce el reparto homogéneo de sal en todo el jamón. Esta etapa dura unos 60 días y el producto debe perder alrededor de un 14% de su peso inicial. Desde el inicio del proceso hasta el final de la etapa de post-salado, la temperatura de la cámara se mantiene constante a 3°C y la humedad relativa se sitúa alrededor del 90-95%.

En el secado es donde se produce la mayor pérdida de peso como resultado de la deshidratación del producto. Esta es debida al aumento de temperatura y la disminución de la humedad relativa. Estas condiciones provocan el secado de la superficie y el aumento del gradiente que favorece la entrada de sal y la salida de agua. El secado ha de ser regular para que el flujo de transferencia de agua hacia el exterior sea siempre el mismo y evitar el encostrado. Si el secado es a baja temperatura y durante un largo periodo de tiempo, se producen reacciones enzimáticas y bioquímicas que dan lugar al desarrollo de la textura y de componentes del sabor (Ruiz-Ramírez, 2005). Al final del secado el jamón debe perder alrededor de un 34% de su peso inicial.

Terminado el secado, se pueden aplicar distintas técnicas (madurado, estufaje, etc.) con fin de obtener un producto donde se hayan desarrollado todas las reacciones enzimáticas y bioquímicas que den lugar a las características organolépticas típicas del jamón curado (Albarracín-Hernández, 2009). En general, los procesos largos de madurado de la carne con condiciones moderadas de secado permiten una actividad enzimática relativamente más alta. Esto da lugar a una mayor generación de aminoácidos y ácidos grasos libres que contribuyen directamente en el gusto e indirectamente en el aroma (Ruiz-Ramírez, 2005). Esto puede deberse a que la actividad de la mayoría de las enzimas musculares puede ser afectada por la reducción de la actividad de agua (a_w) durante el secado. Por lo tanto, si el secado es muy rápido, la disminución de la a_w es más rápida y el efecto de las enzimas es menor (Mora-Soler, 2010).

Finalmente, se realizará el asentamiento del producto disminuyendo la temperatura y cubriéndolo de grasa para que así no haya más pérdida de agua.

1.4. TEXTURA Y PROBLEMAS TEXTURALES DEL JAMÓN CURADO

La percepción y selección de los alimentos es un proceso multifactorial en donde participan nuestros cinco sentidos, aspectos fisiológicos y psicológicos y factores extrínsecos. Todos estos factores pueden influir en las preferencias del consumidor y dar lugar a la aceptación o rechazo de un alimento (Axelson y Brinberg, 1989; Stafleuet *al.*, 1991/2). Un amplio repertorio de propiedades sensoriales incluyendo la apariencia, el aroma, el sabor y la textura definen la evaluación sensorial de los productos cárnicos (Mann *et al.*, 1989). Por ello, es fundamental que estos productos presenten una textura adecuada, ya que, esta influirá en su calidad y será determinante en la certificación de determinados productos.

La textura se puede definir como la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y de la superficie de los alimentos detectada a través de los sentidos de la vista, el oído y el tacto (Szczesniak, 2002). La materia prima es la principal responsable de la textura. Así, el contenido, distribución y composición de la grasa intramuscular, el pH de los diferentes músculos o la reticulación del colágeno del tejido conectivo, entre otros, influyen en el desarrollo de una textura adecuada. Además, (Bello-Gutiérrez, 2008) el control de determinados factores externos durante el proceso de curación como el contenido de sal, las temperaturas a las que se desarrolla el proceso en sus diferentes fases, la humedad relativa ambiental, velocidad de aire en secaderos, duración del proceso o el engrasado superficial de las piezas también repercuten en la textura del producto final. Cualquier condición que altere algún parámetro que determina la textura del jamón curado dará lugar a cambios texturales y al posible rechazo por parte de los consumidores. (Arnau, 2013) los problemas texturales más frecuentes y que deben evitarse son la textura excesivamente blanda, pastosa, el encostrado superficial y la fibrosidad excesiva.

Para evitar la producción de jamones con textura excesivamente blanda es importante, en primer lugar, realizar una selección de la materia prima (Ruiz-Ramírez, 2005) evitando aquellos jamones que a los 45 min del sacrificio tengan un pH inferior a 5,8 (carne PSE) o a las 24h tenga un pH superior a 6,2 (carne DFD). El pH se mide a esos tiempos porque son los momentos en que más se diferencian del pH de una carne normal. Además, hay que tener en cuenta que el cerdo es genéticamente sensible al estrés durante el sacrificio, lo que aumenta la incidencia de carnes PSE. En este tipo de carnes se produce una bajada rápida del pH que da lugar a la obertura de la estructura de las proteínas y a su desnaturalización (Albarracín-Hernández, 2009). Esto da lugar a carnes blandas con baja capacidad de retención del agua.

La dureza de los jamones aumenta a medida que estos van perdiendo agua durante el secado. Sin embargo, este incremento es menor en aquellos jamones o partes del jamón que tengan un elevado índice de proteólisis. En estos casos, la textura es adhesiva, blanda y poco elástica dando sensación de pastosidad en boca. Este defecto textural ha aumentado en los últimos años, especialmente por la reducción del contenido de NaCl durante la elaboración de los jamones curados. Esta reducción produce un incremento de la actividad enzimática, particularmente en las zonas profundas de las piezas (Arnau, 2013). Por esto motivo, es importante actuar sobre aquellos parámetros que disminuyan los procesos proteolíticos durante la elaboración del jamón curado. Esto se puede conseguir acelerando el salado y secado, aumentando el contenido de sal hasta niveles aceptables por el consumidor, disminuir la temperatura media del proceso y evitar un engrasado prematuro o excesivo (Sánchez-Molinero, 2003). Además, se ha de procurar que el proceso sea lo más homogéneo posible mediante la selección de la materia prima y del producto final y la homogeneidad de la pila de sal y de secado.

1.5. MÉTODOS DE MEJORA DE LOS PROBLEMAS TEXTURALES

1.5.1. Tratamientos térmicos moderados

La aparición de problemas texturales en el jamón curado, como los citados en el punto anterior, ha obligado a la industria alimentaria a buscar soluciones prácticas. En los últimos años se ha observado como la aplicación de tratamientos moderados de corta duración pueden reducir problemas de textura en el jamón curado. Así, según Gou *et al.* (2008), realizar un madurado durante 10 días a 30°C podría ser útil para reducir problemas de textura sin que afecte al sabor en jamones que han sido curados a 18°C durante 12 meses. El tratamiento realizado por Morales *et al.* (2007) sobre el jamón curado a 30 o 36°C durante 24h, dio como resultado que podía mejorar la textura del *Bíceps femoris*, el cual tiene una mayor incidencia en la textura blanda y pastosa, sin afectar al músculo *Semimembranosus*. En ambos resultados se puede observar el efecto positivo de los tratamientos térmicos a temperatura moderada sobre la textura del jamón curado.

1.5.2. Aplicación de ultrasonidos de potencia para la mejora del calentamiento

Se denomina ultrasonido a todo sonido generado por encima del rango de audición humana (entre 20Hz y 20kHz). Los ultrasonidos se clasifican en dos grupos. (Senabre-Pérez, 2013) se puede hablar de ultrasonidos de alta intensidad o de potencia y de ultrasonidos de baja potencia o de señal. Los ultrasonidos de potencia presentan frecuencias entre 20kHz y 100kHz e intensidades por encima de 1Wcm^{-2} , se utilizan para provocar cambios en los productos y en los procesos. En el caso de los ultrasonidos de señal, se utilizan frecuencias desde 100kHz hasta 1MHz e intensidades $<1\text{Wcm}^{-2}$.

Las vibraciones ultrasónicas viajan en forma de ondas similar a la forma de propagación de la luz. Sin embargo, a diferencia de la luz que puede viajar en el vacío, el ultrasonido requiere un medio elástico tal como un líquido o un sólido.

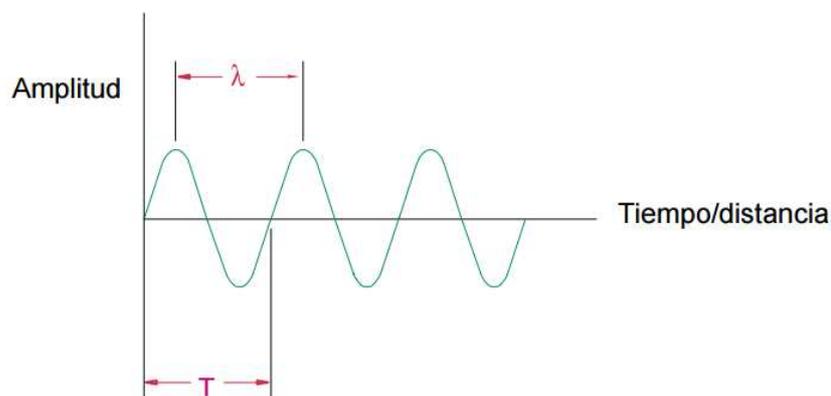


Figura 1.2 Propagación de una onda ultrasónica

Los parámetros característicos de una onda ultrasónica son el período, la frecuencia y la longitud de onda (figura 1.2). El periodo (T) representa el tiempo requerido para completar el ciclo de una onda, medido en segundos. La frecuencia (f) representa el número de ciclos completados en un segundo y se mide en Hercios (Hz). La longitud de onda (λ) es la distancia mínima entre dos puntos en igual estado de vibración (por ejemplo, dos máximos de amplitud)

y representa la distancia que viaja la onda en un periodo, midiéndose en metros (Senabre-Pérez, 2013).

Distintos estudios han demostrado la futura utilidad de los ultrasonidos en la industria alimentaria. Se ha visto como su aplicación puede acelerar los procesos de transferencia de calor y a su vez interferir en la estructura de los alimentos. Así, se considera que esta tecnología podría utilizarse para mejorar el tratamiento térmico del jamón curado. En la mayoría de los casos, se ha evaluado la viabilidad de la aplicación de ultrasonidos en agua caliente. Sin embargo, puede dar lugar a contaminaciones si el agua entra en contacto con el alimento. En este sentido, resultaría más práctica la aplicación de ultrasonidos en aire. La mejora en la transferencia de calor fue estudiada por Pohlman *et al.* (1997b), quienes determinaron que el empleo de los ultrasonidos en agua caliente disminuía el tiempo de cocción de la carne. Por otro lado, se observó como los ultrasonidos podían mejorar, además, las propiedades texturales de la carne. Según Fuentes *et al.* (2015), la aplicación de ultrasonidos en calentamientos de 400W puede aumentar la elasticidad de la carne. De la misma forma, Zhao (2014) estudió el efecto de los ultrasonidos sobre las propiedades funcionales de un gel compuesto por proteína miofibrilar de pechuga de pollo. La aplicación de ultrasonidos dio lugar a un aumento del 27% de la dureza y del 30% de la masticabilidad. A parte de las diferencias existentes en la ejecución de los distintos experimentos, se puede observar como en la mayoría de los resultados aparece el importante papel que ejerce el tratamiento de los ultrasonidos en la textura de la carne y en la transferencia de calor.

1.6. ANÁLISIS TEXTURALES

Como se ha comentado anteriormente, la textura es una característica organoléptica fundamental en la calidad del jamón curado, por ello, es muy importante conseguir un jamón con una textura adecuada al final del proceso de maduración. Para analizar este parámetro existen tanto métodos instrumentales como sensoriales.

Los métodos sensoriales son técnicas valiosas que permiten un conocimiento más complejo de las características de los alimentos. La evaluación sensorial es el método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar aquellas respuestas percibidas a través de los sentidos (González-Viñaset *al.*, 2008). En general, es importante ofrecer al mercado un producto de calidad contrastada, claramente definida, en términos comprensibles por el consumidor y fácilmente valorable por ellos como puede ser buena parte de los parámetros sensoriales. Sin embargo, la industria alimentaria necesita evaluar las características texturales de los productos mediante métodos no destructivos e invasivos de medida de textura, que permitan la caracterización en línea de los productos cárnicos curados.

Los métodos instrumentales más habituales son el Análisis de Perfiles de Textura (TPA) y el test de compresión-relajación, en el cual se aplica una fuerza externa sobre el alimento hasta llegar a su máximo de compresión y se estudia su comportamiento durante un determinado tiempo. A partir de este test se pueden evaluar distintos parámetros texturales como la dureza, la rigidez y la capacidad de relajación. Las correlaciones encontradas entre los métodos instrumentales y las características medidas a través del panel sensorial suelen ser elevadas. La variabilidad existente entre ambas se puede atribuir a la velocidad de deformación, a la falta de saliva, a la dirección de las fibras musculares y a las variaciones dentro de un mismo músculo (Ruiz-Ramírez, 2005). Resulta interesante la aplicación de ambas técnicas de forma que el operador pueda suministrar el pensamiento que el instrumento no es capaz. No

obstante, la integridad de las muestras sometidas a estas técnicas convencionales se ve afectada de forma considerable, además de que su implementación en las líneas de producción es compleja y costosa. De esta manera, es interesante la búsqueda de técnicas no destructivas, fáciles de implementar y de bajo coste (Corona-Jiménez, 2012).

Además de los métodos destructivos citados anteriormente, se está desarrollando una nueva forma de medir la textura basada en la medida de la velocidad de los ultrasonidos de señal. Los ultrasonidos de señal utilizan frecuencias desde 100kHz hasta 1MHz e intensidades menores a 1Wcm^{-2} . Su aplicación se extiende a los ensayos no destructivos de materiales debido a que produce una longitud de onda muy corta, hecho que permite la reflexión en superficies muy pequeñas con la ventaja de detectar defectos dentro de materiales (Senabre-Pérez, 2013). La señal ultrasónica atraviesa toda la muestra a analizar, por lo que las medidas son más representativas que otras tecnologías de análisis no destructivo. Los ultrasonidos de señal se propagan a través de la muestra, causando compresiones y descompresiones de la misma (Contreras-Ruiz, 2014) y sin afectar a su naturaleza debido a su baja intensidad. Los parámetros ultrasónicos pueden compararse con parámetros medidos instrumentalmente como composición y textura, ya que, los parámetros ultrasónicos, como velocidad y atenuación, sufren alteraciones cuando la onda atraviesa la muestra por mecanismos de absorción o dispersión (Valencia-Illarregui, 2009).

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto fue determinar el efecto del tratamiento térmico moderado utilizando aire caliente sobre la textura del jamón curado y evaluar las ventajas que ofrece la aplicación de ultrasonidos de potencia respecto a los métodos convencionales de calentamiento. Para conseguir este objetivo general, se tuvieron en cuenta los siguientes objetivos particulares:

- Cuantificar la influencia de los ultrasonidos de potencia en el proceso de calentamiento.
- Evaluar la influencia del tratamiento térmico moderado sobre las características texturales del jamón curado.
- Identificar si la aplicación de ultrasonidos de potencia conlleva cambios adicionales en las características texturales del jamón curado.
- Evaluar el uso de ultrasonidos de señal en el análisis de la textura del jamón curado como método no destructivo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para el presente proyecto se utilizaron lonchas de 4cm de espesor de jamón curado proveniente de cerdo banco y un proceso de elaboración convencional. Las lonchas fueron proporcionadas por el IRTA y estaban conservadas al vacío. Se mantuvieron en refrigeración (4°C) hasta su procesado.

Para la obtención de las muestras, se identificaron sobre el envase de plástico los puntos de extracción de las mismas (figura 3.1). Así, se seleccionaron puntos de extracción de muestras en los tres músculos principales del jamón (*Bicepsfemoris*, *Semitendinosus* y *Semimembranosus*) evitando la presencia del tejido conectivo y también de la grasa subcutánea.



Figura 3.1 Loncha de jamón curado de 4cm de espesor envasada al vacío. Los números de 1 a 7 hacen referencia a los puntos de extracción de las muestras.

Las muestras se extrajeron de las lochas mediante la utilización de un sacabocados de 2" de diámetro interno. Así, se obtuvieron de cada punto de extracción un cilindro de 4cm de altura y 2" de diámetro, que se dividió en dos muestras de 2cm de altura. Una de las muestras se utilizó como control y la otra se sometió al tratamiento térmico. Antes del tratamiento y/o su caracterización, las muestras se envasaron al 90% de vacío (VAC-10S, Edesa) en bolsas de 9,5x9,5cm y se conservaron en refrigeración (4°C) hasta el momento de su utilización (figura 3.2).



Figura 3.2 Muestras antes y después de envasar al vacío

3.2. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE JAMÓN CURADO

Se realizaron tratamientos térmicos moderados por aire caliente de las muestras de jamón curado. Se realizaron experiencias con y sin aplicación de ultrasonidos de potencia.

Los tratamientos térmicos se realizaron en un secadero convectivo a escala de laboratorio (figura 3.3). Un soplante fue el encargado de impulsar el aire hasta la cámara de tratamiento cilíndrica (120mm diámetro externo, 10mm espesor, 310mm longitud). La velocidad del aire se midió mediante un anemómetro ($\pm 0,1\text{m/s}$, Wilh, LambrechtGmbH). El aire se calentó utilizando un módulo de resistencias eléctricas (2000W) y la temperatura se midió en cuatro puntos diferentes: salida del módulo de resistencias (pt-100), entrada a la cámara de tratamiento (termopar tipo K), mitad de la cámara de tratamiento (termopar tipo K) y salida de la cámara de tratamiento (termopar tipo K). El control de la temperatura y velocidad del aire fue de tipo PDI (Contreras-Ruiz, 2014).

La aplicación de ultrasonidos se realizó por la propia cámara de tratamiento, ya que sus paredes transmiten la energía generada por el transductor piezoeléctrico al aire. El transductor piezoeléctrico convierte la energía eléctrica de alta frecuencia (22Hz) producida por el generador eléctrico (50W) (APG-AC01, Pusonics) en vibración. El cilindro vibrante es de aluminio, ya que este material posee excelentes propiedades elásticas y, además, presenta menos problemas térmicos que otros materiales con propiedades similares (García-Pérez *et al.*, 2007).

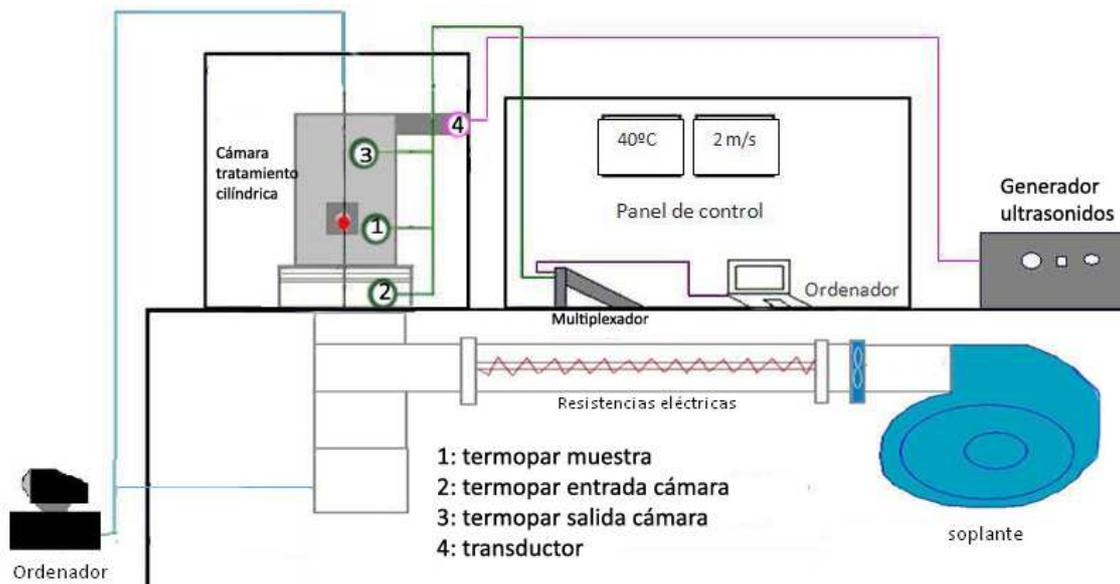


Figura 3.3 Sistema utilizado en calentamiento del jamón curado

En la figura 3.4, se muestra la colocación de la muestra en el interior de la cámara de tratamiento la cual se mantuvo envasada para evitar la deshidratación y se colocó en el centro del portamuestras sujetándose a este por los extremos de su envase. En el centro de la muestra se colocó un termopar de tipo T para monitorizar el proceso de calentamiento. Se registró la temperatura medida por el termopar cada 10s utilizando un multiplexador (Agilent 34970A) conectado a un ordenador. También se registró la temperatura de los sensores de tipo K que medían la temperatura del aire en los diferentes puntos de la cámara de tratamiento, tal y como se ha descrito con anterioridad.

Los tratamientos se realizaron con aire a 40, 45 y 50°C con y sin la aplicación de ultrasonidos de potencia. En las experiencias con aplicación de ultrasonidos se suministró una potencia eléctrica de 50W al transductor ultrasónico. Para cada uno de los casos se realizaron al menos tres réplicas y se consideró que el calentamiento había finalizado cuando la temperatura del centro de la muestra era 5°C inferior a la temperatura del aire, ya que, éste era el punto más frío del producto. En total, se realizaron 18 experiencias, 9 de ellas con ultrasonidos de potencia.

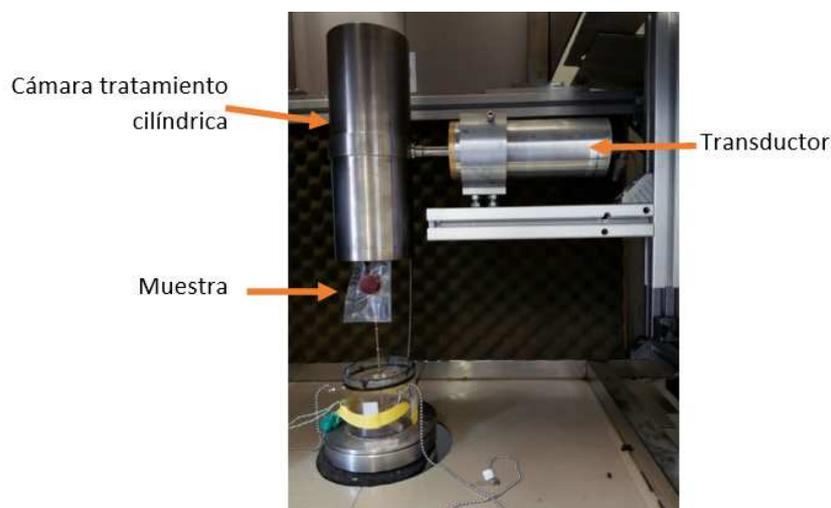


Figura 3.4 Colocación de la muestra en la cámara de tratamiento

3.3. ANÁLISIS DE LA TEXTURA

3.3.1. Ultrasonidos de señal: análisis no destructivo

Para determinar el efecto de los tratamientos térmicos con y sin aplicación de ultrasonidos de potencia sobre las muestras, se utilizaron los ultrasonidos de baja intensidad o de señal. El parámetro ultrasónico que se relacionó con la textura fue la velocidad ultrasónica que se midió a partir del método transmisión-recepción.

El sistema de medida utilizado consistió en un generador-receptor (5053PR, Parametrics), el cual emite una señal eléctrica de tipo "skipe" con una amplitud y duración específicas. Esta señal es convertida en una onda ultrasónica por el transductor-emisor (A303S de 1MHz/75' Olympus) que es transmitida a través de la muestra y recibida por el transductor-receptor 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). 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.

Para medir el 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 la presión que ejercen sobre ella. La presión se mantuvo a 100N y la velocidad ultrasónica se determinó como el cociente entre el espesor de la muestra y el tiempo de vuelo.

Los parámetros de medida utilizados fueron los siguientes: frecuencia del pulso 200Hz, factor Damping 100 Ω , altura del pulso 200V, atenuación de 0dB, Vernier de 0dB, ganancia de 40dB, fase normal y filtro de 0,3MHz (HP) y OUT (LP), número de puntos 25000 y velocidad adquisición de datos 125Ms/s.

Para realizar el análisis de ultrasonidos de señal, se mantuvieron las muestras envasadas al vacío (figura 3.5). Se utilizó agua destilada sobre el envase como material de acople entre la muestra y los transductores. Además, todas las medidas se realizaron en una cámara a 4°C, realizándose nueve medidas por muestra. El análisis se realizó sobre las muestras control y las muestras tratadas con y sin ultrasonidos de potencia. La velocidad ultrasónica para las muestras tratadas se midió antes del tratamiento y a las 24h tras el tratamiento.

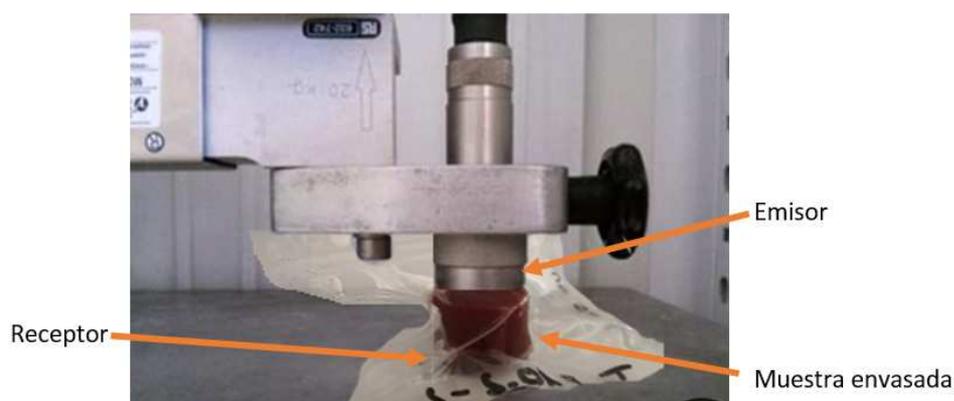


Figura 3.5 Análisis no destructivo con ultrasonidos de señal

3.3.2. Método instrumental

Para realizar el análisis instrumental de la textura de las muestras de jamón se utilizó un texturómetro universal (TAXT2i, Aname). Este sistema realiza una deformación controlada de la muestra y mide la respuesta de ésta. En este análisis se hizo un test de compresión-relajación utilizando una sonda plana de tipo cilíndrico (20mm de diámetro) aplicando los siguientes parámetros: velocidad de ensayo 1mm/s, deformación de la muestra del 25% y tiempo de compresión de 90s.

El análisis de textura se realizó sobre las muestras control y las muestras tratadas una vez retiradas del envase (figura 3.6). El análisis sobre las muestras tratadas se realizó 24h después del tratamiento y tras el análisis no destructivo con ultrasonidos de señal. Todas las medidas se realizaron en una cámara frigorífica a 4°C.



Figura 3.6 Análisis instrumental con texturómetro

A partir del perfil fuerza-tiempo del test de compresión-relajación (figura 3.7), se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Fuerza máxima. Se trata del valor más alto de fuerza que ha de ejercer la prensa para deformar la muestra. Representa la dureza de la muestra.
- Rigidez o stiffness. Pendiente de la curva fuerza-tiempo al inicio de la fase de compresión, así, se calculó a los dos segundos. Está relacionada con la falta de elasticidad, es la resistencia a la deformación elástica (Navarro-Cabo, 2015).
- Trabajo de compresión. Área del perfil fuerza-tiempo que va desde el comienzo hasta el final de la compresión, es decir, desde el tiempo inicial hasta que se alcanza la fuerza máxima de compresión. Por tanto, el trabajo de compresión está relacionado con la dureza de la muestra, cuanto más dura es la muestra, mayor fuerza deberá ejercer la prensa para deformarla y mayor será el trabajo de compresión.
- Trabajo de relajación. Área que va desde el final del trabajo de compresión hasta el final del ensayo, en otras palabras, desde la fuerza máxima de compresión hasta 90 segundos después. El trabajo de relajación está relacionado con la capacidad de relajación, es decir, cuanto menor fuerza ejerza la muestra por volver a su forma original tras cesar la compresión, mayor será su capacidad de relajación y menor será el área del trabajo de relajación.
- La capacidad de relajación a los dos segundos (Y_{2s}) y 90 segundos (Y_{90s}) se calcularon utilizando las ecuaciones 1 y 2. Se trata de la relación entre la fuerza máxima de compresión y la fase de relajación a los 2 o 90 segundos. Y_{2s} puede considerarse la capacidad de relajación instantánea e Y_{90s} la total de la muestra.

$$Y_{2s} = \frac{F_{m\acute{a}x} - F_{2s}}{F_{m\acute{a}x}} \text{ (Ec. 1)}$$

$$Y_{90s} = \frac{F_{m\acute{a}x} - F_{90s}}{F_{m\acute{a}x}} \text{ (Ec. 2)}$$

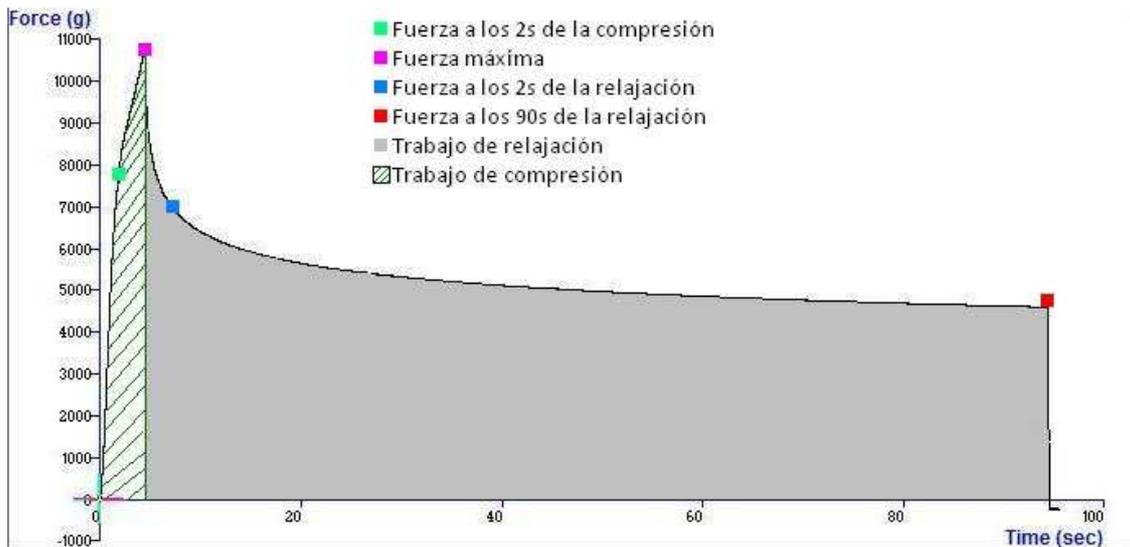


Figura 3.7 Perfil fuerza-tiempo en el ensayo de compresión-relajación

3.4 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE AGUA

El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta masa constante a una temperatura determinada

Para determinar el contenido de humedad (X_w) de las muestras del jamón curado, se utilizaron las muestras control tras realizar el análisis de textura instrumental. Las muestras se trituraron y se colocaron en recipientes de plástico hasta el momento de su utilización. A continuación, se añadió una cucharada pequeña de arena en cada uno de los crisoles y se pesaron (M_1) mediante una balanza de precisión (Balancielectronica, mod. Mark UM500). Previamente, los crisoles se secaron durante 1h en estufa a 105°C. Después, se añadieron 3g de las muestras trituradas al crisol y se anotó el peso total (M_2). Posteriormente, se pulverizó alcohol y con ayuda de una varilla de cristal se homogenizó la arena y la muestra triturada, lo que facilita su deshidratación como consecuencia de la acción abrasiva de la arena. Finalmente los crisoles se colocaron en el interior de una estufa (Postfach 102, Binder GmbH) durante 24h a 105°C (figura 3.8) de acuerdo con el método 950.46 (AOAC, 1997). Transcurrido este tiempo, se situaron los crisoles (cerrados con la tapa) en el interior de un desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente y se pesaron (M_3).



Figura 3.8 Crisoles dentro de la estufa para la deshidratación de la muestra

El contenido de humedad se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$X_w = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \cdot 100 \quad \left(\frac{\text{g de agua}}{100 \text{ g de jamón curado}} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

M_1 : masa (g) del crisol con arena. M_2 : masa (g) del crisol con arena y carne fresca. M_3 : masa (g) del crisol con arena y carne deshidratada.

El contenido de humedad se midió por triplicado para cada muestra.

3.5 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE GRASA

Una vez hecho el análisis instrumental, se realizó el análisis del contenido de grasa (Xg) de las muestras que habían sido sometidas al tratamiento de corrección de la textura. Para ello se utilizó el método 991.36 (AOAC, 1996), basado en la utilización de un equipo Soxhlet y el uso de un disolvente orgánico. Se introdujeron 3g (Balancia electrónica, mod. Mark UM500) de muestra fresca triturada (M_1) en un cartucho de papel de filtro. 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 (Postfach 102, Binder GmbH) a 105°C durante 1.5h con el objetivo de eliminar el agua presente en la carne. Posteriormente, el cartucho se introdujo en el equipo Soxhlet (figura 3.9), formado por un balón vacío, previamente pesado (M_2), el cuerpo Soxhlet (donde se introdujo el cartucho), un condensador y un baño de agua a una temperatura superior a 40-60°C (punto de ebullición del disolvente orgánico utilizado). El disolvente orgánico utilizado en nuestro caso fue éter de petróleo (C_6H_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 60°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 6h, procurando que todas las columnas de refrigeración gotearan a la misma velocidad.



Figura 3.9 Equipo Soxhlet de extracción de grasa

Transcurridas las 6h de extracción, los balones que contenían la grasa disuelta en el disolvente orgánico se rota-evaporaron (HB10, IKA) para separar el disolvente de la grasa (figura 3.10). Tras su rota-evaporación, los balones se dejaron reposar durante 24h en una campana de extracción para eliminar por completo los restos de éter.



Figura 3.10 Sistema de rota-evaporación.

El contenido en grasa se expresó como peso de grasa en la materia fresca (%b.h.) (Ec. 4). El análisis del contenido en grasa se realizó por triplicado para cada muestra.

$$Xg = \frac{M_3 - M_2}{M_1} \cdot 100 \quad \left(\frac{\text{g grasa}}{100 \text{ g de jamón curado}} \right) \quad (\text{Ec. 4})$$

M_1 : masa (g) de la muestra triturada que contiene el cartucho. M_2 : masa (g) del matraz balón limpio. M_3 : masa (g) del matraz balón con grasa.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el software estadístico Statgraphics Centurión XVII se hizo el análisis estadístico de los parámetros ultrasónicos y texturales de las muestras de jamón. Se realizaron ANOVAs multifactoriales y simples para determinar el efecto ($p < 0,05$) producido por la temperatura de calentamiento (40, 45 o 50°C) y la aplicación de ultrasonidos de potencia sobre los parámetros texturales y ultrasónicos.

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

4.1.1. Contenido en agua

Tras realizar el análisis del contenido de agua de las muestras control, se obtuvo que este osciló entre 46,2 y 52,8g/100g de jamón. Según los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2016) el jamón serrano presenta un contenido medio de agua de 56g/100g de jamón, el cual es un valor ligeramente superior al obtenido en este análisis.

4.1.2. Influencia del contenido en agua en los parámetros texturales y ultrasónicos

El contenido de agua en los productos cárnicos crudo-curados tiene gran importancia tanto en su estabilidad microbiológica como en sus propiedades texturales, por lo que en las últimas décadas ha habido un interés creciente en conocer su importancia en estos productos. En la figura 4.1 se aprecia como existe una relación lineal significativa ($p < 0.05$) entre la fuerza máxima de una muestra al ser sometida al ensayo de compresión-relajación y el contenido de agua. En este caso, los parámetros comparados son proporcionalmente inversos, es decir, las muestras de menor dureza presentan un mayor contenido en agua y viceversa. Estos resultados son similares a lo descrito por Jeremiah (1978), el cual postuló que “*el contenido de agua afecta directamente a la jugosidad e indirectamente a la dureza*”. Esta relación fue estudiada por otros investigadores, Tabilo *et al.* (1999) hallaron en jamones curados provenientes de hembras menor dureza que en los jamones provenientes de machos debido quizás a su mayor contenido en humedad (57,0 versus 53,2%).

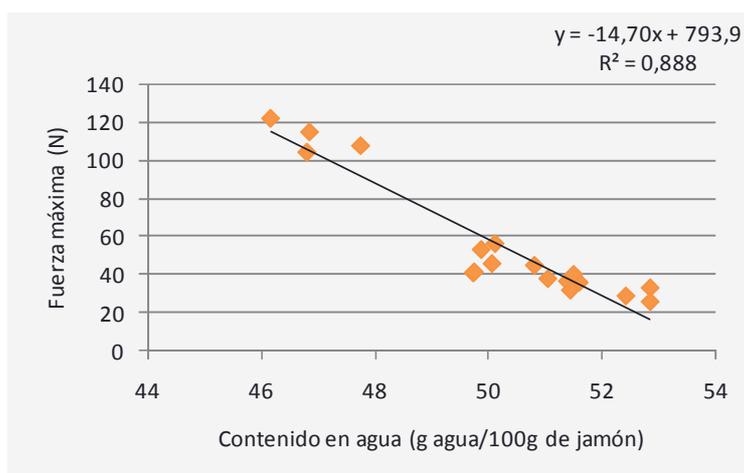


Figura 4.1 Relación entre la fuerza máxima de compresión y el contenido de agua

Como se observa en la figura 4.2, la raíz cuadrada de la fuerza máxima de compresión es directamente proporcional a la velocidad que alcanzan los ultrasonidos. Así, cuanto mayor es la dureza, mayor es la velocidad. El uso de la velocidad ultrasónica para la evaluación de las propiedades texturales se basa en su relación con el módulo de elasticidad (E) y la densidad (ρ), tal y como se muestra en la Ec.5:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Ec. 5})$$

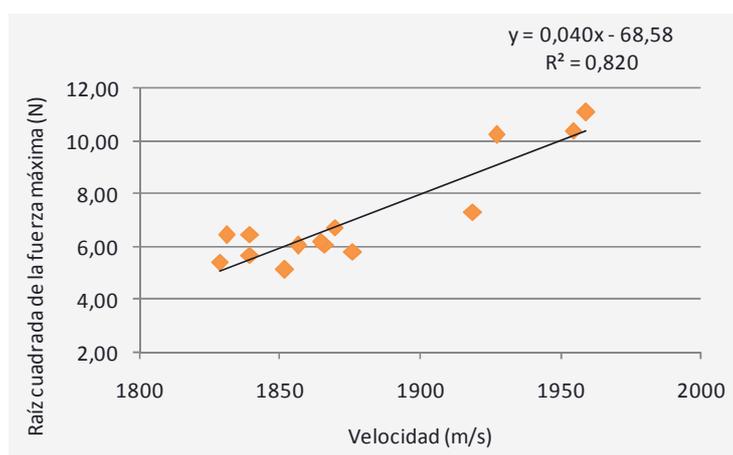


Figura 4.2 Relación entre la raíz cuadrada de la fuerza máxima y la velocidad ultrasónica

La disminución en el contenido de agua provoca un aumento en el módulo elástico que afecta a los parámetros de textura, y así a la velocidad ultrasónica (García-Pérez *et al.*, 2016). Esto coincide con la figura 4.1 y la figura 4.2, ya que, las muestras que presentan un menor contenido de agua dan lugar a fuerzas máximas de compresión más altas, siendo muestras más duras y de una mayor velocidad ultrasónica.

4.1.3. Contenido de grasa

A partir del análisis del contenido de grasa de las muestras tratadas, se obtuvo que las muestras presentaron entre 1,1 y 9,1g grasa/100 g jamón. No se encontró ninguna relación entre el contenido de grasa y la dureza y/o velocidad ultrasónica. El conocimiento que se tiene sobre el efecto del contenido y composición de la grasa sobre la textura de jamones curados es en ocasiones contradictorio. Ruiz-Carrascal *et al.* (2000) hallaron una correlación negativa entre la dureza del jamón curado y el contenido de lípidos. Sin embargo, Buscailhon *et al.* (1994) no encontraron ninguna relación entre los parámetros de textura y la fracción lipídica. Aun así, es importante destacar la importancia de la temperatura de medida de los parámetros texturales, ya que, esta puede influir en la dureza de la grasa y en la textura del jamón. De esta forma, las propiedades mecánicas de la grasa dependen del perfil lipídico y de la temperatura de medida. Si el producto se conserva en refrigeración (Corona *et al.*, 2012), al principio del almacenamiento la grasa puede ser parcialmente líquida, pero con el paso del tiempo se produce un aumento en el ratio grasa sólida/líquida debido a su cristalización que determina cambios en la dureza del producto.

4.2. CINÉTICAS DE CALENTAMIENTO

4.2.1. Influencia de la temperatura del aire

En la figura 4.3, se muestra la evolución de la temperatura para el calentamiento de la muestra asistido con ultrasonidos de potencia. La temperatura del aire durante el calentamiento afectó al perfil temperatura-tiempo de las muestras. De esta forma, la aplicación de aire a 50°C hizo que la muestra alcanzara una determinada temperatura en un menor tiempo que cuando la temperatura era inferior (40 y 45°C).

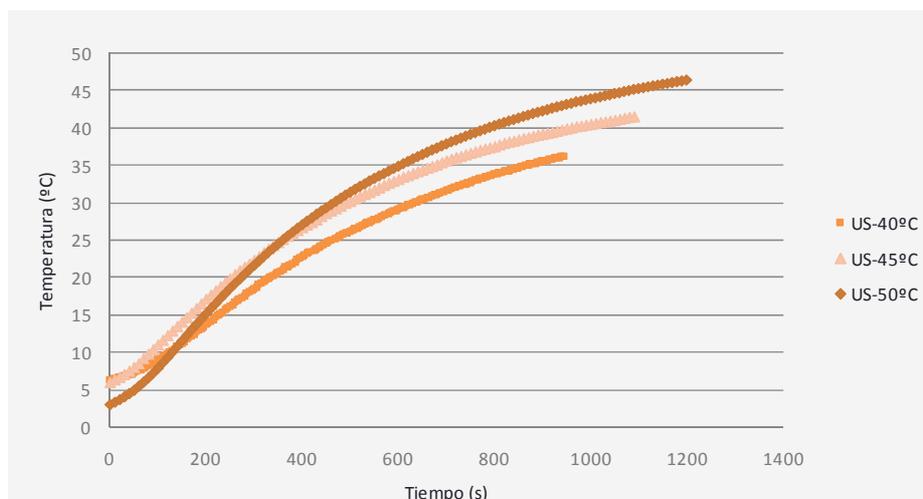


Figura 4.3 Evolución de la cinética de calentamiento de jamón curado con aire a 40, 45 y 50°Cy aplicando ultrasonidos de potencia (US)

4.2.2. Influencia de la aplicación de ultrasonidos

En la figura 4.4, se muestra las cinéticas de calentamiento a 50°C con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos de potencia. Se puede observar como el calentamiento asistido con ultrasonidos de potencia es de menor duración que el calentamiento convencional y, por tanto, más rápido. En este caso particular, hubo 795 segundos de diferencia, es decir, se redujo el tiempo de calentamiento un 42% con la aplicación de ultrasonidos. Este comportamiento fue similar para el resto de temperaturas. La mejora de la transferencia de calor por la utilización de ultrasonidos fue estudiada por Pohlman *et al.* (1997b), quienes cocinaron carne de vaca en agua caliente con aplicación de ultrasonidos. Los resultados mostraron que este tipo de cocción era más rápido que el método tradicional.

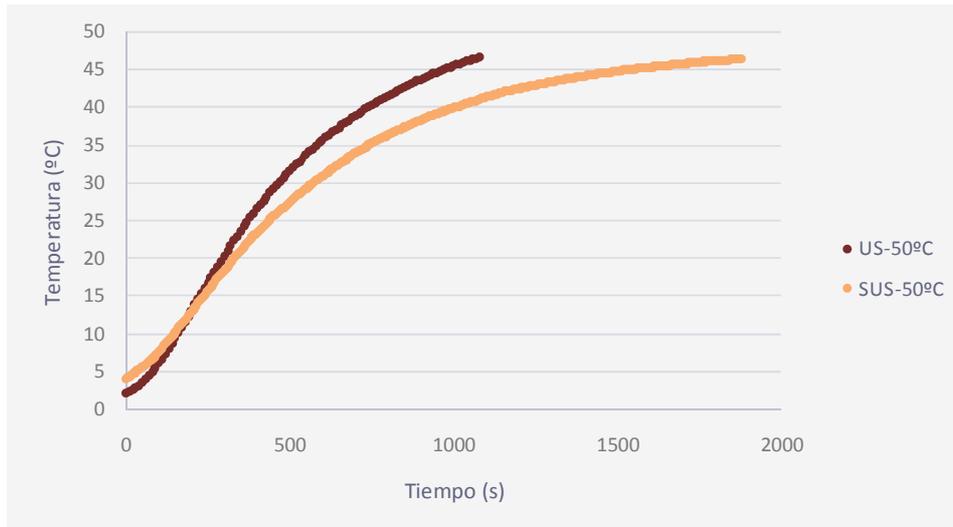


Figura 4.4 Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la cinética de calentamiento de jamón curado a 50°C. Experiencias con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos de potencia.

4.3. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LA TEXTURA DEL JAMÓN CURADO

4.3.1. Parámetros texturales de la fase de compresión

En la figura 4.5 se observa como el incremento de la dureza del jamón curado, representado por el incremento de la fuerza máxima de compresión ($\Delta F_{\text{máx}}$), aumentó al realizar el tratamiento térmico. Se encontró una elevada variabilidad experimental en los valores de la dureza, tanto para las muestras control (entre 26 y 122N) como para las tratadas (entre 34 y 130N). La figura 4.5 ilustra que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las muestras calientes con y sin aplicación de ultrasonidos. Esto se puede deber al número pequeño de muestras estudiadas y a la gran variabilidad que hay entre ellas. El efecto de los ultrasonidos en productos y procesos puede ser muy diferente dada la enorme complejidad de los fenómenos que provocan y la interacción del medio de tratamiento, ya que, el efecto es distinto si se aplican en aire que en agua. Así, Jayasooriya *et al.* (2007) mostraron que los ultrasonidos pueden mejorar la textura y las propiedades tecnológicas de la carne.

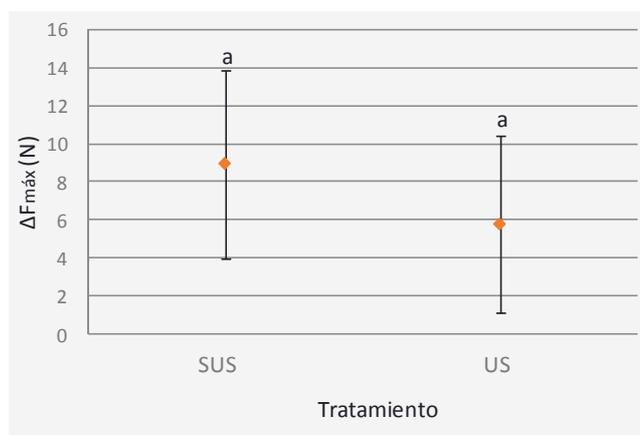


Figura 4.5 Medias e intervalos LSD (95%) de los incrementos de las fuerzas máximas de compresión ($\Delta F_{\text{máx}}$) de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.

En la figura 4.6 se han comparado las medias de los incrementos de las fuerzas máximas de compresión ($\Delta F_{\text{máx}}$) tras el calentamiento para las muestras sometidas a distintas temperaturas de calentamiento (40, 45 y 50°C). Se observó un aumento del $\Delta F_{\text{máx}}$ a medida que se incrementó la temperatura de calentamiento. Aunque, únicamente la media de este parámetro a 50°C fue significativamente ($p < 0.05$) diferente al resto. Así, los valores a 40 y 45°C no resultaron estadísticamente diferentes ($p > 0.05$). El efecto positivo del calentamiento sobre la textura del jamón curado fue anteriormente estudiado por Morales *et al.* (2007), quienes realizaron ensayos sobre jamón curado a 30 y 36°C durante 24h.

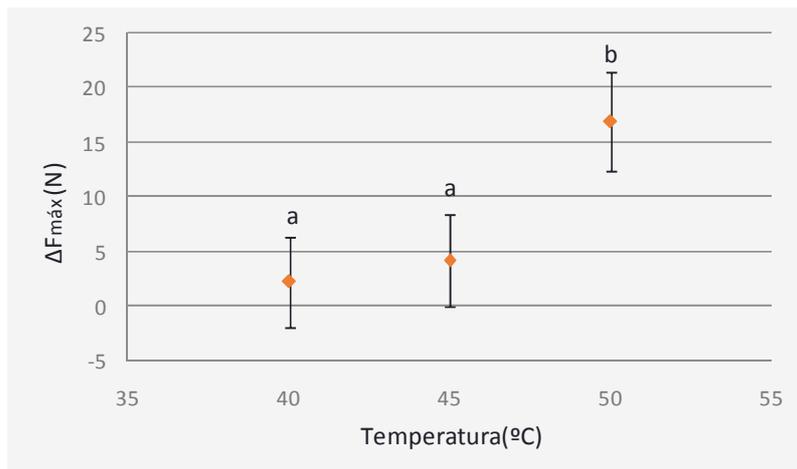


Figura 4.6 Medias e intervalos LSD de los incrementos de las fuerzas máximas de compresión ($\Delta F_{\text{máx}}$) de jamón curado calentado a distintas temperaturas.

Otro parámetro estructural estudiado fue el incremento del trabajo de compresión ($\Delta W_{\text{compresión}}$). La figura 4.7 representa los valores medios de los $\Delta W_{\text{compresión}}$ de las muestras tras el calentamiento en las experiencias sin (SUS) y con (US) aplicación de ultrasonidos. En todos los casos se observó como el incremento del trabajo de compresión fue positivo. Sin embargo, se observa como el efecto de la aplicación de ultrasonidos no fue significativo ($p > 0.05$). Estos resultados coinciden con lo descrito para el caso del incremento de la fuerza máxima, ya que ambos parámetros están relacionados.

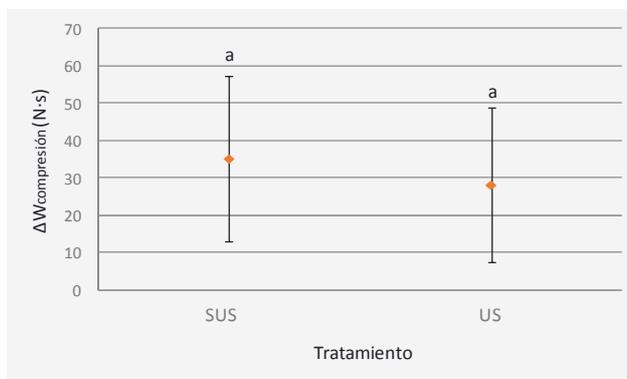


Figura 4.7 Medias e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de compresión ($\Delta W_{\text{compresión}}$) de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.

En la figura 4.8 se ha comparado las medias de los $\Delta W_{\text{compresión}}$ para las muestras que han sido calentadas a distinta temperatura (40, 45 y 50°C). El efecto de la temperatura de calentamiento no fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en el $\Delta W_{\text{compresión}}$. Aun así, se identificó que los mayores cambios tanto de dureza como de $\Delta W_{\text{compresión}}$ se dieron para las muestras calentadas a 50°C.

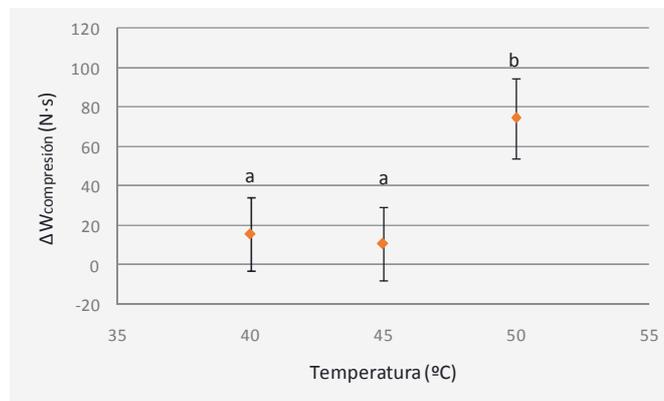


Figura 4.8 Medias e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de compresión ($\Delta W_{\text{compresión}}$) de jamón curado calentado a distintas temperaturas.

4.3.2. Parámetros texturales de la fase de relajación

En la figura 4.9, se ha representado las medias de los incrementos del trabajo de relajación de los ensayos sin y con ultrasonidos. En todos los casos se produce un aumento del trabajo de relajación tras el tratamiento de las muestras. Las muestras que ejercen una mayor fuerza por recuperar su forma original tienen una menor capacidad de relajación y una mayor área del trabajo de relajación. Por este motivo, el incremento del trabajo de relajación ($\Delta W_{\text{relajación}}$) tras el tratamiento, se traduce en un cambio positivo de las propiedades texturales de las muestras. A pesar de estos resultados, se aprecia como el efecto del tipo de tratamiento no fue estadísticamente significativo ($p > 0.05$).

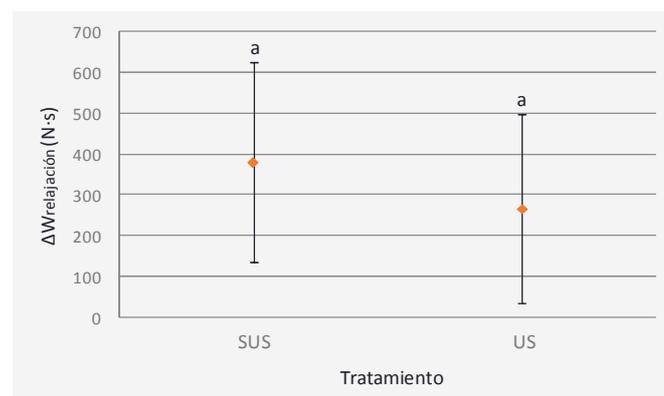


Figura 4.9 Media e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de relajación ($\Delta W_{\text{relajación}}$) de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.

A continuación (figura 4.10), se ha representado las medias de los incrementos del trabajo de relajación de las muestras calentadas a diferentes temperaturas (40, 45 y 50°C). En la mayoría de los casos se observa un incremento del trabajo de relajación tras el calentamiento de las muestras, dando lugar a un cambio en las propiedades texturales. A pesar de ello, se observa como el calentamiento a 50°C es el único que fue significativamente ($p < 0.05$) diferente.

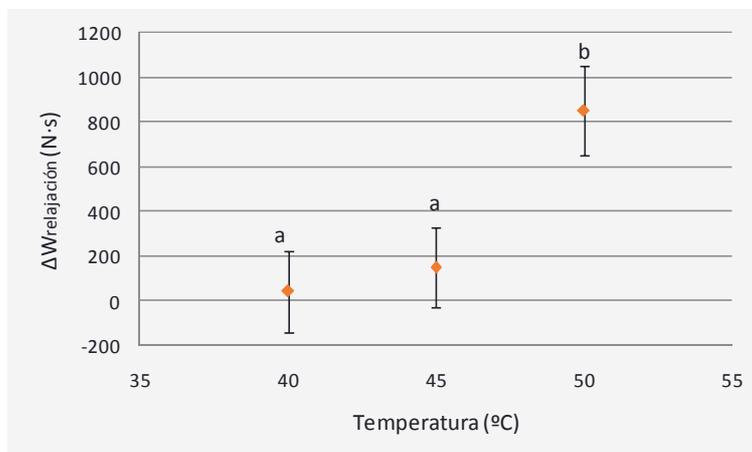


Figura 4.10 Medias e intervalos LSD (95%) de los incrementos de los trabajos de compresión ($\Delta W_{relajación}$) de jamón curado calentado a distintas temperaturas.

Al representarse el incremento de la capacidad de relajación (ΔY_{90s}) con el tipo de tratamiento en la figura 4.11, se ve como el ΔY_{90s} disminuye en algunos de los casos tras el tratamiento de corrección, especialmente con la aplicación de ultrasonidos de potencia (US). La capacidad de relajación está relacionada con la elasticidad. La elasticidad es una propiedad mecánica que permite que las muestras sufran deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetas a fuerzas exteriores. Por lo que cuanto mayor sea la elasticidad del producto, menor será la capacidad de relajación. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fuentes *et al.* (2015) quienes determinaron que la aplicación de ultrasonidos en la carne de atún daba lugar al aumento de su elasticidad. Sin embargo, la relación entre la capacidad de relajación de las muestras con el tipo de tratamiento aplicado no fue significativa ($p > 0.05$).

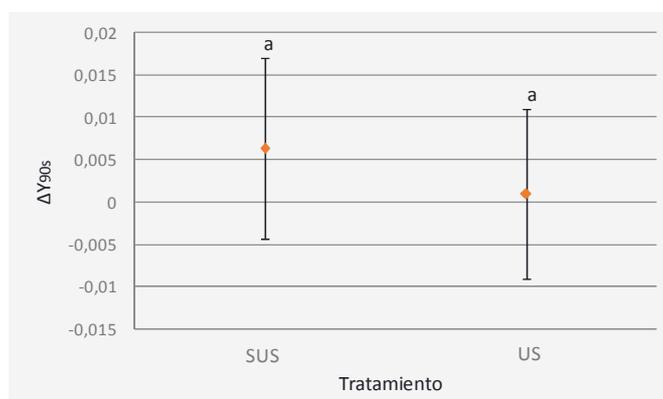


Figura 4.11 Media e intervalos LSD (95%) de los incrementos de la capacidad de relajación (ΔY_{90s}) de jamón curado con distinto tratamiento. SUS: sin ultrasonidos de potencia. US: con ultrasonidos de potencia.

Si se compara el efecto de la temperatura de calentamiento sobre la capacidad de relajación de las muestra (figura 4.12), se puede observar como la capacidad de relajación disminuye conforme aumenta la temperatura de calentamiento. Esto da lugar a una mejora de las propiedades texturales de la carne. Además, se puede observar como a 50°C, se alcanzaron los mayores cambios.

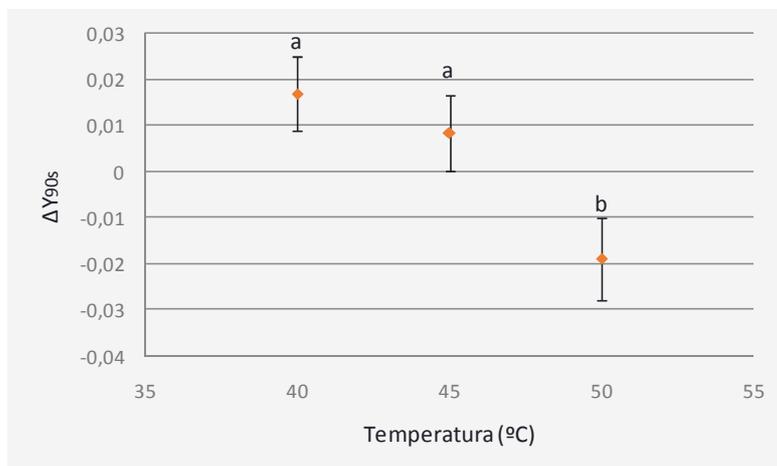


Figura 4.12 Media e intervalos LSD (95%) de los incrementos de la capacidad de relajación (ΔY_{90s}) de jamón curado calentado a distintas temperaturas.

4.4. INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO EN LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA

La velocidad ultrasónica se midió en las muestras control (V_C) y en las muestras tratadas antes (V_{AT}) y después del calentamiento (V_{DT}). Para establecer la diferencia entre la velocidad ultrasónica antes y después del tratamiento se obtuvieron dos incrementos de velocidad:

$$\Delta v_1 = V_{DT} - V_C \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\Delta v_2 = V_{DT} - V_{AT} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Ec. 6})$$

Δv : incremento de velocidad. V_C : velocidad ultrasónica muestra control. V_{AT} : velocidad ultrasónica de la muestra antes del tratamiento. V_{DT} : velocidad ultrasónica de la muestra después del tratamiento.

Los incrementos de velocidad fueron positivos en la mayoría de los casos (tabla 4.1), es decir, tras los tratamientos térmicos de las muestras se apreció un aumento de la velocidad ultrasónica. Así pues, se podría establecer una relación entre los cambios producidos en la textura y la velocidad ultrasónica, lo que permitiría el uso de los ultrasonidos de señal como técnica no destructiva de caracterización de los cambios texturales que provoca el calentamiento en el jamón curado.

Tabla 4.1 Valores medios de los incrementos de velocidad según el tratamiento y temperatura de calentamiento aplicados

Tratamiento	Con ultrasonidos de potencia (US)			Sin ultrasonidos de potencia (SUS)			
	Temperatura (°C)	40	45	50	40	45	50
$\Delta v_1(\text{m/s})$		35,51	31,67	11,36	25,27	-11,85	-39,43
$\Delta v_2(\text{m/s})$		24,68	40,43	22,28	25,87	31,21	9,12

Para determinar el efecto del calentamiento de las muestras sobre la velocidad ultrasónica, se realizaron dos ANOVAs simples considerando como factores al tipo de tratamiento (con o sin aplicación de ultrasonidos de potencia) o a la temperatura de calentamiento (40, 45 o 50°C) y como variable dependiente el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_1 o Δv_2). Ambos análisis estadísticos dieron como resultado que el efecto producido por el tipo de tratamiento o la temperatura aplicada no fueron estadísticamente significativos ($p > 0.05$). Al tratarse de muestras muy diferentes (ver apartado 4.1), la respuesta al tratamiento térmico también lo pudo ser, es decir, el calor puede transferirse a distinta velocidad según la composición del producto, por lo que un mayor contenido en grasa o tejido conectivo pudo dificultar la transferencia de calor en el interior de la muestra.

4.5. RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS TEXTURALES Y ULTRASÓNICOS

Para analizar las relaciones entre los parámetros texturales y ultrasónicos, se ha tenido en cuenta la diferencia entre la velocidad ultrasónica medida antes y después del tratamiento (Δv_2), debido a que presenta una menor variabilidad por realizarse la medida sobre la misma muestra. En la figura 4.13, se representa el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) con el incremento de la fuerza máxima de compresión ($\Delta F_{m\acute{a}x}$) entre la muestra tratada y la muestra control. Se observa como ambas variables son directamente proporcionales estableciéndose una relación lineal significativa ($p < 0.05$) entre ellas. Lo mismo ocurre si se representa el incremento de la velocidad ultrasónica con el incremento de la rigidez ($\Delta Rigidez$) (figura 4.14). Es decir, a mayor cambio del parámetro textural, mayor cambio de la velocidad. De esta forma, se podría determinar mediante esta técnica no destructiva cambios producidos en la textura de la muestra, como el aumento de la dureza y de la rigidez. En el sector cárnico, los ultrasonidos han sido utilizados para caracterizar y estimar la composición y propiedades texturales de canales (Koch *et al.*, 2011b) y de músculos (Koch *et al.*, 2011a) de animales de diferentes razas y sistemas de alimentación (Niñoles *et al.*, 2011). En productos elaborados a base de carne, se ha determinado la composición de mezclas de carne (Benedito *et al.*, 2001), y se ha evaluado las propiedades texturales (Llull *et al.*, 2002a; Llull *et al.*, 2002b) y la composición (Simal *et al.*, 2003).

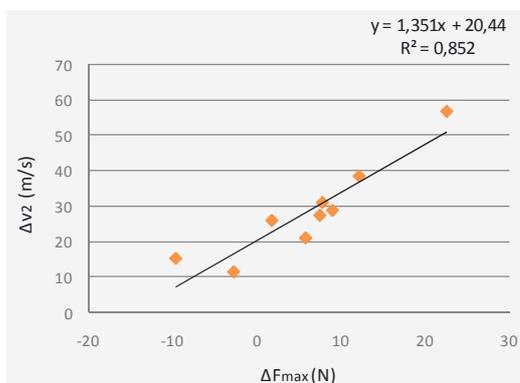


Figura 4.13 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de la fuerza máxima ($\Delta F_{m\acute{a}x}$) tras el calentamiento.

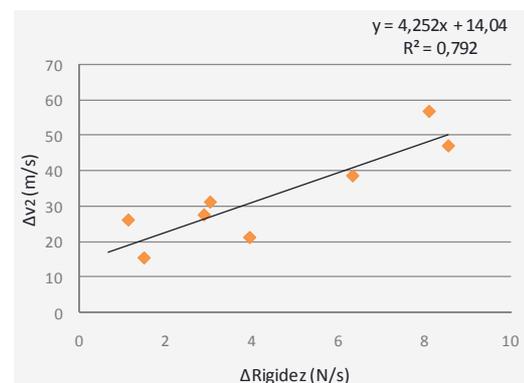


Figura 4.14 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de rigidez ($\Delta Rigidez$) tras el calentamiento.

La diferencia entre la velocidad ultrasónica medida antes y después del tratamiento (Δv_2) también mantiene una relación lineal con el incremento del trabajo de compresión ($\Delta W_{\text{compresión}}$) (figura 4.15) y relajación ($\Delta W_{\text{relajación}}$) (figura 4.16). En el primer caso, el parámetro textural está relacionado con la fuerza máxima de compresión, por lo que, cambios en la dureza de las muestras dará lugar a cambios en el $W_{\text{compresión}}$ y en la velocidad ultrasónica. De la misma forma, cambios en la capacidad de relajación darán lugar a cambios en el $W_{\text{relajación}}$ y en la velocidad ultrasónica.

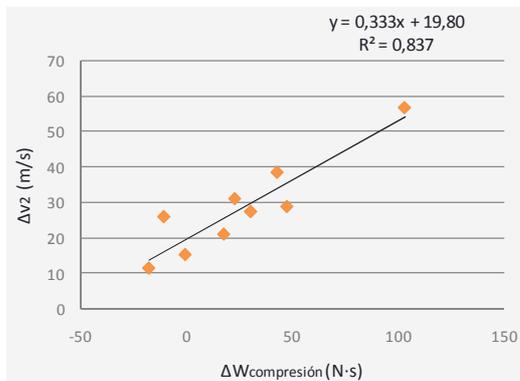


Figura 4.15 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento del trabajo de compresión ($\Delta W_{\text{compresión}}$) tras el calentamiento.

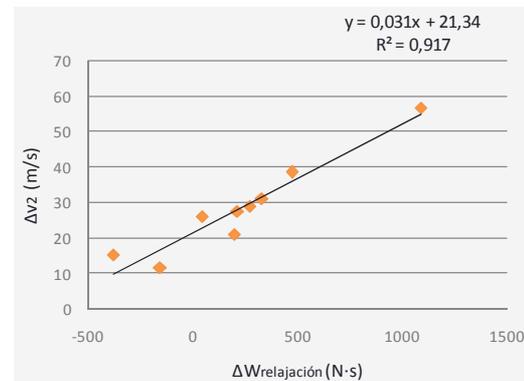


Figura 4.16 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento del trabajo de relajación ($\Delta W_{\text{relajación}}$) tras el calentamiento.

La capacidad de relajación también puede ser relacionada con la velocidad ultrasónica. En la figura 4.17, se ha relacionado el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) con el incremento de la capacidad de relajación a los 90s (ΔY_{90s}). Se observa como ambas variables mantienen una relación lineal en la que si una disminuye, la otra también lo hace, o viceversa. Así pues, las muestras, cuya capacidad de relajación ha disminuido, presentan menores incrementos en las velocidades ultrasónicas como consecuencia del cambio de la textura del jamón curado tras el tratamiento térmico. Esta relación es similar a la existente entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y la capacidad de relajación a los 2s (ΔY_{2s}) representada en la figura 4.18.

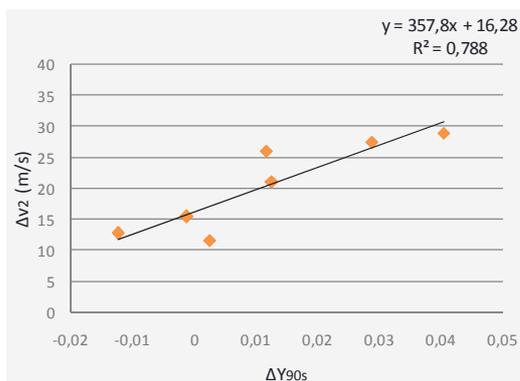


Figura 4.17 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de la capacidad de relajación a los 90s (ΔY_{90s}) tras el calentamiento.

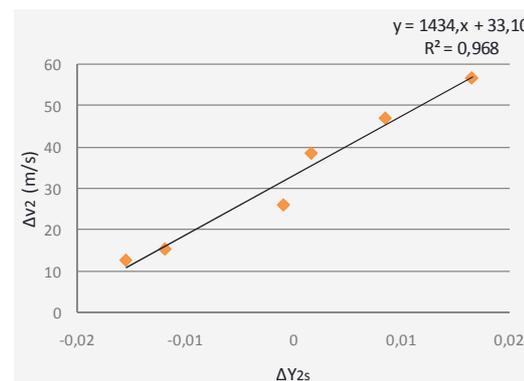


Figura 4.18 Relación entre el incremento de la velocidad ultrasónica (Δv_2) y el incremento de la capacidad de relajación a los 2s (ΔY_{2s}) tras el calentamiento.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se pueden extraer de este trabajo se exponen a continuación:

- El contenido de agua del jamón curado puede ser relacionado con su dureza y con la velocidad ultrasónica. Así, la velocidad ultrasónica puede considerarse como una tecnología no destructiva de alto potencial para cuantificar tanto el contenido de agua como la dureza del jamón curado.
- La aplicación de ultrasonidos de potencia aceleró el proceso de calentamiento (reducción del tiempo de calentamiento de hasta el 45%).
- El calentamiento provocó una mejora de las propiedades texturales, principalmente dureza, rigidez y capacidad de relajación, a todas las temperaturas ensayadas, pero las mayores diferencias se dieron cuando se aplicó la temperatura más alta (50°C). Aunque, la influencia de la temperatura no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$) para ningún parámetro textural lo que puede ser debido al pequeño número de muestras utilizadas y a la gran heterogeneidad del jamón curado. En el caso, de la aplicación de ultrasonidos no se observó ningún efecto sobre los parámetros texturales.
- El calentamiento provocó un aumento de la velocidad ultrasónica en todos los casos, que pudo ser relacionada con los cambios producidos en los parámetros texturales. Así, los ultrasonidos de señal podrían utilizarse como tecnología no destructiva para cuantificar los cambios en las características texturales provocados por el calentamiento.
- La metodología desarrollada debe validarse en trabajos posteriores utilizando un mayor número de muestras y considerando diferentes tratamientos. Además, debería ampliarse el estudio considerando la percepción sensorial y estableciendo relaciones entre los parámetros ultrasónicos, texturales y sensoriales.

6. BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

AHMAD-QASEM, M. H., CÁNOVAS, J., BARRAJÓN-CATALÁN, E., MICOL, V., CÁRCEL, J., GARCÍA-PÉREZ, J. V. (2012). Kinetic and compositional study of phenolic extraction from olive leaves (var. Serrana) by using power ultrasound. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 2-3.

ALBARRACÍN-HERNÁNDEZ, W. (2009). Salado y descongelado simultáneo en salmuera para la obtención de jamón curado de cerdo de raza ibérica. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

AOAC. (1996). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, Virginia, EEUU. 991.36.

AOAC. (1997). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, Virginia, EEUU. 950.45.

ANICE. (2016). http://www.anice.es/industrias/portal-de-la-industria-carnica/el-sector-carnico-espanol_9776_36_16760_0_1_in.html (Fecha de consulta: 23-4-2016).

ARNAU, J. (2013). Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. *Eurocane*, 17, 13-21.

ARNAU, J., GOU, P., COMAPOSADA, J., GUÀRDIA, M.D., GUERRERO, L. (2009). Modificaciones del proceso de salado, lavado y postsalado del jamón curado: efecto en la composición, estructura y flora de la superficie y en las características sensoriales. Proyecto RTA01-074.IRTA. 46-49.

ARNAU, J., HUGAS, M., MONFORT, J. M. (1999). Jamón curado, aspectos técnicos. Parte V: Defectos en el jamón curado. *Grafis-Sant*. 21-25.

AXELSON, M. L., BRINBERG, D. (1989). *A Social–Psychological Perspective on Food Behaviour*. New York: Springer-Verlag, 63, 103–114.

BELLO-GUTIÉRREZ, J. (2008) Jamón curado: aspectos técnicos y tecnológicos. Ediciones Díaz de santos. 319-329.

BENEDITO, J., CARCEL, J. A., ROSSELLO C., MULET, A. (2001). Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science*, 38, 365-370.

BOE.(2016). https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1967-16485. (Fecha de consulta: 17-4-2016).

BUSCAILHON, S., BERDAGUÉ, J., BOUSSET, J., CORNET, M. (1994). Relations between traits and sensory qualities of French dry-cured ham. *Meat Science*, 37, 229-243.

CONTRERAS-RUIZ, M. (2014). Estudio de parámetros de calidad de manzana deshidratada mediante secado a baja temperatura asistido con ultrasonidos. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.

- CORONA, E., GARCÍA-PÉREZ, J. V., MULET, A., BENEDITO, J.** (2012). Ultrasonic assessment of textural changes in vacuum packaged sliced Iberian ham induced by high pressure treatment or cold storage. *Meat Science*, 8, 1-3.
- CORONA-JIMÉNEZ, E.** (2012). Caracterización de la calidad de productos cárnicos curados mediante ultrasonidos de señal. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- CROSS, H.R., RON, M.** (1978). Training and testing of judge for sensory analysis of meat quality. *Journal of Food Technology*, 32, 48-54.
- FRONTELA, C., LÓPEZ, G., ROS, G., MARTÍNEZ, C.** (2006). Caracterización del jamón cocido. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 892, 67-78.
- 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*, 15, 62-63.
- FUENTES, L., ACEVEDO, D., GÉLVEZ, V. M.** (2015). Efecto del Ultrasonido y Campos Magnéticos en la Carne de Lomo Atún (*Thunnus albacares*). Universidad de Cartagena.
- GARCÍA-REGUERIO, J. A.** (2006). Situación del jamón curado en las tendencias nutricionales actuales (transición nutricional). *Cárnicas 2000*, 270,3-7.
- GARCÍA-PÉREZ, J.V., CÁRCCEL, J.A., BENEDITO, J., MULET, A.** (2007). Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying. *Food and Bioproducts Processing*, 85, 247-254.
- GARCÍA-PÉREZ, J. V., DE PRADOS, M., BENEDITO, J.** (2016). Characterization of pork meat products using ultrasound. *Meat Science*, 93, 16-21.
- GONZÁLEZ-VIÑAS, M. A., GARCÍA RUIZ, A., SÁNCHEZ-PALOMO, E.** (2008). Evaluación de la opinión de los consumidores sobre distintos alimentos mediterráneos. Informe Final de Proyecto. Universidad de Castilla La Mancha.
- GOU, P., MORALES, R., SERRA, X., GUARDIA, 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*, 9, 1333-1338.
- JAYASOORIYA, K., ZHANG, W., XIAO, S., & AHN, DU.** (2007). Protein oxidation: Basic principles and implications for meat quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 1191–1201.
- JEREMIAH, L. E.** (1978). A review of factors affecting meat quality. *Lacombe Research Station Technical*, 1, 10-15.
- KOCH, T., LAKSHMANAN, S., BRAND, S., WICKE, M., RAUM, K., MÖRLEIN, D.** (2011a). Ultrasound velocity and attenuation of porcine soft tissues with respect to structure and composition: I. Muscle. *Meat Science*, 88, 51-58.
- KOCH, T., LAKSHMANAN, S., BRAND, S., WICKE, M., RAUM, K., MÖRLEIN, D.** (2011b). Ultrasound velocity and attenuation of porcine soft tissues with respect to structure and composition: II. Skin and back fat. *Meat Science*, 88, 67-74.
- LLLUL, P., SIMAL, S., FEMENIA, A., BENEDITO, J., ROSELLÓ, C.** (2002a). The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrasada from Mallorca. *Journal of Food Engineering*, 52, 323-330.

LLULL, P., SIMAL S., BENEDITO, J., ROSELLÓ, C. (2002b). Evaluation of textural properties of meat-based product (sobrassada) using ultrasonic techniques. *Journal of Food Engineering*, 53, 279-285.

MAGRAMA. (2016). http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/jamon_serrano_tcm7-315418.pdf. (Fecha de consulta: 7-5-2016).

MANN, T. F., REAGAN, J. O., LILLARD, D. A., CAMPION, D. R., LYON, C. E. AND M. F. MILLER. (1989). Effects of phosphate in combination with nitrite or Maillard reaction products upon warmed-over flavor in precooked, restructured beef chuck roast. *Journal of Food Science*, 54, 6.

MORA-RUIZ, M. E.(2010). Influencia de defectos de textura en jamón curado loncheado sobre parámetros ultrasónicos y texturales. Trabajo Fin de Máster. Universitat Politècnica de València.

MORA-SOLER, L. (2010). Determinación de compuestos bioquímicos para el control de calidad en la elaboración de jamón cocido y jamón curado. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.

MORALES, R., ARNAU, J., SERRA, X., GUERRERO, L., GOU, P. (2007). Texture changes in dry-cured ham pieces by mild thermal treatments at the end of the drying process. *Meat Science*, 24, 231.

MORALES, R., GUERRERO, L., AGUILAR, A. P. S., GUARDIA, M. D., GOU, P. (2013). Factors affecting dry-cured ham consumer acceptability. *Meat Science*, 12, 652.

MORALES, R., GUERRERO, L., SERRA, X., GOU, P. (2007). Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. *Meat Science*, 009, 536-538.

NAVARRO-CABO, A. (2015). Desarrollo de medidas correctoras para problemas de textura en jamón curado. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.

NIÑOLES, L., MULET, A., VENTANAS, S., BENEDITO, J. (2011). Ultrasonic characterisation of *B. femoris* from Iberian pigs of different genetics and feeding systems. *Meat Science*, 89, 174-180.

OMS. (2016). http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/85224/1/WHO_NMH_NHD_13.2_spa.pdf. (Fecha de consulta: 3-5-2016).

POHLMAN, F.W., DIKEMAN, M.E., ZAYAS, J.F., & UNRUH, J.A. (1997B). Effects of ultrasound and convection cooking to different end point temperatures on cooking characteristics, shear force and sensory properties, composition and microscopic morphology of beef longissimus and pectoralis muscles. *Journal of Animal Science*, 75, 386–401.

PORTILLA-PÉREZ, I. (2015). Aplicación de ultrasonidos de potencia para la mejora del calentamiento moderado de jamón curado. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.

ROMERO-ÁVILA, M. D. (2014). Empleo de sistemas de cohesión en frío para la elaboración de jamón deshuesado curado. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 143.

RUIZ –CARRASCAL, J., PÉREZ-PALACIOS, M. T., TOLDRÁ, F., ANTEQUERA, T. (2000). Texture and appearance of dry-cured as affected by fat content and fatty acid composition. *Meat Science*, 33, 91-95.

- RUIZ-RAMIREZ, J. L.** (2005). Textura de músculos de cerdo y jamón curado con distintos niveles NaCl, pH y contenido de agua. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- SÁNCHEZ-MOLINERO, F.** (2003). Modificaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado. Tesis Doctoral. Universitat de Girona.
- SANTACATALINA, J. V., GARCÍA-PÉREZ, J. V., CORONA, E., BENEDITO, J.** (2010). Ultrasonic monitoring of lard crystallization during storage. *Food Research International*, 048, 3-10.
- SENABRE-PÉREZ, F. J.** (2013). Estudio de las propiedades de propagación de los ultrasonidos en un medio viscoso. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.
- SIMAL, S., BENEDITO, J., CLEMENTE, G., FEMENIA, A. &ROSSELLÓ, C.** (2003). Ultrasonic determination of the composition of a meat-based product. *Journal of Food Engineering*, 058, 253-257.
- STAFLEU, A., GRAAF, C., STAVAREN, W., SCHROOTS, J.** (1991/2). A review of selected studies assessing social-psychological determinants of fat and cholesterol intake. *Food Quality and Preference*, 003, 183-200.
- SZCZESNIAK, A.** (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 410-420.
- TABILO, G., FLORES, M., FISZMAN, S., TOLDRÁ, F.** (1999). Postmortem meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of fry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- TOLDRÁ, F.** (2005). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 007, 165-167.
- VALENCIA-ILARREGUI, J.** (2009). Caracterización mediante técnicas de ultrasonido de un laminado de fibra de vidrio. Trabajo Final de Grado. Universidad Carlos III de Madrid.
- ZHAO, Y.Y.** (2014). Effect of pre-emulsification of plant lipid treated by pulsed ultrasound on the functional properties of chicken breast myofibrillar protein composite gel, *Food Research International*, 058, 98-104.