



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Caracterización no destructiva de defectos texturales en jamón curado mediante el uso de ultrasonidos de señal

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN MASTER EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: Carlos Cervera Perea

TUTOR/A ACADEMICO: José Vicente García Pérez

COTUTOR/A: José Benedito Fort

DIRECTOR EXPERIMENTAL: Marina Contreras Ruiz

Curso Académico: 2015-2016

RESUMEN

Actualmente, la aparición de defectos texturales, como la pastosidad, en el jamón curado se está incrementando a nivel industrial. El defecto de pastosidad conlleva un rechazo por parte del consumidor y también provoca una disminución del rendimiento durante el loncheado del jamón. El objetivo de este trabajo fue el de evaluar el uso de los ultrasonidos de señal como técnica de caracterización de la pastosidad en el jamón curado. Para alcanzar este objetivo, se utilizaron lonchas (espesor 18-22mm) procedentes de jamones con diferentes tiempos de salado (4, 6, 8 y 11 días). El estudio se centró principalmente en la caracterización del defecto en el *Biceps femoris* (BF), al ser el músculo más interno del jamón. Así, se realizaron medidas ultrasónicas a 2°C y 20°C para determinar la velocidad y el coeficiente de atenuación ultrasónico. Además, se determinaron parámetros texturales (dureza y capacidad de relajación), composicionales (índice de proteólisis, contenido en sal, humedad y pH) y se cuantificó la intensidad del defecto mediante análisis sensorial.

Los resultados experimentales mostraron que la pastosidad sensorial estuvo afectada de manera significativa ($p < 0.05$) por el pH e índice de proteólisis, mientras que el contenido de humedad y sal no influyeron de manera significativa ($p > 0.05$) en la intensidad de este defecto. Además, las muestras pastosas fueron más blandas y presentaron una mayor capacidad de relajación. Cuando se establecieron modelos de regresión lineal entre la pastosidad sensorial y las variables composicionales y texturales, se observó que los coeficientes de regresión eran bajos. Así, el índice de proteólisis y la capacidad de relajación explicaron únicamente el 36.9% y 47.74% de la variabilidad experimental de la pastosidad, respectivamente. La velocidad ultrasónica permitió una buena descripción del contenido de humedad y de sal. En cuanto a la pastosidad, el coeficiente de atenuación permitió clasificar las lonchas según la intensidad de este defecto. Aunque, la descripción de la variabilidad experimental de la pastosidad mediante el coeficiente de atenuación fue ligeramente inferior (19.88%) a la obtenida mediante las técnicas destructivas (composición y textura).

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

RESUM

Actualmente, la aparició de defectes texturals, com la pastositat, en el pernil curat s'està incrementant a nivel industrial. El defecte de pastositat comporta un rebuig per part del consumidor i també provoca una disminució del rendiment durant el llescat del pernil. L'objectiu d'aquest treball va ser el d'evaluar l'ús del ultrasons de señal com una tècnica de caracterització de la pastositat del pernil curat. Per assolir aquest objectiu, es van utilitzar talls (grossària 18-22mm) procedents de pernills amb diferents temps de salat (4, 6, 8 y 11 dies). L'estudi es va centrar principalment en la caracterització del defecte al *Biceps femoris* (BF), al ser el muscle més intern del pernil. D'aquesta manera, es van realitzar mesures ultrasòniques a 2°C y 20°C per a determinar la velocitat i el coeficient d'atenuació ultrasonic. A més, es van determinar paràmetres texturals (duresa

y capacitat de relaxació), composicionals (índex de proteólisis, contingut de sal y humitat y pH) i es va quantificar la intensitat del defecte mediante anàlisis sensorial.

Els resultats experimentals mostraren que la pastositat sensorial va estar afectada de manera significativa ($p < 0.05$) per el pH i el índex de proteólisis, mentre que el contingut en humitat i sal no van influir de manera significativa ($p > 0.05$) en la intensitat d'aquest defecte. A més, les mostres pastoses van ser més toves i van presentar una major capacitat de relaxació. Quan es van establir models de regressió lineal entre la pastositat sensorial i les variables composicionals i texturals, es va observar que els coeficients de regressió eren baixos. D'aquesta manera, l'índex de proteólisis i la capacitat de relaxació van explicar únicament el 36.9% i el 47.74% de la variabilitat experimental de la pastositat, respectivament. La velocitat ultrasònica va permetre una bona descripció del contingut d'humitat i sal. En relació a la pastositat, el coeficient d'atenuació va permetre classificar el talls segons la intensitat d'aquest defecte. Encara que la descripció de la variabilitat experimental de la pastositat mitjançant el coeficient d'atenuació va ser lleugerament inferior (19.88%) a la obtinguda mitjançant les tècniques destructives (composició i textura).

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

ABSTRACT

Nowadays, the appearance of textural defects, such as pastiness, in dry-cured ham has been increasing at industrial level. Pastiness defect leads to a rejection by the consumer and causes a decrease in the ham slicing performance. Thus, the main objective of this work was to evaluate the feasibility of low intensity ultrasound to characterize the pastiness defect in dry-cured ham. To this end, slices (thickness 18-22mm) from hams salted during different times (4, 6, 8 and 11 days) were used. The study focused on the characterization of the defect at the *Biceps femoris* (BF), because it is the most internal muscle of the ham. Thus, ultrasonic measurements were made at 2°C and 20°C to determine the ultrasonic velocity and attenuation coefficient. In addition, textural (hardness and relaxation capacity) and compositional parameters (proteolysis index, salt and water content and pH) were measured. The intensity of the pastiness defect intensity was assessed by sensory analysis.

Experimental results showed that sensory pastiness was significantly ($p < 0.05$) affected by pH and proteolysis index, while salt and water content did not affect significantly ($p > 0.05$) the intensity of the defect. Furthermore, pasty samples were softer and showed higher relaxation capacity. When lineal regression models were established among sensory pastiness and compositional and textural variables, the regression coefficients found were low. Thus, proteolysis index and force decay explained only 36.9% and 47.74% of the pastiness experimental variability, respectively. Ultrasonic velocity allowed a good description of salt and water content. Regarding pastiness, the attenuation coefficient allowed the classification of the slices according to the defect intensity. Even though, experimental variability description of pastiness through

attenuation coefficient was slightly lower (19.88%) to the one obtained through destructive techniques (composition and texture).

KEY WORDS: Ultrasounds, dry-cured ham, pastiness, defective texture, velocity, attenuation.

INTRODUCCIÓN

El salado y secado han sido técnicas ampliamente utilizadas para la conservación de la carne debido a su poder deshidratante y bacteriostático. El jamón curado es uno de los productos elaborados siguiendo estas técnicas de conservación. Se define al jamón como “el producto elaborado con la extremidad posterior, cortada a nivel de la sínfisis isquiopubiana, con pata y hueso, que incluye la pieza osteomuscular íntegra, procedente de cerdos adultos, sometida al correspondiente proceso de salazón y curado-maduración” (BOE-A-2014 -318). El tipo y características de la materia prima seleccionada y los parámetros escogidos para el proceso de elaboración condicionarán el producto final. La raza de origen de la carne (blanca o ibérica), la edad del animal, el tipo de alimentación y el cuidado del cerdo también condicionan la denominación del producto final (ANICE, 2016).

Mediante las diferentes etapas del procesado, se consigue disminuir la cantidad de agua del jamón y, por tanto, su actividad de agua, minimizando el ataque y desarrollo de microorganismos y de las reacciones degradativas favorecidas por el agua. Además, con la adición de sales, nitritos y nitratos también se consiguen desarrollar propiedades organolépticas y sensoriales adecuadas. En la última etapa del proceso se alcanza la estabilidad final del producto (Arnau, 1998).

La calidad del jamón depende de factores antemortem (cruces porcinos empleados, edad, alimentación, condiciones previas al sacrificio,...) y postmortem (condiciones de refrigeración y transporte, proceso de salazón y curado,...). Estos factores inciden en mayor o menor medida sobre las características sensoriales del jamón curado. Las principales reacciones bioquímicas que tienen lugar en el jamón postmortem son de tipo enzimático. Destacan la proteólisis y la lipólisis, fundamentalmente, y, en menor medida, la glucólisis y transformación de nucleótidos (Toldrá, 1998).

La textura es uno de los principales atributos que determinan la calidad y aceptación de un alimento (Morales et al., 2013). Las nuevas tendencias de consumo, en especial la reducción de contenido en sal, están provocando un incremento en el número de defectos texturales en el jamón curado. Uno de los principales defectos texturales es la pastosidad, caracterizada por una pérdida de elasticidad del músculo a causa de una elevada actividad proteolítica. La pastosidad disminuye la calidad organoléptica del jamón curado y produce una merma importante en el loncheado y un elevado grado de adhesividad entre lonchas (García-Perez et al., 2015). Dicha pérdida de elasticidad dificulta la recuperación de la forma original del músculo tras la deformación y provoca un tacto oleoso en la zona del defecto (García-Garrido et al., 1999).

El defecto de pastosidad se relaciona con un bajo contenido en sal que provoca un aumento de la proteólisis (Škrlep et al., 2011). La grasa y agua también han mostrado efecto sobre la pastosidad. Un menor contenido en grasa se caracteriza por un mayor contenido en agua y proteínas, así como un

incremento en la absorción de sal (Ruiz-Ramírez et al., 2005). Esto se debe a que la grasa dificulta la penetración de la sal actuando como una barrera para la difusión de la misma. Por ejemplo, la difusividad de la sal en un tejido graso suele ser entre diez y veinte veces menor que la de la parte magra (Bello, 2008). En el caso del *Biceps femoris* (BF), que es el músculo más interno del jamón, y más próximo a la grasa subcutánea, la penetración de la sal se ve muy dificultada siendo el músculo con mayor incidencia de este defecto, tal y como indica Picouet et al. (2013). Otro parámetro a tener en cuenta es el pH afecta a la textura del músculo de diversas maneras. Por un lado, un elevado pH parece estar relacionado con una mayor actividad proteolítica en el BF, mientras que en el caso del *Semimembranosus* (SM) estos defectos están relacionados con un pH bajo, que aumenta la actividad de las catepsinas facilitando su liberación de los lisosomas (Guerrero et al., 2004).

Por todo ello, y principalmente por la disminución de la cantidad de sal añadida y un aumento de carne con elevado potencial proteolítico, el defecto de pastosidad se ha visto incrementado en los últimos años. Este defecto preocupa a la industria, tal y como se ha comentado, puesto que dificulta el loncheado del producto, disminuyendo el rendimiento del corte y, en última instancia, generando un rechazo por parte del consumidor, que también detectará, entre otros factores, una elevada adhesividad en boca y entre lonchas (Morales et al., 2013).

Existen diferencias entre la aceptabilidad esperada y experimentada, lo que indica que las preferencias visuales de los consumidores no les permiten seleccionar jamones que satisfagan sus preferencias sensoriales en términos de flavor y textura. Por ello, la textura se presenta como uno de los principales atributos que determinan la calidad y aceptación de un alimento, en este caso el jamón (Morales et al., 2013). En la actualidad, los métodos de análisis y determinación textural son de tipo instrumental y sensorial. Ambos son de tipo destructivo, es decir, lentos, sin posibilidad de automatización y de difícil implementación para el control en las líneas de producción. Es por ello, que la industria precisa de nuevas técnicas no destructivas y de bajo coste capaces de caracterizar y cuantificar de forma rápida y efectiva la textura de los alimentos, y en especial de los productos cárnicos (como el jamón curado). Teniendo en cuenta estudios previos (Fulladosa, 2015; Corona, 2012; Cervera, 2015; Mora-Ruiz, 2015), los ultrasonidos pueden considerarse como una técnica interesante para este propósito.

Los ultrasonidos se definen como ondas elásticas u oscilaciones mecánicas con frecuencias por encima del espectro audible (>20 kHz). Éstas ondas, a diferencia de las electromagnéticas, necesitan un medio material para propagarse (Mulet et al., 1999). Los ultrasonidos se clasifican en base a su intensidad y frecuencia (Awad et al., 2012), tal y como se muestra a continuación:

- Ultrasonidos de señal: Aquellos con baja intensidad ($<1W \cdot cm^{-2}$) y alta frecuencia (entre 100kHz y 1MHz).
- Ultrasonidos de potencia: Aquellos con alta intensidad ($>1W \cdot cm^{-2}$) y baja frecuencia (entre 20kHz y 100kHz).

Los ultrasonidos de potencia se caracterizan por provocar cambios en los procesos y productos en los que se aplican, mientras que los ultrasonidos de señal se emplean para estimar la composición y textura de alimentos y en el control de procesos sin afectar al producto. Por ello, los ultrasonidos de señal

parecen una técnica adecuada al considerarse no invasiva ni destructiva para la evaluación no-destruictiva de la pastosidad.

Las medidas ultrasónicas pueden realizarse mediante el método de Transmisión-Recepción o el de Pulso-Eco (Awad et al., 2012). El modo de Pulso-Eco emplea dos transductores en la misma cara del material o uno que actúa como emisor y receptor. En transmisión recepción, se emplean dos transductores colocados en caras opuestas de la muestra. Uno de ellos será el emisor y el otro el receptor de la energía transmitida a través del material. Mediante estas técnicas pueden obtenerse una serie de parámetros característicos del material como la velocidad, el coeficiente de atenuación y el espectro de frecuencia (Corona, 2012) y que pueden relacionarse con variables texturales y composicionales.

Se define velocidad ultrasónica como la distancia recorrida (espesor de la muestra) por la onda ultrasónica por unidad de tiempo (tiempo transcurrido entre la salida de la señal del emisor y su llegada al receptor; se conoce como tiempo de vuelo), siendo constante para un material a determinadas condiciones y dependiendo únicamente de sus propiedades físicas. La atenuación es la pérdida de energía de las ondas al propagarse por un medio al ser absorbida por el mismo. Es característica del material y proporciona información acerca de sus propiedades físicas. Se emplea el coeficiente de atenuación para estudiar ésta propiedad.

El estudio del espectro de frecuencias al atravesar el medio nos proporciona información sobre cómo se modifica cada una de las frecuencias de una onda sonora al atravesarlo. La distribución del mismo es característica de cada material (Mulet et al., 1999). Para obtener el espectro de frecuencias, se aplica la transformada rápida de Fourier (Oppenheim et al., 1989), que relaciona la señal temporal con el dominio de frecuencias.

A partir de la bibliografía previa, se puede constatar que los ultrasonidos de señal constituyen una vía factible de análisis de alimentos. Se han empleado para la evaluación de calidad de frutas y verduras (Mizrach, 2008), el contenido de azúcar en ciruelas (Mizrach, 2004), y tomates (Mizrach, 2007). En productos lácteos, se han utilizado para determinar el grado de madurez del queso (Benedito et al., 2001) o para ayudar a predecir el momento óptimo de corte del cuajo en la elaboración del mismo, así como en la detección de cambio en la estructura interna durante la elaboración (Benedito et al., 2000). También se ha empleado en aceite para monitorizar su alteración en la fritura, determinar el momento de descarte, la composición, la calidad y la pureza del mismo (Aouzale et al., 2010). En productos cárnicos los ultrasonidos, se han empleado para estimar las propiedades estructurales y la composición de músculos (Koch et al., 2011a) y canales (Koch et al., 2011b). Destaca su empleo para la determinación de grasa subcutánea e intramuscular en animales vivos (Ayuso et al., 2013) y en canales (Conroy et al., 2010). Ésta técnica también ha sido empleada con el fin de caracterizar y diferenciar productos frescos (Niñoles et al., 2007) y curados (Niñoles et al., 2008) provenientes del cerdo. Además, ya se han realizado algunos estudios sobre la posibilidad de determinación de la pastosidad mediante ultrasonidos de señal (Cervera, 2015; Mora, 2015). Estos estudios se centraron en estudiar las fortalezas y limitaciones de los ultrasonidos de cara a su aplicación, determinando cuales eran las mejores condiciones para la misma centrándose en el tipo de transductor a emplear y las temperaturas óptimas para su aplicación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de ultrasonidos de señal como técnica de caracterización de texturas defectuosas, como la pastosidad, en el jamón curado. Dado que este defecto influye en la percepción sensorial del consumidor, su medida sensorial se relacionará con la proteólisis y también con la composición y la textura instrumental del jamón curado. Así, se analizará la interacción entre variables sensoriales, texturales y composicionales y su relación con los parámetros ultrasónicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima y preparación muestra

Se seleccionaron lonchas de jamón curado (n=200) procedentes de cerdo blanco (raza Large White) proporcionadas por el Centro de Tecnología de Alimentos del IRTA (Monells, Girona). Éstas pertenecían a jamones procesados en condiciones propicias para la aparición del defecto de pastosidad. Para ello, y con el fin de conseguir jamones que presentasen diferentes intensidades del defecto de pastosidad, los tiempos de salado escogidos fueron de 4, 6, 8 y 11 días. Los jamones se deshuesaron y se lonchearon en la zona de la maza, con un grosor de loncha entre 18 y 22 mm. Tal y como se muestra en la Figura 1, en las lonchas aparecen los 3 músculos principales del jamón: *Biceps femoris* (BF), *Semimembranosus* (SM) y *Semitendinosus* (ST). Una vez obtenidas las lonchas, se envasaron al vacío para facilitar su manejo y análisis y se conservaron en refrigeración 2°C hasta la realización de las experiencias.

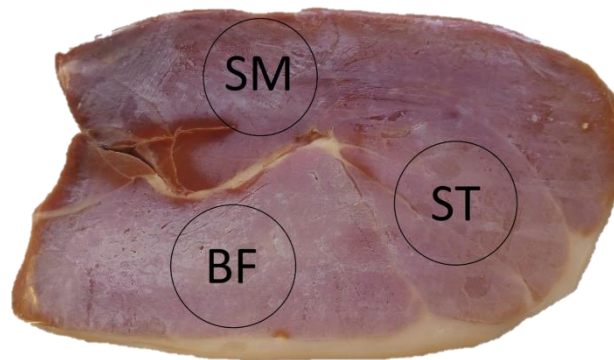


Figura 1. Distribución de los músculos en las lonchas.

Previamente a la realización de las medidas ultrasónicas, se marcaron en los tres músculos las zonas de medida (coincidentes con el diámetro de los transductores a emplear 1”) y que tratan de abarcar la máxima superficie posible en la muestra.

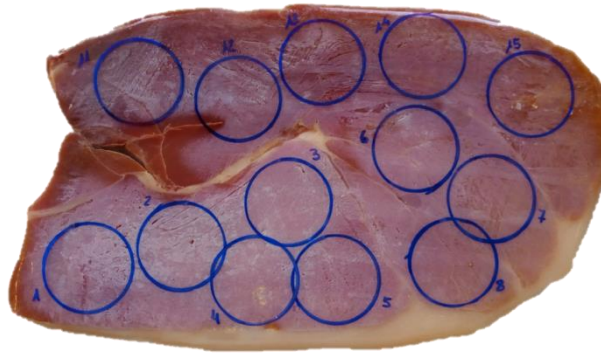


Figura 2. Localización de las zonas de medida ultrasónica.

Montaje experimental para medida de parámetros ultrasónicos

Se empleó el montaje experimental mostrado en la Figura 3 para la realización de la medida de los parámetros ultrasónicos. Se trata de un sistema automático desarrollado en el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universitat Politècnica de València para la caracterización ultrasónica de alimentos y que se compone de siete elementos principales (Figura 3). El principal componente, y más novedoso, es el cilindro de posicionamiento o brazo deslizante que se encarga de posicionar el transductor emisor, unido a su extremo móvil, sobre la superficie de la muestra, siendo dirigido por el ordenador, confiriéndole al equipo su carácter automático. El transductor receptor se encuentra fijo en la plataforma que sirve de base para la muestra (plataforma de medida).

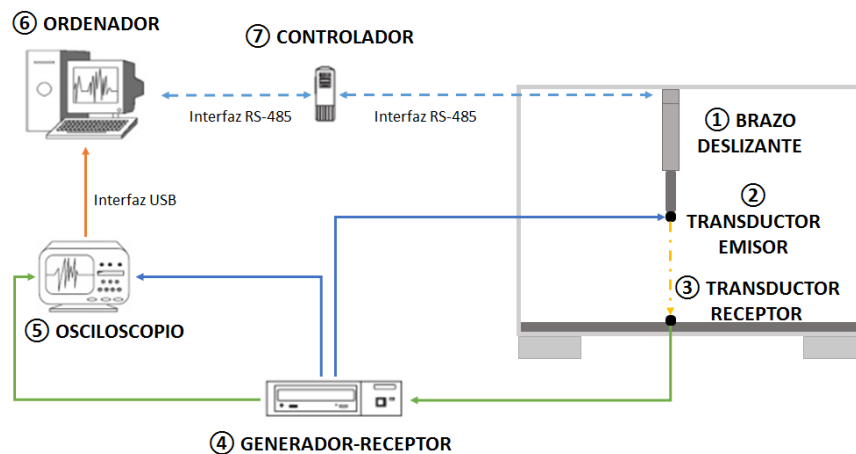


Figura 3. Esquema del sistema ultrasónico.

Los principales componentes del sistema ultrasónico se detallan a continuación:

Brazo deslizante o cilindro de posicionamiento (modelo LEY 16RB, SMC, Japan) (Figura 3-1): Es un actuador eléctrico, formado por una carcasa, un vástago y un motor de giro paso a paso capaz de ejercer una fuerza máxima de empuje de 7.54kg, que puede ser ajustada en función de las características del producto a medir. En el interior de la carcasa se encuentra el vástago (de 300mm de carrera), que es accionado por el motor paso a paso. La velocidad

máxima de movimiento del cilindro es de 250mm/s y el paso del husillo (distancia entre dos ranuras consecutivas del tornillo del cilindro) es de 5mm.

Transductores piezoeléctricos (A314S, Panametrics, U.S.A.) (Figura 3-2 y 3-3): Elementos que al ser excitados por un pulso eléctrico son capaces de generar una onda ultrasónica. El transductor emisor transforma la energía eléctrica en una onda ultrasónica que será la que atraviese la muestra sufriendo variaciones según la composición de la misma. El transductor receptor realiza el proceso inverso, transformando la onda ultrasónica en energía eléctrica. En este proyecto se emplearon transductores de 1MHz de banda estrecha.

Generador-Receptor (5058PR HV Pulser/Receiver, Panametrics, U.S.A.) (Figura 3-4): Elemento encargado de generar el pulso eléctrico para excitar al transductor emisor y recibir y acondicionar la señal que envía el transductor receptor. El proceso de acondicionamiento consiste en filtrar y amplificar la señal recibida.

Osciloscopio (USB-5133, National instruments, U.S.A.) (Figura 3-5): Los principales parámetros de configuración son: trigger (señal de disparo), velocidad de adquisición máxima (100Mmuestras/s), resolución (8bits) y número de puntos almacenados (4Mb/canal). Se encuentra conectado el ordenador a través de la interfaz USB. Se encarga de digitalizar la señal que recibe el receptor, convirtiendo así la señal eléctrica en puntos discretos con los que reconstruir la señal ultrasónica original.

Ordenador (Figura 3-6): Ejecuta el software específico, desarrollado en LabVIEW para la adquisición y tratamiento de los datos obtenidos a partir de las señales ultrasónicas.

Controlador (LECP6N, SMC, Japan) (Figura 3-7): Elemento encargado de controlar el movimiento del brazo deslizante. Puede ser programado para 64 configuraciones distintas con los parámetros de configuración siguientes: posición, velocidad de posicionamiento, aceleración y deceleración, fuerza de empuje, velocidad de empuje y máxima distancia de empuje.

A continuación se describe el proceso llevado a cabo por el equipo ultrasónico. En primer lugar, el brazo debe posicionarse de forma que el transductor acoplado al mismo entre en contacto con la superficie de la muestra. Se empleó agua como medio de acople. El acople se realiza en dos pasos diferenciados. En primer lugar se realiza el posicionamiento, que consiste en la bajada del transductor a la velocidad máxima de movimiento del cilindro (250mm/s) hasta una posición previamente fijada. A continuación, empieza el modo de empuje, que reduce la velocidad de bajada del brazo (1 mm/s) hasta que entra en contacto con la superficie del producto y se detiene al alcanzar una fuerza de empuje también fijada con anterioridad (máximo 7.54kg). Al poderse ajustar la fuerza de empuje, ésta técnica de ajuste del transductor es extensible a todo tipo de alimentos independientemente de su dureza

Una vez colocado y correctamente acoplado el transductor emisor en el punto de medida, empieza el proceso de generación de la señal. Para ello, el generador-receptor excita al transductor emisor con un pulso eléctrico generando la onda ultrasónica capaz de atravesar la muestra. A la vez, se envía la señal del disparo (trigger) al osciloscopio con el fin de sincronizar la medida y así poder comenzar con la adquisición de la señal digitalizada. Una vez la onda atraviesa la muestra, el transductor receptor convierte la onda

ultrasónica en un impulso eléctrico proporcional. A continuación, el generador-receptor acondiciona la señal y la envía al osciloscopio que digitalizará la señal y la enviará al ordenador. La señal es procesada en el ordenador con el fin de obtener su espectro de frecuencias y el tiempo de vuelo (T_v) que junto al espesor permite el cálculo de la velocidad ultrasónica. La señal adquirida contempla el paso de la onda ultrasónica por la muestra y por el montaje (cables, equipos, etc...) desde el momento en que es generada. Por ello, se hace necesario calcular el tiempo de retardo, o el tiempo que tarda la señal en atravesar todos los componentes del montaje a excepción de la muestra.

Configuración del sistema ultrasónico

Los parámetros ultrasónicos fueron determinados a 2 y 20°C. En primer lugar, se realizó la medida a 2°C de las lonchas que se encontraban almacenadas a esta temperatura al menos una semana. Finalmente, las piezas se almacenaron de nuevo en cámara a 20°C durante 24 horas para su atemperado y se volvieron a realizar las medidas ultrasónicas.

A continuación, se describe la configuración del generador-receptor y del osciloscopio para la realización de las medidas ultrasónicas:

Generador-Receptor: Modo Transmisión-Recepción, frecuencia de repetición de 100Hz, amortiguación 100Ω, ganancia 40dB y la aplicación de un filtro de eliminación de bajas frecuencias de 1Mhz. El pulso de excitación (100-400V) y la atenuación (0-40dB) se variaron en función de las necesidades de cada medida.

Osciloscopio: Velocidad de adquisición máxima (100Mmuestras/s) con una adquisición total de 25000 puntos.

Las medidas se realizaron sobre las zonas de medida de las lonchas envasadas al vacío, tal y como se muestra en la Figura 2, utilizando agua como medio de acople. Para ello, las lonchas se sumergieron en agua a la temperatura de ensayo antes de realizar las medidas. Las condiciones del brazo en el modo de posicionamiento se fijaron con una velocidad de bajada de 250mm/s hasta alcanzar 40mm de altura. Posteriormente, comienza el modo de empuje, en el cual la velocidad de bajada se reduce a 1mm/s y no se detiene hasta aplicar una fuerza igual al 23% de la fuerza máxima del brazo (1.75kg aprox.). Una vez acoplado el transductor a la zona de medida se registró la señal ultrasónica realizando 10 promedios en señales consecutivas.

Análisis de la señal ultrasónica

A partir de la señal ultrasónica digitalizada se determinaron los diferentes parámetros ultrasónicos mediante diferentes aplicaciones realizadas con LabVIEW™ (National Instruments, USA). Aunque las medidas ultrasónicas se realizaron en los tres principales músculos de la loncha (BF, ST y SM), el estudio se centró el BF ya que es el músculo, al ser el más interno, que tiene una mayor incidencia e intensidad en el defecto de pastosidad.

La velocidad ultrasónica se calculó mediante el método del umbral de energía a partir del primer frente de llegada de la onda ultrasónica (Figura 4). El método se basa en el cálculo del tiempo de vuelo (T_v) fijando el umbral de energía en 0.1V a partir del primer frente de llegada de la onda ultrasónica (Figura 4). En esta metodología, se estableció un salto de 3000 puntos para

evitar el trigger y el ruido que engloba. Una vez realizado dicho salto, el programa busca el primer punto de la señal digitalizada que supere el umbral de energía establecido. Una vez localizado retrocede hasta 0.03V y considera ese punto como el de llegada de señal (inicio del frente de llegada) (Figura 4) coincidente con el T_v . Así, se calculó la velocidad ultrasónica como el cociente entre el espesor de la muestra (proporcionado por el brazo deslizante) y el tiempo de vuelo, al que previamente se le resta el tiempo de retardo ($0.724\mu s$).

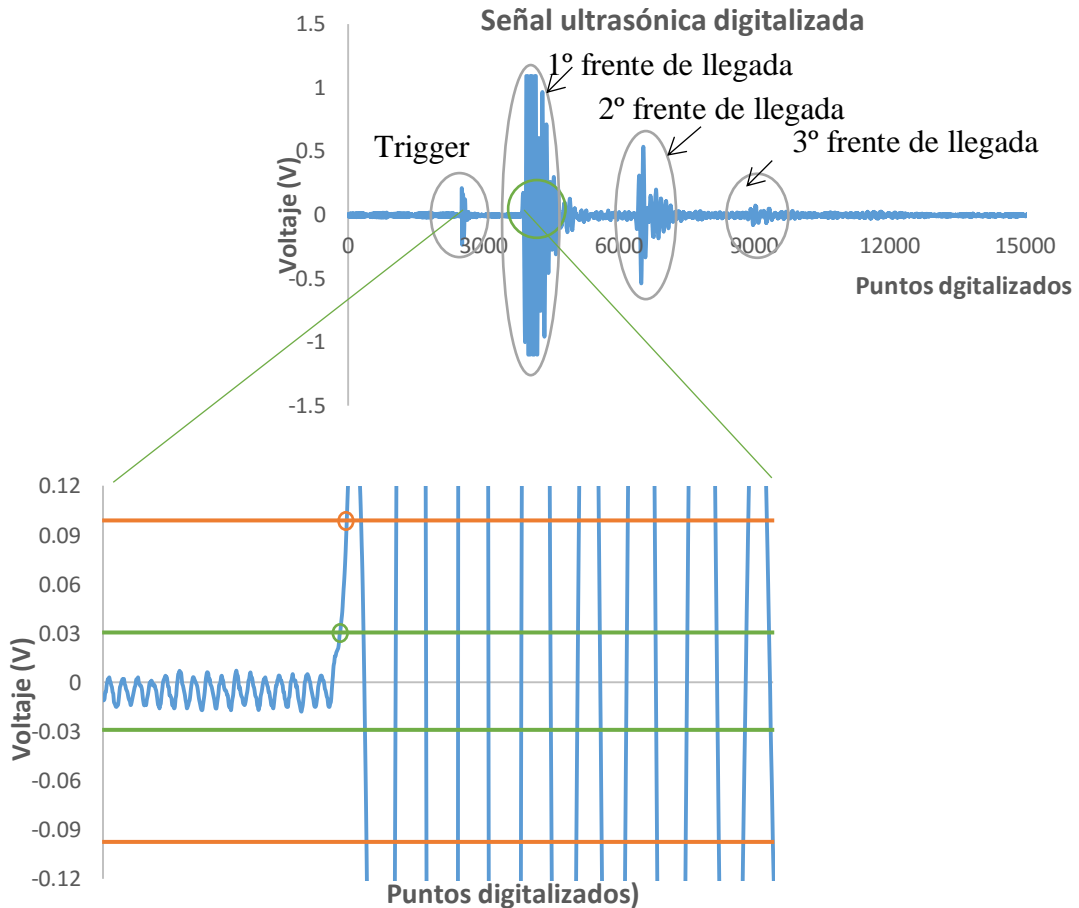


Figura 4. Método del cálculo del tiempo de vuelo (T_v) mediante el umbral de energía.

Para estudiar la atenuación ultrasónica, se calculó el coeficiente de atenuación como el parámetro principal a partir del segundo y tercer frente de llegada de la onda ultrasónica (frentes no saturados). En ambos frentes, se convirtió la señal en su modo temporal al modo de frecuencia realizando la transformada rápida de Fourier (FFT). Para cada señal se fijaron los puntos de inicio de cada frente de llegada que dependen del espesor de la muestra y de la velocidad ultrasónica. El tamaño del intervalo También fue ajustado atendiendo a las necesidades de cada medida (alrededor de 2500 puntos). Así, a partir de los espectros de frecuencia de ambos frentes se determinó:

- Pico (P1 y P2): Amplitud máxima del frente de llegada 2 y 3, respectivamente.
- Frecuencia (F1 y F2): Frecuencia a la que se encuentran P1 y P2.
- Integral del pico: Cálculo del área bajo la curva para cada frente de llegada.

A partir de P1 y P2 es posible calcular el coeficiente de atenuación (α , Np/m) de cada medida, tal y como se muestra en la Ecuación 1.

$$\alpha = \frac{\text{Ln}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{2L} \quad (1)$$

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

Análisis de textura

Para los ensayos instrumentales de textura, se extrajeron paralelepípedos de 2x2x1.5cm del músculo BF. En estos paralelepípedos, se realizaron ensayos de compresión-relajación (Morales et al., 2007) con un texturómetro universal (TA-XT2i, SMS). En el ensayo se utilizó una sonda cilíndrica de 5cm de diámetro, los paralelepípedos se comprimieron hasta un 25% de su altura, a una velocidad de compresión de 1mm/s y manteniendo dicha posición durante 90s con el fin de estudiar la capacidad de relajación de las muestras. Los ensayos se realizaron en una cámara de refrigeración a 2°C.

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

Fuerza máxima (F_0): Valor máximo de la fuerza (N) de compresión, este parámetro se relaciona con la dureza de la muestra

Caída de fuerza (Y_t) (Ecuación 2): Cálculo de la relación entre la fuerza máxima de compresión (F_0) y la existente en diferentes instantes de la fase de relajación: a los 2s de ensayo (Y_2) y al final del mismo tras 90s (Y_{90}). Se considera Y_2 como la capacidad de relajación instantánea e Y_{90} como la capacidad total de relajación de la muestra. Y_2 e Y_{90} se calculan tal y como se muestra en la ecuación 2:

$$Y_t = \frac{F_0 - F_t}{F_0} \quad (2)$$

Dónde: Y_t = caída de fuerza a tiempo t; y F_t = fuerza en el tiempo t.

Análisis composicional y sensorial

Los ensayos de composición fueron llevados a cabo en el IRTA y el Centro de Tecnología de la Carne (CTC, CSIC). Los ensayos composicionales se realizaron en el BF de con una loncha idéntica a la utilizada en las medidas ultrasónicas y adyacente a la misma, exceptuando el pH que se midió en los jamones enteros (LoT406-M6-DXK-S7/25, Mettler-Toledo) antes de comenzar su elaboración.

El contenido en agua (%H, base húmeda) se analizó por secado a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta alcanzar un peso constante (AOAC, 1990). El contenido en sodio (%Sal, base húmeda) se determinó siguiendo la ISO 1841-2:1996 mediante el uso de un titulador potenciométrico 785 DMP Titrino (Metrohm AG, Herisau, Switzerland) para valoración con nitrato de plata y expresado como contenido en sal.

El %IP se calculó como el ratio entre el contenido en nitrógeno no proteico y el nitrógeno total. Para calcular el nitrógeno total se realizó en dos pasos. Una digestión de la muestra seguida de un destilado y posterior valoración potenciométrica siguiendo la ISO-937:1978. El nitrógeno no proteico se determinó por una homogeneización y estabilización con TCA al 20% y una posterior filtración seguida de una digestión (Janes et al., 2012)

El análisis sensorial se llevó a cabo mediante un panel formado por 5 catadores entrenados que se realizó en las instalaciones del IRTA. Para ello, se dio a cada uno de los miembros del panel una loncha de 1.5 mm de espesor, adyacente a la tomada para los análisis composicionales. Cada miembro valoró la intensidad del defecto con un valor entre 0 (nada pastosa) y 6 (muy pastosa). Finalmente, se clasificaron las lonchas según la intensidad del defecto de pastosidad siguiendo el siguiente criterio:

- 0-1: No pastosas.
- 1-2.5: Baja pastosidad
- 2.5-6: Pastosidad elevada.

Análisis estadístico

Para el estudio estadístico de la influencia de las distintas variables se empleó el software estadístico Statgraphics Centurión XVI, mediante el cual se realizaron Anovas (simples y multifactoriales) y regresiones (simples y múltiples) con el fin de establecer la relación entre los parámetros texturales, composicionales, sensoriales y ultrasónicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre pastosidad y composición

En la Figura 5 se muestran los valores medios del %IP para los tres niveles del defecto de pastosidad identificados según el análisis sensorial. En dicha figura se observa que, tal y como se esperaba, existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes grupos incrementándose el %IP con la intensidad del defecto. Así, las muestras no pastosas ($n=105$) presentaron un %IP de $33.2 \pm 2.9\%$, mientras que las muy pastosas presentaron un índice de $38.8 \pm 3.5\%$, obteniéndose un valor intermedio medio para las de pastosidad baja ($35 \pm 3.1\%$). Dicha relación se corresponde con lo ya observado por Ruiz-Ramírez et al. (2005), quienes apuntaron que la intensa acción de las catepsinas en las muestras de elevada pastosidad conlleva un mayor %IP.

En cuanto al resto de parámetros composicionales, el pH influyó de manera significativa ($p < 0.05$) en la pastosidad. Así, coincidiendo con los resultados mostrados por Ruiz-Ramírez et al. (2005) y Morales et al. (2007), aquellos jamones con menor pH (5.45 ± 0.05) fueron los que presentaban una mayor intensidad del defecto.

En el caso del contenido en agua, Morales et al. (2007) observaron que a mayor contenido en agua mayor pastosidad. Sin embargo, el análisis estadístico realizado con los datos experimentales no reveló relación alguna entre el contenido en agua y la pastosidad. El mismo resultado se obtuvo con el contenido en sal, lo cual pone de manifiesto que, a diferencia de lo esperado, no parece ser el parámetro más relevante para la pastosidad. Otros factores

que afectan directamente al contenido/distribución de agua y sal, como la temperatura en la fase de salado, reposo y secado, pueden afectar también a la pastosidad (García-Garrido et al., 1999). Es decir, dos jamones con el mismo contenido total de sal, pero elaborados en condiciones de temperatura diferente por ejemplo en la fase de reposo, pueden tener una distribución muy diferente de sal en ese momento, lo cual puede afectar al desarrollo e intensidad del defecto de pastosidad.

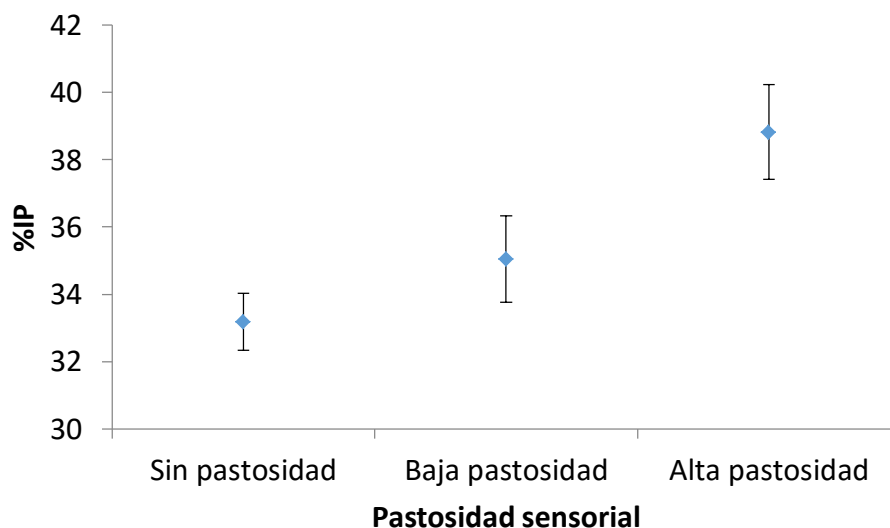


Figura 5. Valores medios e intervalos LSD (95%) del índice de proteólisis para los tres niveles de pastosidad establecidos mediante el análisis sensorial.

En vistas a establecer relaciones cuantitativas entre las variables composicionales, se establecieron modelos de regresión simple y múltiple considerando a la pastosidad como variable dependiente del %IP y pH. Así, la relación lineal entre el %IP y la pastosidad se muestra en la figura 6. El %IP resultó estadísticamente significativo ($p < 0.05$) aunque fue capaz de explicar únicamente el 36.58% de la variabilidad experimental ($R^2 = 0.369$). Es decir a pesar de que la bibliografía previa (Ruíz-Ramírez, 2005) ha puesto de manifiesto que las muestras pastosas se corresponden con un elevado %IP, existe una gran variabilidad experimental entre estas dos variables. Así, muestras que se puntuaron con el valor más alto de pastosidad (6) presentaron índices de proteólisis similares a otras que presentaron valores muy bajos de pastosidad. En vistas a mejorar la relación existente entre pastosidad e %IP, se incluyó el pH como factor en un modelo de regresión múltiple. Este factor resultó significativo ($p < 0.05$), de manera que a mayor pH menor pastosidad, aunque su efecto sobre la variabilidad explicada fue pequeño (38.98%). Por lo tanto, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la percepción sensorial de este defecto presenta una correlación bastante baja con los parámetros composicionales. Además, el defecto de pastosidad debería de ser mejor explicado desde un punto de vista bioquímico ya que su relación con el índice de proteólisis total es baja, de manera que podría catalogarse como una proteólisis muy específica.

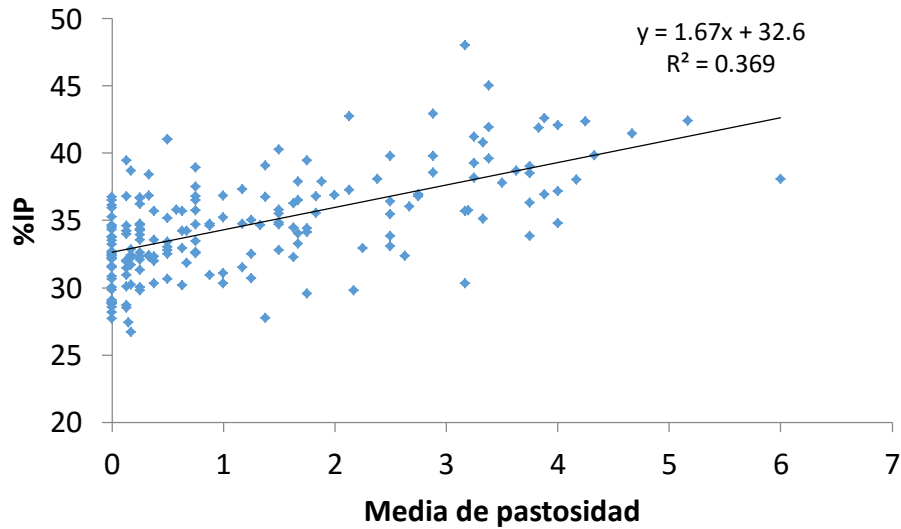


Figura 6. Modelo de regresión lineal entre la media de pastosidad y el %IP.

Relación entre pastosidad y parámetros texturales

A continuación, se estudiaron las posibles relaciones existentes entre el %IP y la pastosidad sensorial con los parámetros texturales (F_0 , Y_2 e Y_{90}). En la Figura 7, se pueden observar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las F_0 relativas a cada nivel de pastosidad. De esta manera, las muestras muy pastosas presentaron un F_0 de $5.3 \pm 2.2N$ y las muestras no pastosas una F_0 de $15.5 \pm 6.3N$, obteniéndose para las muestras de pastosidad intermedia un valor medio de $9.5 \pm 4.6N$. Es decir las muestras fueron más blandas a medida que se acentuó el defecto de pastosidad, tal y como habían observado previamente Morales et al. (2007) y Mora (2015).

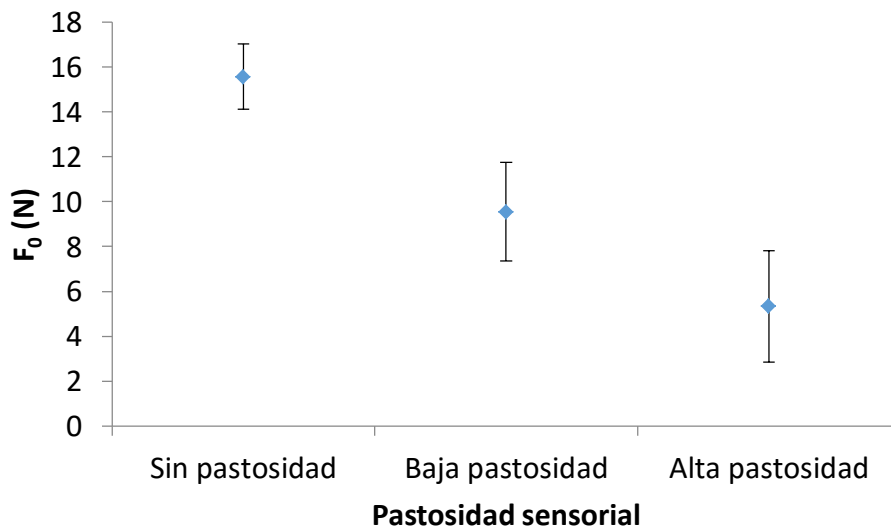


Figura 7. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la F_0 (N) para los tres niveles de pastosidad establecidos mediante el análisis sensorial.

En el caso de la capacidad de relajación, se observó que a mayor pastosidad, mayor Y_2 e Y_{90} . Las muestras pastosas presentaron una Y_2 de

0.43±0.002 y una Y_{90} de 0.70±0.02, mientras que las muestras no pastosas presentaron un valor de Y_2 de 0.37±0.03 y una Y_{90} de 0.66±0.03, obteniéndose para las muestras de pastosidad intermedia un valor medio de $Y_2 = 0.41±0.02$ e $Y_{90} = 0.68±0.02$. Estos resultados se corresponden con el patrón observado por Morales et al. (2007). En cuanto al %IP, se observó una influencia similar de los parámetros texturales a la observada para la pastosidad sensorial.

Cuando se establecieron modelos de regresión simple entre las diferentes variables, F_0 , Y_2 e Y_{90} fueron capaces de describir el 43.49% ($R^2 = 0.438$), el 41.27% ($R^2 = 0.412$) y el 33.09% ($R^2 = 0.335$) de la variabilidad experimental del %IP, respectivamente. En el caso de la pastosidad sensorial, la variabilidad experimental explicada fue del 40.50% ($R^2 = 0.408$), 47.74% ($R^2 = 0.480$) y 37.13% ($R^2 = 0.375$) para los factores F_0 , Y_2 e Y_{90} , respectivamente. Con el fin de mejorar la predicción de la pastosidad, se escogió el modelo de regresión lineal de Y_2 como factor, por ser el que mejor explicaba su variabilidad experimental, y se añadió %IP como variable independiente, con lo que se mejoró ligeramente el modelo (de $R^2 = 0.480$ a $R^2 = 0.529$).

Relación entre parámetros composicionales y texturales con parámetros ultrasónicos.

En primer lugar, se estudió la relación existente entre los parámetros ultrasónicos (velocidad y coeficiente de atenuación) y composicionales. Utilizando modelos de regresión simple (Figura 8), el contenido en agua influyó de manera significativa en la velocidad ultrasónica medida a 2 (V_2) y 20°C (V_{20}). Así, V_2 y V_{20} fueron capaces de describir el 47.73% ($R^2 = 0.474$) y del 41.22% ($R^2 = 0.409$) de la variabilidad experimental del contenido en agua. En la Figura 8, se observa como a mayor contenido en agua menor velocidad. La relación negativa entre contenido en agua y velocidad ultrasónica se ha observado en trabajos previos (Corona, 2012) y es debido a que la señal ultrasónica se propaga a mayor velocidad en sólidos que en líquidos. Así, para alimentos y temperaturas superiores al punto de congelación, un aumento del contenido en agua conlleva un descenso de la velocidad ultrasónica. En el caso del coeficiente de atenuación, no se observó ninguna influencia en el contenido de humedad.

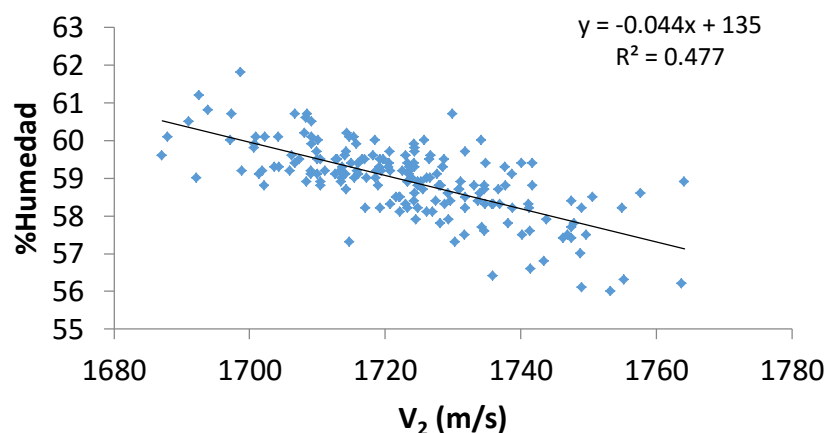


Figura 8. Modelo de regresión lineal entre humedad y velocidad ultrasónica a 2°C (V_2).

En cuanto al contenido en sal, se obtuvo una mejor descripción mediante los modelos de regresión simple con la velocidad ultrasónica como variable independiente que en el caso del agua. Así, V_2 y V_{20} describiendo un 61.87% ($R^2 = 0.617$) y un 58.38% ($R^2 = 0.582$) de la variabilidad experimental del contenido de sal (Figura 9). Estos modelos se mejoraron de manera significativa añadiendo otras variables del proceso que son fácilmente medibles en las líneas de producción. Así, incluyendo la pérdida de peso que sufre el jamón y los días de salado, se consiguió aumentar la descripción de la variabilidad experimental del contenido de sal a 76.16% ($R^2 = 0.758$) para el modelo de regresión múltiple que considera V_2 . Tal y como se muestra en la Figura 9, la relación del contenido en sal con la velocidad es positiva, es decir, a mayor contenido en sal, mayor velocidad ultrasónica. Estudios previos (Fulladosa et al., 2015; Martínez-Escriba, 2015) han puesto de manifiesto que los ultrasonidos pueden utilizarse para determinar la ganancia que experimenta el jamón durante el proceso de salado, ya que al aumentar el contenido en sal, aumenta el contenido en solutos. Pero este trabajo, pone de manifiesto la viabilidad de esta técnica no únicamente para determinar la ganancia de sal durante su elaboración, sino también para su uso en el control de calidad de las lonchas en la industria. Al igual que en el caso del contenido en humedad, no se observó ninguna influencia del coeficiente de atenuación en el contenido en sal.

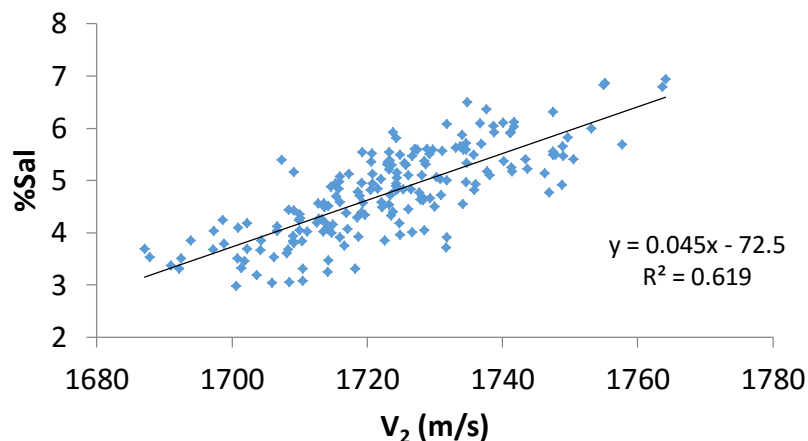


Figura 9. Modelo de regresión lineal entre sal y velocidad ultrasónica a 2°C (V_2)

En cuanto a la descripción de los parámetros texturales, mediante las medidas ultrasónicas, en primer lugar, se estudió la influencia de la velocidad y atenuación en F_0 . El comportamiento general fue que a medida que aumentó la dureza, se incrementó la velocidad y disminuyó el coeficiente de atenuación. Así, aunque velocidad y coeficiente de atenuación fueron factores significativos ($p < 0.05$) considerando un modelo de regresión simple de la variable F_0 , los porcentajes de variabilidad experimental explicados fueron de 16.12% (V_2) y un 16.68% (para el coeficiente de atenuación a 20°C). Corona, et al. (2013) mostraron una buena relación lineal ($R^2 = 0.705$) entre dureza y velocidad (medida a 6°C) para jamón curado. Estos resultados contrastan con la peor relación obtenida entre estas variables en este trabajo y que puede deberse al

rango experimental de dureza evaluado, muestras muy blandas en todos los casos, y también a como se han realizado las experiencias. Mientras que las medidas ultrasónicas se realizaron en paralelo a las fibras musculares, las medidas de textura se realizaron perpendicular a las fibras. Smith (1996) propuso que existía una relación entre la velocidad y atenuación y la dirección de las fibras, siendo mayor en las medidas en paralelo que en las realizadas en perpendicular.

En cuanto a la capacidad de relajación instantánea (Y_2) y total (Y_{90}), el aumento de la capacidad de relajación conllevó un descenso de la velocidad y un incremento de la atenuación. La relación entre estas variables presentó un comportamiento similar al de la dureza, es decir los modelos de regresión simple identificaron que velocidad y coeficiente de atenuación son factores significativos ($p < 0.05$) de Y_2 e Y_{90} , pero su capacidad de descripción no fue muy elevada (variabilidad explicada entre 10.52% y 17.46%). Estos modelos se mejoraron ligeramente con la inclusión de variables de proceso fácilmente medibles como el peso en fresco del jamón y su pérdida de peso durante el procesado (variabilidad explicada entre 17.36% y el 22.42%).

Caracterización de la pastosidad mediante ultrasonidos.

Finalmente, y para abordar el objetivo principal del estudio, se analizó la relación entre la pastosidad sensorial con los parámetros ultrasónicos. En la Figura 10, se muestran los valores medios de la velocidad ultrasónica para los tres niveles de pastosidad. En ella no se observan diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tres grupos a ninguna de las dos temperaturas estudiadas, indicando que la velocidad no tiene una buena relación con la pastosidad, lo que coincide con estudios previos (Mora, 2015).

En el caso de la atenuación ultrasónica (Figura 11), sí que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los grupos con diferente intensidad en el defecto de pastosidad. Así, para las medidas a 2°C, las muestras muy pastosas presentaron un coeficiente de atenuación de 43.05 ± 0.64 Np/m y las que no presentaron el defecto, un coeficiente de atenuación de 48.24 ± 1.08 NP/m, obteniéndose, para las de pastosidad intermedia (45.68 ± 0.97 Np/m). Observándose así, un incremento del coeficiente de atenuación con el incremento del defecto de pastosidad (Figura 11). Sin embargo, en las medidas de coeficiente de atenuación a 20°C no se muestran diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las muestras muy pastosas y de pastosidad intermedia. El incremento de la atenuación con la pastosidad se debe a que la pérdida de energía de la onda es mayor en un medio de alta viscosidad (muestra pastosa) que en uno menos viscoso (muestra no pastosa). La medida de atenuación es bastante complicada de realizar en medios sólidos debido principalmente a la pérdida de energía por el acople entre transductor y muestra, esto hace que su utilización como parámetro característico de este tipo de materiales sea menos frecuente (REF).

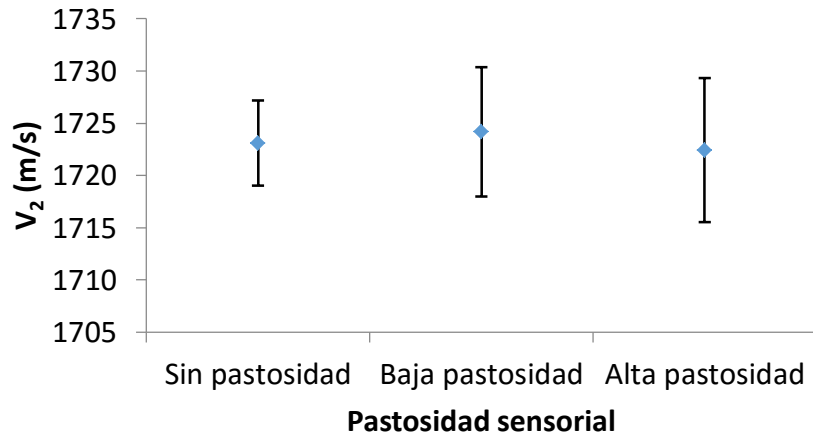


Figura 10. Valores medios e intervalos LSD (95%) la velocidad medida a 2°C para los tres niveles de intensidad de pastosidad.

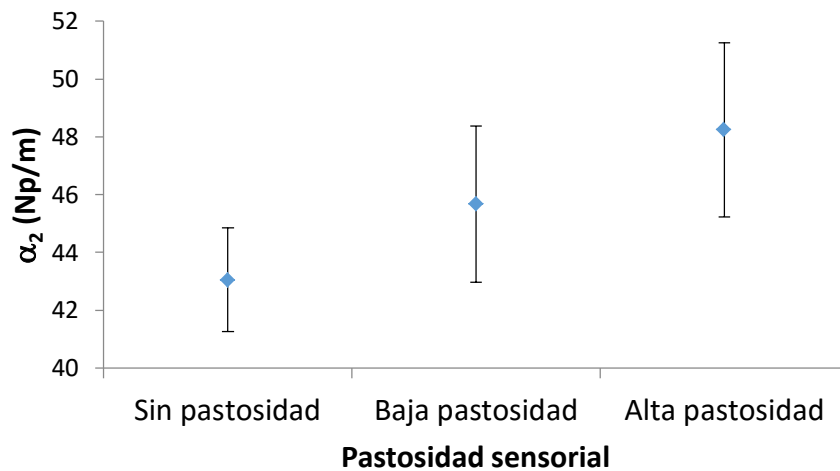


Figura 11. Valores medios e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación medido a 2°C para los tres niveles de intensidad de pastosidad.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se establecieron modelos de regresión simple relacionando el coeficiente de atenuación con la pastosidad sensorial y el %IP. Los modelos de regresión simple considerando el coeficiente de atenuación explicaron únicamente el 9.48% ($R^2 = 0.099$) de la variabilidad de la pastosidad a 2°C. En el caso del %IP, aunque similares, los coeficientes de regresión fueron todavía inferiores.

Con el fin de mejorar la relación entre el coeficiente de atenuación y la pastosidad sensorial y el %IP, se incluyó el pH como factor en modelos de regresión múltiple. De esta manera, se consiguió mejorar la variabilidad experimental explicada llegando a valores de 20.99% ($R^2 = 0.223$) en el caso de la pastosidad sensorial. Para el modelo del %IP los valores resultaron muy similares (19.88%). Aunque la capacidad de descripción numérica de la pastosidad con el coeficiente de atenuación es baja, hay que resaltar que la medida sensorial de pastosidad presenta una elevada variabilidad y su relación con medidas destructivas, como el %IP (36,9%) y los parámetros texturales (47.74%), también es bastante baja.

CONCLUSIONES

La medida de la velocidad ultrasónica permitió una adecuada descripción de la composición del músculo *Biceps femoris* en jamón curado loncheado, así este parámetro explicó el 76% de la variabilidad experimental del contenido en sal y el 48% en el caso del contenido en humedad. En cambio, las medidas ultrasónicas, velocidad y atenuación, mostraron una baja capacidad de descripción de los parámetros texturales a diferencia de lo observado en trabajos previos. En relación a la pastosidad, el coeficiente de atenuación permitió clasificar las muestras según la intensidad del defecto, aunque su descripción de la variabilidad experimental de la pastosidad fue baja. Este resultado puede explicarse parcialmente porque la pastosidad es un fenómeno muy complejo puesto que es un atributo sensorial y, por tanto, depende de la percepción de cada individuo, lo que conlleva una elevada variabilidad experimental. Así, el trabajo ha puesto de manifiesto que la relación existente entre la pastosidad sensorial y las medidas destructivas (índice de proteólisis y textura) resultaron bajas, aunque superiores a las obtenidas con el coeficiente de atenuación. Así, los resultados apuntan a que es necesario una mejor descripción bioquímica de este defecto y su relación con variables composicionales y texturales. En relación a las medidas ultrasónicas, se considera que recomendable mejorar la determinación del coeficiente de atenuación ya que su medida resulta compleja en sólidos.

REFERENCIAS

- ANICE, 2016: <http://www.anice.es>
- AOAC (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, Virginia, EEUU.
- 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. 1998. Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. ICoMST, 44: 71-86.
- Awad, T.S.; Moharram, HA.; 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.
- Ayuso, D.; González, A.; Hernández, F.; Corral, J.M.; Izquierdo, M. 2013. Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasounds measurement in live animals. Journal of Animal Science, 91: 1884-1892.
- Bello, J. 2008. Jamón curado. Aspectos científicos y tecnológicos. Perspectiva desde la Unión Europea. Ed: Díaz Santos, 171-397.
- Benedito, J.; Cárcel, J.A.; Sanjuán, N.; Mulet, A. 2000. Use of ultrasound to assess Cheddar cheese characteristics. Ultrasonics, 38: 727-730.
- Benedito, J.; Cárcel, J.A.; Sanjuán, N.; Mulet, A. 2001. Quality control of cheese maturation and defects using ultrasonics. Journal of Food Science, 66: 100-104.
- BOE, 2016: https://www.boe.es/diario_boe
- Cervera, C. 2015. Puesta a punto de una metodología para la caracterización de pastosidad en jamón curado mediante ultrasonidos. Tesis Grado. Universidad Politécnica de Valencia.
- Conroy, S.B.; Drennan, M.J.; Kenny, D.A.; McGee, M. 2010. The relationship of various muscular and skeletal scores and ultrasound measurements in the live animal, and carcass classification scores with carcass composition and value of bulls. Livestock Science, 127: 11-21.
- Corona, E. 2012. Caracterización de la calidad de productos cárnicos crudo-curados mediante ultrasonidos de señal. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Corona, E.; García-Pérez, J.V.; Mulet, A.; Benedito, J. 2013. Ultrasonic assessment of textural changes in vacuum packaged sliced Iberian ham induced by high pressure treatment or cold storage. Meat Science, 95: 389-395.
- Fulladosa, E.; Muñoz, I.; Serra, X.; Arnau, J.; Gou, P. 2015. X-ray absorptiometry for non-destructive monitoring of the salt uptake in bone-in raw hams during salting. Food Control, 47: 37-42.
- García-Garrido, J.A.; Quiles-Zafra, R.; 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.

García-Perez, J.V.; Martínez-Escriba, G.; Cervera, C.; Mora, M.E.; Benedito, J. 2015. Uso de ultrasonidos de señal para la detección del defecto de pastosidad en jamón curado. *Tecniacustica*, 46: 1579-1585.

Guerrero, L.; Gobantes, I.; Oliver, M.A.; Arnau, J.; Guàrdia, M.D.; Elvira, J.; Riu, P.; Grèbol, N.; Monfort, J.M. 2004. Green hams electrical impedance spectroscopy (EIS) measures a pastiness prediction of dry cured hams. *Meat Science*, 66: 289-294.

Janes, L.; Velikonja Bolta, S.; Skrlep, M.; Candek-Potokar, M.; Prevolnik, M. 2012. Determination of free amino acid content in the Slovenian dry-cured ham "Kraski prsut" and product characterization. *Acta agriculturae Slovenica*, 100: 29-35

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: I. Skin and backfat. *Meat Science*, 88: 67-74.

Martínez-Escriba, G. 2015. Aplicación de ultrasonidos para la monitorización del salado en seco de jamón. Tesis Grado. Universidad Politécnica de Valencia.

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 self-life storage. *Postharvest Biology and Technology*, 46: 271-274.

Mizrach, A. 2008. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetable in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*, 48: 35-330.

Mora, M.E. 2015. Influencia de defectos de textura en jamón curado loncheado sobre parámetros ultrasónicos y texturales. Tesis Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Morales, R.; Guerrero, L.; Aguiar, A.P.S.; Guàrdia, M.D.; Gou, P. 2013. Factors affecting dry-cured ham consumer acceptability. *Meat Science*, 95: 652-657

Morales, R.; Serra, X.; Guerrero, L.; Gou, P. 2007. Softness in dry-cured porcine *biceps femoris* muscles in relation to meat quality characteristics and processing conditions. *Meat Science*, 77: 662-669

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

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

Niñoles, L.; Sanjuán, 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.

Norma Internacional ISO 1841-2:1996. Determination of chloride content. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.

Norma Internacional ISO-937:1978. Determination of nitrogen content. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.

Oppenheim, A.V.; Schaffer, R.W. 1989. *Discrete-time Signal Processing*. Prentice Hall, Inc.

Picouet, P.A.; Gou, P.; Fulladosa, E.; Santos-Garcés, E.; Arnau, J. 2013. Estimation of NaCl diffusivity by computed tomography in the *Semimembranosus* muscle during salting of fresh and frozen/thawed hams. *LWT – Food Science and Technology*, 51: 275-280.

Ruiz-Ramírez, J.; Serra, X.; Gou, P.; Arnau, J. 2005. Efecto del índice de proteólisis sobre la textura del jamón crudo curado. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14: 62-64.

Škrlep, M.; Candek-Potokar, M.; Mandelc, S.; Javornik, B.; Gou, P.; Chambond, C.; Santé-Lhoutelliere, V. 2011. Proteomic profile of dry-cured ham relative to PRKAG3 or CAST genotype, level of salt and pastiness. *Meat Science*, 88: 657-667.

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

Toldrà, F. 1998. Desarrollo de las características de textura y flavor: Contribución enzimática. El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. *ICoMST*, 44: 41-54