

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL  
MEDI NATURAL



***Evaluación de los cambios texturales provocados por un calentamiento moderado de jamón curado. Impacto de la temperatura y del grado de pastosidad.***

**TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**

ALUMNO: ARANZAZU MARTIN TALAVERA

TUTOR: JOSÉ VICENTE GARCÍA PÉREZ

COTUTOR: JOSÉ JAVIER BENEDITO FORT

DIRECTORA EXPERIMENTAL: MARINA CONTRERAS RUÍZ

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

VALENCIA, JUNIO 2017



## **Datos del trabajo fin de grado**

Autora: Aránzazu Martín Talavera

Tutor Académico: José Vicente García Pérez

Cotutor: José Javier Benedito Fort

Directora Experimental: Marina Contreras Ruiz

Lugar y fecha: Valencia, Junio 2017

Título: Evaluación de los cambios texturales provocados por un calentamiento moderado de jamón curado. Impacto de la temperatura y del grado de pastosidad.

### Resumen:

En la actualidad, desde la OMS (Organización Mundial de la Salud) se recomienda reducir el contenido en sal de la dieta. Esta tendencia afecta a la elaboración del jamón curado, en la que se tiende a bajos contenidos de sal como estándar de alta calidad. Esto provoca, junto con el acortamiento del proceso de elaboración, frecuentes problemas texturales, como por ejemplo, texturas blandas o pastosas. Este tipo de texturas, además inducen otros problemas en el envasado y loncheado, como la elevada adhesividad entre lonchas. La industria cárnica está buscando métodos de corrección de los defectos de textura, como el calentamiento moderado. Así, el objetivo de este trabajo es determinar los cambios texturales producidos por un tratamiento térmico moderado en función de la temperatura del tratamiento o del nivel de pastosidad inicial del producto.

Las muestras utilizadas en este ensayo fueron lonchas de jamón curado de 2 cm de espesor, las cuales se sometieron a un tratamiento térmico en medio líquido (agua) a temperaturas moderadas de 40 y 50 °C, con y sin aplicación de ultrasonidos de potencia durante 5 horas. La medida de la textura de las muestras de jamón curado antes y después del tratamiento térmico se realizó de manera instrumental, mediante un ensayo de compresión-relajación utilizando un texturómetro universal. Además, como técnica alternativa, se realizó un análisis no destructivo utilizando ultrasonidos de señal.

Los resultados experimentales mostraron que el calentamiento provocó una mejora de las propiedades texturales, como la dureza y la elasticidad de las muestras. Las propiedades texturales mejoraron independientemente del nivel de pastosidad de las muestras, pero las muestras sin defecto de pastosidad fueron las que experimentaron los mayores cambios de textura. Mientras que la utilización de los ultrasonidos de potencia durante el calentamiento no tuvo influencia en los cambios texturales. Los cambios en las propiedades texturales provocados por el calentamiento no se relacionaron con los cambios de velocidad y atenuación ultrasónica, y por tanto, se deberían estudiar otras técnicas no destructivas para poder evaluar correctamente estos cambios texturales.

Palabras clave: Jamón curado, textura, calentamiento moderado, dureza, ultrasonidos.

Title: Evaluation of textural changes caused by moderate heating of cured ham. Impact of temperature and degree of pastiness.

Abstract:

Nowadays, from WHO (World Health Organization) it is recommended to reduce the amount of salt in human diet. This tendency affects the elaboration of dry-cured ham, in which low salt contents are considered as standard of high quality. This fact causes, along with the shortening of the processing, frequent textural problems, such as softy or pasty textures. This type of textures also induce other problems in packaging and slicing, such as the high adhesiveness between slices. The meat industry is looking for new methods in order to correct texture defects, such as it could be the moderate heating. Thus, the aim of this work is to determine the textural changes produced by a moderate thermal treatment as a function of the temperature of the treatment or the level of initial pastiness of the product.

The samples used in this test were dry-cured ham slices of thickness 2 cm, which were subjected to a heat treatment in liquid medium (water) at moderate temperatures of 40 and 50 °C, with and without application of high power ultrasound, during 5 hours. The measurement of the texture of the samples before and after heating was performed instrumentally by a compression-relaxation test using an universal texturometer. Finally, as an alternative technique, a non-destructive analysis was performed using low intensity ultrasonics.

The experimental results showed that heating induced an improvement of the textural properties, such as the hardness and the elasticity of the samples. The textural properties improved regardless of the level of initial pastiness of the samples, but the samples without pastiness defect experimented the larger textural changes. While the use of power ultrasound during heating had no influence on the textural changes. The changes in the textural properties were not related to the changes in velocity and ultrasonic attenuation, and therefore, other non-destructive techniques should be studied in order to correctly evaluate the textural changes.

Keywords: Dry-cured ham, texture, moderate heating, hardness, ultrasound.

## **Agradecimientos**

A mis tutores académicos por la ayuda, apoyo y dedicación que siempre he recibido de ellos.

A mi familia y amigos por apoyarme en cada decisión, animarme en los momentos difíciles y confiar en mí.

<b>1. INTRODUCCION</b> .....	1
1.1. TEXTURA DE ALIMENTOS .....	1
1.2. DEFECTOS DE TEXTURA EN JAMÓN CURADO .....	1
1.3. CORRECCION DE LOS PROBLEMAS TEXTURALES.....	3
1.4. APLICACIONES DE LOS ULTRASONIDOS PARA CARACTERIZAR Y CORREGIR TEXTURAS DEFECTUOSAS .....	3
1.4.1. Ultrasonidos de señal .....	4
1.4.2. Ultrasonidos de potencia .....	4
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	6
<b>3. MATERIALES Y METODOS</b> .....	7
3.1. MATERIA PRIMA Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	7
3.2. TRATAMIENTO TÉRMICO DEL JAMÓN CURADO .....	8
3.2.1. Experiencias de calentamiento .....	8
3.3. ANÁLISIS DE TEXTURA .....	9
3.3.1. Análisis instrumental.....	10
3.3.2. Ultrasonidos de señal .....	11
3.4. ANÁLISIS ESTADISTICO .....	13
<b>4. RESULTADOS</b> .....	14
4.1. EFECTO DEL TRATAMIENTO EN LA DUREZA.....	14
4.1.1. Influencia de la temperatura y la aplicación de ultrasonidos .....	14
4.1.2. Influencia de la pastosidad.....	16
4.2. EFECTO DEL TRATAMIENTO EN LA CAPACIDAD DE RELAJACIÓN.....	19
4.2.1. Influencia de la temperatura y aplicación de ultrasonidos.....	19
4.2.2. Influencia de la pastosidad.....	20
4.3. CARACTERIZACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE EL USO DE ULTRASONIDOS DE SEÑAL .....	21
4.3.1. Caracterización de la variación de dureza.....	22
4.3.2. Caracterización de la variación de la capacidad de relajación.....	26
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	28
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b> .....	29

<b>Figura 1. 1</b> Onda ultrasónica. ....	5
<b>Figura 3. 1</b> Loncha envasada al vacío. ....	7
<b>Figura 3. 2</b> Localización de los puntos de medida de los ultrasonidos de señal. ....	8
<b>Figura 3. 3</b> Montaje experimental del baño de ultrasonidos. ....	9
<b>Figura 3. 4</b> Baño con control de temperatura y agitación mecánica. ....	9
<b>Figura 3. 7</b> Texturómetro universal utilizado para el análisis. ....	10
<b>Figura 3. 8</b> Perfil fuerza-tiempo en un análisis de compresión-relajación. ....	11
<b>Figura 3. 5</b> Equipo de ultrasonidos de señal. ....	11
<b>Figura 3. 6</b> Señal ultrasónica. ....	13
<b>Figura 4. 1</b> Influencia de la temperatura de tratamiento térmico en la variación de dureza de las muestras. ....	14
<b>Figura 4. 2</b> Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la fase de calentamiento en la variación de dureza de las muestras. ....	15
<b>Figura 4. 3</b> Influencia del nivel de pastosidad en la temperatura de tratamiento térmico de las muestras en la variación de dureza. ....	15
<b>Figura 4. 4</b> Relación entre el índice de proteólisis y la pastosidad de las muestras. ....	16
<b>Figura 4. 5</b> Influencia de la dureza inicial en el valor de pastosidad de las muestras. ....	17
<b>Figura 4. 6</b> Influencia de la variación de la dureza tras el tratamiento térmico en el valor de pastosidad de las muestras. ....	17
<b>Figura 4. 7</b> Influencia de la variación de la dureza tras el tratamiento térmico a 40 y 50°C en el valor de pastosidad de las muestras. ....	18
<b>Figura 4. 8</b> Influencia del nivel de pastosidad en la variación de dureza de las muestras. ....	18
<b>Figura 4. 9</b> Influencia de la variación de dureza tras el tratamiento térmico a 40 y 50 °C en la dureza inicial de las muestras. ....	19
<b>Figura 4. 10</b> Influencia de la temperatura a la que se realizó el tratamiento térmico de las muestras en la capacidad de relajación instantánea. ....	19
<b>Figura 4. 11</b> Influencia de la temperatura a la que se realizó el calentamiento de las muestras en la capacidad de relajación final. ....	19
<b>Figura 4. 12</b> Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la fase de calentamiento en la capacidad de relajación instantánea de las muestras. ....	20
<b>Figura 4. 13</b> Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la fase de calentamiento en la capacidad de relajación final de las muestras. ....	20
<b>Figura 4. 14</b> Influencia del nivel de pastosidad en la variación de la capacidad de relajación instantánea de las muestras. ....	20
<b>Figura 4. 15</b> Influencia del nivel de pastosidad en la variación de la capacidad de relajación final de las muestras. ....	20
<b>Figura 4. 16</b> Influencia de la pastosidad en la variación de la capacidad de relajación instantánea de las muestras. ....	21
<b>Figura 4. 17</b> Influencia de la pastosidad en la variación de la capacidad de relajación final de las muestras. ....	21
<b>Figura 4. 18</b> Influencia de la variación de dureza en la variación de velocidad ultrasónica medida a 2 °C después del tratamiento térmico. ....	22
<b>Figura 4. 19</b> Influencia de la variación de dureza en la variación de velocidad ultrasónica medida a 20 °C después del tratamiento térmico. ....	23

<b>Figura 4. 20</b> Influencia de la variación de dureza en la velocidad ultrasónica medida a 20 °C después del tratamiento térmico.....	23
<b>Figura 4. 21</b> Influencia de la variación de dureza en la velocidad ultrasónica medida a 2 °C después del tratamiento térmico.....	24
<b>Figura 4. 22</b> Influencia de la variación de dureza en la variación de atenuación medida a 20 °C después del tratamiento térmico.....	24
<b>Figura 4. 23</b> Influencia de la variación de dureza en la atenuación medida a 2 °C después del tratamiento térmico.....	25
<b>Figura 4. 24</b> Influencia de la variación de dureza en la variación de atenuación medida a 2 ° grados después del tratamiento térmico de las muestras.....	25
<b>Figura 4. 25</b> Influencia de la variación de dureza en la atenuación medida a 2 °C después del tratamiento térmico.....	26
<b>Figura 4. 26</b> Influencia de la capacidad de relajación instantánea en la variación de la velocidad ultrasónica medida a 20° C después del tratamiento térmico.....	26
<b>Figura 4. 27</b> Influencia de la capacidad de relajación final en la variación de la velocidad ultrasónica medida a 2 °C después del tratamiento térmico.....	27

## *ÍNDICE DE TABLAS*

---

<b>Tabla 1. 1</b> Propiedades texturales (Bello-Gutiérrez, 2008).....	1
<b>Tabla 1. 2</b> Principales características de los tipos de ultrasonidos.....	4



# 1. INTRODUCCION

## 1.1. TEXTURA DE ALIMENTOS

Las propiedades texturales de un alimento (Tabla 1.1) son un grupo de características físicas que surgen de la estructura y composición del alimento (Sherman, 1970), se detectan principalmente por el tacto, y pueden medirse de manera objetiva mediante la deformación del alimento al aplicar una fuerza mediante funciones de masa, tiempo y distancia (Bourne, 2002).

Propiedades texturales	Definición
Dureza	Se define como la fuerza necesaria para comprimir una sustancia, y expresa la resistencia a la masticación, está relacionada con la fibrosidad muscular y es dependiente de la cantidad de tejido conectivo y nivel de grasa infiltrada en los músculos de la carne.
Cohesión	Se define como el grado en que un material o alimento se puede deformar antes de romperse, y está relacionado con la actividad de agua del alimento.
Adhesividad	Se define como el trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre el alimento y la superficie en la que está en contacto.
Elasticidad	Se define por la velocidad en que un alimento o material vuelve a su forma inicial una vez ha sido deformado por una compresión, siguiendo el mismo comportamiento que la fuerza deformante.
Capacidad de relajación	Se define como la pérdida de elasticidad de un alimento al ser sometido a una compresión.

**Tabla 1. 1 Propiedades texturales (Bello-Gutiérrez, 2008).**

La textura es uno de los principales atributos en el jamón curado, ya que se trata de un parámetro de calidad muy apreciado por los consumidores (Toldrá, 2002).

## 1.2. DEFECTOS DE TEXTURA EN JAMÓN CURADO

Actualmente, la industria tiende a la reducción de la cantidad de sal de acuerdo a los nuevos estándares de calidad de los consumidores y la búsqueda de productos bajos en sal. Esta tendencia afecta a la elaboración del jamón curado, y aparecen frecuentes problemas texturales en el jamón curado como son las texturas blandas y pastosas o los encostrados.

Dos de los problemas de textura más importantes en el jamón curado son las texturas excesivamente blandas (Parolati et al., 1994; Virgili et al., 1995) y la pastosidad (Arnau et al., 2013), defectos que especialmente afectan al músculo *Bíceps femoris (BF)*. Este tipo de texturas no solo representan un problema de calidad, sino que además, inducen otros problemas tecnológicos en el envasado y loncheado, como es la elevada adhesividad entre lonchas. Esto conlleva a un rechazo de la aceptación de la calidad del producto por parte del consumidor.

Los problemas de texturas blandas y pastosas han sido relacionados con la materia prima utilizada (Virgili y Schivazappa, 2002). Por lo que es importante el control de parámetros como el pH, el grado de proteólisis, la cantidad y distribución de la grasa y el contenido de agua para la textura final del jamón curado.

Para disminuir la incidencia de texturas blandas o pastosas se deben evitar pH en la materia prima por debajo de 5.8 o mayores de 6.2, ya que, a pH inferior de 5.8 dan carnes PSE (pálida, blanda y exudativa) ya pH superior a 6.2 dan carnes DFD (oscura, firme y seca). Por lo tanto, el pH adecuado para la elaboración de jamón curado sería entre 5.8-6.2 (Ruiz-Ramírez et al., 2006).

El índice de proteólisis se relaciona con la cantidad de sal añadida. Desmond (2006) observó que la reducción de sal favorecía los defectos de textura de la carne. Y anteriormente, Virgili et al., (1995) demostraron que los defectos de textura están relacionados con una proteólisis anómala. Por tanto, si la cantidad de sal añadida es insuficiente se producirá un incremento de la actividad proteolítica, y este fenómeno presentará una mayor incidencia en el músculo más interno, es decir, en el *BF*, ya que es donde la absorción de sal es más costosa. Así, el índice de proteólisis también se relaciona con la actividad de catepsina B, una proteína con actividad enzimática, ya que se ha observado que un aumento del contenido de esta proteína suele conllevar mayores grados de proteólisis y mayor incidencia de defectos de textura (Virgili et al., 1995).

En referencia al contenido y distribución de grasa, la presencia de grasa intramuscular e intermuscular puede dificultar el salado y secado de las piezas, ya que no permite a la sal penetrar con facilidad, por lo que puede causar texturas defectuosas, como las citadas anteriormente.

Las texturas defectuosas pueden estar condicionadas, además de la materia prima, por variables de proceso, la más importante es la duración del proceso de elaboración, pero no la única, también influye la temperatura de almacenamiento (Arnau et al., 1997) y la humedad en que se lleva a cabo el proceso.

Una disminución del tiempo de proceso de elaboración, repercute en un acortamiento de las fases de reposo y secado, donde es muy importante el tiempo en que se lleva a cabo para que la sal penetre hasta los músculos más internos. Si esto no ocurre, pueden darse este tipo de texturas defectuosas.

Un problema añadido son los procesos oxidativos que pueden alterar la susceptibilidad frente a la proteólisis, inducir la modificación de proteínas o promover la formación de agregados que dificultan la acción de las proteasas (Bello-Gutiérrez, 2008).

Para prevenir problemas texturales se debe elegir una materia prima adecuada y actuar sobre aquellos parámetros que tienen mayor efecto en el desarrollo de texturas defectuosas. Estas soluciones pueden ser la aceleración de las etapas de secado y salado o la disminución de la temperatura media del proceso (Arnau 1997).

### 1.3. CORRECIÓN DE LOS PROBLEMAS TEXTURALES

La industria cárnica está buscando métodos de corrección de los defectos de textura, como podría ser el calentamiento moderado. Morales et al., (2007) estudiaron que el tratamiento térmico a 30 °C durante 168 horas en cubos de jamón curado disminuyó la textura blanda, adhesividad y pastosidad en el músculo *BF*. Estos autores también afirmaron que los cambios en la textura podrían atribuirse a los cambios de los componentes miofibrilares del músculo.

Diferentes autores han encontrado que los cambios estructurales en el músculo empiezan a temperaturas por encima de los 30 °C, por ejemplo, la agregación de cabezas globulares de miosina a temperaturas entre 30 y 50 °C (Tornberg, 2005), el despliegue de las proteínas, y la gelificación de las proteínas que se producen a temperaturas entre 30-32 °C (Xiong et al., 1990).

Morales et al., (2008) demostraron que un envejecimiento de 10 días a 30 °C podría ser útil para reducir los problemas de textura blanda en jamones curados procesados a temperatura de hasta 18 °C durante 12 meses sin afectar el sabor del producto.

Siguiendo esta línea de investigación para buscar métodos de corrección de defectos de textura y aplicando calentamientos moderados de mayor intensidad y menor tiempo, Bellod (2016) estudió el calentamiento en agua (50 °C) a tiempos de 1,3 y 5 horas en cilindros de jamón curado, mientras que Bautista (2016) estudió el calentamiento por aire caliente (40, 45 y 50 °C) también de cilindros de jamón curado. Ambas observaron una mejora de las propiedades texturales, principalmente de la dureza, la rigidez y la capacidad de relajación.

### 1.4. APLICACIONES DE LOS ULTRASONIDOS PARA CARACTERIZAR Y CORREGIR TEXTURAS DEFECTUOSAS

Los ultrasonidos son ondas elásticas con frecuencias que exceden el límite audible por el ser humano ( $\approx 20$  kHz). Al igual que cualquier onda elástica, necesitan un medio sólido, líquido o gaseoso para propagarse. El medio por el cual viajan ha de poseer masa y elasticidad, lo que implica que estas ondas no viajan a través del vacío (Pascual et al., 1997). La fuente de producción de los ultrasonidos suele ser un cuerpo vibrante. El movimiento de dicho cuerpo genera una vibración que comunica a las moléculas del medio, que a su vez transmiten el movimiento de las moléculas adyacentes, y retornan a su posición inicial original (Ortuño, 2014). Las ondas acústicas están definidas por su frecuencia (Hz), velocidad (m/s), longitud de onda (m), presión (N/m<sup>2</sup>), intensidad (W/m<sup>2</sup>), potencia acústica (W), densidad de energía ( J/ m<sup>3</sup>) y atenuación ( neper/m).

Los ultrasonidos se dividen en base a su intensidad y el rango de frecuencia en que se encuentre (Tabla 1.2). Las aplicaciones industriales de los ultrasonidos se diferencian dependiendo de la energía aplicada. La baja energía de los ultrasonidos de señal (UdS), menor de 1 W/ cm<sup>2</sup>, permite conocer las propiedades fisicoquímicas de un alimento. Mientras que, los ultrasonidos de potencia (UdP), su energía superior de 1 W/ cm<sup>2</sup>, se utilizan para modificar propiedades o características de los alimentos, tratándose de una alternativa a los métodos convencionales de procesado.

Tipo de Ultrasonidos	Energía	Frecuencia
UdS	< 1 W/cm <sup>2</sup>	100Hz -1 MHz
UdP	>1 W/ cm <sup>2</sup>	20 kHz-100kHz

*Tabla 1. 2 Principales características de los tipos de ultrasonidos.*

#### 1.4.1. Ultrasonidos de señal

Los UdS se caracterizan por aplicarse a una energía baja, menor de 1 W/cm<sup>2</sup>, y frecuencias entre 100 Hz-1 MHz, debido a que su energía es débil, no daña el alimento, y por tanto, se puede utilizar como análisis no destructivo.

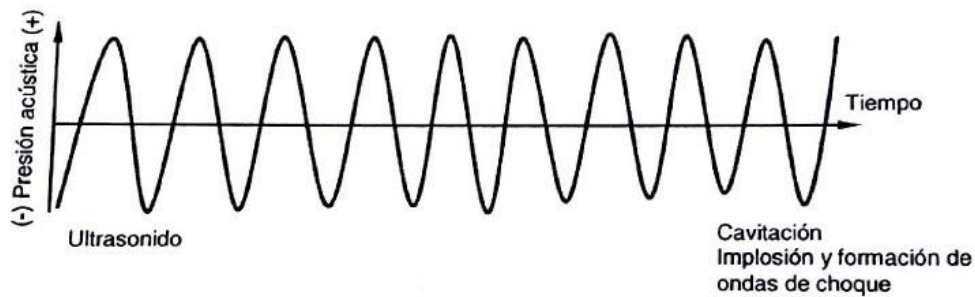
Para realizar la medida ultrasónica se sitúan los transductores sobre la muestra, estos transductores convierten la energía eléctrica en vibración a la frecuencia ultrasónica. Esta medida ultrasónica se puede llevar a cabo por dos métodos; transmisión-recepción o pulso-eco. En el caso del método de transmisión-recepción se utilizan dos transductores situados cada uno en una de las caras opuestas de la muestra, uno de los ellos actúa como emisor y el otro como receptor de la onda ultrasónica (McClements, 1995). Mientras que, en el método pulso-eco, un único transductor actúa como emisor y receptor de la onda ultrasónica (Coupland, 2004).

Se trata de una técnica novedosa en el campo de tecnología de alimentos, que permite conocer la estructura o la composición de un alimento y predecir los posibles defectos de calidad de una forma fiable y rápida. En los últimos años se ha incrementado el número de aplicaciones de esta técnica. En estudios anteriores, los UdS fueron utilizados para determinar firmeza, contenido en azúcar y estado de hidratación en naranja (Jiménez et al., 2012), para monitorizar la alteración de aceite de fritura, determinar el momento de descarte, determinar composición, pureza y calidad (Aouzale et al., 2010).

En productos cárnicos se ha utilizado para estudiar la composición de mezclas cárnicas (Simal et al., 2003), caracterizar la textura de la grasa subcutánea de jamones curados (Niñoles et al., 2008), comprobar la viabilidad de los ultrasonidos para predecir el contenido en sal en muestras de carne de cerdo (De Prados et al., 2016). La utilización de esta técnica en jamón curado es menos común, pero recientemente se ha estudiado la aplicación a la monitorización del proceso de elaboración del jamón curado (Contreras, 2015).

#### 1.4.2. Ultrasonidos de potencia

Los UdP utilizan mucha energía, mayor de 1 W/cm<sup>2</sup> y una frecuencia entre 20 kHz-100 kHz que causan alteraciones e inducen efectos sobre el medio físico, químico o bioquímico de los alimentos. Las ondas acústicas de los ultrasonidos de potencia provocan expansiones y contracciones rápidas y sucesivas (Figura 1.1) dando lugar a lo que se conoce como efecto esponja. Pero también producen otros fenómenos como son la cavitación, el calentamiento y la microagitación en sistemas sólido-líquido, que se definen a continuación:



**Figura 1. 1 Onda ultrasónica.**

- **Cavitación:** compresiones y descompresiones que provoca la onda acústica que inducen a movimientos moleculares en el medio. Los ciclos de compresión ejercen una presión positiva sobre el líquido y las moléculas tienden a aproximarse. En los ciclos de descompresión el efecto es el contrario, se genera una presión negativa que tiende a separar las moléculas. Si la intensidad de los ultrasonidos es suficientemente elevada, las presiones negativas que se producen durante el ciclo de descompresión pueden vencer las fuerzas atractivas de las moléculas del líquido, principalmente la tensión superficial, y entonces se forma una burbuja de colapso (García-Pérez, 2007).
- **Calentamiento:** El colapso de las burbujas libera una cantidad de energía que puede producir diversos efectos químicos y/o mecánicos. En el punto donde se produce la implosión de una burbuja de cavitación, se generan temperaturas altas, alrededor de 4000K, y presiones que pueden alcanzar los 100 MPa. El colapso de las burbujas es muy rápido y potente y puede provocar la ruptura de enlaces químicos, favoreciendo la transferencia de calor en medio líquido y que pueden provocar en el alimento cambios físicos, químicos y bioquímicos (Awad et al., 2012).
- **Microagitación:** turbulencias en las interfases líquido-sólido (García-Pérez, 2007), esto se genera por la interacción de la onda acústica que viaja por el fluido e interacciona con el sólido. Este fenómeno incrementa la transferencia de materia y/o calor, porque disminuye el espesor de la capa límite de difusión.

Los UdP se consideran una tecnología novedosa, que cada vez más se utiliza en estudios, ya que podría ser útil para reducir el tiempo de procesamiento de alimentos, ya que, aceleran los procesos de transferencia de calor y materia, y provocan cambios estructurales que afectan a las propiedades físico-químicas y así, mejorar la calidad de los alimentos durante el procesamiento o elaboración (Mason et al., 2011).

En el procesamiento de carne puede ser interesante esta técnica ya que puede modificar las membranas celulares, favoreciendo el curado, el secado y el ablandamiento de los tejidos (Portilla, 2015). Además, es una técnica respetuosa con el medio ambiente (Alarcón-Rojo et al., 2015) y reduce los tiempos de cocción de la carne y disminuye los costes energéticos (Pohlman et al., 1997). Esta técnica se ha utilizado en carnes para mejorar la ternura y las propiedades tecnológicas de la carne (Jayasooriya et al., 2004), y más recientemente se observó que aumentaba la dureza de la carne (Ozuna et al., 2013). Además, los ultrasonidos pueden acelerar la cocción convencional de los alimentos y mejorar los atributos de textura de la carne (Alarcón-Rojo et al., 2015).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue la caracterización de los cambios texturales ocasionados por un calentamiento moderado del jamón curado. Para conseguir este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la influencia de la temperatura del tratamiento térmico en la intensidad de los cambios texturales provocados por el calentamiento en el jamón curado.
- Determinar la influencia del nivel de pastosidad inicial del jamón en la intensidad de los cambios texturales provocados por el calentamiento en el jamón curado.
- Determinar la influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia (UdP) en los posteriores cambios texturales provocados por el calentamiento en el jamón curado.
- Evaluar la viabilidad de la utilización de los ultrasonidos de señal (UdS) para caracterizar de manera no destructiva las modificaciones de las propiedades texturales provocados por el calentamiento en el jamón curado.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. MATERIA PRIMA Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Se utilizaron jamones curados elaborados en diferentes condiciones, según el tiempo de salado, reposo y secado, para inducir diferentes niveles de pastosidad. Las lonchas de jamón utilizadas fueron proporcionadas por el Institut de Recerca en Tecnologia d'Aliments (IRTA, Monells) envasadas al vacío, y con un espesor de 2 cm.



*Figura 3. 1 Loncha envasada al vacío.*

Los parámetros que se caracterizaron por el IRTA previamente al tratamiento térmico fueron: merma, pH, peso inicial, nivel de pastosidad, contenido de sal y humedad que tenían las piezas de jamón. El contenido de humedad y sal se midió de acuerdo a procedimientos estándar. El contenido en agua se midió por secado a  $103 \pm 2$  °C hasta alcanzar un peso constante (AOAC, 1990), mientras que el contenido en sal se determinó de acuerdo con la ISO 1841-2 usando un valorador potenciómetro 785 DMO Titrino (Metrohm AG).

El nivel de pastosidad se midió sensorialmente por un panel de expertos que puntuaron este parámetro entre 0 (sin pastosidad) y 6 (alta pastosidad). Así, se clasificaron como muestras sin pastosidad las que obtuvieron valores entre 0 a 1, de 1 hasta 2.5 fueron muestras catalogadas de media pastosidad y valores entre 2.6 hasta 6 fueron catalogadas con alta pastosidad.

Previamente a la realización de las experiencias de calentamiento, se marcaron los puntos de medida de los ultrasonidos de señal (UdS) en los principales músculos del jamón (Figura 3.2). Los puntos del 1 al 5 corresponden al músculo *Bíceps Femoris* (BF), del 6 al 10 al músculo *Semitendinosus* (SM) y del 11 al 17 del músculo *Semimembranosus* (ST), centrándose este estudio en el BF. Finalmente, las muestras se mantuvieron en refrigeración a  $4 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  hasta la realización del tratamiento térmico.



*Figura 3. 2 Localización de los puntos de medida de los ultrasonidos de señal.*

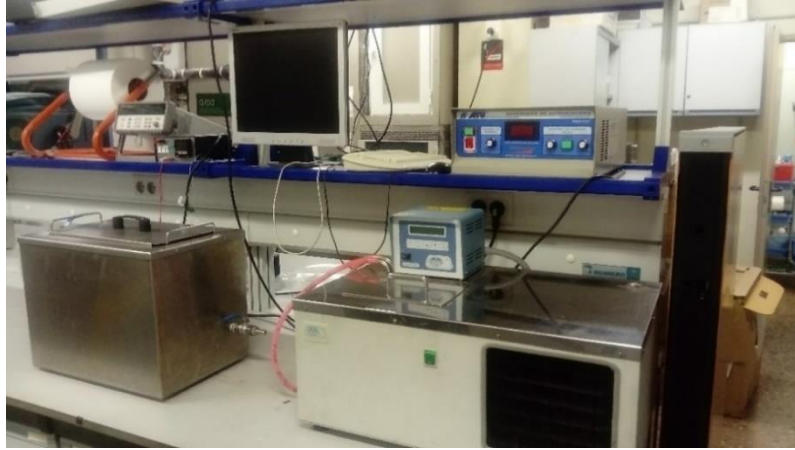
## 3.2. TRATAMIENTO TÉRMICO DEL JAMÓN CURADO

### 3.2.1. Experiencias de calentamiento

Se realizaron tratamientos térmicos a dos temperaturas, 40 y 50 °C, durante 5 horas en medio líquido (agua). El tratamiento térmico se dividió de dos fases: calentamiento y mantenimiento. En la fase de calentamiento se realizaron experiencias con y sin aplicación de ultrasonidos de potencia (UdP). Se determinó que la duración de la fase de calentamiento era la necesaria para alcanzar en el centro del producto una temperatura de 5 °C inferior a la del agua. Así, a partir de los resultados obtenidos por Portilla (2015), se calculó que en las muestras tratadas a 40 °C, el tiempo de calentamiento sería de 7 minutos y 30 segundos, mientras que para las muestras tratadas a 50 °C el tiempo sería de 11 minutos. Portilla (2015) estudió las cinéticas de calentamiento de jamón curado en medio líquido con aplicación de UdP.

La aplicación de UdP durante la fase de calentamiento se llevó a cabo en un baño de ultrasonidos de acero inoxidable de 12 L (AT615LEO, ATU) (Figura 3.3), donde se suministró 600 W de potencia a los transductores ultrasónicos mediante un generador de ultrasonidos (GAT600/20 kHz, ATU). El control de temperatura en el baño se realizó recirculando el agua del baño a través de un intercambiador de calor y utilizando como fluido frío agua-glicolada (50%) a -10 °C proveniente de un equipo de refrigeración (Frigiterm, J.P.Selecta). La recirculación se realizó mediante una bomba peristáltica (302S, Watson-Marlow) conectada a un controlador de procesos (E5CK, Omron) para realizar un control ON-OFF.





**Figura 3. 3 Montaje experimental del baño de ultrasonidos.**

Tras la fase de calentamiento las muestras se pasaron a la fase de mantenimiento donde permanecieron en un baño convencional termostataado (Figura 3.4) hasta finalizar las 5 horas del tratamiento térmico. Para incrementar la turbulencia del medio se utilizó un agitador de hélices (D91126, Heidolph Instruments) a 360 r.p.m. En las experiencias donde no se le aplicaron ultrasonidos, tanto la fase de calentamiento como de mantenimiento de realizó en el baño convencional.



**Figura 3. 4 Baño con control de temperatura y agitación mecánica.**

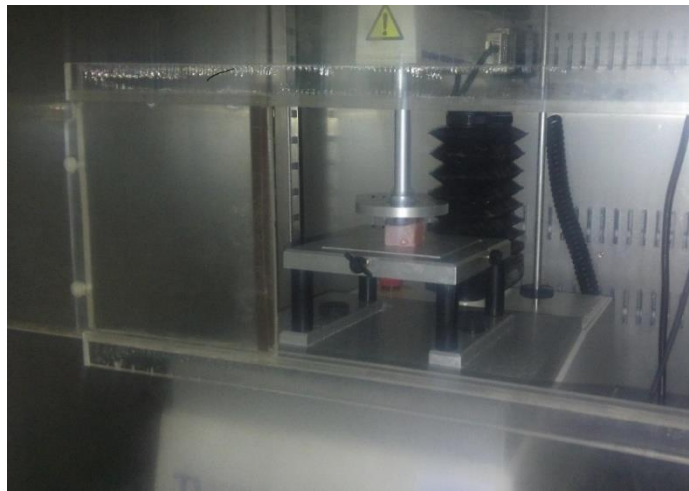
### 3.3. ANÁLISIS DE TEXTURA

El análisis de la textura se realizó mediante análisis instrumental con un texturómetro universal, también se realizó un análisis con UdS como alternativa al método instrumental, ya que se trata de un análisis no destructivo para predecir cambios en propiedades texturales del jamón.

### 3.3.1. Análisis instrumental

La preparación de las muestras para el análisis instrumental de la textura consistió en la obtención de paralelepípedos de 2 x 2 x 1,5 cm del músculo *BF*.

Se realizó un test de compresión-relajación con un texturómetro (TAXT2i, Aname) (Figura 3.7) en una cámara frigorífica a  $4\pm 2$  °C, mediante una sonda cilíndrica de 75 mm de diámetro. Este test consiste en la deformación de la muestra, en este caso, hasta un 25 % a una velocidad de compresión de 1 mm/s, y manteniendo la posición durante 90 segundos para estudiar la relajación de la muestra. El texturómetro se encontraba conectado a un ordenador y a partir del software "Exponent Lite" se visualizó y registró el perfil fuerza-tiempo.



**Figura 3. 5 Texturómetro universal utilizado para el análisis.**

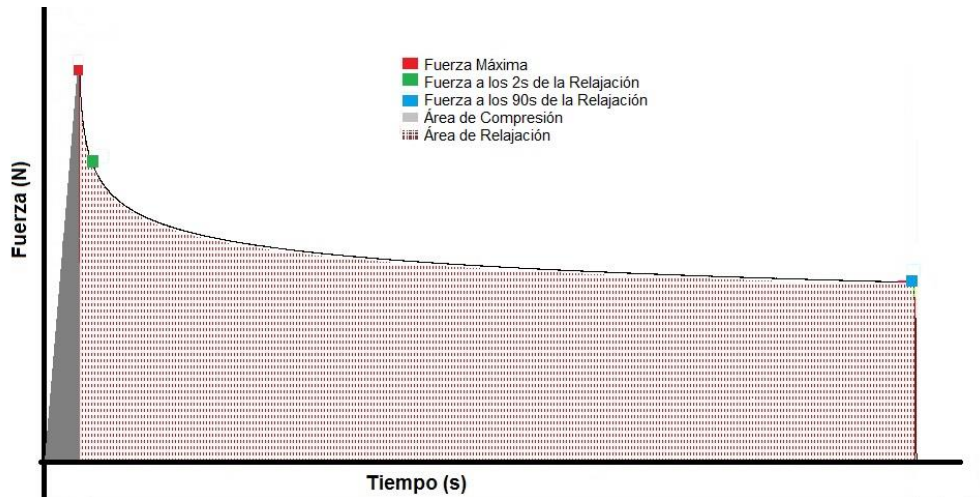
A partir del perfil fuerza-tiempo (Figura 3.8) se obtuvieron los siguientes parámetros texturales:

- La fuerza máxima ( $F_{m\acute{a}x}$ ) registrada durante la fase de compresión y que es un indicador de la dureza de la muestra.
- La capacidad de relajación instantánea ( $Y_2$ ), es la relación entre la fuerza máxima de compresión y fuerza a los 2 s de comenzar la fase de relajación. Se calculó utilizando la ecuación 1:

$$Y_2 = \frac{F_{m\acute{a}x} - F_{2s}}{F_{m\acute{a}x}} \quad (Ec. 1)$$

- La capacidad de relajación final ( $Y_{90}$ ), relación entre la fuerza máxima de compresión y la fase de relajación a los 90 segundos. Se calculó mediante la ecuación 2:

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

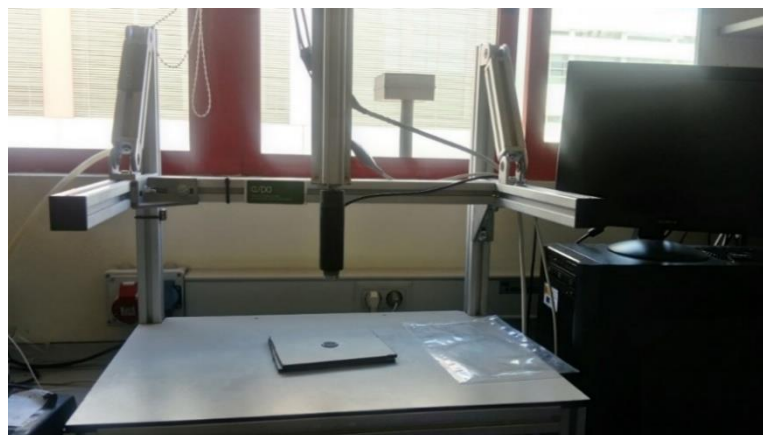


**Figura 3. 6 Perfil fuerza-tiempo en un análisis de compresión-relajación.**

### 3.3.2. Ultrasonidos de señal

Las medidas de UdS se realizaron antes y después del tratamiento térmico y previamente a las medidas instrumentales de textura. En ambos casos, las medidas se realizaron a dos temperaturas diferentes 2 y 20 °C. Antes de la realización del tratamiento térmico se realizaron las medidas de las muestras a 20 °C, se dejaron atemperar en refrigeración a 2 °C durante 24 horas, y transcurrido este tiempo se midieron a 2 °C. Después del tratamiento térmico, las muestras se dejaron 24 h en refrigeración hasta la realización de las medidas a 2 °C, posteriormente, se dejaron atemperar a 20 °C durante 24 horas, y se midieron.

La técnica de medida de UdS fue la de transmisión-recepción (Figura 3.5). En esta técnica, se utilizan dos transductores perfectamente alineados y colocados cada uno en una de las caras opuestas del material a estudiar, uno de los transductores emite la señal ultrasónica mientras que en el otro transductor recibe la energía a través del material.



**Figura 3. 7 Equipo de ultrasonidos de señal.**

Los componentes del sistema de ultrasonidos son los siguientes:

- Brazo deslizante o cilindro de posicionamiento (LEY 16RB, SMC), se utiliza para posicionar el transductor emisor y medir la altura de la muestra. Es un dispositivo eléctrico formado por una carcasa, un vástago y un motor de giro que puede ejercer una fuerza máxima de empuje de 7.54 kg. El vástago (de 300 mm de carrera) se encuentra en el interior de la carcasa, éste es accionado por el motor paso a paso. La velocidad máxima de movimiento del cilindro es de 250 mm/s, y el paso del husillo, que es la distancia entre dos ranuras consecutivas del tornillo del cilindro, es de 5 mm.
- Transductores (A314S, Panametrics), son dispositivos que reciben energía, en nuestro caso, se utilizaron dos dispuestos en caras opuestas de banda estrecha de 1 MHz.
- Generador-receptor (5058PR, Olympus), es el elemento que genera y recoge los impulsos eléctricos. Los principales parámetros de configuración son: amplitud del pulso de excitación, frecuencia de repetición y ganancia de amplificación.
- Osciloscopio (5133, National Instruments) recoge los principales parámetros de configuración que son; trigger (señal de disparo), velocidad de adquisición (máxima 100 Mmuestras/s), resolución (8 bits) y número de puntos almacenados (25.000). Se encuentra conectado con el ordenador a través la interfaz USB.
- Ordenador es el elemento que ejecuta el programa de adquisición y tratamiento de datos.
- Controlador (modelo LECP6N, SMC), es el elemento del sistema de ultrasonidos que controla el movimiento del brazo deslizante.

A partir de una señal ultrasónica (Figura 3.6) se puede conocer la velocidad ultrasónica y el coeficiente de atenuación. La velocidad ultrasónica se determina a partir del tiempo de vuelo que es el tiempo que tarda la onda ultrasónica en atravesar la muestra que coincide con el tiempo entre el trigger y el primer frente de llegada de la onda (Figura 3.6). Finalmente, la velocidad se calcula de acuerdo a la Ecuación 3:

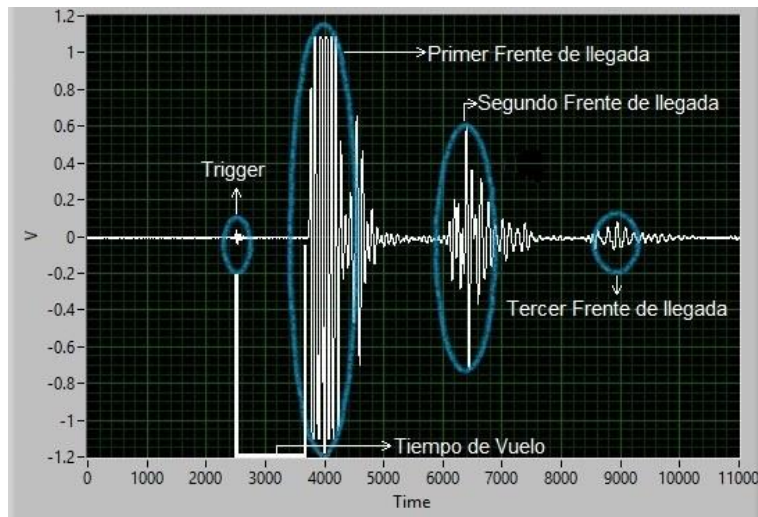
$$v = \frac{e}{T_v} \quad (Ec. 3)$$

Donde:  $e$  es el espesor de la muestra y  $T_v$  es el tiempo de vuelo.

La atenuación es la energía que se pierde cuando la onda atraviesa la muestra. Se calcula por una comparación de la amplitud, expresada en voltaje pico-pico, entre el segundo y tercer frente de llegada de onda. La Ecuación 4 muestra como se realiza el cálculo del coeficiente de atenuación:

$$\alpha = \frac{1}{e} \ln \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \quad (Ec. 4)$$

Donde:  $A_1$  y  $A_2$  son las amplitudes de los picos expresadas en voltaje pico-pico del segundo y tercer frente de llegada de la muestra y  $e$  es el espesor de la muestra.



**Figura 3. 8 Señal ultrasónica.**

### 3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

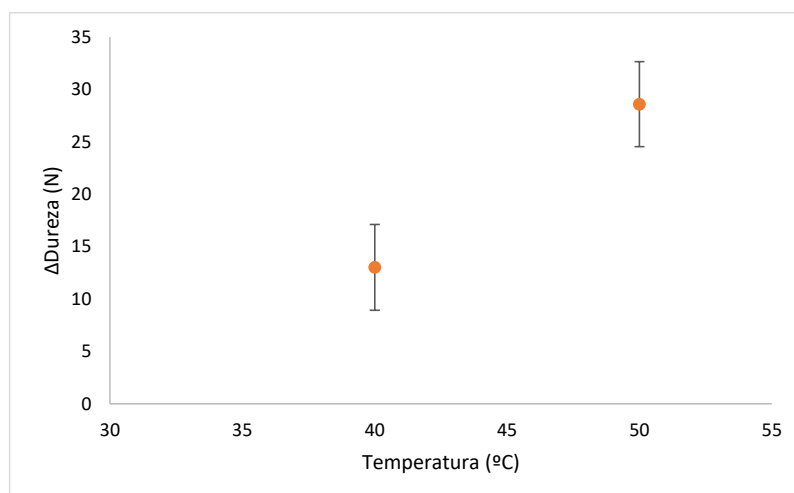
Con el software estadístico “Statgraphics Centurión XVI” se realizaron análisis de varianza simples y multifactoriales (ANOVAs) para determinar el efecto ( $p < 0,05$ ) de la temperatura de tratamiento (40 °C y 50 °C), el nivel de pastosidad y la aplicación de UdP en la variación de los parámetros texturales durante el calentamiento. También, y mediante técnicas de regresión, se identificaron la relación entre la variación de los parámetros texturales y de UdS tras el calentamiento.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. EFECTO DEL TRATAMIENTO EN LA DUREZA

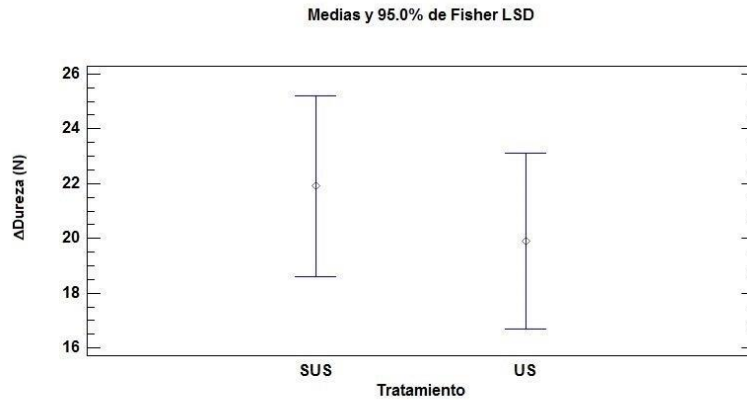
#### 4.1.1. Influencia de la temperatura y la aplicación de ultrasonidos

En la Figura 4.1 se muestran los cambios en la dureza de las muestras tras el calentamiento. Se observa que todas las variaciones de dureza después de realizar el tratamiento térmico fueron positivas. Por tanto, la dureza de las muestras calentadas aumentó en todos los casos independientemente de la temperatura de tratamiento aplicada. Sin embargo, las muestras calentadas a 50 °C experimentaron una variación significativamente ( $p < 0.05$ ) mayor de su dureza. Así, la media de la variación de dureza de las muestras calentadas a 40 °C fue de 13.0 N, y en las muestras calentadas a 50 °C fue de 28.5 N. Estos resultados coinciden con otros estudios anteriores, como los realizados por Morales et al., (2008) quienes observaron que en cubos de jamón curado la aplicación de un tratamiento de 30 °C durante 168 horas disminuyó la pastosidad y adhesividad de las muestras, aumentando la dureza en el músculo *Biceps Femoris* (BF). También, Gou et al., (2008) observaron un aumento de la dureza de piezas de jamón enteras que fueron sometidos a un proceso de estufaje a 30 °C durante 10 días. En definitiva, el tratamiento fue positivo, ya que mejoró la dureza de todas las muestras.



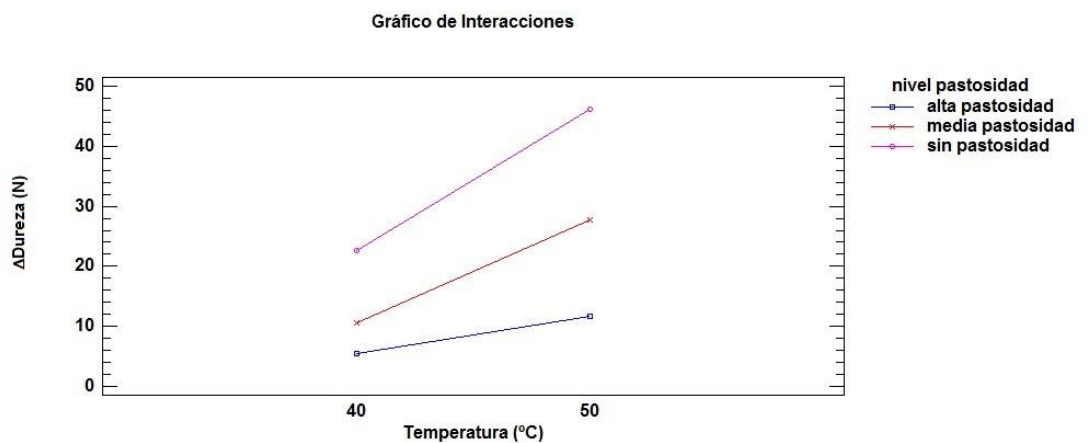
**Figura 4. 1 Influencia de la temperatura de tratamiento térmico en la variación de dureza de las muestras.**

Se realizó un análisis estadístico para determinar el impacto de la utilización de los ultrasonidos de potencia (UdP) en la variación de dureza que experimentaron las muestras. Como se observa en la Figura 4.2 la influencia de los UdP resultó ser no significativa ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto, no hubo influencia entre la utilización o no de UdP en la dureza de las muestras. Esto podría ser debido a que el tiempo de calentamiento con ultrasonidos fue muy breve, entre 7 y 11 minutos dependiendo de la temperatura de calentamiento. Por tanto, esta variable del proceso no puede relacionarse con una mejora en la dureza de las muestras.



**Figura 4. 2** Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la fase de calentamiento en la variación de dureza de las muestras.

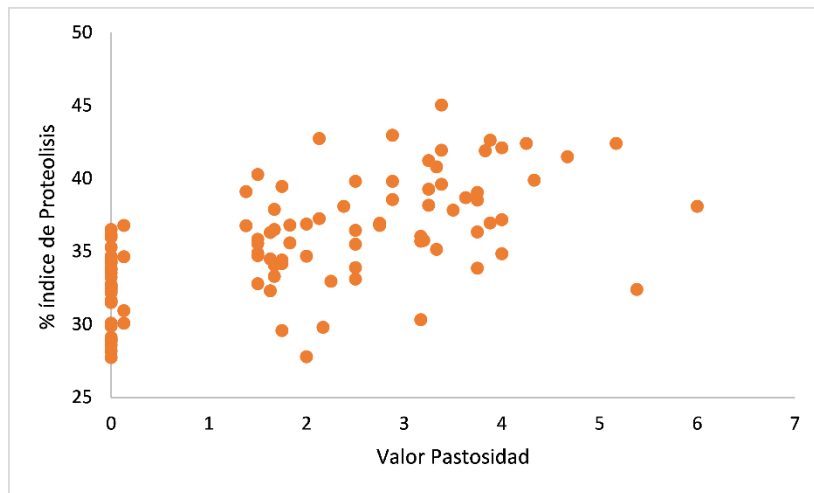
Independientemente del nivel de pastosidad de las muestras, se observa que en la Figura 4.3 las variaciones de dureza fueron positivas a ambas temperaturas a las que se realizó el tratamiento térmico. Debido a que la dureza aumentó en todas las muestras, esto se puede relacionar con una buena efectividad del tratamiento térmico. También se puede observar como dependiendo del nivel de pastosidad, las muestras tuvieron variaciones de dureza distintas. Siendo las muestras sin defecto de pastosidad las que sufrieron mayores cambios de dureza. Así, en el apartado siguiente se analizará en detalle como el grado de pastosidad influye en los cambios de las propiedades de textura, como la dureza.



**Figura 4. 3** Influencia del nivel de pastosidad en la temperatura de tratamiento térmico de las muestras en la variación de dureza.

#### 4.1.2. Influencia de la pastosidad

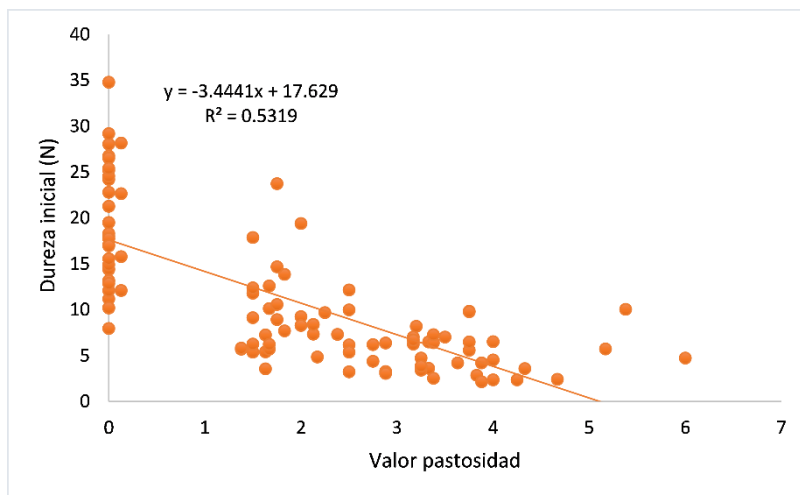
La Figura 4.4 muestra la relación entre el índice de proteólisis y la pastosidad de las muestras. El índice de proteólisis osciló entre 25 y 45% para las muestras con diferente grado de pastosidad. En general, se observa una tendencia a aumentar el índice de proteólisis cuando la pastosidad es más alta, pero hay una elevada variabilidad de los datos. Así, muestras sin pastosidad presentaron índices de proteólisis similares al de muestras pastosas. Esto puede ser debido a que el índice de proteólisis es una variable que se relaciona con la pastosidad, pero existen otras variables y mecanismos que bioquímicamente pueden afectar a la pastosidad del jamón curado, viéndose afectada por muchas variables. Por ejemplo, el pH de la materia prima (Ruiz-Ramírez et al., 2006), el contenido en agua (Virgili et al., 1995), la cantidad de sal o la temperatura a que se realice el proceso (Arnau et al., 1997). Por dichas razones, la pastosidad es una variable difícil de caracterizar.



**Figura 4. 4 Relación entre el índice de proteólisis y la pastosidad de las muestras.**

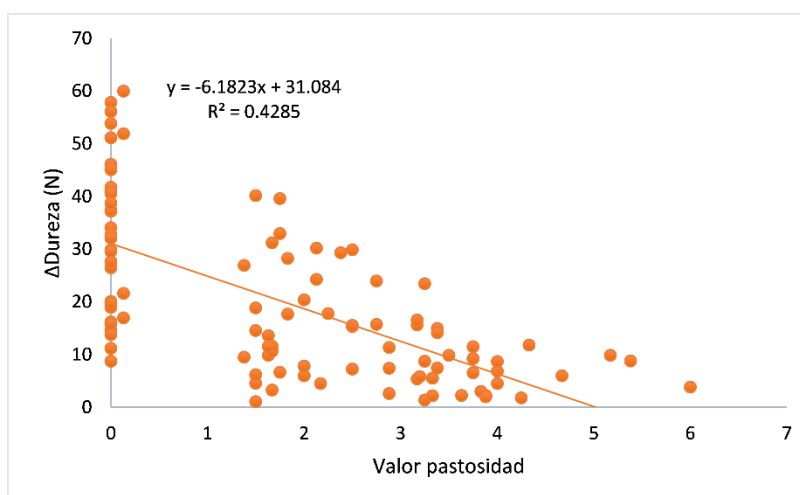
Otro de los parámetros que podría relacionarse de manera adecuada con la pastosidad es la dureza (inicial) de las muestras. Es esperado que las muestras más pastosas sean más blandas, es decir, que su dureza inicial sea baja, tal y como se muestra en la Figura 4.5. Pero de nuevo se muestra una elevada variabilidad en la relación entre estas variables, así aparecen muestras sin pastosidad con durezas muy bajas y cercanas a las muestras muy pastosas.



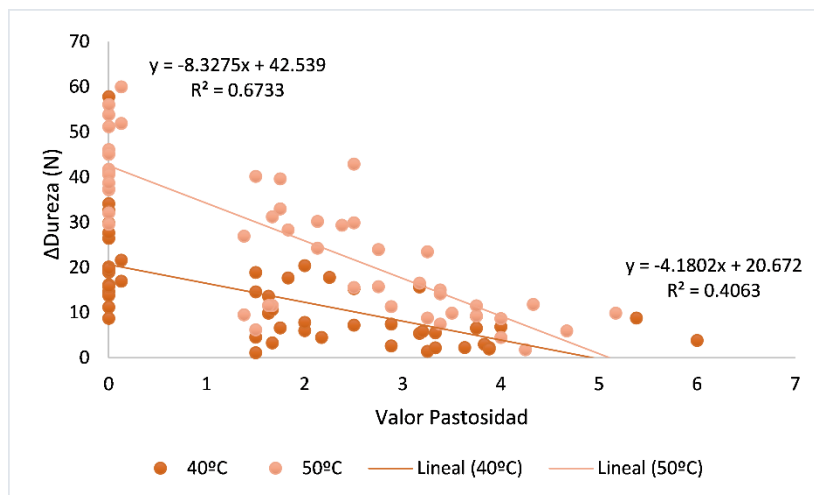


**Figura 4. 5 Influencia de la dureza inicial en el valor de pastosidad de las muestras.**

En la Figura 4.6, se analiza la influencia de la pastosidad en la variación de dureza después del calentamiento. Se puede observar que ambas variables mostraron una relación lineal significativa ( $p < 0.05$ ), aunque con una elevada variabilidad (coeficiente de regresión: 0.428). La relación entre estas variables mejora si separa por un lado las muestras tratadas a 40 °C de las de 50 °C, tal y como se observa en la Figura 4.7. El coeficiente de regresión de la relación lineal aumenta en las muestras tratadas a 50 °C (0.6733), mientras que en las muestras tratadas a 40 °C se reduce ligeramente (0.4063). La causa de la elevada dispersión de los datos puede estar relacionada con que las muestras sin defecto han tenido una respuesta muy diversa al tratamiento, tal y como se observa en las Figuras 4.6 y 4.7. Esto puede ser debido a que aunque fueron catalogadas como muestras sin pastosidad por el panel de catadores, existían diferencias iniciales en su estructura.

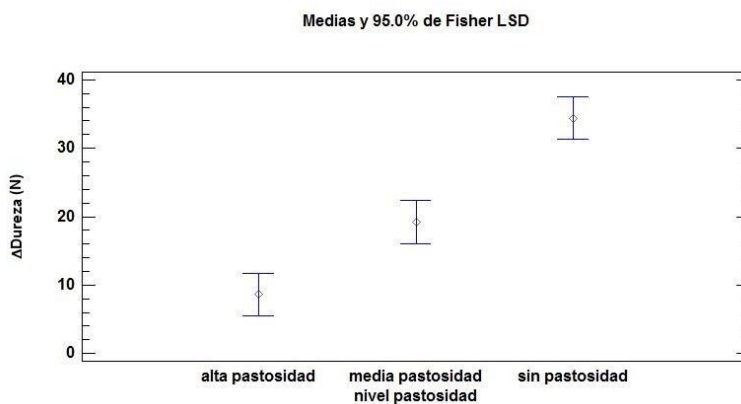


**Figura 4. 6 Influencia de la variación de la dureza tras el tratamiento térmico en el valor de pastosidad de las muestras.**



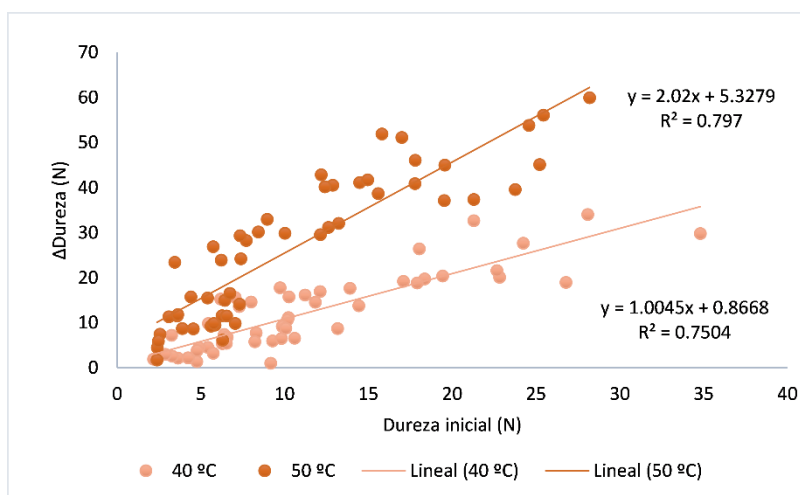
**Figura 4. 7** Influencia de la variación de la dureza tras el tratamiento térmico a 40 y 50°C en el valor de pastosidad de las muestras.

La influencia de la pastosidad puede ser analizada como una variable categórica con tres niveles de pastosidad como se observa en la Figura 4.8. Se observa que las muestras sin pastosidad fueron las que mayores cambios de dureza experimentaron, y estos cambios fueron disminuyendo conforme aumentaba la pastosidad de las muestras, siendo las muestras con una alta pastosidad las que menor variación de dureza experimentaron tras el tratamiento térmico.



**Figura 4. 8** Influencia del nivel de pastosidad en la variación de dureza de las muestras.

En vistas a explicar el diferente comportamiento de las muestras tras el tratamiento térmico, en la Figura 4.9, se muestra la relación entre variación de dureza y la dureza inicial de las muestras tras el tratamiento térmico a 40 y 50 °C. Así, se observa que existe una relación lineal significativa ( $p < 0.05$ ) con elevados coeficientes de regresión (0.797 para 50 °C y 0.7504 para 40 °C) entre ambas variables y que las muestras más duras inicialmente son las que sufren los mayores cambios de dureza. También se puede apreciar como el efecto del tratamiento térmico a 40 y 50 °C es diferente, ya que las muestras calentadas a 50 °C sufrieron mayores cambios que las calentaron a 40 °C.

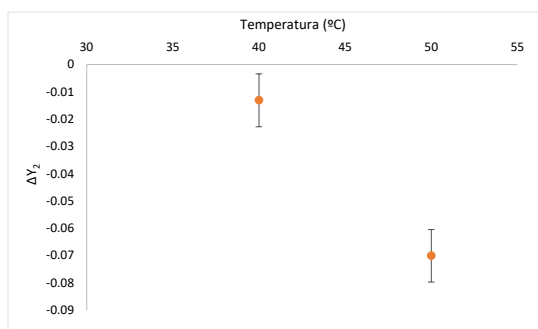


**Figura 4. 9** Influencia de la variación de dureza tras el tratamiento térmico a 40 y 50 °C en la dureza inicial de las muestras.

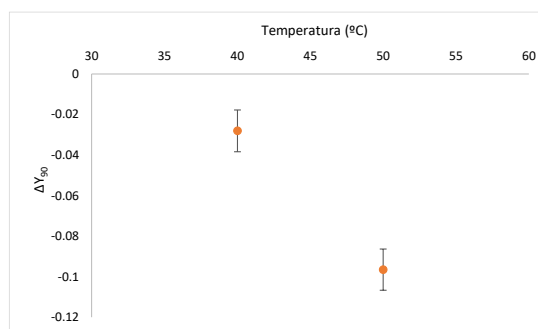
## 4.2. EFECTO DEL TRATAMIENTO EN LA CAPACIDAD DE RELAJACIÓN

### 4.2.1. Influencia de la temperatura y aplicación de ultrasonidos

La capacidad de relajación es la propiedad textural que se relaciona con la elasticidad, es decir, la reducción de la capacidad de relajación conlleva una mejora de la elasticidad de las muestras. En las Figuras 4.10 y 4.11 se observa una disminución de la capacidad de relajación instantánea ( $\Delta Y_2$ ) y de la capacidad de relajación final ( $\Delta Y_{90}$ ) tras el calentamiento a ambas temperaturas (40 y 50 °C). Siendo el tratamiento térmico a 50 °C el que provocó los mayores cambios en la capacidad de relajación. Bautista (2016) observó que la  $\Delta Y_{90}$  de las muestras de jamón curado disminuyó cuando se le aplicó un tratamiento térmico por aire caliente de 50 °C.

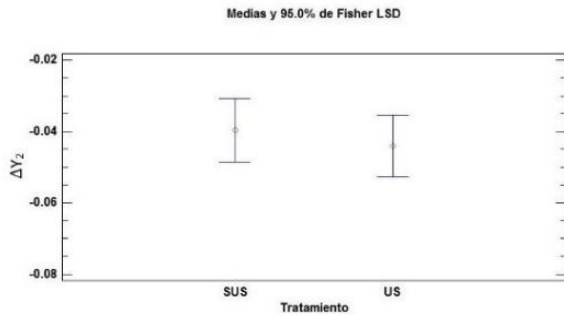


**Figura 4. 10** Influencia de la temperatura a la que se realizó el tratamiento térmico de las muestras en la capacidad de relajación instantánea.

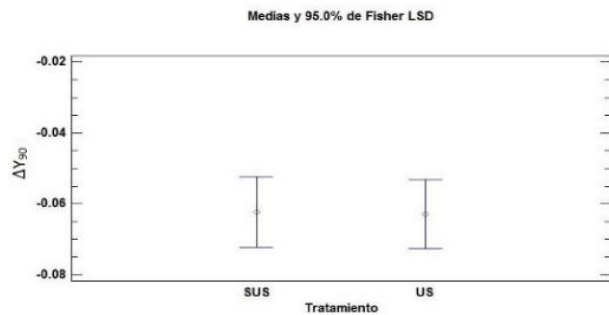


**Figura 4. 11** Influencia de la temperatura a la que se realizó el calentamiento de las muestras en la capacidad de relajación final.

Como en el caso del análisis de dureza de las muestras, se analizó la influencia de la utilización de UdP en  $\Delta Y_2$  y  $\Delta Y_{90}$ . Como se observa en las Figuras 4.12 y 4.13, el tratamiento con ultrasonidos resultó ser no significativo ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto, no hubo influencia entre la utilización o no de ultrasonidos de potencia en la capacidad de relajación de las muestras ya que en todos los casos la magnitud del descenso de  $\Delta Y_2$  y  $\Delta Y_{90}$  fue similar.



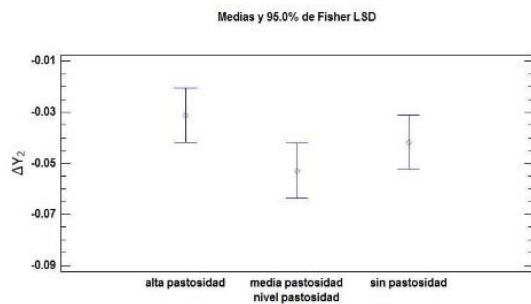
**Figura 4. 12** Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la fase de calentamiento en la capacidad de relajación instantánea de las muestras.



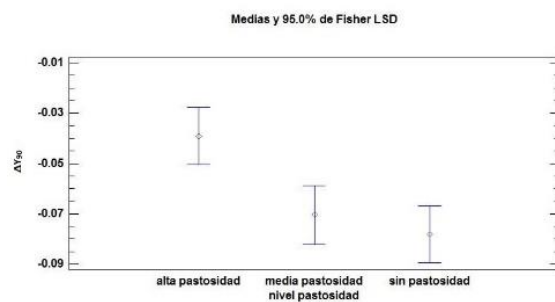
**Figura 4. 13** Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la fase de calentamiento en la capacidad de relajación final de las muestras.

#### 4.2.2. Influencia de la pastosidad

Como previamente se ha comentado la pastosidad es difícil de caracterizar debido a la elevada variabilidad que tiene su relación con variables instrumentales (como la dureza) o bioquímicas (como el índice de proteólisis). En la Figura 4.15 no se observan diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre la  $\Delta Y_2$  y el nivel de pastosidad inicial de las muestras. Sin embargo, en la Figura 4.16 sí se observan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la capacidad de relajación final  $\Delta Y_{90}$  y el nivel de pastosidad. Esto puede ser debido a que  $\Delta Y_2$  mide la respuesta elástica de la muestra instantánea tras 2 segundos en la fase de relajación, un tiempo que puede resultar insuficiente para la respuesta de la muestra. Mientras que en  $\Delta Y_{90}$ , y tras 90 segundos en la fase de relajación, la muestra ha tenido más tiempo para responder y por tanto, es más factible que puedan observarse diferencias entre las muestras. El tratamiento mejora la elasticidad de las muestras independientemente del grado de pastosidad, incluso en las muestras de elevada pastosidad. Esta mejora es interesante y positiva de cara a su aplicación industrial.



**Figura 4. 14** Influencia del nivel de pastosidad en la variación de la capacidad de relajación instantánea de las muestras.

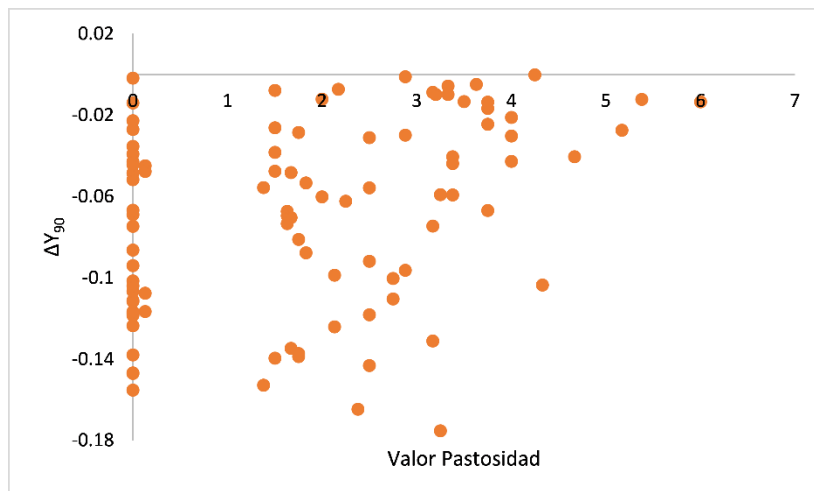


**Figura 4. 15** Influencia del nivel de pastosidad en la variación de la capacidad de relajación final de las muestras

En las Figuras 4.16 y 4.17 se muestra de una forma cuantitativa la relación entre la variación de la capacidad de relajación y el valor de la pastosidad. No se aprecia una tendencia entre estas variables debido a la elevada variabilidad y tampoco cuando las variaciones de capacidad se relacionan con la dureza inicial de las muestras. Este resultado es muy interesante ya que indica que todas las muestras han mejorado su elasticidad y que la magnitud de esta mejora es relativamente independiente de sus características iniciales.



**Figura 4. 16 Influencia de la pastosidad en la variación de la capacidad de relajación instantánea de las muestras.**



**Figura 4. 17 Influencia de la pastosidad en la variación de la capacidad de relajación final de las muestras.**

### 4.3. CARACTERIZACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE EL USO DE ULTRASONIDOS DE SEÑAL

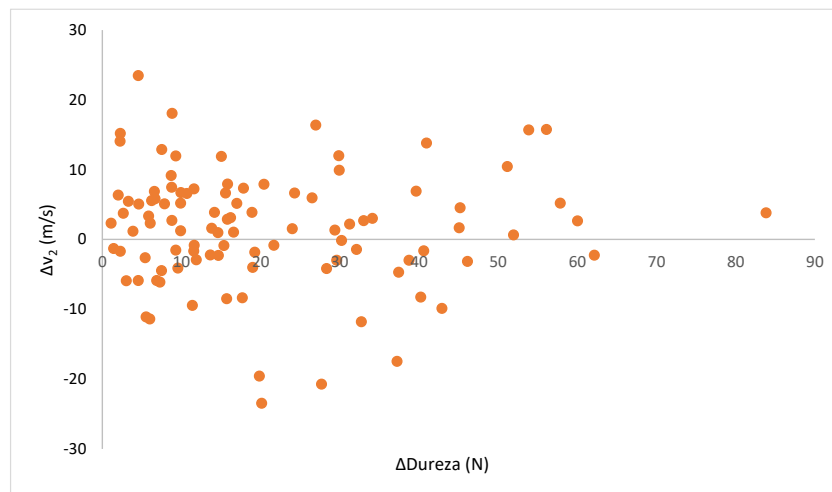
Para estudiar si la utilización de ultrasonidos de señal sería un método válido para cuantificar cambios texturales se relacionaron los parámetros texturales como la variación de dureza y la capacidad de relajación con los cambios en los parámetros ultrasónicos, como la velocidad ultrasónica y la atenuación que fueron medidas a dos temperaturas (2 y 20 °C).

### 4.3.1. Caracterización de la variación de dureza

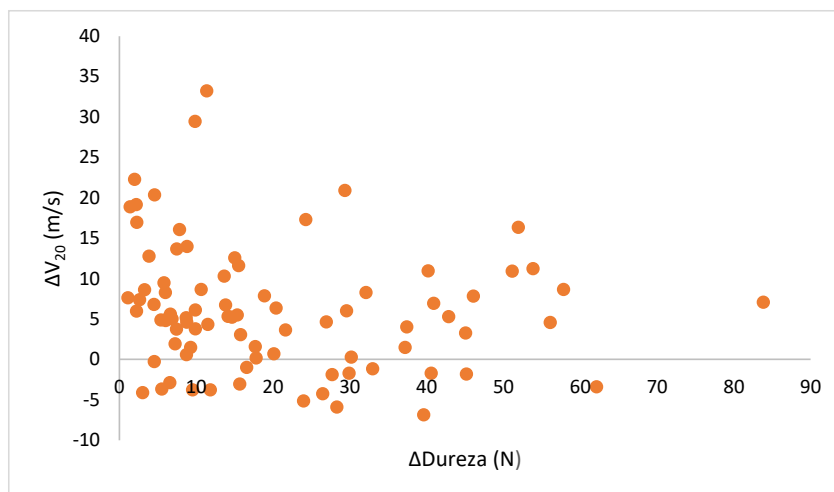
La velocidad ultrasónica se puede utilizar para evaluar las propiedades texturales, basándose en su relación con el módulo de elasticidad o de Young (E) y la densidad ( $\rho$ ), como se muestra en la ecuación 5:

$$v \left( \frac{m}{s} \right) = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (Ec. 5)$$

Teóricamente, el incremento de la dureza de las muestras debería conllevar a una variación positiva de la velocidad ultrasónica. Sin embargo, en las Figuras 4.18 y 4.19 no se observa relación entre la variación de dureza tras el tratamiento térmico y la variación de velocidad ultrasónica. Además, en algunos casos las variaciones son positivas y en otras negativas. Esto podría explicarse considerando que el calentamiento provoca cambios estructurales en el producto que no influyen en la textura instrumental pero en sí en sus propiedades ultrasónicas. Un ejemplo podría ser los cambios que sufre la fracción grasa, que se funde durante el calentamiento y que su posterior cristalización no es instantánea y sigue una cinética controlada por la temperatura y las características de los ácidos grasos (Santacatalina et al., 2011). Así, el tiempo que se dejó atemperar las muestras a 2 °C tras el tratamiento térmico (24 h) para la realización de las medidas ultrasónicas podría no ser suficiente y parte de la grasa intramuscular podría estar en forma líquida (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). Además, este efecto es variable para las diferentes muestras dependiendo de su contenido en grasa lo que explica la variabilidad observada en las Figuras 4.18 y 4.19.

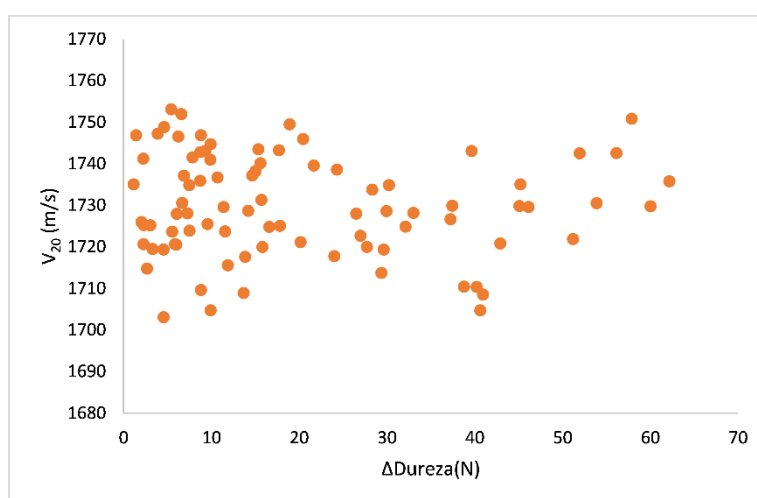


**Figura 4. 18 Influencia de la variación de dureza en la variación de velocidad ultrasónica medida a 2 °C después del tratamiento térmico.**

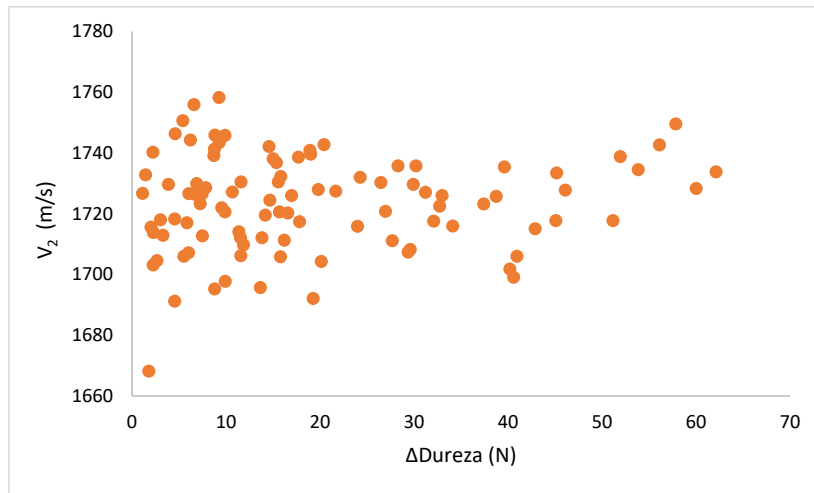


**Figura 4. 19** Influencia de la variación de dureza en la variación de velocidad ultrasónica medida a 20 °C después del tratamiento térmico.

Si se utiliza únicamente la velocidad ultrasónica medida tras el calentamiento para su correlación con la variación de dureza, se observa que tanto para las medidas a 2 como a 20°C, (Figuras 4.20 y 4.21) no existe ninguna tendencia distribuyéndose los valores de velocidad entre 1700 y 1755 m/s que son valores normales para jamón curado. Así, Cervera (2015) midió la velocidad ultrasónica en cilindros de jamón curado a temperaturas de 2, 7, 15 y 22°C y con diferentes tipos de transductores. La velocidad ultrasónica de las muestras osciló entre 1770 y 1830 m/s. También, Bellod (2016) realizó medidas de velocidad ultrasónicas en cilindros de jamón curado a 2 °C y el rango de velocidad ultrasónica estuvo comprendido entre 1860-1940 m/s. Como se observa las velocidades son similares, y las variaciones que existen podrían ser debidas al procedimiento experimental o la temperatura a la que se realizó la medida, y por tanto, de la cantidad o el estado físico en que se encuentre la fracción grasa, como se explica previamente.

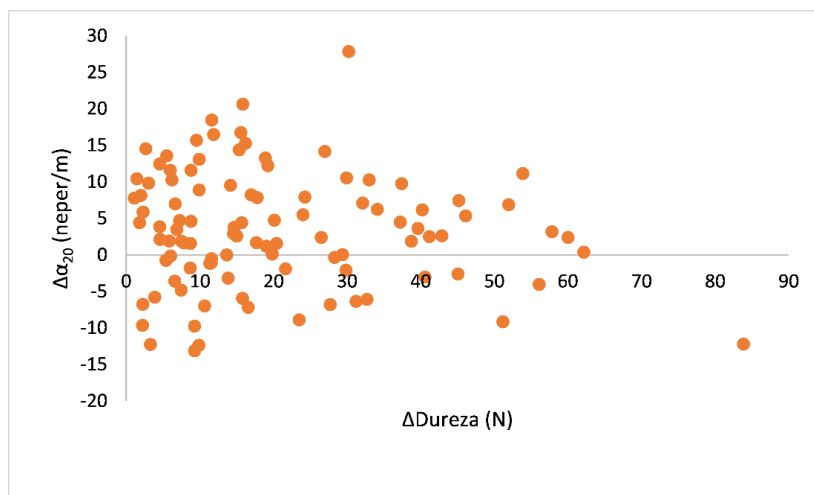


**Figura 4. 20** Influencia de la variación de dureza en la velocidad ultrasónica medida a 20 °C después del tratamiento térmico.



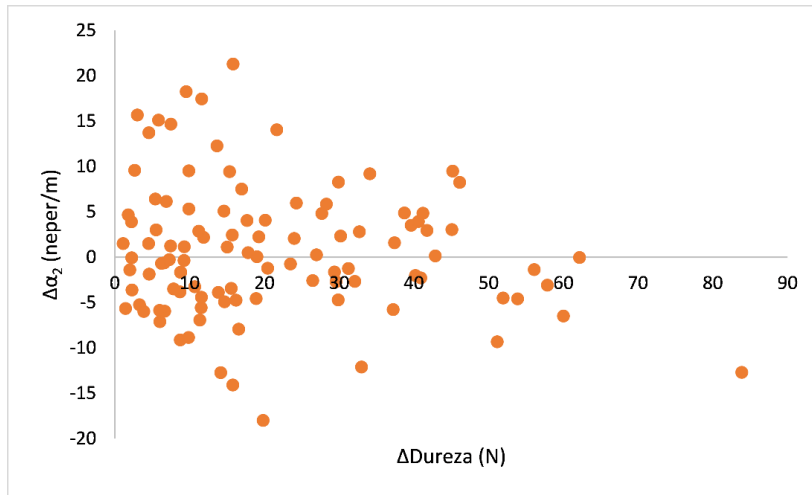
**Figura 4. 21 Influencia de la variación de dureza en la velocidad ultrasónica medida a 2 °C después del tratamiento térmico.**

Si se relaciona la variación de la atenuación medida tanto a 2 como a 20 °C con la variación de dureza tras el calentamiento (Figuras 4.22 y 4.23), se observan tanto variaciones negativas como positivas. Es decir, para algunas muestras el calentamiento disminuye la absorción de energía por la muestra y para otras, lo aumenta. En las Figuras 4.22 y 4.23, se observa que no existe ninguna relación entre la variación de dureza y la de atenuación, por lo tanto, al igual que en el caso de la velocidad ultrasónica, esta variable no es adecuada para explicar los cambios de dureza de las muestras ocasionados por el calentamiento.



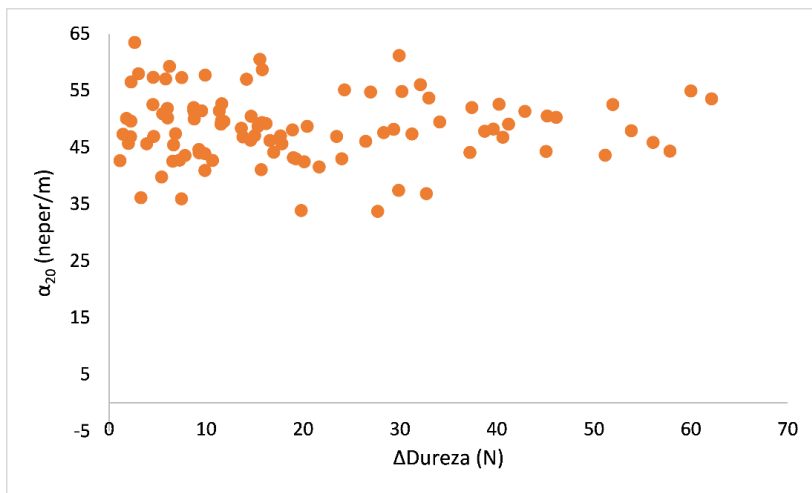
**Figura 4. 22 Influencia de la variación de dureza en la variación de atenuación medida a 20 °C después del tratamiento térmico.**



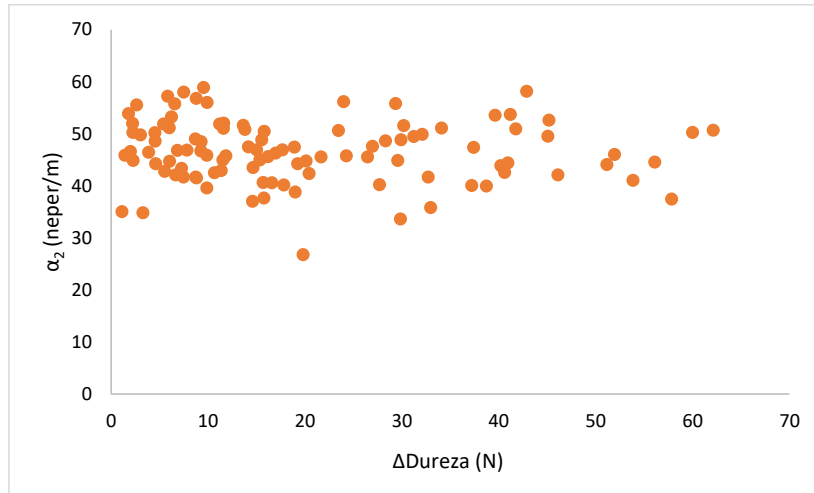


**Figura 4. 23** Influencia de la variación de dureza en la atenuación medida a 2 °C después del tratamiento térmico.

Si se estudia la atenuación medida a 2 y 20 °C en relación a la variación de dureza tras el calentamiento de las muestras, se observa que en las Figuras 4.20 y 4.21 no existe ninguna tendencia, ya que se distribuyen los valores entre un rango de atenuación comprendido entre 35 y 65 neper/m. No se han encontrado estudios que relacionen de esta manera la variación de la atenuación con la variación de dureza después de un tratamiento térmico.



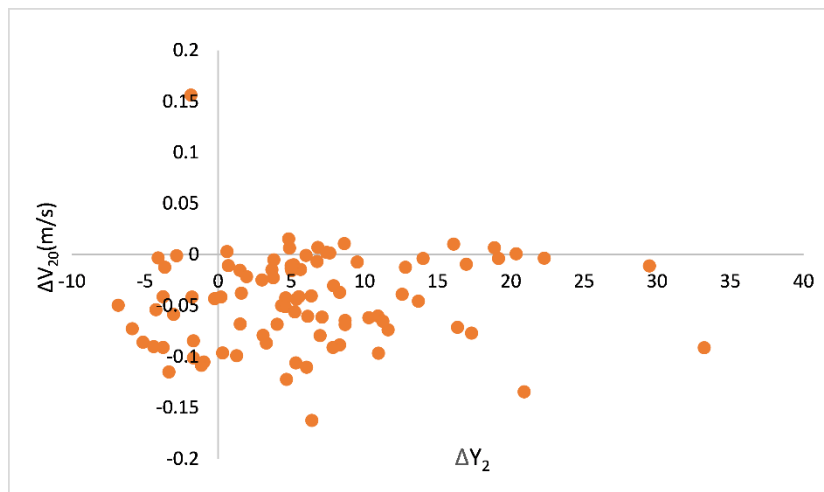
**Figura 4. 24** Influencia de la variación de dureza en la variación de atenuación medida a 2 ° grados después del tratamiento térmico de las muestras.



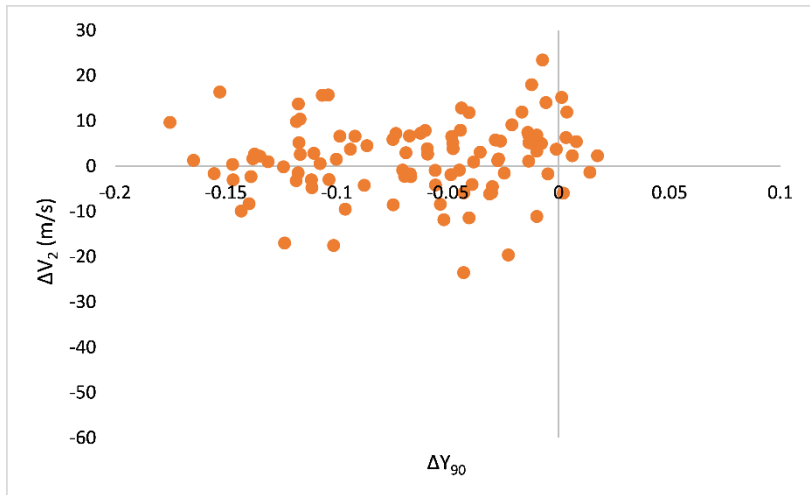
**Figura 4. 25** Influencia de la variación de dureza en la atenuación medida a 2 °C después del tratamiento térmico.

#### 4.3.2. Caracterización de la variación de la capacidad de relajación.

Al igual que en el caso de la variación de la dureza, las variaciones de los parámetros ultrasónicos tras el calentamiento no fueron capaces de explicar la variación de la capacidad de relajación. Tal y como se muestra en las Figuras 4.18 y 4.19, no se observa ninguna relación entre las variaciones de velocidad con la variación de la capacidad de relajación instantánea ( $\Delta Y_2$ ) o final ( $\Delta Y_{90}$ ). El mismo comportamiento se observa para las variaciones de atenuación (datos no mostrados).



**Figura 4. 26** Influencia de la capacidad de relajación instantánea en la variación de la velocidad ultrasónica medida a 20° C después del tratamiento térmico.



**Figura 4. 27** Influencia de la capacidad de relajación final en la variación de la velocidad ultrasónica medida a 2 °C después del tratamiento térmico.

## 5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo son:

- El calentamiento moderado provocó una mejora de las propiedades texturales del jamón curado, como el aumento de la dureza y la mejora de la elasticidad de las muestras. Así, esta técnica se podría considerar una alternativa para la corrección de defectos de textura.
- Los cambios texturales fueron mayores en las muestras tratadas a 50 °C frente a las tratadas a 40 °C.
- Las propiedades texturales mejoraron independientemente del nivel de pastosidad de las muestras, pero los mayores cambios se encontraron en las muestras que no presentaron defecto de pastosidad. Aunque, la variable que mejor explicó los cambios de textura fue la dureza inicial de las muestras. Así, se encontraron relaciones lineales significativas en las muestras tratadas a 50 ( $r^2 = 0.797$ ) y 40 °C ( $r^2 = 0.750$ ) entre las variaciones de dureza tras el calentamiento y su dureza inicial.
- La aplicación de ultrasonidos de potencia en el calentamiento de las muestras no afectó de manera significativa ( $p > 0.05$ ) a los cambios texturales observados.
- Los cambios en las propiedades texturales provocados por el calentamiento no se relacionaron con los cambios de velocidad y atenuación ultrasónica. Por tanto, se deberían estudiar otras técnicas no destructivas para poder evaluar correctamente estos cambios texturales.
- En vista a trabajos futuros, se debería ampliar este estudio considerando el impacto del tratamiento térmico en la percepción sensorial del consumidor, y estableciendo relaciones entre parámetros texturales y sensoriales.

## 6. BIBLIOGRAFIA

**AHMAD, M.H., CÁNOVAS, J., BARRAJÓN-CATALÁN, E., MICOL, J., CARCEL, J.A., GARCIA-PÉREZ, J.V.** (2013). Kinetic and compositional study of phenolic extraction from olive leaves (Var.Serrana) by using power ultrasound. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 120-129.

**ALARCON-ROJO, A.D, JANACUA, H., RODRIGUEZ, J.C., PANIWNKYK, L, MASON, T.J.** (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat Science*, 107, 86-93.

**AOAC** (1990). Official Method 950.46, Moisture in meat, B. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington, vol II, pp.931.

**AOUZALE, N., CHITNALA, A., JAKJOUND, H. (2010).**Moroccan oil characterization using pulse-echo ultrasonic technique.El Jadida, Maroc: Physical and Chemical News, 54, 8.

**ARNAU, J. (2013).** Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado.

**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.

**AWAD, Y.S., MOHARRAW, H.A., SHALTOUT, O.E., ASKER, D., YOUSSED, M.M.** (2012).Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410-427.

**BAUTISTA-CALATAYUD, M.** (2016).Influencia del tratamiento térmico moderado utilizando aire caliente en la textura de jamón curado. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.

**BELLOD-FRANCÉS, A.** (2016). Calentamientos a tiempos cortos y temperaturas moderadas de jamón curado para la corrección de defectos texturales. Trabajo Fin de Grado.Universitat Politècnica de València.

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

**BOURNE, M.** (2002). *Food Science and Technology: Food Texture and viscosity: Concept and Measurement* (2). Ed: Academic Press. 446 pp.

**CERVERA-PEREA, C.** (2015). Puesta a punto de una metodología para la caracterización de pastosidad en jamón curado mediante ultrasonidos. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.

**CONTRERAS-RUIZ, M.** (2015). Desarrollo de un sistema automático de caracterización - ultrasónica de alimentos. Aplicación a la monitorización del proceso de elaboración del jamón curado. Tesis Master. Universitat Politècnica de València.

**CORONA, E.** (2012).Caracterización de la calidad de productos cárnicos crudo-curados mediante ultrasonidos de señal. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

**COUPLAND, J.N.** (2004).Low intensity ultrasound. *Food Research International*, 37,537-543.

**DE PRADOS, M., GARCÍA-PEREZ, J.V., BENEDITO, J.** (2016).Ultrasonic characterization and online monitoring of pork meat dry salting process. *Food Control*, 646-655.

- DESMOND, E.** (2006). Reducing salt a challenge the meat industry. *Meat Science*, 74,188-196. *Eurocarne*, 17, 39-43.
- 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-PÉREZ, J.V, CARCEL,J. A., BENEDITO, J., MULET, A.**(2007).Power ultrasond mass transfer enhancement in food drying. *Food and Bioproducts Processing*, 85, 247-254.
- 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.
- HARKOUSS, R., ASTRUC, T., LEBERT, A., GATELLIER, P., LOISON, O., SAFA, H., PORTANGUEN, S., PARAFITA, E., MIRADE, P.** (2015). Quantitative study of the relationships among proteolysis, lipid oxidation, structure and texture throughout the dry-cured ham process. *Food Chemistry*, 166, 522-530.
- JAYASOORIYA, S.D., BHANDARI, B.R., TORLEY, P., & D'AREY, B.R.** (2004). Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review. *International Journal of Food Properties*, 7,301-319.
- JIMÉNEZ, N., PICÓ, R., CAMARENA, F., REDONDO, J., ROIG, B.** (2012).Ultrasonic evaluation of the hydration degree of the orange peel. *Postharvest Biology and Technology*, 67,130-137.
- MASON, T.J., PANIWNKY, L., CHEMAT, F., & ALBERT VIAN, M.** (2011).Ultrasonics processing. *Green food science and technology alternatives to conventional food processing*, chapter 10.RSC Green Chemistry Series 10 (pp.387-414).
- McCLEMENTS, D.J.** (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*, 6,293-299.
- MORALES, R., GUERRERO, L., SERRA, X., GOU, P.** (2007).Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. *Meat Science*, 76,536-542.
- MORALES, R., SERRA, X., GUERRERO, L., GOU, P.** (2007). Softness in dry-cured porcine biceps femoris in relation to meat quality characteristics and processing conditions. *Meat Science*, 77,663-669.
- MORALES, R.,ARNAU, J., SERRA, X., GUERRERO, L.,GOU, P.**(2008).Texture changes in dry-cured ham pieces by mild thermal treatments at the end of drying process. *Meat Science*, 80, 231-238.
- MORATA, A.** (2008).Nuevas tecnologías de conservación de alimentos. Morata Barrado, Antonio. Madrid A. Madrid Vicente, D.L. 2008.
- 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., SANJUAN, N., VENTANAS, S., BENEDITO, J.** (2008).Ultrasonic and sensory characterization of dry-cured ham fat from Iberian pigs with different genetics and feeding backgrounds. *Meat Science*, 80, 896-902.
- ORTUÑO-CASES, C.** (2014).Aplicación de ultrasonidos de potencia para la mejora de procesos de inactivación con fluidos supercríticos. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

- 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.
- 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*, 33, 91-95.
- PASCUAL, A., GISBERT, M., TOMAS, D., LÓPEZ, N.** (1997). Aplicación de los ultrasonidos en tecnología de la carne y los productos cárnicos (I). *Alimentación. Equipo y Tecnología*, 75-80.
- POHLMAN, F.W., DIKEMAN, M.E., ZAYAS, J.F., UNRUH, J.A.** (1997). 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.
- RUÍZ-RAMIREZ, J., ARNAU, J., SERRA, X., GOU, P.** (2005). Effect of pH, NaCl content and proteolysis index on the relationship between water content and texture parameters in *Biceps femoris* and *semimembranosus* muscles in dry-cured ham.
- SANTACATALINA, J.V., GARCÍA-PÉREZ, J.V., CORONA, E., BENEDITO, J.** (2011). Ultrasonic monitoring of lard crystallization during storage. *Food Research International*, 44, 146-155.
- 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*, 58, 253-257.
- TOLDRÁ, F.** (2002). Dry-cured meat products. *Food & Nutrition Press*, 1-238.
- TORNBERG, E.** (2005). Effects of heat on meat proteins-Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70, 493-508.
- VIRGILI, R., PAROLARI, G., SCHIVAZAPPA, C., BORDINI, C.S., BORRI, M.** (1995). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*. 60 (6). 1183-1186.
- VIRGILI, R., SCHIVAZAPPA, C.** (2002). Muscle traits for long matured dried meats. *Meat Science*, 62, 331-343.
- 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.