



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO



INFLUENCIA DE DEFECTOS DE TEXTURA EN JAMÓN CURADO LONCHEADO SOBRE PARÁMETROS ULTRASÓNICOS Y TEXTURALES

**MASTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y LA
CALIDAD ALIMENTARIA**

Autora:

María Eugenia Mora Ruiz

Co-Directores:

José Vicente García Pérez

José Benedito Fort

Elena Fulladosa Tomás

Centro:

Departamento de Tecnología de Alimentos

(Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Agronómica y del Medio Natural)

INFLUENCIA DE DEFECTOS DE TEXTURA EN JAMÓN CURADO LONCHEADO SOBRE PARÁMETROS ULTRASÓNICOS Y TEXTURALES

Mora-Ruiz, M.E.; Benedito, J.¹; Fulladosa, E.², García Pérez, J.V.¹;

RESUMEN

El presente trabajo pretende determinar la viabilidad de los ultrasonidos de señal para la caracterización de la pastosidad en jamón curado loncheado. Para alcanzar este objetivo, se trabajó con músculos *Biceps femoris* y *Semimembranosus* loncheados (espesor 15-20 mm) procedentes de jamón curado de cerdo blanco. Se realizaron medidas de ultrasonidos de señal en transmisión-recepción a distintas temperaturas (2, 7 y 22°C) y se analizó la velocidad y la atenuación. Además, se determinaron los parámetros texturales mediante ensayos de compresión-relajación. La pastosidad se determinó mediante análisis sensorial con un panel de catadores entrenados.

Se obtuvieron relaciones significativas ($p < 0.05$) entre los parámetros texturales y la velocidad ultrasónica. Sin embargo, ni la velocidad ultrasónica ni los parámetros texturales mostraron ninguna relación con la determinación sensorial de pastosidad. Las muestras analizadas se clasificaron de manera satisfactoria en muestras "pastosas" y "no pastosas" mediante una función discriminante que considera tanto los parámetros texturales como ultrasónicos.

PALABRAS CLAVE: jamón curado, ultrasonidos, velocidad, atenuación, textura defectuosa, pastosidad.

RESUM

El present treball pretén determinar la viabilitat dels ultrasons de senyal per a la caracterització de la pastositat en pernil curat tallador. Per a aconseguir aquest objectiu, es treballà amb múscles *Biceps femoris* i *Semimembranosus* talladors (grosària 15-20 mm) procedents de pernil curat de porc blanc. Es realitzaren mesures d'ultrasons de senyal en transmissió-recepció a distintes temperatures (2, 7 i 22°C) i s'analitzà la velocitat i l'atenuació. A més, es determinaren els paràmetres texturals per mitjà d'assajos de comprensió-relaxació. La pastositat es determinà per mitjà d'anàlisi sensorial amb un panell de tastadors entrenats.

S'obtingueren relacions significatives ($p < 0.05$) entre els paràmetres texturals i la velocitat ultrasónica. No obstant això, ni la velocitat ultrasónica ni els paràmetres texturals van mostrar cap relació amb la determinació sensorial de pastositat. Les mostres analitzades es van classificar de manera satisfactòria en mostres "pastoses" i "no pastoses" per mitjà d'una funció discriminant que considera tant els paràmetres texturals com ultrasònics.

1

¹ Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios. Departamento de Tecnología de Alimentos. Camino de Vera s/n, Edificio 3F, 46022, Valencia (España).

² Centro de Tecnología de los Alimentos del IRTA. Finca Camps i Armet, E-17121 Monells, Girona (España)

PARAULES CLAU: pernil curat, ultrasons, velocitat, atenuació, textura defectuosa, pastositat.

ABSTRACT

This work aims to determine the feasibility of using low intensity ultrasonics to characterize the defective texture of pastiness in sliced dry-cured ham. For this purpose, sliced *Biceps femoris* and *Semimembranosus* muscles (thickness 15-20 mm) from white pig dry-cured ham were used. Ultrasonic through-transmission measurements at different temperatures (2, 7 and 22 °C) were carried out and ultrasonic velocity and attenuation were analyzed. In addition, textural parameters were determined by compression-relaxation tests. Pastiness was determined by sensory analysis with trained panelists. Finally, ultrasonic, textural and sensory parameters were related.

Significant ($p < 0.05$) relationships were found between the textural parameters and ultrasonic velocity. However, neither the ultrasonic velocity nor the textural parameters showed any relationship with the sensory assessment of the pastiness. Samples were satisfactorily classified into groups of “pasty” and “non-pasty” hams using a discriminant function which considers both textural and ultrasonic parameters.

KEYWORDS: dry- cured ham, ultrasound, velocity, attenuation, defective texture, pastiness, hardness, strength.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemoriales, se ha utilizado el salado y posterior secado como técnica de conservación de la carne dando lugar a productos como el jamón o la paleta curada, cecina, etc. Se define jamón curado como “el producto obtenido de la extremidad posterior del cerdo, seccionada por la sínfisis isquio-pubiana, que consta de los huesos coxales, fémur, rotula, tibia, peroné, metatarso y huesos falangianos y la masa muscular que los envuelve, vasos, aponeurosis, infiltraciones adiposas y toda o parte de la piel, que ha sido sometido a un tratamiento de salazón, ahumado o no, maduración o desecación” (Codex Alimentarius). El producto final obtenido viene condicionado por las características de la materia prima empleada y el proceso tecnológico utilizado. Los jamones curados españoles se elaboran a partir de dos razas de cerdo: la raza blanca (Landrace, Large White, Duroc, Pietrain) y la raza ibérica (Negra, Retinta, Rubia y Manchada).

Los objetivos fundamentales del curado del jamón son la estabilidad microbiana el desarrollo de las características organolépticas. Para ello se añade sal, nitratos y nitritos que reducen la actividad de agua de la carne y le aportan las características sensoriales apropiadas. Posteriormente se pasa a la etapa de secado o maduración donde mediante deshidratación se alcanza la estabilidad final del producto.

La calidad del jamón curado depende de muchos factores que pueden ser *antemortem* (cruces porcinos empleados, edad del animal, tipo de

alimentación, condiciones medioambientales previas al sacrificio...) y postmortem (condiciones de refrigeración y transporte de los jamones, proceso industrial de salazón y curado...). Todos ellos tendrán una mayor o menor incidencia en las características sensoriales (color, aroma, sabor...) del jamón curado (Toldrá et al., 1997). Las principales reacciones bioquímicas que tienen lugar en el jamón postmortem son, fundamentalmente, de tipo enzimático destacando la proteólisis (que afecta a las proteínas musculares) y la lipólisis (que afecta a los triglicéridos y fosfolípidos) y, ya en menor medida, la glucólisis y transformación de nucleótidos (Toldrá, 1992; Toldrá y Flores, 1998). También existen otras reacciones de tipo químico (reacciones de Maillard, degradaciones de Strecker, oxidación, descomposición térmica, etc.) que, aunque de menor importancia, contribuyen al sabor y, muy especialmente, al aroma. Ambos tipos de reacciones ocurren de forma simultánea y con mayor o menor preponderancia según las condiciones concretas de cada proceso (temperatura, humedad...).

El jamón curado puede presentar defectos en su calidad que pueden ser de aspecto, flavor o textura. La textura, es uno de los principales atributos que determinan la calidad y aceptación de un alimento (Morales et al., 2013). La pastosidad, es uno de los principales defectos texturales en jamón curado y se caracteriza por la falta de elasticidad en el producto, lo que dificulta la recuperación de la forma original tras la deformación y provoca un tacto oleoso (García-Garrido et al., 1999). La textura blanda o pastosidad puede estar ocasionada por un pH elevado de la materia prima (Arnau et al., 1998), por el uso de una carne que posea un elevado potencial proteolítico (Virgili et al., 1995), por la presencia de grasa intramuscular e intermuscular que dificulte el salado y el secado, por un contenido de sal bajo o bien por una temperatura de procesado elevada en la fase de reposo (Arnau et al., 1997). En los jamones con textura pastosa suele observarse de forma simultánea un mayor brillo al corte. Es una problemática que ha aumentado en los últimos años, en parte debido a la disminución de la cantidad de sal añadida y quizás también a una mayor incidencia de carne con elevado potencial proteolítico. El defecto de pastosidad dificulta el loncheado del producto y genera problemas de adhesividad entre las lonchas lo que provoca un menor rendimiento en el corte y el rechazo por parte del consumidor (Morales et al., 2013).

Los métodos de determinación de textura tradicionales son de dos tipos, instrumentales y sensoriales. Ambos son de tipo destructivo y por lo tanto no pueden ser automatizados y utilizarse en las líneas de producción. Así, en la industria se presenta la necesidad de utilizar nuevas técnicas no-destructivas que permitan caracterizar y cuantificar la textura de los alimentos, y en concreto del jamón curado, como por ejemplo el uso de los ultrasonidos.

Los ultrasonidos son ondas elásticas con frecuencias mayores a las que puede percibir el ser humano (>20 kHz). Dichas ondas requieren un medio para propagarse (Mulet et al., 1999). Los ultrasonidos, pueden clasificarse en dos grupos según su frecuencia e intensidad. Por un lado están los ultrasonidos de potencia (frecuencias entre 20 kHz y 100 kHz e intensidades superiores a $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$) y por otro, los ultrasonidos de señal (frecuencias

entre 100 KHz y 1 MHz e intensidades menores a $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$). Estos últimos, al propagarse a través de un medio, permiten estimar tanto composición como ciertas propiedades físicas del alimento estudiado, por ejemplo, textura. Se considera una técnica muy útil ya que permite obtener información del producto sin producir cambios en él considerándose así una técnica de análisis no invasiva y no destructiva.

Las medidas ultrasónicas pueden realizarse utilizando dos modos. Por un lado, mediante la técnica de pulso-eco, donde los dos transductores se colocan en la misma cara del alimento o el mismo transductor actúa como emisor y receptor. Por otro lado, el método de transmisión-recepción, donde un transductor actúa como emisor y otro como receptor colocándose en caras opuestas del alimento (Awad et al., 2012 y Mulet et al., 1999). Mediante estos dos modos de medición, se pueden obtener medidas de la velocidad, el coeficiente de atenuación y el espectro de frecuencia (Corona, 2012).

Los ultrasonidos de señal se consideran un método de análisis rápido y de bajo coste que tiene diferentes usos en la industria agroalimentaria. Se han descrito aplicaciones de los ultrasonidos de señal para determinar contenido de azúcar en ciruelas (Mizrach, 2004) y tomates (Mizrach, 2007), momento de sustitución de aceites de fritura (Aouzale et al., 2010), dureza de alimentos, predecir el momento óptimo de corte del cuajo en la elaboración de queso y detectar cambios en la estructura interna durante la elaboración (Benedito et al., 2000) o determinar el grado de madurez del queso (Benedito et al., 2001). En productos cárnicos, se han utilizado para determinar composición y propiedades texturales en músculos (Koch et al., 2011a) y canales (Koch et al., 2011b), determinación de grasa subcutánea e intramuscular en canales (Conroy et al., 2009) y animales vivos (Ayuso et al., 2013) y también para la monitorización de procesos de salado de carne de cerdo de forma no destructiva (Prados, 2012).

El objetivo de este trabajo fue determinar la validez del uso de los ultrasonidos de señal para la cuantificación de defectos texturales en jamón curado.

MATERIALES Y METODOS

Muestras

Se han analizado muestras de jamón curado ($n=120$) procedentes de cerdo blanco y proporcionadas por el Centro de Tecnología de Alimentos del IRTA (Monells, Girona). Las muestras pertenecían a jamones con distintos grados de pastosidad y a los músculos *Semimembranosus* (SM) y *Biceps femoris* (BF) (Figura 1).



FIGURA 1. Tipos de muestras analizadas (BF, *Biceps femoris* y SM, *Semimembranosus*).

Las muestras estaban loncheadas con un grosor entre 15 y 20 mm. Se envasaron al vacío para facilitar su conservación, manejo y análisis y se conservaron a temperatura de refrigeración (4°C).

Determinación de parámetros ultrasónicos

Previamente a realizar las medidas ultrasónicas, se marcaron en las muestras las zonas de medida (Figura 2) con el fin de que coincidan con la superficie de los transductores ultrasónicos utilizados (1" de diámetro). Además, se intentó que la zona de medida abarcara la mayor parte de la superficie de la muestra definiendo entre 1 y 5 puntos de medida dependiendo del tamaño de la muestra (Figura 2).



FIGURA 2. Zonas de medida para la realización de las experiencias ultrasónicas en una muestra del músculo *Biceps femoris*

Para realizar el análisis ultrasónico, se utilizó el montaje experimental formado por los siguientes componentes y que se muestra en la Figura 3:

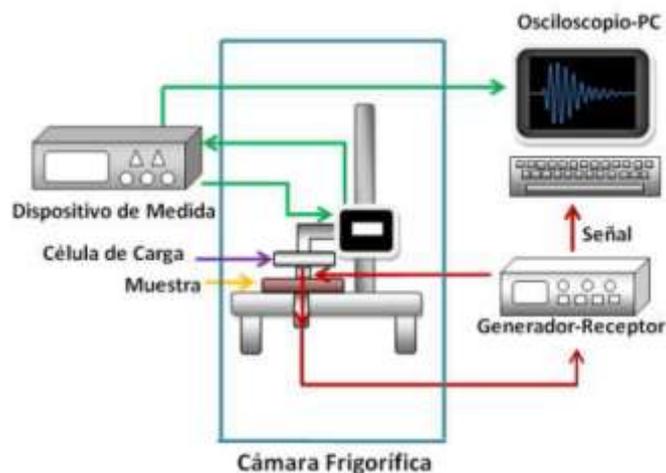


FIGURA 3. Esquema del sistema ultrasónico

- Generador-Receptor (5058PR HV Pulsar/Receiver, Panametrics): genera el pulso eléctrico para excitar al transductor emisor y recibe y acondiciona la señal que envía al transductor receptor. El acondicionamiento de la señal consiste en el filtrado y amplificación de la misma. Para este trabajo se utilizó el modo Transmisión-Recepción.
- Transductores piezoeléctricos: generan una onda ultrasónica (vibración) al ser excitados por un pulso eléctrico o también realizan el proceso inverso. El transductor emisor es el encargado de transformar la energía eléctrica en la onda ultrasónica que atraviesa la muestra y llega al transductor receptor que convierte la vibración en señal eléctrica. En este trabajo se utilizaron transductores de 1 MHz de banda ancha y 1" de diámetro (V314S-Panametrics).
- Osciloscopio (TDS 5034 Digital Phosphor Oscilloscope, Tektronix): digitaliza la señal que recibe del receptor, convirtiendo la señal eléctrica en puntos discretos con los que reconstruir la señal ultrasónica original.
- Equipo de medida del espesor de la muestra: está formado por un carro deslizante accionado por un tornillo sin fin unido a un encóder (BHK 06.24K500- B6-5, Baumer electric). En el carro deslizante se colocó el transductor emisor lo que permite su colocación en contacto con la superficie de la muestra. Al carro deslizante se le acoplo una célula de carga (TPF-1G, Transdutec) de 40 kg de fuerza máxima unida a un controlador de presión (K3NV, OMRON) que detiene el encóder una vez se ha alcanzado la presión deseada sobre la muestra (1 kg). Finalmente, la posición del transductor que coincide con el espesor de la muestra es enviada al PC por medio de una interfaz RS232. Todo el sistema de medida se colocó en el interior de una cámara de temperatura controlada ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$) (Figura 4).



FIGURA 4. Transductor ultrasónico (emisor) acoplado al equipo de medida de espesor.

Para realizar la medida ultrasónica, el generador-receptor excita al transductor emisor generando la onda ultrasónica que se propaga por la muestra. El transductor receptor capta la onda ultrasónica y la transforma en un impulso eléctrico que será acondicionado en el generador-receptor y enviado al osciloscopio, el cual digitaliza la señal y la envía al ordenador.

Se utilizó un software específico desarrollado en Visual Basic para adquirir la señal ultrasónica y el espesor de la muestra. El software también permitió modificar de manera automática la configuración del osciloscopio.

Para la determinación de los parámetros ultrasónicos se trabajó en modo Transmisión-Recepción con frecuencia de 1 MHz y la medida se realizó a diferentes temperaturas (2, 7 y 22°C). Previamente a la realización de la medida, las muestras se atemperaron en la cámara frigorífica durante dos días (48 horas) a cada una de las temperaturas citadas.

Se realizaron dos tipos de medidas con el fin de determinar, por un lado la velocidad ultrasónica y por otro lado los parámetros relacionados con la atenuación. Los parámetros de medida utilizados fueron:

- Velocidad Ultrasónica: pulso de excitación de 200 V, velocidad de adquisición de 250 Mmuestras/s, frecuencia de repetición de 100 Hz, amortiguación de 100 Ω , ganancia de 40 dB, adquisición de 25000 puntos y la aplicación de un filtro para la eliminación de bajas frecuencias de 0.3 MHz.
- Atenuación Ultrasónica: Se emplearon los mismos parámetros que para la medida de la velocidad a excepción de la velocidad de adquisición que se disminuyó a 125 Mmuestras/s y se introdujo una atenuación de 15 dB.

Para facilitar el acople de los transductores con la muestra se añadieron unas gotas de agua realizándose tres repeticiones por zona de medida (punto) tanto para la medida de velocidad como la de atenuación.

La velocidad ultrasónica se determinó a partir del método del umbral de energía, mediante una aplicación desarrollada en Visual Basic. El procedimiento se basa en el cálculo del tiempo de vuelo (T_v) mediante el umbral de energía, fijado en 0.1 V. Se busca el primer punto de la señal digitalizada que supere ese umbral, una vez localizado se retrocede hasta 0.03 V y se considera este punto como el de llegada de la señal. En la

aplicación informática para el análisis de señal, se estableció un salto de 1200 puntos para evitar tanto el trigger, como el ruido que engloba. Así, mediante el cociente entre el espesor de la muestra y el tiempo de vuelo (T_v) se calculó la velocidad ultrasónica. En el ordenador, la señal será procesada para obtener el tiempo de vuelo (T_v) que unido al espesor enviado por el equipo de medida permitirá el cálculo de la velocidad ultrasónica.

Para determinar los parámetros relacionados con la atenuación ultrasónica se desarrolló un programa en LabView para el análisis de la señal basado en el espectro de frecuencias. En la Figura 5, se muestra la señal ultrasónica para una muestra, se puede observar el frente de llegada de la onda que atraviesa directamente del transductor emisor al receptor, atravesando una vez la muestra (Frente de llegada directo) y que está saturada en amplitud. El primer frente de llegada corresponde a la parte de la onda ultrasónica que rebota en el transductor receptor, atraviesa la muestra, es reflejada en el transductor emisor y recibida de nuevo por el transductor receptor. Mientras que el frente de llegada 2, corresponde al rebote del primer frente de llegada. Debido a la atenuación de la onda ultrasónica, se observa en la Figura 5 como, a diferencia del frente de llegada directo, el frente 1 y 2 no están saturados en amplitud y hay un descenso de la misma por el tránsito de la onda. A partir de la señal temporal, se calculó la transformada rápida de Fourier (FFT) que convierte la señal temporal en frecuencia. Se realizó la FFT para el primer y segundo frente de llegada con el fin de compararlos entre sí, utilizando 4000 puntos, Figura 6.

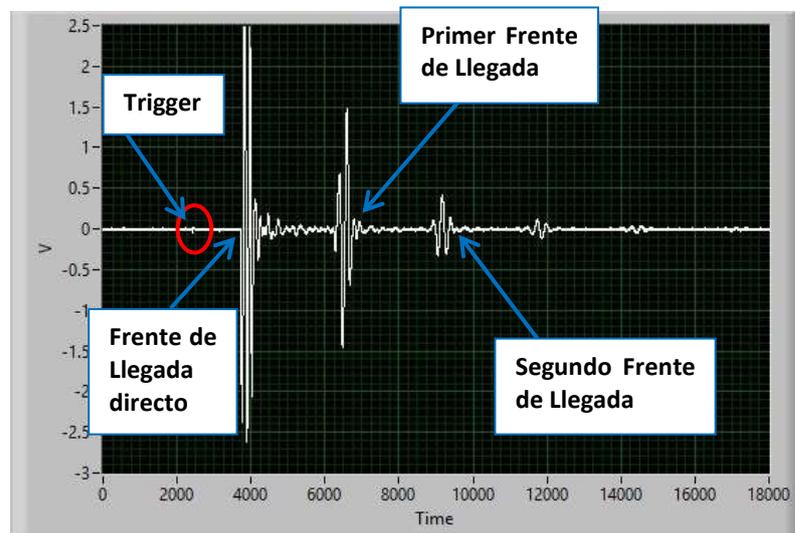


FIGURA 5. Señal de atenuación ultrasónica de la muestra 05_BF a 2°C

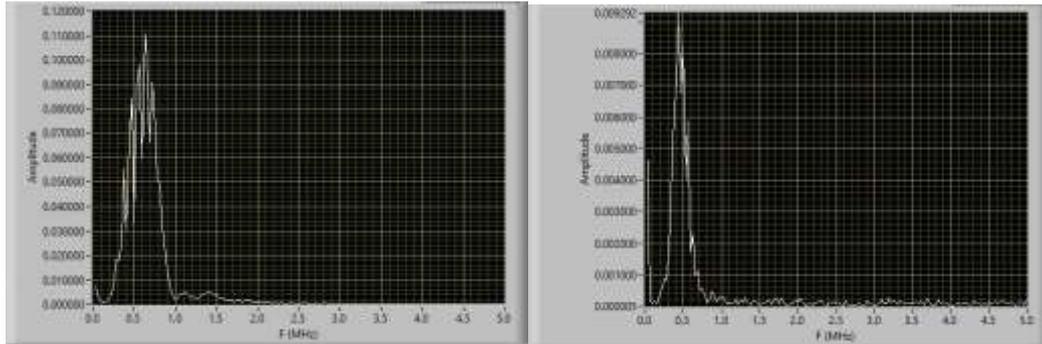


FIGURA 6. Espectro de frecuencias obtenido a partir de la Transformada de Fourier del primer y segundo frente de llegada de la onda

Los parámetros relacionados con la atenuación que se analizaron fueron los siguientes:

- Pico (P1 y P2): Amplitud máxima del espectro de frecuencias para el primer (P1) y segundo (P2) frente de llegada de la onda.
- Frecuencia del pico (MHz) (F1 y F2): Frecuencia a la que se encuentran los picos de máxima amplitud del primer y segundo frente de llegada de la onda.
- Integral del pico (A1 y A2): Área bajo la curva de cada uno de los frentes de llegada de la onda.
- Segundo pico (P1-2 y P2-2): Segunda amplitud mayor en valor del espectro de frecuencias para el primer (P1-2) y segundo (P2-2) frente de llegada de la onda.
- Frecuencia del segundo pico (F1-2 y F2-2): Frecuencia a la que se encuentran los picos de segunda amplitud mayor en valor del primer y segundo frente de onda.
- Asimetría: Simetría de la distribución alrededor de la media.
- Curtosis: Concentración de valores alrededor de la zona central de la distribución.

A partir de P1 y P2 se puede calcular el coeficiente de atenuación de la muestra según muestra la Ecuación 1.

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{P2}{P1}\right)}{2L} \quad (1)$$

Dónde: α = Coeficiente de atenuación (Np/mm); y L = espesor de la muestra (mm).

Textura

En los ensayos de textura instrumental, se extrajeron de cada una de las muestras paralelepípedos de 2.0x2.0x1.5 cm. Se utilizó un texturómetro universal (TA-XT2i, SMS) y se realizó el ensayo de compresión/relajación descrito por Morales et al. (2007). En el ensayo, se utilizó una sonda cilíndrica de 5 cm de diámetro, los paralelepípedos se comprimieron hasta un 25% de su altura, a una velocidad de compresión de 1 mm/s y se mantuvo la

posición durante 90 s para estudiar la relajación de la muestra. Los ensayos de textura se realizaron a 2°C en una cámara de temperatura controlada.

A partir del perfil del perfil Fuerza-tiempo se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Fuerza máxima (F(0)): valor máximo de Fuerza (N) de compresión.
- Fuerza a los 2 segundos (F(2)): valor de la fuerza (N) tras 2 s de relajación.
- Fuerza a los 90 segundos (F(90)): valor de la fuerza (N) tras 90 s de relajación.
- Caída de fuerza (Y(2) e Y(90)): cálculo de la relación entre la fuerza máxima de compresión (F(0)) y la de la fase de relajación a los 2 segundos (Y(2)) y al finalizar el ensayo a los 90 segundos (Y(90)) (Ecuación 2). Y(2) puede considerarse la capacidad de relajación instantánea e Y(90) la total de la muestra.

$$Y(R) = \frac{F(0)-F(R)}{F(0)} \quad (2)$$

Dónde F(R) es la fuerza en el periodo de relajación a 2 (R=2) o 90 (R=90) segundos.

Análisis sensorial

Además de realizar un análisis instrumental de textura, las muestras se sometieron al análisis sensorial realizado por un panel de catadores entrenados pertenecientes al IRTA. El análisis se realizó con lonchas de 1mm de espesor y se valoraron los atributos de pastosidad y adhesividad puntuando las muestras de 0 a 5 siendo 0 poco adhesivo/pastoso y 5 mucho.

Composición

Los análisis para determinar la composición se realizaron por triplicado en cada muestra. El contenido en agua se determinó mediante secado a 103±2°C hasta alcanzar un peso constante (AOAC, 1990). El contenido en cloruros se determinó de acuerdo con la norma ISO 1841-2 (1996) utilizando un potenciómetro 785 DMP Titrino (Metrohm AG, Herisau) y fue expresado como contenido en sal.

Análisis estadístico

Para estudiar la influencia de los distintos factores (tipo de músculo y temperatura) así como de la combinación de ellos, sobre la determinación de los parámetros ultrasónicos, se realizó un ANOVA multifactorial mediante el paquete estadístico "Statgraphics Centurion XVI". Además, se realizó un análisis discriminante con el fin de determinar si las muestras pueden clasificarse según su pastosidad en función de los parámetros ultrasónicos y texturales. En este caso, se consideraron como muestras con elevado grado

de intensidad en el defecto aquellas que presentaron en el análisis sensorial puntuaciones iguales o superiores a 2.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del tipo de musculo y composición en los parámetros de textura

Con el fin de determinar la influencia del tipo de músculo sobre la textura de la muestra, se midieron los parámetros de fuerza máxima de compresión ($F(0)$), que está directamente relacionada con la dureza de la muestra y la capacidad de relajación ($Y(2)$; $Y(90)$), tal y como se ha comentado en materiales y métodos.

El musculo SM presentó una dureza ($F(0)$) muy superior al BF (Figura 7a) con valor medio de 71.8N frente a los 19.5N para las muestras BF. Esta diferencia se relacionó con el mayor contenido en agua del BF (59.2% b.h.) frente a SM (52.6% b.h.).

En cuanto a la relajación instantánea y a la relajación total (Figura 7b), se observó que ambas fueron mayores en el BF ($Y(90)=0.7$ e $Y(2)=0.4$) que en el SM ($Y(90)=0.6$ e $Y(2)=0.3$). Este parámetro se relaciona con la elasticidad del músculo, por lo tanto, se puede decir que las muestras de músculo BF poseen menor elasticidad que las de músculo SM. Las diferencias en los parámetros texturales de BF y SM pueden explicarse por la diferente estructura de ambos músculos pero también por su diferente composición, ya que tal y como se observa en la Figura 7, $F(0)$ e $Y(90)$ dependen de la composición. Se observó que la humedad podía correlacionarse positivamente con la fuerza máxima ($r=0.82$) e inversamente con la relajación total ($r=0.67$). En ambos casos la relación es significativa ($p<0.005$).

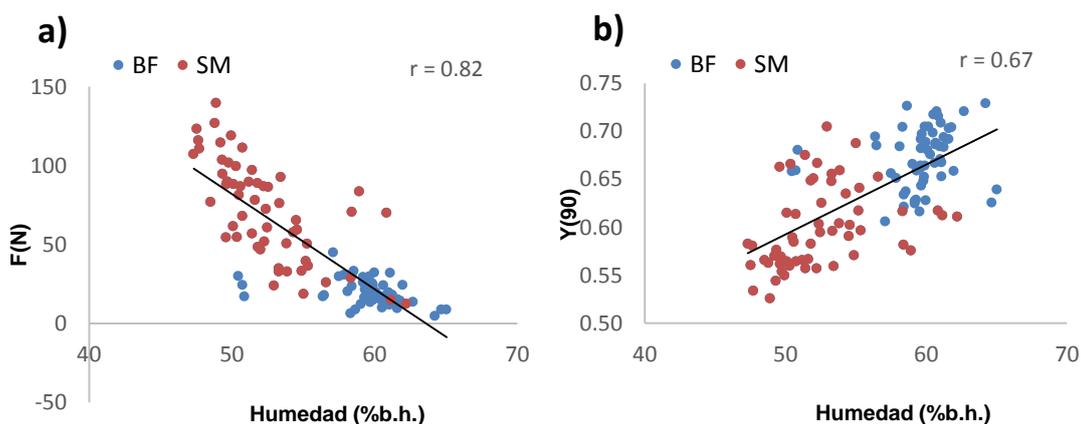


FIGURA 7. Influencia de la humedad sobre los parámetros de textura: a) $F(0)$ =Fuerza máxima y b) $Y(90)$ =Relajación total.

Influencia de la temperatura y tipo de musculo en los parámetros ultrasónicos

Con el fin de determinar la influencia de la temperatura y del tipo de músculo sobre los parámetros ultrasónicos, se realizaron medidas a tres temperaturas diferentes (2, 7 y 22°C). Entre otros, los parámetros ultrasónicos estudiados fueron la velocidad ultrasónica y el coeficiente de atenuación ya que son los parámetros más utilizados en la bibliografía para ser correlacionados con variables texturales y composicionales. En la Tabla 1 se muestran los valores medios de velocidad y coeficiente de atenuación para cada músculo y temperatura de ensayo.

En cuanto a la velocidad ultrasónica, se observa una alta variabilidad debido a que la velocidad de los ultrasonidos está influenciada por diversos factores como la composición y la estructura de la materia prima (Coronas, 2012). En el caso del musculo BF la velocidad presentó valores medios entre 1746 y 1802 m/s y en el músculo SM entre 1810 y 1867 m/s. Esta diferencia de velocidad entre los dos tipos de músculos puede relacionarse con la dureza ya que el músculo SM es más externo y por lo tanto más duro, como ya se ha mostrado en el apartado anterior al aumentar la dureza de la muestra, aumenta la velocidad de propagación de los ultrasonidos (Coronas, 2012). Además, el músculo BF tiene mayor contenido en humedad que el SM (59.6 frente a un 52.6% b.h.) lo cual también disminuye la velocidad.

En cuanto a la temperatura, se observó un descenso de la velocidad al incrementar la temperatura, pasando de velocidades medias de 1802 y 1867 m/s a 2°C a velocidades medias de 1746 y 1810 a 22°C, para BF y SM, respectivamente. Además, se observó que en el músculo SM el descenso de la velocidad al aumentar la temperatura era progresivo, mientras que en el caso del músculo BF, sufría un descenso brusco entre 2 y 7°C y entre 7 y 22°C el descenso de velocidad era mínimo.

El descenso de la velocidad al aumentar la temperatura de análisis se debe a que a mayor temperatura, es mayor el porcentaje de grasa fundida y disminuye el ratio sólido/líquido de las mismas, y la velocidad ultrasónica es mayor en sólidos que en líquidos (Corona, 2012).

Tabla 1. Valores medios y desviación estándar de la velocidad ultrasónica y el coeficiente de atenuación

Músculo	T(°C)	V media (m/s)	Desviación Estándar	α media (Np/mm)	Desviación Estándar
BF	2	1802	46	0.065	0.02
BF	7	1768	28	0.070	0.02
BF	22	1746	33	0.069	0.03
SM	2	1867	50	0.058	0.01
SM	7	1842	48	0.057	0.02
SM	22	1810	36	0.057	0.02

La interacción de los factores “temperatura” y músculo” influyó significativamente ($p < 0.05$) sobre la velocidad de los ultrasonidos, ya que tal

y como se observa en la Figura 8, el descenso de la velocidad con la temperatura fue más continuo en SM, mientras que en BF el descenso se dio especialmente entre 2 y 7°C.

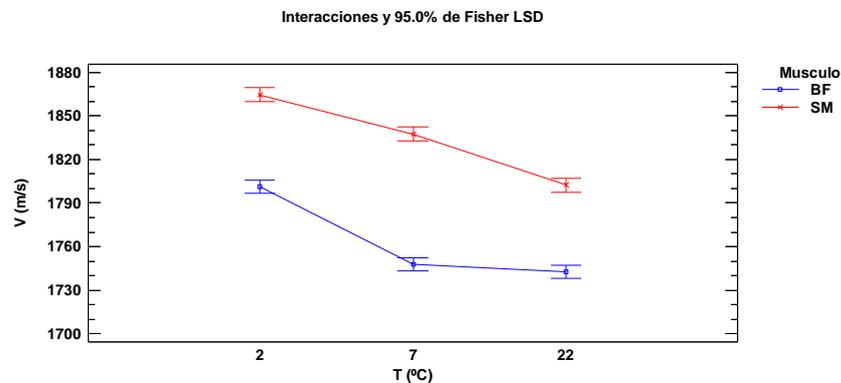


FIGURA 8. Influencia de la temperatura (T) y el tipo de músculo (BF = *Biceps femoris*, SM = *Semimembranosus*) sobre la velocidad ultrasónica (V)

En cuanto al coeficiente de atenuación, se obtuvieron valores medios de entre 0.065 y 0.070 Np/mm para el músculo BF y entre 0.057 y 0.058 Np/mm para el SM. En la Figura 9, se representa la influencia del tipo de músculo y de la temperatura sobre el coeficiente de atenuación, observándose una menor variabilidad que en el caso de la velocidad. Al aumentar la temperatura, se observó un ligero incremento del coeficiente de atenuación para BF y un ligero descenso para SM. Aunque en ambos casos la influencia no fue significativa ($p > 0.05$). Por el contrario, el tipo de músculo sí influyó significativamente ($p < 0.05$) sobre los coeficientes de atenuación obtenidos. Los coeficientes de atenuación medios de los músculos BF (0.07 Np/mm) fueron de media 0.01 Np/mm mayores que los coeficientes de atenuación medios de los músculos SM (0.06 Np/mm), es decir, hasta un 18% mayores. La atenuación en productos heterogéneos, como es el jamón, se ha asociado a la absorción y dispersión de la onda por parte del producto (Awad et al., 2012). Además, se ha relacionado directamente con la cantidad de grasa intramuscular (Koch et al., 2011), pH o contenido de tejido conectivo. Smith (1996) relacionó el aumento del contenido en agua con un descenso de la atenuación y propuso que existe relación entre la atenuación y la dirección de las fibras, siendo mayor en las medidas realizadas con las fibras en paralelo que en perpendicular (Smith, 1996). Al contrario de lo estudiado por Smith (1996), en este caso, las muestras de músculo BF tienen un contenido mayor en agua que las de músculo SM (59.6 frente a 52.6%) y mayores coeficientes de atenuación. Esto podría estar explicado por su mayor contenido de grasa. Del mismo modo, el incremento del coeficiente de atenuación en BF con la temperatura podría ser explicado por la fusión de la grasa.

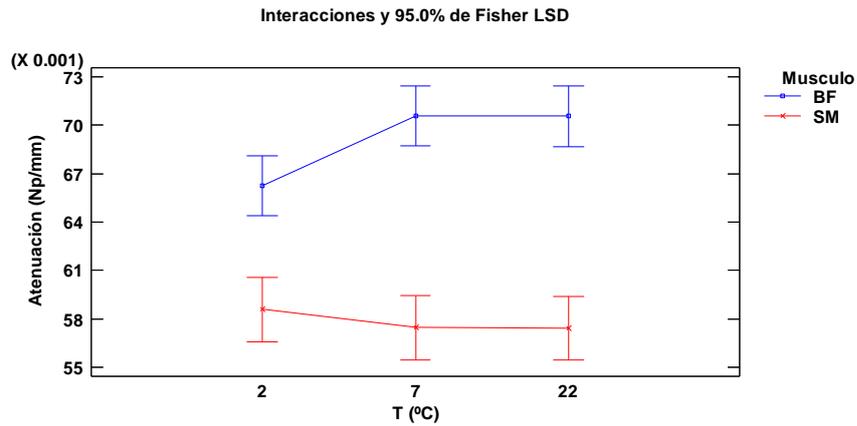


FIGURA 9. Influencia de la temperatura (T) y el tipo de músculo (BF=*Biceps femoris*, SM=*Semimembranosus*) sobre el coeficiente de atenuación (α)

Relación entre parámetros ultrasónicos y de textura

En la Figura 10, se representa la relación entre la velocidad ultrasónica (medida a 2°C) y los parámetros texturales (fuerza máxima y relajación total) analizados para músculos SM y BF. En el caso de la velocidad, se encontró una relación lineal significativa ($p < 0.05$) con la dureza ($r = 0.79$) y el coeficiente de relajación total ($r = 0.66$ para $Y(90)$). El aumento de la fuerza (F) indica una mayor dureza de la muestra y, como ya se ha descrito en apartados anteriores, la dureza de la muestra aumenta la velocidad de los ultrasonidos (Coronas, 2012). Al relacionar los parámetros texturales con los parámetros ultrasónicos a 7 y 22°C se obtuvieron resultados similares; $r = 0.84$ a 7°C y $r = 0.81$ a 22°C para la fuerza (F), y $r = 0.69$ a 7°C y $r = 0.68$ a 22°C para el coeficiente de relajación total ($Y(90)$). En cambio, en el caso de la atenuación no se observó ninguna relación significativa con los parámetros texturales (r entre 0.1 y 0.2).

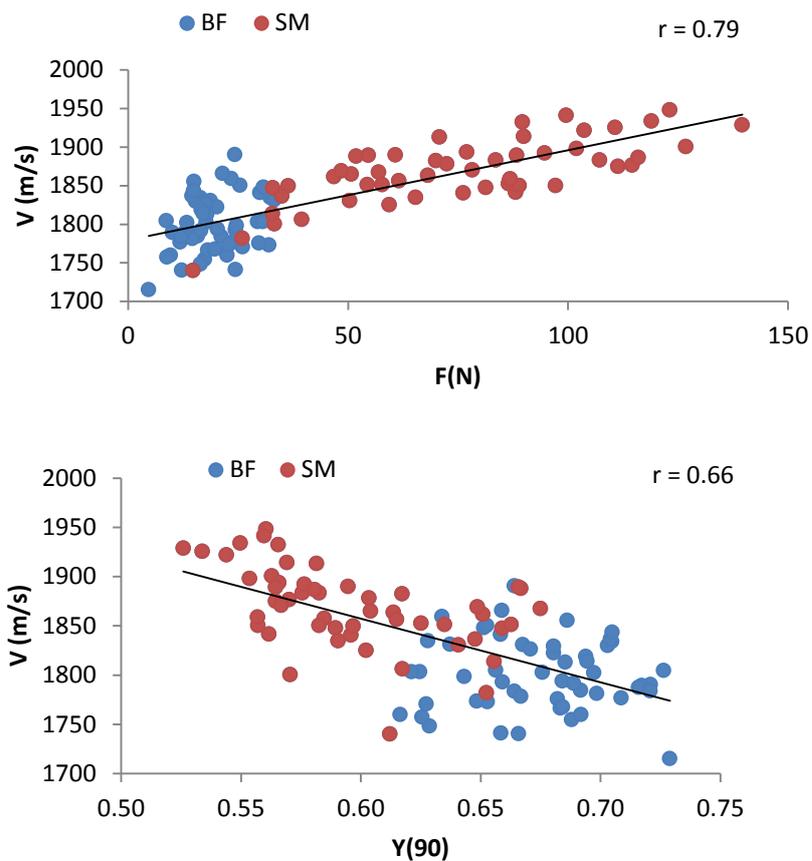


FIGURA 10. Relación entre la velocidad ultrasónica (v) medida a 2°C y los parámetros de textura: $F(0)$ =Fuerza máxima e $Y(90)$ =Relajación total según el tipo de músculo (BF = *Biceps femoris*, SM = *Semimembranosus*)

Relación entre parámetros ultrasónicos y texturales con parámetros sensoriales

Los parámetros sensoriales (pastosidad y adhesividad) se relacionaron tanto con los parámetros ultrasónicos como con los parámetros instrumentales de textura. Se observó que no existió relación lineal significativa ($p > 0.05$) entre pastosidad y adhesividad con la velocidad ultrasónica ($r = 0.45$ y $r = 0.40$) ni con los coeficientes de atenuación ($r = 0.04$ y $r = 0.10$). En cuanto a los parámetros instrumentales de textura, tampoco se ninguna relación lineal con la fuerza máxima ($r = 0.32$ y $r = 0.44$) ni con la capacidad relajación ($r = 0.49$ y $r = 0.47$), tal y como se muestra en la Figura 11.

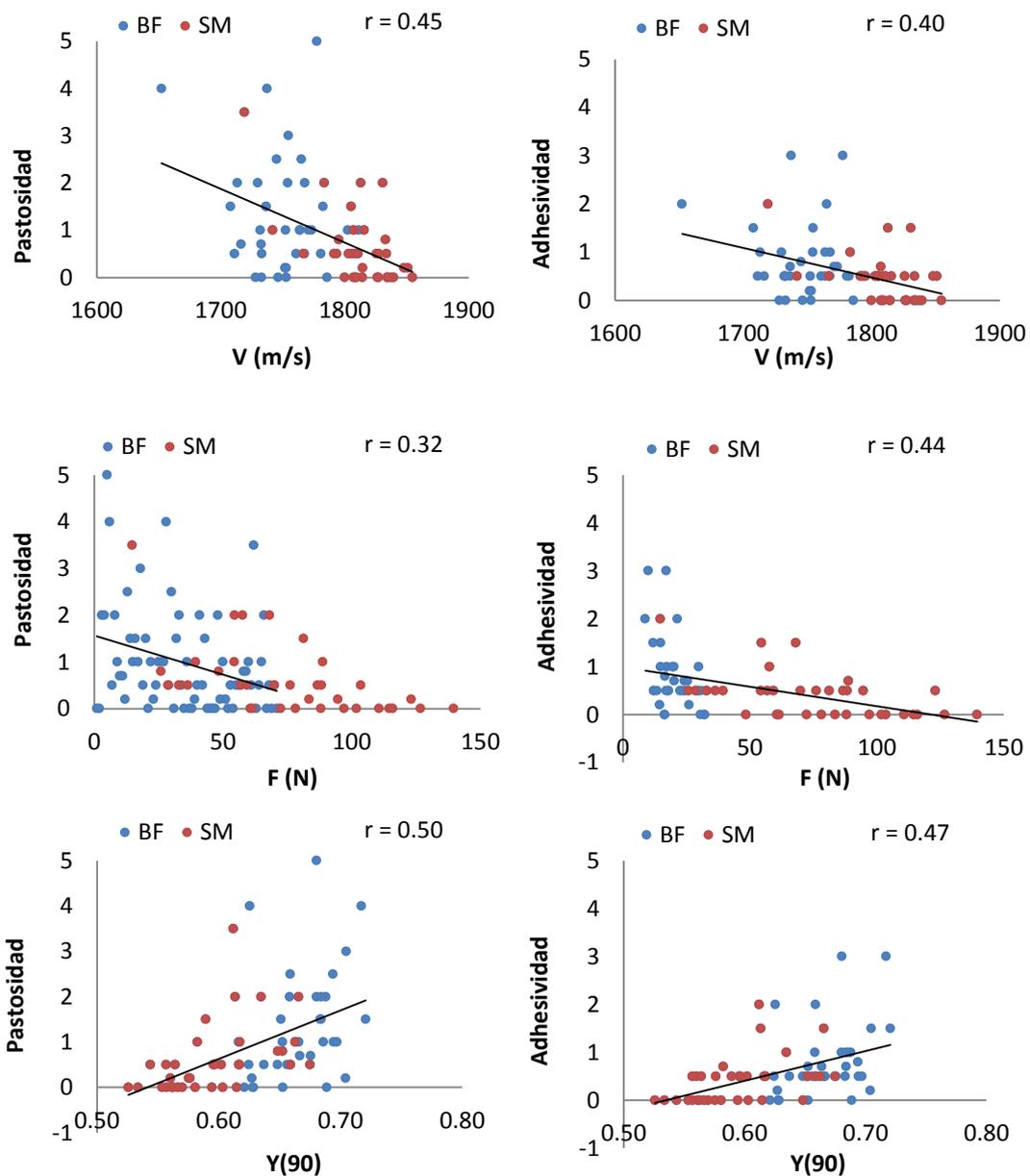


FIGURA 11. Relación entre la velocidad ultrasónica (v) y los parámetros de textura: $F(0)$ =Fuerza máxima e $Y(90)$ =Relajación total según el tipo de músculo (BF = *Biceps femoris*, SM = *Semimembranosus*) con los parámetros sensoriales (Pastosidad y adhesividad)

Método de análisis múltiple

Con el fin de diferenciar entre muestras pastosas y no pastosas a partir de variables cuantitativas (parámetros ultrasónicos y texturales) determinadas en muestras de jamón, se realizó un análisis discriminante.

Los resultados obtenidos mostraron que, independientemente del músculo y la temperatura a la que se realizaron las medidas ultrasónicas, fue posible desarrollar distintos modelos para diferenciar entre los 2 niveles de

pastosidad establecidos (Pastoso: puntuaciones del análisis sensorial = ó > 2.5; No pastoso: puntuaciones del análisis sensorial < 2.5). En todos los casos, las funciones discriminantes obtenidas para predecir el nivel de pastosidad de futuras muestras fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Cabe destacar que el porcentaje de casos correctamente clasificados osciló entre 97-100% cuando se consideraron todas las variables cuantitativas. Para el músculo BF el mejor modelo obtenido fue en el que se utilizaron los parámetros registrados a 2°C con un 98.5% de casos correctamente clasificados mientras que para el músculo SM se obtuvo el 100% de aciertos para los tres modelos estudiados (2, 7 y 22°C). Por otro lado, el éxito en la clasificación se redujo al 70-97% cuando únicamente se consideraron los parámetros ultrasónicos siendo el mejor modelo el obtenido al utilizar los datos registrados a 22°C tanto para el músculo BF (98.5%) como para el SM (97.6%). En el caso del modelo descrito utilizando todas las muestras, se obtuvieron unos porcentajes de casos correctamente clasificados de 97.5% cuando se tuvieron en cuenta todos los parámetros y del 69.2% cuando solo se utilizaron los parámetros ultrasónicos.

Por tanto, en vistas a implementar las medidas ultrasónicas para la detección de jamones con elevada pastosidad e incrementar el porcentaje de acierto en la clasificación, sería necesario profundizar en el estudio de los principales parámetros ultrasónicos relacionados con la pastosidad.

CONCLUSIONES

El tipo de músculo, *Biceps femoris* o *Semimembranosus*, se relacionó directamente con la textura de la muestra, teniendo mayor dureza y menor capacidad de relajación el músculo *Semimembranosus*. Además, el tipo de músculo tuvo influencia significativa sobre parámetros ultrasónicos como la velocidad ultrasónica pero no se encontró relación alguna con el coeficiente de atenuación.

La temperatura de medida de los parámetros influyó significativamente sobre los parámetros ultrasónicos; en el caso de la velocidad se produjo un descenso al aumentar la temperatura, pero en el caso de la atenuación dependió del tipo de músculo por lo que no se consideró un factor determinante.

Se encontró una relación significativa entre la velocidad ultrasónica y los parámetros de textura instrumental ($F(0)$ e $Y(90)$) no así en el caso de la atenuación. Los parámetros sensoriales analizados (pastosidad y adhesividad) no guardaron relación significativa ni con los parámetros ultrasónicos ni con los parámetros de textura instrumental.

Las muestras analizadas pudieron clasificarse en “pastosos” y “no pastosos” mediante una función discriminante que consideró tanto los parámetros texturales como ultrasónicos analizados en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INIA, MINECO y el programa FEDER la financiación a través del proyecto: RTA2013-00030-C03-02.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (1996). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists.
- Aouzale, N., Chitnala, A. & Jakjoud, H. (2010). Moroccan oil characterization using pulse-echo ultrasonic technique. *El Jadida, Maroc: Physical and Chemical News*, 54, 8.
- 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 Food Science*, 74:193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L. & Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of Food Science*, 77:387-392.
- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D. & Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48:410-427.
- Benedito, J., Carcel, J.A., Sanjuan, N. & Mulet, A. (2000). Use of ultrasound to assess Cheddar cheese characteristics. *Ultrasonics*, 38:727-730.
- Benedito, J., Carcel, J.A., Sanjuan, N. & Mulet, A. (2001). Quality control of cheese maturation and defects using ultrasonics. *Journal of Food Science*, 66:100-104.
- Codex Alimentarius. Codex sobre productos cárnicos elaborados (ALINORM 91/16).
- Contreras, M. (2014). Estudio de parámetros de calidad de manzana deshidratada mediante secado a baja temperatura asistido con ultrasonidos. Trabajo Final de Grado. 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.
- García-Garrido, J.A., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. & Luque de Castro, M.D. (1999). Sensory and analytical properties of Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Food Chemistry*, 67:423-427.
- ISO 1841-2 (1996). Meat and meat products. Determination of chloride content. Part 2: Potentiometric method. International Standards.
- 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 backfat. *Meat Science*, 88:67-74.
- Mason, T. J. (1993). Sonochemistry: A technology for tomorrow. *Chemistry and Industry*, 2:47-50.
- Mizrach, A. (2004). Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method. *Food Research International*, 37:627-631.
- Mizrach, A. (2007). Nondestructive ultrasonic monitoring of tomato quality during shelf-life storage. *Postharvest Biology and Technology*, 46:271-274.
- Morales, R., Guerrero, L., Serra, X. & Gou, P. (2007). Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. *Meat Science*, 76:536-542.
- Mulet, A., Berna, A., Rosello, C., Canellas, J. & Lopez, N. (1992). Influence of fat content on the drying of meat products. Proceedings of the 8th International Drying Symposium (IDS '92), Vol. B, 844-853.
- Mulet, A., Benedito, J., Bon, J. & Sanjuan, N. (1999). Low intensity ultrasonics in food technology. *Food Science and Technology International*, 5:285-297.

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

Oppenheim, A. V. & Schafer, R. W. (1989). *Discrete-time Signal Processing*. New Jersey, USA. Prentice Hall International, Inc

Pierre, J., Elias, F. & Leroy, V. (2012). A technique for measuring velocity and attenuation of ultrasound in liquid foams. *Ultrasonics*, 53:622-629.

Smith, N. B. (1996). Effect of myofibril length and tissue constituents on acoustic propagation properties of muscle. Ph.D.Thesis, University of Illinois.

Toldrá, F. (1992) *The enzymology of dry-curing of meat products*. (F.J.M. Smulders, F. Toldrá, J. Flores and M. Prieto, eds.) *New Technologies for Meat and Meat Products*. Nijmegen, The Netherlands: Audet.

Toldrá, F. & Flores, M. (1998). The role of muscle proteases and lipases in flavor development during the processing of dry-cured ham. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38:331-352.

Toldrá, F. (2006). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 17:164-168.

Toldrá, F., Flores, M. & Sanz, Y. (1997). Dry-cured ham flavour: enzymatic generation and process influence. *Food Chemistry*, 59:523-530.

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