

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



PUESTA A PUNTO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PASTOSIDAD EN JAMÓN CURADO MEDIANTE ULTRASONIDOS

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: Carlos Cervera Perea

TUTOR/A: José Vicente García Pérez y José Javier Benedito Fort

Curso Académico: 2014/2015

VALENCIA, JUNIO 2015



Título: Puesta a punto de una metodología para la caracterización de pastosidad en jamón curado mediante ultrasonidos.

Resumen:

La caracterización del problema de pastosidad representa un problema en la industria del jamón curado. En la actualidad, únicamente el análisis instrumental y sensorial con paneles de catadores entrenados puede considerarse como las únicas técnicas de caracterización adecuada de la pastosidad. Aunque, ambas son técnica de análisis destructivo, lentas y de imposible automatización para el control de calidad en las líneas de producción. Así, el principal objetivo de este trabajo fue el de evaluar la capacidad de los ultrasonidos de señal, como técnica no destructiva, para caracterizar y detectar problemas de pastosidad en piezas de jamón curado. Por lo tanto, se pretendió desarrollar una metodología adecuada para la caracterización de este defecto textural.

Para alcanzar este objetivo, se realizaron medidas ultrasónicas (utilizando diferentes transductores 1 MHz y 5 MHz de banda estrecha y 1 MHz banda ancha) en piezas de jamón curado con (Pastosos) y sin el defecto (No pastosos). Las medidas ultrasónicas se realizaron a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) mediante técnicas de transmisión recepción y pulso-eco. El análisis de la señal ultrasónica se realizó tanto en la dimensión temporal (para el cálculo de velocidad ultrasónica) y de frecuencia (para el cálculo de atenuación). Además, se determinaron los parámetros texturales de las piezas de jamón mediante ensayos de compresión-relajación utilizando un texturómetro universal. Por último, se realizó la determinación del contenido de humedad y grasa.

Los jamones Pastosos presentaron una menor dureza y una mayor capacidad relajación que los No Pastosos. Los transductores de 1 MHz de banda ancha y estrecha utilizados se pueden considerar adecuados tanto para medir velocidad como atenuación. Sin embargo, los transductores de 5 MHz únicamente se pueden utilizar para la medida de la velocidad. La temperatura influyó en la velocidad ultrasónica pero no en la atenuación. Las medidas de velocidad ultrasónica a 2 y 22 °C resultaron adecuadas para diferenciar jamones Pastosos y No Pastosos. Los jamones con el defecto de pastosidad presentaron una mayor atenuación. La metodología desarrollada debe validarse en trabajos posteriores utilizando una mayor número de muestras y considerando diferentes niveles de intensidad en el defecto de pastosidad. Además, debería ampliarse el estudio considerando la percepción sensorial y estableciendo relaciones entre los parámetros ultrasónicos, texturales y sensoriales.

Palabras clave: Jamón curado, defecto de textura, pastosidad, ultrasonidos, análisis no destructivo.

Alumno: Carlos Cervera Perea

Valencia, Julio 2015

Prof. Dr. José Vicente García Pérez

Prof. Dr. José Javier Benedito Fort

Title: Development of a methodology for pastiness characterization in dry-cured ham by using ultrasound

Abstract:

The characterization of pastiness defect represents a relevant issue in dry-cured ham industry. Nowadays, instrumental and sensorial analysis with trained panelists can be considered as the only adequate characterization techniques for pastiness. Even though, both techniques are destructive and slow by which their implementation for an automatic control in the food processing lines results complicated. Thus, the main objective of this work was to evaluate the feasibility of low intensity ultrasound, as non-destructive technique, to characterize and detect pastiness in dry-cured ham pieces. Therefore, this work aims to develop an adequate methodology for the characterization of this textural defect.

To achieve this objective, ultrasound measurements were made (using 1 MHz and 5 MHz wideband and 1MHz narrowband transducers) in dry-cured ham pieces with (Pasty) and without the defect (Non Pasty). Ultrasound measurements were made at different temperatures (2, 7, 15 & 22°C) through transmission-reception and pulse-echo techniques. Ultrasound signal analysis was applied in both temporal (to calculate ultrasound velocity) and frequency (to calculate attenuation) dimensions. In addition, textural parameters of dry-cured ham pieces were determinate through compression-relaxation tests using a universal texture analyzer. Finally, water and fat content were determined.

Pasty dry-cured hams were softer and presented a higher relaxation capacity than Non Pasty ones. Narrowband and wideband 1 Mhz transducers can be considered adequate to measure both ultrasonic velocity and attenuation. However, 5 MHz transducers can only be used in velocity measurements. Temperature did not influence the ultrasonic attenuation but ultrasound velocity. Ultrasonic velocity measurements at 2 and 22°C could be used to differentiate Pasty and Non Pasty dry-cured hams. Defective dry-cured hams presented a higher attenuation. The methodology developed in this work should be further validated using a larger number of samples and taking into account different levels of pastiness intensity. In addition, the work should be extended considering sensorial analysis and establishing relationships between ultrasound, textural and sensorial parameters.

Key words: Dry-cured ham, textural defect, pastiness, ultrasound, non-destructive analysis

Student: Carlos Cervera Perea

Valencia, Julio 2015

Prof. Dr. José Vicente García Pérez

Prof. Dr. José Javier Benedito Fort

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>IMPORTANCIA DEL JAMÓN CURADO</i>	1
1.2. <i>PROBLEMAS TEXTURALES EN JAMÓN CURADO</i>	4
1.3. <i>MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE TEXTURA</i>	5
1.4. <i>ULTRASONIDOS</i>	6
1.5. <i>APLICACIONES DE LOS ULTRASONIDOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA</i>	7
2. OBJETIVOS	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. <i>MATERIA PRIMA</i>	10
3.1.1. <i>LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE MEDIDA</i>	10
3.2. <i>ULTRASONIDOS DE SEÑAL. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.</i>	11
3.2.1. <i>MONTAJE EXPERIMENTAL</i>	11
3.2.2. <i>DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ULTRASÓNICOS EN PIEZAS ENTERAS Y CILINDROS</i>	13
3.2.3. <i>ANÁLISIS DE LA SEÑAL ULTRASÓNICA</i>	15
3.3. <i>TEXTURA</i>	17
3.4. <i>ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN</i>	18
3.4.1. <i>PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS</i>	18
3.4.2. <i>HUMEDAD</i>	19
3.4.3. <i>GRASA</i>	19
3.5. <i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	20
4. RESULTADOS	21
4.1. <i>CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA</i>	21
4.2. <i>INFLUENCIA DE LA PASTOSIDAD EN LOS PARÁMETROS TEXTURALES</i>	22
4.3. <i>INFLUENCIA DE LA PASTOSIDAD EN LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS</i>	24
4.3.1. <i>INFLUENCIA SOBRE LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA</i>	24
4.3.2. <i>INFLUENCIA SOBRE EL COEFICIENTE DE ATENUACIÓN</i>	27
4.3.3. <i>INFLUENCIA SOBRE OTROS PARÁMETROS US</i>	30
4.4. <i>RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS TEXTURALES Y ULTRASÓNICOS</i>	31
5. CONCLUSIONES	33
6. BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE FIGURAS

- **Figura 1.1. Ventas netas de productos en la industria agroalimentaria dividida por subsectores en el año 2012 (MAGRAMA, 2014)..... 1**
- **Figura 1.2. Proceso de elaboración del jamón curado (Eurocarne, 2013)..... 3**
- **Figura 3.1. Localización de las zonas de medida en la maza del jamón..... 10**
- **Figura 3.2. A) Sacabocados utilizado para la extracción de los cilindros de las zonas de medida. B) Cilindros de 2 cm de altura en los que se dividió el cilindro tomado de la zona de medida..... 11**
- **Figura 3.3. Osciloscopio y generador-receptor empleados en las experiencias..... 11**
- **Figura 3.4. Equipo de medición de espesor y presión. Se observa el carro deslizante, la célula de carga y la colocación de los transductores..... 12**
- **Figura 3.5. Esquema del sistema ultrasónico..... 13**
- **Figura 3.6. Medida ultrasónica en una pieza entera (A) y cilindros (B)..... 14**
- **Figura 3.7. Método del cálculo del Tiempo de vuelo con el método del umbral de energía para la medición de velocidad ultrasónica..... 15**
- **Figura 3.8. Señal de atenuación ultrasónica sobre la que se realizará la transformada rápida de Fourier..... 16**
- **Figura 3.9. Representación de los dos frentes de llegada de la señal, tras la conversión de la señal del dominio temporal a dominio de frecuencia, mediante la transformada rápida de Fourier y parámetros característicos..... 17**
- **Figura 3.10. Ensayo de compresión/relajación en cilindros de 2 cm de altura..... 17**
- **Figura 3.11. Perfil Fuerza (N)-Tiempo (s) en el ensayo de compresión/relajación..... 18**
- **Figura 3.12. Muestras para determinación de composición química..... 19**
- **Figura 3.13. Montaje experimental para la determinación del contenido en grasa..... 20**
- **Figura 4.1. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la reducción de la fuerza de compresión durante 90 s de relajación (A), $Y(90)$, Área/F(0) durante 90 s de relajación (B) y Fuerza máxima de compresión (C), F(0)) en los cilindros de 2 cm de altura de jamones Pastosos (P) y No Pastosos (NP)..... 23**
- **Figura 4.2. Velocidades ultrasónicas medias obtenidas en las diferentes zonas de medida en una pieza de jamón No Pastoso a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz banda ancha..... 24**

- **Figura 4.3. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones No Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) utilizando el transductor de 1 MHz de banda ancha..... 25**
- **Figura 4.4. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) utilizando los transductores de 1 MHz de banda ancha y 5 MHz de banda estrecha..... 25**
- **Figura 4.5. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones Pastosos y No Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) y utilizando el transductor de 1 MHz de banda ancha..... 26**
- **Figura 4.6. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones Pastosos y No Pastosos determinados a 22°C utilizando tres transductores (1 Mhz y 5 Mhz de banda estrecha y 1 Mhz de banda ancha)..... 26**
- **Figura 4.7. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en las muestras cilíndricas Pastosas (P) y No Pastosas (NP) a 2°C utilizando el transductor de 1 MHz de banda ancha..... 27**
- **Figura 4.8. Señal obtenida mediante pulso-eco para la determinación de atenuación y otros parámetros de la onda..... ..27**
- **Figura 4.9. Coeficientes de atenuación medios obtenidos en los diferentes puntos de medida de un jamón No Pastoso a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz de banda estrecha..... 28**
- **Figura 4.10. Valores medios e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación (α , m^{-1}) para jamones Pastosos y No Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) utilizando tres transductores diferentes (1 MHz y 5MHz de banda estrecha y 1 MHz de banda ancha)..... 29**
- **Figura 4.11. Valores medios e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación (m^{-1}) para los cilindros Pastosos y No Pastosos determinados a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz de banda ancha..... 30**
- **Figura 4.12. Relación entre parámetros ultrasónicos (Velocidad ultrasónica (VUS) y coeficiente de atenuación (α) medidos a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz de banda ancha y texturales (F(0), Y(90) y A/F(0)) para jamones Pastosos y No Pastosos.....32**

ÍNDICE DE TABLAS

- **Tabla 1.1. Composición nutricional (en 100g) del jamón curado (Moreiras et al., 2013.)... 4**
- **Tabla 3.1. Diseño experimental..... 14**
- **Tabla 4.1. Contenido medio en grasa (Xg) y humedad (Xw) de las piezas de jamón..... 21**
- **Tabla 4.2. Influencia de los factores pastosidad y temperatura y su interacción sobre los diferentes parámetros ultrasónicos. El símbolo “X” marca los efectos significativos determinados mediante un ANOVA multifactorial (con un nivel de significación del 95%)..... 30**

1. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCION

1.1. IMPORTANCIA DEL JAMÓN CURADO

La industria agroalimentaria representa el 16% del total de la industria europea (Food Drink Europe, 2013), siendo por tanto uno de los sectores industriales de mayor importancia. De igual modo en España, la industria de alimentos, bebidas y tabaco comprende el 18% del sector industrial (Food Drink Europe, 2013). Dentro de la industria agroalimentaria de nuestro país, el sector cárnico es el más importantes con un 22% de la facturación total (Figura 1.1) (MAGRAMA, 2013).

La carne de porcino juega un papel importante en la industria cárnica. Europa es el segundo productor mundial de carne de cerdo (22%) por detrás de China (50%). En España, la producción de carne de porcino es el principal subsector cárnico (61% del total de carne) en el año 2013. Así, España es el cuarto mayor productor de carne de porcino por detrás de China (50%), EE.UU. (10%) y Alemania (5.3%) (ANICE, 2014)

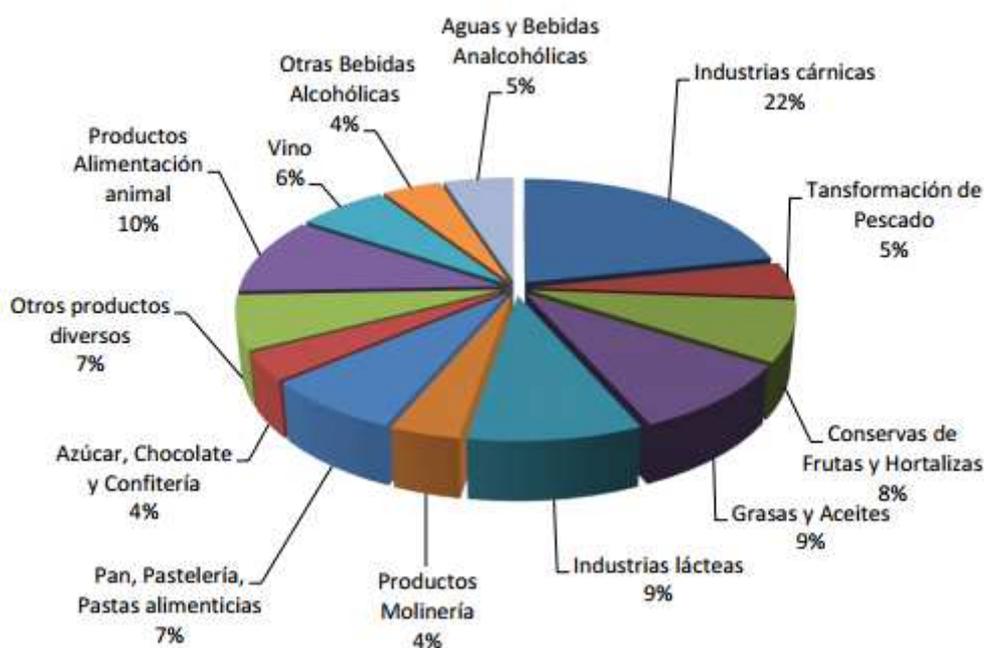


Figura 1.1. Ventas netas de productos en la industria agroalimentaria dividida por subsectores en el año 2012 (MAGRAMA, 2014)

España es el primer productor de jamón curado con unos 38.5 millones de jamones y paletas al año (ANICE, 2014) y, también, el primer consumidor con 5 kg de jamón curado al año por habitante. Además, es prácticamente el único exportador mundial de jamón siendo Europa su principal destino, con Francia, Alemania y Portugal como principales compradores. Japón

INTRODUCCIÓN

destaca, como importador fuera de la UE, con una media mensual de 5.1 toneladas. (MAGRAMA, 2014).

“Jamón” es el nombre genérico del producto, de muy antigua tradición elaboradora, obtenido de las patas traseras del cerdo, salado en crudo y curado de forma natural. En España existen dos tipos de jamones:

1. El *jamón ibérico* procedente de la raza ganadera autóctona de la península ibérica. La duración del proceso de curado oscila entre los 24 y 36 meses (MAGRAMA, 2014). Éste jamón puede clasificarse según la alimentación del cerdo antes del sacrificio:
 - 1.1. Jamón de bellota: Animal que alcanza el peso de sacrificio alimentándose en la fase de cebo de forma exclusiva de bellotas, hierba y otros recursos naturales de la dehesa, sin aporte de pienso suplementario (RD 4/2014).
 - 1.2. Jamón de cebo: Animal alimentado en la fase de cebo con piensos (cereales y leguminosas), y cuyo manejo se realiza en sistemas de explotación intensiva (RD 1135/2002 y RD 4/2014).
 - 1.3. Jamón de cebo de campo: Animal que aunque haya podido aprovechar recursos de la dehesa o del campo, ha sido alimentado con piensos (cereales y leguminosas), y cuyo manejo se realiza en explotaciones extensivas (RD 1221/2009) o intensivas (RD 324/2000) al aire libre pudiendo tener parte de la superficie cubierta (RD 1135/2002 y RD 4/2014).
2. *Jamón de cerdo blanco*, o “*jamón serrano*”, es aquél obtenido de cualquier otra raza de cerdo, no ibérico (MAGRAMA, 2014).

Existen distintas tecnologías de fabricación para los jamones curados, pero todas pretenden estabilizar el producto para que se pueda mantener a temperatura ambiente sin peligro para la salud ni riesgo de alteración y facilitar, a su vez, el desarrollo de las características propiedades sensoriales de este producto (Arnau et al., 1998) (Figura 1.2).



Figura 1.2. Proceso de elaboración del jamón curado (Eurocarne, 2013)

Respecto a la composición nutricional (Tabla 1.1) del jamón curado cabe destacar que se trata de una fuente importante de proteínas de alto valor biológico. Debido a la pérdida de agua producida por el proceso de curado el porcentaje de grasa y proteínas es superior en relación con el de la muestra fresca. El ácido oleico, con reconocidos efectos cardiovasculares, es el principal ácido graso presente. El aroma y el sabor del jamón están muy relacionados con la grasa, ya que es el componente más variable de un jamón a otro y depende de la raza, sexo, alimentación y pieza consumida. En cuanto a los hidratos de carbono, el jamón apenas contiene. Por otro lado, en relación con los micronutrientes, 100 g de jamón cubren un 18% de las recomendaciones diarias de hierro en niños y adultos, y entre un 12% y un 7.2% en mujeres y embarazadas, un 5% del zinc, potasio y calcio y un 20% del fósforo. Las personas con hipertensión deben tener en cuenta que 100g de porción comestible contienen alrededor de 2.5 g de sal. Además, el jamón contiene cantidades importantes de vitaminas, entre las que

INTRODUCCIÓN

cabe destacar, las del grupo B como la tiamina (B1), la riboflavina (B2), la niacina (B3) y la piridoxina (B6). (MAGRAMA, 2014)

Tabla 1.1. Composición nutricional (en 100g) del jamón curado (Moreiras et al., 2013)

Energía (Kcal)	241	Calcio (mg)	12,7
Proteínas (g)	31	Hierro (mg)	2,3
Lípidos totales (g)	13	Yodo (µg)	—
AG saturados (g)	4,40	Magnesio (mg)	17,1
AG monoinsaturados (g)	5,09	Zinc (mg)	2,2
AG poliinsaturados (g)	1,26	Sodio (mg)	1110
ω-3 (g)*	0,088	Potasio (mg)	160
C18:2 Linoleico (ω-6) (g)	1,089	Fósforo (mg)	180
Coolesterol (mg/1000 kcal)	70	Selenio (µg)	—
Hidratos de carbono (g)	0	Tiamina (mg)	0,57
Fibra (g)	0	Riboflavina (mg)	0,25
Agua (g)	56	Equivalentes niacina (mg)	6,7
		Vitamina B ₆ (mg)	0,41
		Folatos (µg)	Tr
		Vitamina B ₁₂ (µg)	Tr
		Vitamina C (mg)	0
		Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	Tr
		Vitamina D (µg)	Tr
		Vitamina E (mg)	0,08

1.2. PROBLEMAS TEXTURALES EN JAMÓN CURADO

La textura es la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos detectadas a través de los sentidos de la vista, oído, tacto y cinestesia (Szczesniak, 2002). Por ello, es un factor importante de la calidad de los productos cárnicos. Uno de los principales defectos texturales en jamón curado es la pastosidad que se caracteriza por la falta de elasticidad en el producto, lo que dificulta la recuperación de la forma original tras la deformación y causa un tacto oleoso en la zona del defecto (García-Garrido et al., 1999). La pastosidad se ve influenciada por muchos factores como a continuación se describe.

Una de las causas del aumento de pastosidad es la actividad proteolítica que se ve determinada por el contenido de NaCl, la temperatura y el pH de la materia prima (Arnau *et al.*, 1992). Una disminución del contenido en NaCl y una temperatura elevada durante la fase de reposo aumentarán la proteólisis, especialmente en jamones con bajo pH, provocando un aumento de la incidencia de jamones Pastosos. Por otro lado, el aumento de pH favorece la dureza y el encostrado del jamón (Gou, 2006) lo que favorece la aparición de este defecto. La proteólisis afecta a la textura mediante la desestructuración del músculo, al sabor por la generación de péptidos y aminoácidos libres y al aroma por la degradación de algunos aminoácidos libres. El sistema enzimático proteolítico en el músculo abarca tanto endo como exopeptidasas. (Toldrá, 2006). En general las proteasas del músculo son estables, a excepción de las calpainas que están restringidas a los primeros días (Rosell et al., 1996) y la catepsina D que se inactiva completamente alrededor del sexto mes del proceso (Toldrá, 1992). Por todo ello, hay que tener muy en cuenta las características de la base proteica del jamón para evitar una excesiva proteólisis, que nos presente un jamón pastoso y no apetecible, o una dureza y sequedad de la pieza excesiva.

INTRODUCCIÓN

El contenido en grasa intramuscular e intermuscular incide en la pastosidad del jamón curado. La presencia de grasa intra e intermuscular dificulta los procesos de salado y secado. Según Mulet et al. (1992), el coeficiente de difusividad aumenta con la disminución del contenido en grasa. Por lo tanto, la aparición de este defecto es más factible en los jamones más grasos.

La comercialización del jamón curado en lonchas ha aumentado en los últimos años. La pastosidad favorece la adhesividad entre lonchas (Arnau, 1998) y dificulta el loncheado disminuyendo el rendimiento del mismo. La adhesividad se conoce como el trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y otras superficies con las que esté en contacto. En el caso del jamón se puede considerar como la fuerza requerida por la lengua para mover los restos adheridos a las distintas zonas de la boca durante el desarrollo normal de la masticación (Bello, 2008). Por tanto, un aumento de adhesividad es un problema de cara al consumidor. Tanto la adhesión de las lonchas entre sí, como la adhesión en boca, producen un rechazo por parte del consumidor (Morales et al., 2013).

1.3. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE TEXTURA

Se ha comprobado que pueden existir ciertas diferencias entre la calidad visual de un alimento y lo que finalmente percibe el consumidor al probarlo. Por lo tanto, la textura es uno de los principales atributos que determinan la calidad y aceptación de un alimento (Morales et al., 2013). En la actualidad, los métodos de determinación textural son de dos tipos principalmente instrumentales y sensoriales. Ambos son de tipo destructivo, lo que los hace costosos en términos de tiempo y de difícil implementación para el control en las líneas de producción. Los análisis sensoriales están limitados por las opiniones y gustos de cada individuo durante la evaluación de la muestra (Coronas, 2012). Estos análisis se llevan a cabo mediante paneles de catadores que evalúan la calidad de las muestras bajo unas condiciones normalizadas (Norma UNE 87-004-79).

Los análisis de textura instrumental se realizan con complejos equipos (texturómetros) que permitan cuantificar el esfuerzo realizado para provocar una deformación en una muestra. Se basan en la medida de aspectos como la deformación, compresión, relajación, resistencia a la tracción y la fuerza de corte o cizalla (Sancho et al., 1999).

Por tanto, se hace patente la necesidad de técnicas no destructivas y de bajo coste que permitan detectar y cuantificar on-line y de manera rápida y efectiva la textura en alimentos, y en especial en productos cárnicos. Los ultrasonidos resultan una técnica interesante para este propósito basándonos en los estudios previos realizados en la bibliografía.

INTRODUCCIÓN

1.4. ULTRASONIDOS

Los ultrasonidos son ondas elásticas u oscilaciones mecánicas con frecuencias por encima de la zona audible ser humano (>20 kHz) y que necesitan un medio para propagarse (Mulet et al., 1999). Las principales características de la onda ultrasónica son la frecuencia, la velocidad y la amplitud.

Los ultrasonidos pueden clasificarse según su frecuencia e intensidad. Por un lado, los *ultrasonidos de señal*, baja intensidad o alta frecuencia que comprenden frecuencias entre 10^5 y 10^6 Hz e intensidades menores de 1 Wcm^{-2} , se emplean para estimar la composición y la textura de alimentos y en el control de procesos. Su funcionalidad se basa en la posibilidad de obtener información del producto cuando la onda acústica pasa a través del alimento debido a los cambios de algunos parámetros ultrasónicos. Además, no produce cambios en el mismo, permitiendo análisis no invasivos. Por otro lado, están los *ultrasonidos de potencia*, o de alta intensidad o baja frecuencia. Su frecuencia oscila entre $2 \cdot 10^4$ y 10^5 Hz y su intensidad está por encima de 1 Wcm^{-2} . Se caracterizan por provocar cambios en los procesos y productos en los que están implicados (Contreras, 2014).

Las medidas de ultrasonidos de señal se realizan utilizando el modo pulso-eco o transmisión recepción (Awad et al., 2012). El modo *pulso-eco*, consta de dos transductores (uno emisor y otro receptor) o de uno solo que actúe como emisor y receptor. En este último, caso es conveniente el uso de una línea de retardo con el fin de evitar la señal recibida de la emitida. El modo *transmisión-recepción* consta de dos transductores (uno que actuará de emisor y otro de receptor) colocados en las caras opuestas de la pieza a estudiar. El emisor envía la señal ultrasónica que sufre cambios al atravesar la pieza, mientras que el receptor recibe la energía transmitida a través del material (Coronas, 2012). A partir de estos dos modos de medición podemos obtener *la velocidad, el coeficiente de atenuación y el espectro de frecuencias*.

La *velocidad ultrasónica (VUS)* es la distancia recorrida por la onda ultrasónica por unidad de tiempo, siendo constante para un material a determinadas condiciones y dependiendo únicamente de sus propiedades físicas. La velocidad se calcula a partir de las medidas independientes del espesor (e) de la muestra o distancia recorrida por la onda y el tiempo transcurrido entre la salida de la señal desde el emisor y su llegada al receptor (tiempo de vuelo) (Coronas, 2012).

La *atenuación* se conoce como la pérdida de energía de las ondas al propagarse por un medio, la cual será absorbida por dicho medio. Es característica del material y proporciona información acerca de sus propiedades físicas. Las medidas de atenuación se pueden realizar mediante el cálculo experimental del coeficiente de atenuación (α , m^{-1}) (ec. 1).

INTRODUCCIÓN

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{A1}{A2}\right)}{e} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde A1 y A2 son las amplitudes de la señal antes y después de atravesar el espesor de la muestra (e) en el modo transmisión recepción o las amplitudes del primer y segundo eco en el caso de utilizar el modo pulso-eco (Coronas, 2012).

El estudio del *espectro de las señales* al atravesar el medio aporta información sobre cómo se modifica cada una de las frecuencias de una onda sonora al atravesarlo. La distribución del espectro es característica de cada material. (Mulet et al., 1999). El espectro de señales se obtiene a partir de la señal temporal y la aplicación de la transformada rápida de Fourier (Oppenheim et al., 1989) que relaciona la señal temporal con el dominio de frecuencia (Coronas, 2012).

1.5. APLICACIONES DE LOS ULTRASONIDOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

El potencial de los ultrasonidos de señal como herramienta analítica para la caracterización de alimentos ha sido satisfactorio en una gran variedad de alimentos. Han sido empleados para evaluar calidad de frutas y verduras (Mizrach, 2008). También se utilizaron para determinar el contenido de azúcar en ciruelas (Mizrach, 2004) y tomates (Mizrach, 2007) mediante la medida de la atenuación de los ultrasonidos se pudo relacionar con la firmeza de las mismas. En mango (Mizrach et al., 1997), ciruela (Mizrach et al., 2004), melón (Mizrach et al., 1991; Mizrach et al., 1994) y naranja (Jimenez et al., 2012) permitieron determinar la firmeza, el contenido de azúcar y el estado de hidratación.

En cuanto a productos lácteos, se observó que la velocidad ultrasónica puede ser usada para determinar el grado de madurez del queso (Benedito et al., 2001). También se comprobó que los ultrasonidos ayudan a predecir el momento óptimo de corte del cuajo en la elaboración de queso y para detectar cambios en la estructura interna durante la elaboración (Benedito et al., 2000). En aceites, la velocidad ultrasónica puede servir para monitorizar la alteración de aceite de fritura, determinar el momento de descarte, determinar la composición, pureza y calidad (Aouzale et al., 2010).

En productos cárnicos, los ultrasonidos se han utilizado para estimar la composición y propiedades texturales de canales (Koch et al., 2011b) y de músculos (Koch et al., 2011a). La velocidad ultrasónica se puede relacionar con el contenido en sal y agua, siendo mayor la influencia de la sal sobre la velocidad ultrasónica que el agua. Por ello, las medidas de la velocidad ultrasónica pueden ser útiles para la monitorización del proceso de salado de carne de cerdo a nivel industrial de manera no destructiva (Prados, 2012). Entre las aplicaciones en el

INTRODUCCIÓN

sector cárnico, destaca su utilización para la estimación de grasa subcutánea e intramuscular en canales (Conroy et al., 2009) y animales vivos (Ayuso et al., 2013). Simal et al. (2003) estudió la composición de mezclas cárnicas con ultrasonidos así como también se ha estudiado la de los productos frescos (Niñoles et al., 2007) y curados provenientes del cerdo (Niñoles et al., 2008).

Por tanto, los ultrasonidos destacan como un método de análisis de alimentos de gran interés para la industria alimentaria como un método on-line, rápido y de bajo coste para la evaluación de calidad. Además, la robustez de los equipos los haría factibles y duraderos. Estudios previos en otros productos cárnico-curados hacen creer que su aplicación en jamón curado pueda ser viable, teniendo en cuenta que la complejidad de este producto es mayor.

2. OBJETIVOS

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo fue contribuir a determinar el potencial de los ultrasonidos de señal, como técnica no destructiva, para caracterizar y detectar problemas de pastosidad en piezas de jamón curado. Así, se pretende desarrollar una metodología adecuada para la caracterización de este problema textural. Para ello, se plantean los siguientes objetivos particulares:

- Calcular la velocidad ultrasónica, atenuación y otros parámetros ultrasónicos, como frecuencia de amplitud máxima, mediante técnicas de medida en pulso-eco y transmisión recepción y un adecuado análisis de la señal.
- Seleccionar el tipo de transductor ultrasónico más adecuado y determinar la influencia de la temperatura en los parámetros ultrasónicos.
- Evaluar la influencia de la pastosidad en los parámetros texturales de jamón curado.
- Evaluar la influencia de la pastosidad en los parámetros ultrasónicos de jamón curado.
- Establecer relaciones entre los parámetros texturales y ultrasónicos para muestras con y sin el defecto de pastosidad.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIA PRIMA

Se seleccionaron piezas de jamón procedentes de cerdos blancos con y sin el defecto de pastosidad. La selección de las piezas fue realizada por el Centro de Tecnología de Alimentos del IRTA (Monells, Girona). En concreto, se seleccionaron 4 jamones de cada tipo, a los que se les extrajo la maza por ser la zona del jamón donde el defecto de pastosidad es más frecuente. Así, las mazas de los jamones Pastosos y No Pastosos fueron envasadas al vacío (Figura 3.1) y almacenadas a $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ en ausencia de luz hasta el comienzo de las pruebas.

3.1.1. LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE MEDIDA

Sobre la superficie las piezas de jamón envasadas se distribuyeron las zonas de medida, tal y como se muestra en la Figura 3.1. Las zonas de medida coincidieron con la superficie de los transductores ultrasónicos utilizados (1" de diámetro). Como se observa en la Figura 3.1., las zonas de medida abarcar la máxima superficie posible, dejando un pequeño espacio entre ellas para evitar solapamientos en las medidas y problemas de extracción de los cilindros para los análisis de textura.



Figura 3.1. Localización de las zonas de medida en la maza del jamón.

3.1.2. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE LAS ZONA DE MEDIDA

Una vez finalizadas las experiencias ultrasónicas, se extrajeron muestras de la pieza coincidentes con la zona de medida. Así, se utilizó un sacabocados, (Figura 3.2 A) con el mismo diámetro del transductor, para extraer los cilindros de cada zona de medida (altura media de $56\pm 11\text{mm}$). En cada cilindro, se eliminó la zona superior e inferior para evitar tanto la capa de grasa subcutánea como la posible costra formada en la superficie. Finalmente, las muestras cilíndricas se cortaron a su vez en cilindros más pequeños de una altura de 2 cm tratando de mantener ambas superficies lo más lisas y rectas posible (Figura 3.2 B). De cada punto de

MATERIALES Y MÉTODOS

medida se extrajeron una media de 2-3 cilindros, dependiendo del espesor de la muestra en cada punto de extracción.

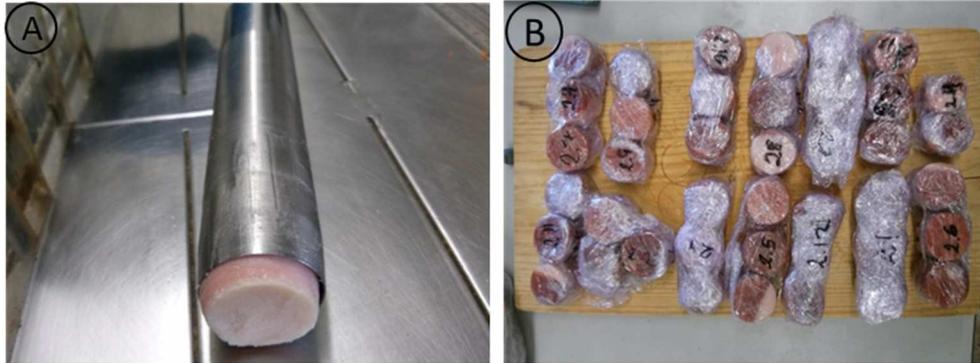


Figura 3.2. A) Sacabocados utilizado para la extracción de los cilindros de las zonas de medida. B) Cilindros de 2 cm de altura en los que se dividió el cilindro tomado de la zona de medida.

3.2. ULTRASONIDOS DE SEÑAL. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ULTRASÓNICOS.

3.2.1. MONTAJE EXPERIMENTAL

En las Figuras 3.3 y 3.4 se muestran los montajes experimentales utilizados para la medida de los parámetros ultrasónicos, describiéndose los principales componentes a continuación:

- **Osciloscopio** (TDS 5034 Digital Phosphor Oscilloscope, Tektronix) (Figura 3.3) digitaliza la señal que recibe del receptor, así convierte la señal eléctrica en puntos discretos con los que reconstruir la señal ultrasónica original.
- **Generador-Receptor** (5058PR HV Pulser/Receiver, Panametrics) (Figura 3.3) encargado de generar el pulso eléctrico para excitar al transductor emisor y recibir y acondicionar la señal que envía el transductor receptor. El acondicionamiento de la señal consiste en el filtrado y amplificación de la misma. El equipo permite trabajar en Transmisión-Recepción (T-R) y en Pulso Eco (P-E).



Figura 3.3. Osciloscopio y generador-receptor empleados en las experiencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Equipo de medida del espesor de la muestra (Figura 3.4). Este dispositivo 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 íntimo contacto con la superficie de la muestra. Al carro deslizante se le acopló una célula de carga (TPF-1G, Transdutec España) de 40 kg de fuerza máxima unida a un controlador de presión (K3NV, OMRON-) que detiene el encoder una vez se ha alcanzado la presión deseada sobre la muestra ($\pm 0,1$ N). 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 del espesor se colocó en el interior de una cámara de temperatura controlada ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$)



Figura 3.4. Equipo de medición de espesor y presión. Se observa el carro deslizante, la célula de carga y la colocación de los transductores.

- **Transductores piezoeléctricos.** Son los elementos capaces de generar una onda ultrasónica (vibración) al ser excitados por un pulso eléctrico. El transductor emisor es el encargado de transformar la energía eléctrica en la onda ultrasónica que atravesará la muestra y llegará al transductor receptor que realizará el proceso inverso, es decir será excitado por la vibración y convertirá la vibración en una señal eléctrica. En modo pulso-eco, el mismo transductor actúa de emisor y receptor. En este trabajo se utilizaron diferentes transductores: 1 Mhz y 5 MHz de banda estrecha (A314S) y de 1 MHz de banda ancha (V314S) (Panametrics).

A continuación se describe la forma de trabajo del equipo ultrasónico (Figura 3.5). 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 convierte 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. 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.

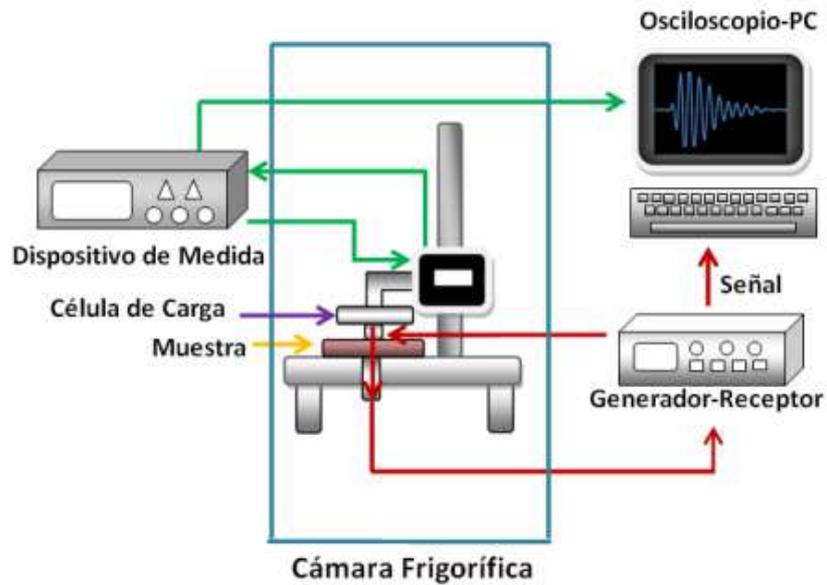


Figura 3.5. Esquema del sistema ultrasónico.

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

3.2.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ULTRASÓNICOS EN PIEZAS ENTERAS Y CILINDROS

Se determinaron los parámetros ultrasónicos a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C). Previamente a realizar la medida ultrasónica, las muestras se atemperaron en cámara durante dos días (48 horas) a cada una de las temperaturas ensayadas.

Se realizaron dos tipos de medidas, con el objetivo de determinar la velocidad ultrasónica y por otro lado, parámetros relacionados con la atenuación. A continuación, se describe la configuración de los componentes del sistema ultrasónico en función del tipo de medida a realizar:

- **Velocidad Ultrasónica:** Modo transmisión-recepción, 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, atenuación de 0 dB, adquisición de 25000 puntos y la aplicación de un filtro para la eliminación de bajas frecuencias de 0.3 Mhz.
- **Atenuación Ultrasónica:** Modo pulso eco. Se emplearon los mismos parámetros que para la medida de la velocidad a excepción de la velocidad de adquisición que se

MATERIALES Y MÉTODOS

disminuyó a 125 Mmuestras/s y la atenuación que se varió entre 0 y 50 en función de las necesidades de cada medida.

Las medidas tanto de velocidad como de atenuación se realizaron en las zonas de medida de las piezas enteras como en los cilindros (2cm de altura) que se extrajeron de las zonas de medida. En caso de las piezas enteras (Figura 3.6 A), la medida se realizó directamente sobre la muestra envasada, mientras que en el caso de los cilindros (Figura 3.6 B) había contacto directo entre el transductor y la carne. En ambos casos, se utilizó agua (unas gotas) como medio de acople. Para las piezas enteras se empleó una presión de 9.8N mientras que para los cilindros se rebajó a 0.98N. Se realizaron tres repeticiones por zona de medida tanto para la velocidad ultrasónica como para la atenuación ultrasónica.

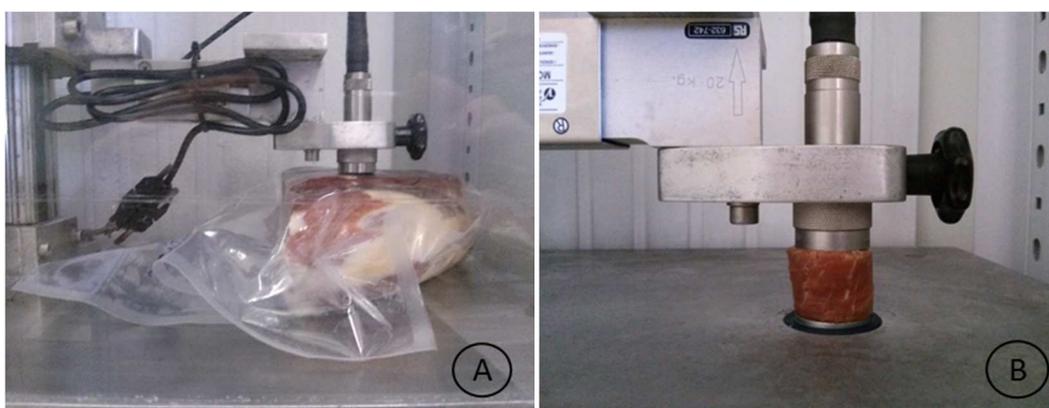


Figura 3.6. Medida ultrasónica en una pieza entera (A) y cilindros (B).

En el caso de los cilindros, no se utilizaron todos los cilindros obtenidos sino que se seleccionó una muestra formada por 50 cilindros, 25 con el defecto (Pastosos) y 25 sin el defecto (No Pastoso). En la siguiente tabla (Tabla 3.1), se resume el diseño experimental llevado a cabo:

Tabla 3.1. Diseño experimental

Piezas enteras	
<i>Zonas de medida</i>	72
<i>Temperaturas</i>	2 - 7 - 15 - 22°C
<i>Transductores</i>	1 Mhz de banda ancha - 1 MHz de banda estrecha – 5 MHz de banda estrecha
<i>Replicas</i>	3
<i>Modo</i>	Pulso eco-Transmisión recepción
Cilindros (2 cm de altura)	
<i>Numero</i>	50
<i>Temperaturas</i>	2°C
<i>Transductores</i>	1 MHz de banda ancha
<i>Replicas</i>	3
<i>Modo</i>	Pulso eco-Transmisión recepción

3.2.3. ANÁLISIS DE LA SEÑAL ULTRASÓNICA

A partir de la señal ultrasónica digitalizada y almacenada por el osciloscopio, se determinaron los parámetros ultrasónicos.

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 0.1V. Se busca el primer punto de la señal digitalizada que supere ese umbral, una vez localizado se retrocede hasta 0.03V y se considera este punto como el de llegada de la señal, tal y como se muestra en la Figura 3.7. 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.

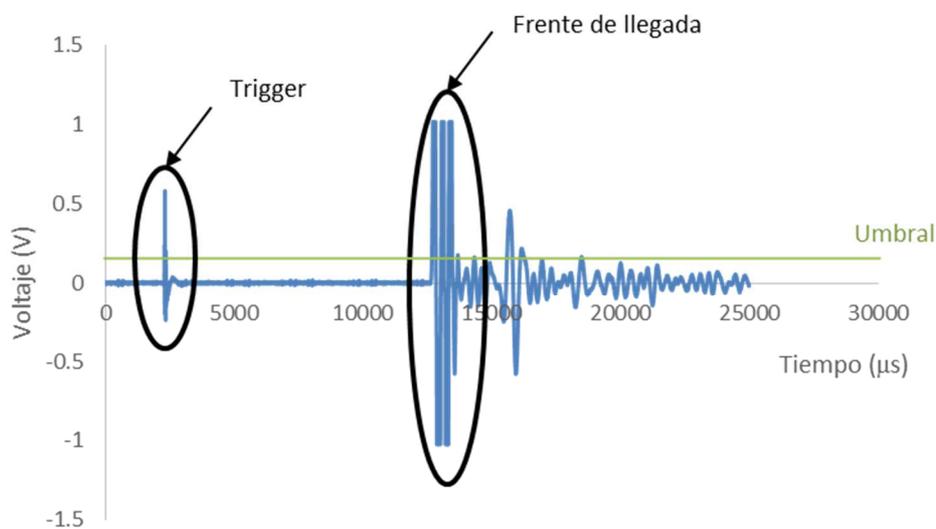


Figura 3.7. Método del cálculo del Tiempo de vuelo con el método del umbral de energía para la medición de velocidad ultrasónica.

En el caso de los parámetros relacionados con la atenuación ultrasónica se desarrolló un programa en LabView para el análisis de la señal. La finalidad del programa radica en comparar una serie de parámetros en diferentes frentes de llegada de la señal que atraviesa la muestra. En la Figura 3.8, 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 1). El segundo frente de llegada corresponde a la parte de la onda ultrasónica que rebota en el transductor receptor, atraviesa la muestra y es recibida por el primer transductor (Frente de llegada 2).

A partir de la señal temporal, se calculó la transformada rápida de Fourier (FFT) que nos convierte la señal temporal en frecuencia. Se realizó la FFT para el primer frente de llegada y el segundo, con el fin de compararlos entre sí (Figura 3.9), utilizando 4000 puntos.

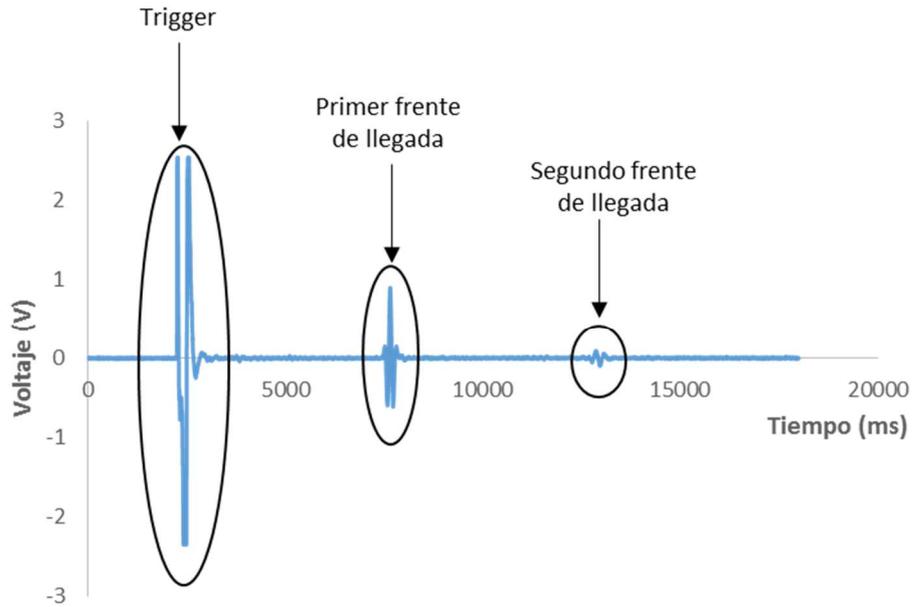


Figura 3.8. Señal de atenuación ultrasónica sobre la que se realizará la transformada rápida de Fourier.

Se analizaron los siguientes parámetros para los dos frentes de llegada de la onda (Figura 3.9):

- **Pico (P1 y P2):** Amplitud máxima.
- **Frecuencia del pico (MHz) (F1 y F2):** Frecuencia a la que se encuentran P1 y P2.
- **Integral del pico:** Cálculo del área bajo la curva para el frente de llegada de la onda.
- **Segundo pico (P1-2 y P2-2):** Segunda amplitud en valor de la señal en el frente de llegada.
- **Frecuencia del segundo pico (F1-2 y F2-2):** Frecuencia a la que se encuentran P1-2 y P2-2.
- **Asimetría:** Simetría de la distribución alrededor de la media.
- **Curtosis:** Concentración de valores alrededor de la zona central de la distribución.

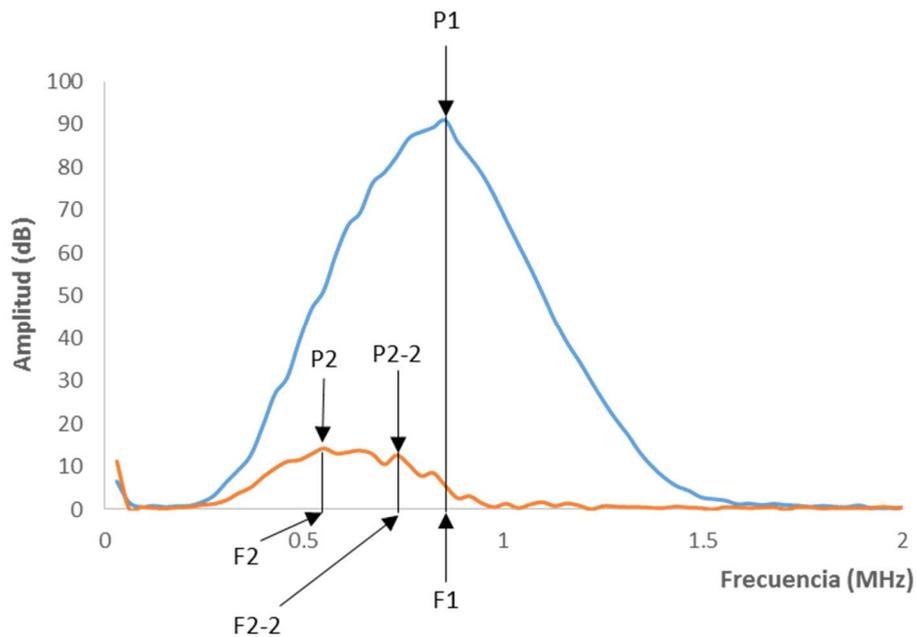


Figura 3.9. Representación de los dos frentes de llegada de la señal, tras la conversión de la señal del dominio temporal a dominio de frecuencia, mediante la transformada rápida de Fourier y parámetros característicos.

3.3. TEXTURA

La textura se midió en los cilindros de 2 cm de altura que se obtuvieron de cada zona de medida. Se analizó la capacidad de relajación del jamón de mediante un ensayo de textura instrumental (Figura 3.10) de acuerdo al procedimiento descrito por Morales et al. (2007) y utilizando un texturómetro universal (TA-XT2i, SMS). En el ensayo, se utilizó una sonda cilíndrica de 5 cm de diámetro, los cilindros se comprimieron hasta un 25% de su altura, a una velocidad de compresión de 1 mm/s y manteniendo la posición durante 90 s para estudiar la relajación de la muestra. Los ensayos de textura se realizaron a 2 °C.



Figura 3.10. Ensayo de compresión/relajación en cilindros de 2 cm de altura.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir del perfil del perfil Fuerza-tiempo se obtuvieron los siguientes parámetros (Figura 3.11):

- **Fuerza máxima (F(0))**: valor máximo de Fuerza (N) durante la compresión.
- **Fuerza a los 90 segundos (F(90))**: valor de la fuerza (N) tras 90 s de relajación.
- **Área Positiva (A₁+A₂)**: valor del área bajo la curva (N·s) durante todo el ensayo, incluye las áreas de compresión y de relajación.
- **Área de compresión (A₁)**: el área (N·s) hasta la fuerza máxima.
- **Área de relajación (A₂)**: área (N·s) durante la relajación.
- **Caída de fuerza (Y(90))**: cálculo de la relación entre la fuerza máxima de compresión (F(0)) y la final tras de la fase de relajación (F(90)) (ec. 2).

$$Y(90) = \frac{F(0) - F(90)}{F(0)} \quad (\text{ec. 2})$$

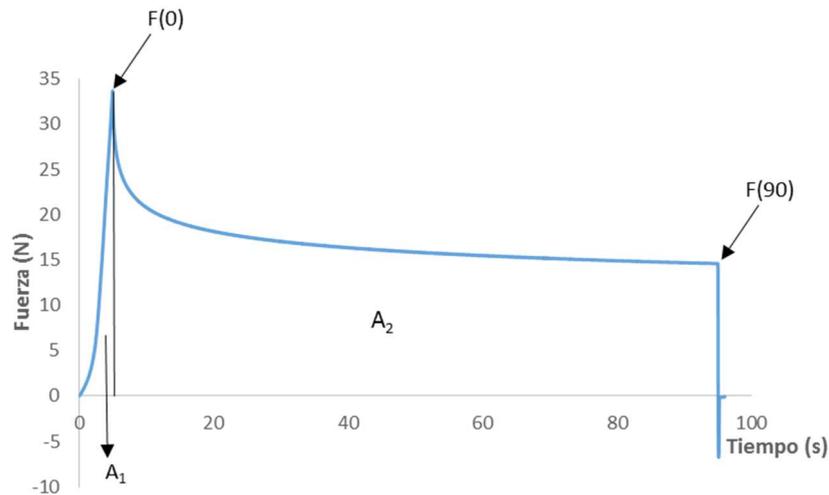


Figura 3.11. Perfil Fuerza (N)-Tiempo (s) en el ensayo de compresión/relajación.

3.4. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN

3.4.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se analizó la composición de las diferentes piezas utilizadas teniendo únicamente en cuenta para el análisis las zonas de medias. Así para cada pieza, se utilizaron tanto los cilindros de 2 cm de altura como el resto de las muestras cilíndricas que se obtuvieron de cada zona de medida. Las muestras se homogenizaron mediante picado (Blixer 2, Robot Coupe) y se almacenaron a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ hasta la realización de los análisis (Figura 3.12.).



Figura 3.12. Muestras para determinación de composición química.

3.4.2. HUMEDAD

La determinación de humedad se realizó siguiendo el método de la AOAC 950.46 (AOAC, 1997). Para ello, se prepararon crisoles añadiendo arena de mar lavada y manteniéndolos en estufa durante un par de horas a 105°C, para asegurar la ausencia de humedad. A continuación se añadió aproximadamente 3 g de muestra triturada y homogeneizada en cada crisol, que se mezclaron con la arena y se homogeneizaron con una varilla de vidrio y alcohol etílico. Los crisoles se mantuvieron durante 24 horas a 105°C hasta que alcanzaron peso constante. A partir del peso del crisol con la arena (P_1), el de la muestra fresca (P_2) y el de la muestra deshidratada (P_3) se determinó el contenido en humedad (X_w , %b.h.) (ec. 3). Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada jamón con los cilindros extraídos de las zonas de medida.

$$X_w = \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_1} \times 100 \quad (\text{ec. 3})$$

3.4.3. GRASA

Para la determinación de grasa se utilizó el método AOAC 991.36 (AOAC, 1997), que consiste en la extracción del contenido graso total de la muestra cárnica con un disolvente orgánico (éter de petróleo) mediante su recirculación sobre la misma. Para ello, se introdujeron 3 g de muestra triturada en un cartucho de papel filtro, se añadió arena de mar lavada y se homogeneizó con la ayuda de una varilla. A continuación, el cartucho con la muestra se metió en la estufa a 125°C durante 1 hora. Por último, el cartucho se introdujo en el equipo Soxhlet (Figura 3.13) que consiste de un balón de cristal previamente pesado sumergido en un baño de agua a 75°C (temperatura superior a 70°C, punto de ebullición del disolvente utilizado), el cuerpo Soxhlet y un condensador, y se añadió el disolvente. Éste comienza a volatilizarse desde el balón hasta el condensador, dónde empieza a gotear sobre la muestra hasta que el

MATERIALES Y MÉTODOS

cuerpo Soxhlet se llena, y sifona el disolvente hacia el balón. El disolvente se vuelve a evaporar y se repite el proceso durante 6 horas.



Figura 3.13. Montaje experimental para la determinación del contenido en grasa.

Una vez finalizado el proceso de extracción, los balones con la grasa disuelta en el disolvente se rota-evaporaron a 74°C para separar el disolvente y dejar únicamente la grasa en el balón. Finalmente, se dejaron durante 24 horas en una campana de extracción para conseguir la eliminación completa del disolvente. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada jamón con los cilindros extraídos de las zonas de medida.

Por último, el contenido en grasa (X_g) se cuantificó como la diferencia de peso entre los balones con grasa (P_2) y los balones vacíos (P_1). El contenido en grasa se expresó como porcentaje de la materia fresca (%b.h.), dividiendo el resultado por el peso de la muestra (m) (ec. 4).

$$X_w = \frac{P_2 - P_1}{m} \times 100 \quad (\text{ec. 4})$$

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el software estadístico Statgraphics Centurión XVI se realizaron ANOVAs simples y multifactoriales para determinar la influencia ($p < 0.05$) de la temperatura y de la pastosidad en los parámetros ultrasónicos y texturales.

4. RESULTADOS

RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 4.1, se muestran los valores medios de contenido en grasa (Xg) y humedad (Xw) de las piezas de jamón empleadas en este trabajo. Es necesario indicar que la composición hace referencia únicamente a las zonas de medida, no habiéndose analizado toda la pieza.

Tabla 4.1. Contenido medio en grasa (Xg) y humedad (Xw) de las piezas de jamón.

	No Pastosos	Pastosos
Xg (%b.h.)	17±5.6	11.5±7.6
Xw (%b.h.)	45.8±4.3	53±4.7

Se muestra la media ± desviación estándar.

Los jamones Pastosos presentaron un contenido de humedad superior y un contenido de grasa inferior a los No Pastosos (Tabla 4.1). Pero teniendo en cuenta la variabilidad experimental, las diferencias no resultaron estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

El contenido medio en grasa (Xg) para las piezas estudiadas ($13.9 \pm 7.3\%$ b.h.) fue similar al obtenido por Moreiras et al. (2013) en jamón curado de cerdos de la raza Large White (13% b.h.). Vandendriessche (1998) determinaron un contenido medio de grasa ligeramente superior en jamones de la raza Southern (17% b.h.), más cercano a los valores de los jamones No Pastosos. El contenido en grasa intramuscular incide en la ternura y jugosidad del jamón curado (Toldrá, 1998), siendo un importante factor tecnológico. Morales et al. (2007) asociaron el incremento de pastosidad a altos niveles de grasa intramuscular. La composición y los niveles de grasa dependen de la raza y el tipo de alimentación a la que es sometido el cerdo (Niñoles et al., 2007; Bello, 2008). La grasa dificulta la transferencia de materia a través de la pieza, al disminuir el coeficiente de difusividad (Gou, 1998). De este modo, dificulta la transferencia de la sal durante el proceso de salado afectando, entre otros aspectos, a la acción bacteriostática y a la actividad de las enzimas proteolíticas. Si el contenido en sal disminuye, provoca una proliferación de velo blanco y pintas blancas sobre la superficie del jamón disminuyendo su percepción de calidad por parte del consumidor y aumentando su pastosidad y adherencia en productos loncheados (Arnau, 1998). En cuanto al contenido en humedad ($49.9 \pm 5.7\%$ b.h.), éste fue bastante similar al presentado por Moreiras et al. (2013) y Fulladosa et al. (2015), siendo muy diferente al determinado por García-Gil et al. (2014) en jamones frescos con Denominación de origen (DOP) Teruel (70.2% b.h.). El contenido en humedad depende tanto de la raza como del grado de curado que se ve afectando por diferentes factores como: el tipo de salado y secado (Bello, 2008), espesor de la pieza, temperatura y humedad relativa (Arnau, 1998).

RESULTADOS

4.2. INFLUENCIA DE LA PASTOSIDAD EN LOS PARÁMETROS TEXTURALES

La Figura 4.1 muestra la influencia de la pastosidad en la fuerza máxima de compresión ($F(0)$), el porcentaje de reducción de la fuerza durante 90 s en relajación ($Y(90)$) y el ratio del área de relajación dividido la fuerza máxima ($A/F(0)$). Los jamones sin defecto presentaron un valor medio de $F(0)$ significativamente ($p < 0.05$) (Figura 4.1 C) más elevado (55 N) que los Pastosos (11 N), lo que indica que tienen una mayor resistencia a la deformación. La degradación de la matriz proteica por la proteólisis reduce la resistencia de las fibras musculares en las muestras pastosas (Toldrá, 1998).

En el caso de $Y(90)$, los jamones No Pastosos presentaron un valor significativamente ($p < 0.05$) menor que los de los jamones Pastosos (Figura 4.1 A). Del mismo modo, que la proteólisis reduce la dureza de las fibras musculares, también conlleva una mayor capacidad de relajación ante una deformación.

En cuanto a la relación Área/ $F(0)$ (Figura 4.1 B), se comprobó que los jamones No Pastosos tenían una relación Área/ $F(0)$ significativamente ($p < 0.05$) mayor que los Pastosos, por lo que resulta un parámetro interesante a la hora de determinar la textura en jamones curados con este defecto. Este hecho está relacionado con la mayor resistencia a la deformación y menor grado de relajación de los jamones No Pastosos.

Los resultados obtenidos coinciden con lo presentado por Morales et al. (2007), que obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre jamones con textura dura (No Pastosos) y textura blanda (Pastosos) para la $F(0)$ y para la $Y(90)$. De esta forma, este estudio junto a la bibliografía previa confirman que el análisis de textura instrumental nos permite caracterizar el defecto de pastosidad en jamón curado.

RESULTADOS

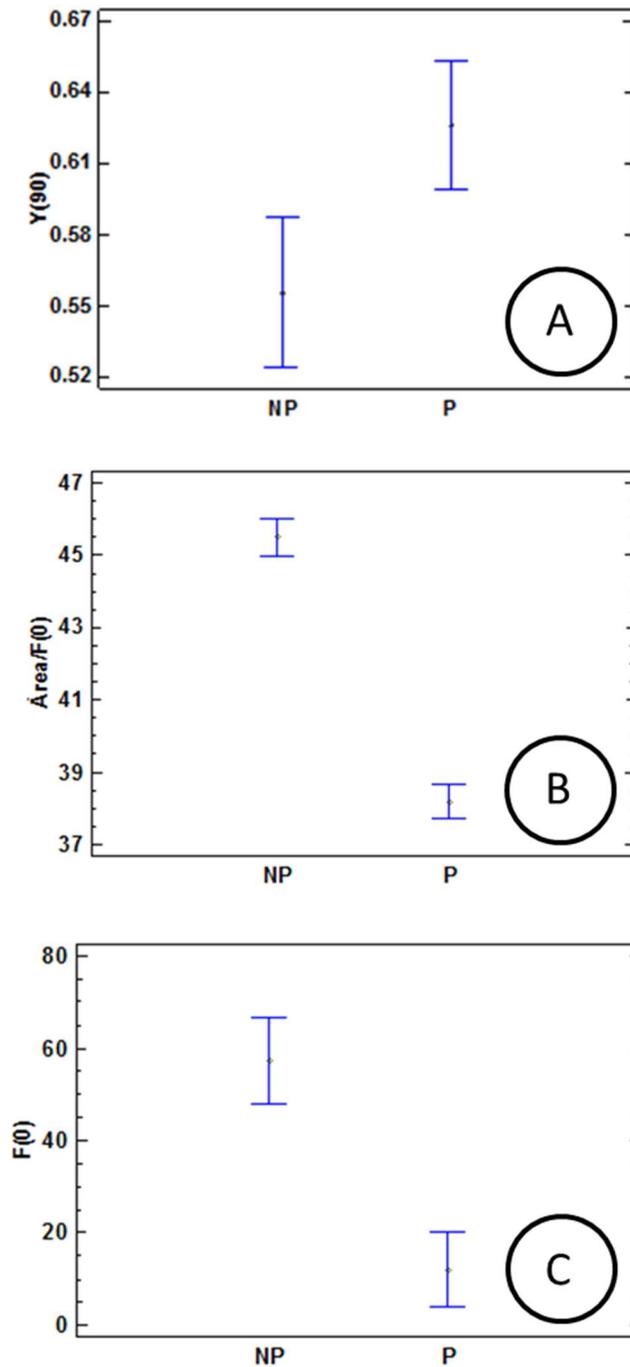


Figura 4.1. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la reducción de la fuerza de compresión durante 90 s de relajación (A), $Y(90)$, Área/ $F(0)$ durante 90 s de relajación (B) y Fuerza máxima de compresión ($F(0)$) (C) en los cilindros de 2 cm de altura de jamones Pastosos (P) y No Pastosos (NP).

RESULTADOS

4.3. INFLUENCIA DE LA PASTOSIDAD EN LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS

4.3.1. INFLUENCIA SOBRE LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA

En la Figura 4.2, se muestra los valores medios de la velocidad ultrasónica para una pieza de jamón curado en las diferentes zonas de medida. Se puede observar que para una misma pieza la velocidad osciló entre 1821 y 1845 m/s, lo que indica una elevada variabilidad experimental. La velocidad de los ultrasonidos en un medio sólido está influenciada por varios factores, como la composición y la estructura de la materia prima (Coronas et al., 2012), lo que explica la variabilidad experimental observada.



Figura 4.2. Velocidades ultrasónicas medias obtenidas en las diferentes zonas de medida en una pieza de jamón No Pastoso a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz banda ancha.

La velocidad ultrasónica no únicamente depende de la composición y estructura del alimento, sino también a la temperatura a la que se encuentre la muestra (Benedito et al., 2001, Niños et al., 2007 y Coronas et al., 2011). Este hecho se observa en la Figura 4.3, donde se encontró un descenso de la velocidad ultrasónica en los jamones No Pastosos en el rango de 2 a 22 °C. El descenso se debe a la fusión de los triglicéridos, disminuyendo el ratio sólido/líquido de las mismas, y a que la velocidad ultrasónica es mayor en sólidos que en líquidos (Coronas et al., 2011). El descenso de la velocidad ultrasónica con la temperatura se observó de igual modo para los jamones Pastosos y para los diferentes tipos de transductores utilizados. Aunque se encontraron diferencias relevantes en cuanto a la magnitud de las diferencias para los diferentes transductores utilizados, tal y como se observa en la Figura 4.4.

RESULTADOS

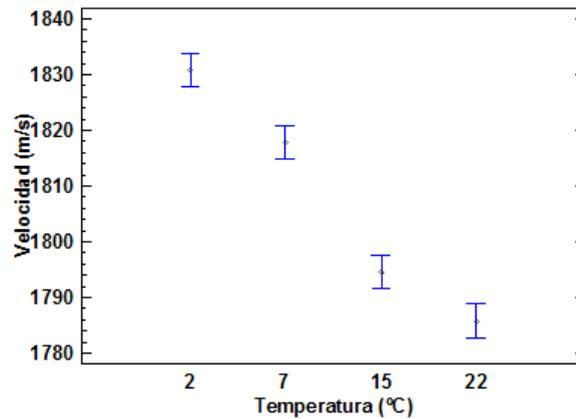


Figura 4.3. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones No Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) utilizando el transductor de 1 MHz de banda ancha.

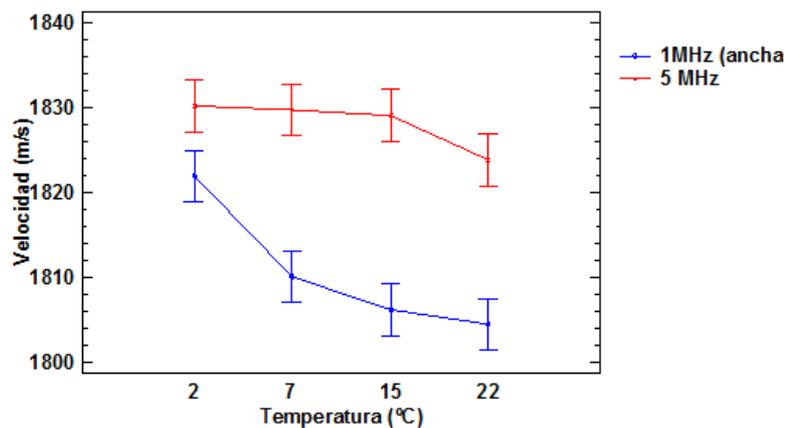


Figura 4.4. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) utilizando los transductores de 1 MHz de banda ancha y 5 MHz de banda estrecha.

Como se puede observar en la Figura 4.5, la velocidad ultrasónica permitió diferenciar los jamones Pastosos y No Pastosos, pudiéndose diferenciar tanto a bajas (2°C) como a altas temperaturas (22°C). Este hecho es relevante pues realizar el análisis a temperaturas de refrigeración o de consumo del producto. El análisis estadístico arrojó que los jamones Pastosos presentaron valores de velocidad significativamente ($p < 0.05$) más elevados que los No Pastosos. En la Figura 4.6, queda patente que las diferencias de velocidad ultrasónica entre ambos lotes se dan para todos los transductores. Por tanto, el estudio de la velocidad ultrasónica resulta interesante para la determinación de defectos en el producto acabado y listo para ser consumido, ya sea a temperaturas de refrigeración o de consumo.

RESULTADOS

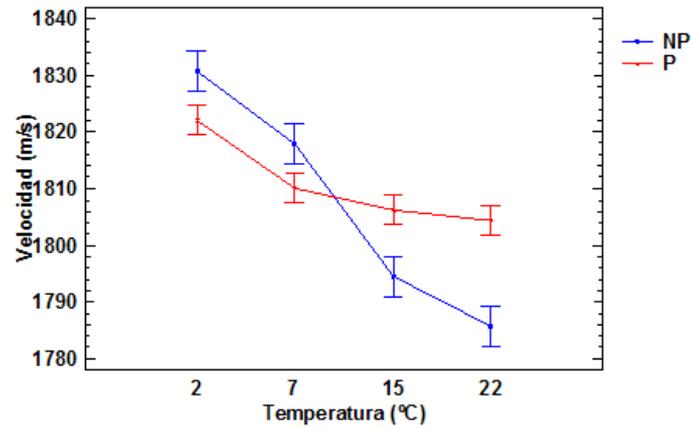


Figura 4.5. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones Pastosos y No Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22°C) y utilizando el transductor de 1 MHz de banda ancha.

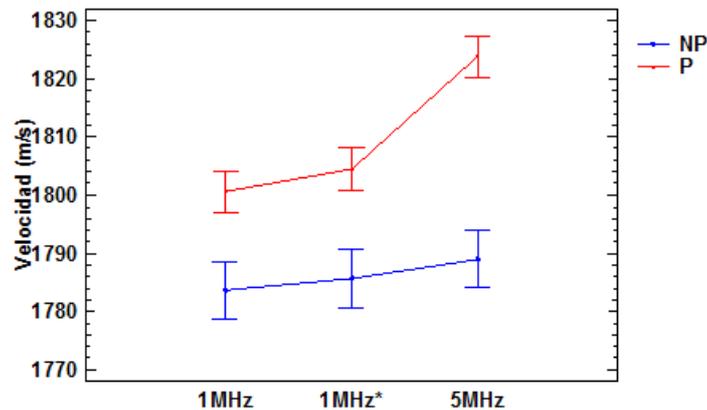


Figura 4.6. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica (m/s) para jamones Pastosos y No Pastosos determinados a 22°C utilizando tres transductores (1 MHz y 5 MHz de banda estrecha y 1 MHz de banda ancha).

En el cuanto al análisis de las muestras cilíndricas, se obtuvo una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los jamones Pastosos y No Pastosos. De la misma forma que en las piezas enteras, los Pastosos tuvieron una velocidad mayor que los No Pastosos (Figura 4.7), presentando los Pastosos una velocidad media de 1903 ± 26.4 m/s mientras que los No Pastosos de 1879 ± 30.5 m/s.

RESULTADOS

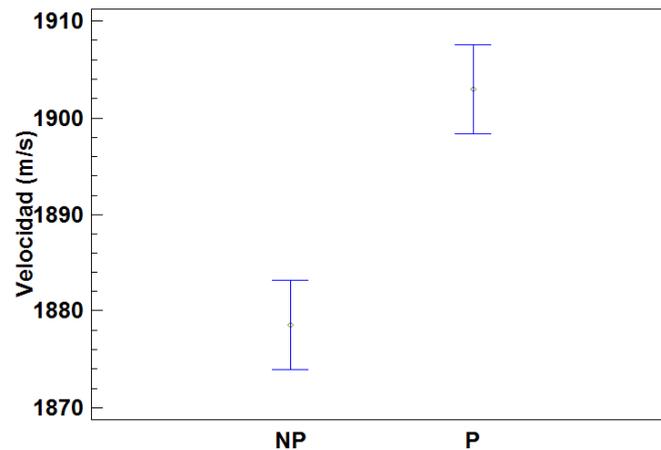


Figura 4.7. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la velocidad ultrasónica en las muestras cilíndricas Pastosas (P) y No Pastosas (NP) a 2°C utilizando el transductor de 1 MHz de banda ancha.

4.3.2. INFLUENCIA SOBRE EL COEFICIENTE DE ATENUACIÓN

La estructura de un medio sólido, al igual que otras propiedades físicas, no únicamente afecta a la velocidad ultrasónica sino también a la pérdida de energía ultrasónica durante el tránsito por la misma, y que se ha cuantificado por medio del coeficiente de atenuación. Este parámetro, relaciona la amplitud máxima de dos frentes de llegada de la onda con la distancia recorrida por la misma entre uno y otro. En este caso se emplearon los dos primeros frentes de llegada. Cada frente implica que la onda ha atravesado una vez el espesor de la pieza (Figura 4.8). La atenuación y, por tanto, el coeficiente de atenuación, están estrechamente relacionadas con la composición de los jamones y la disposición de las fibras musculares, así como el estado físico en el que se encuentren los componentes (Awad et al., 2012).

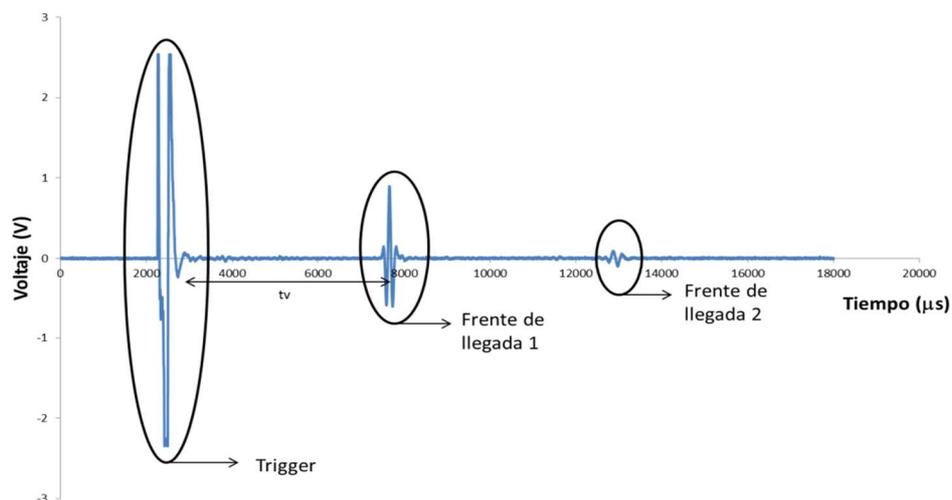


Figura 4.8. Señal obtenida mediante pulso-eco para la determinación de atenuación y otros parámetros de la onda.

RESULTADOS

En la Figura 4.9, se han representado los valores medios del coeficiente de atenuación en las zonas de medida de una pieza. Se observa que el valor oscila entre 13.17 y 17.75, lo que indica una elevada variabilidad experimental. Dicha variabilidad se debe, entre otras causas, a la heterogeneidad propia del jamón. Awad et al. (2012) asocian la atenuación de los productos heterogéneos a la absorción y a la dispersión de la onda por parte del producto. Según Koch et al. (2011), existe una gran correlación entre la atenuación y la grasa intramuscular del producto. El pH de la pieza, el estado del músculo, el tejido conectivo también afectan a la atenuación. Smith (1996) relaciona el aumento del contenido en agua con un descenso de la atenuación. Este mismo autor también expuso que existe una relación entre la atenuación y la dirección de las fibras, siendo mayor en las medidas realizadas con las fibras en paralelo que en perpendicular.



Figura 4.9. Coeficientes de atenuación medios obtenidos en los diferentes puntos de medida de un jamón No Pastoso a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz de banda estrecha.

En la Figura 4.10, se representan, para cada uno de los transductores, los coeficientes de atenuación medios obtenidos a cada temperatura. Se observa que el coeficiente de atenuación de los Pastosos fue siempre mayor que el de los No Pastosos, siendo estadísticamente significativa la diferencia ($p < 0.05$). Este hecho se observó para todos los transductores utilizados y para todas las temperaturas ensayadas.

Si se comparan los resultados obtenidos para los transductores de 1 MHz y el de 5 MHz (Figura 4.10), se observa un aumento de α debido a que la atenuación de la onda aumenta con el aumento de la frecuencia utilizada. Por lo tanto, el tipo de transductor empleado es un factor importante para el análisis de la señal. Para el estudio del *coeficiente de atenuación* los datos

RESULTADOS

que se obtuvieron a 5 MHz no resultan aceptables debido a la elevada atenuación existente. En la mayoría de los casos no se pudo recoger un segundo frente de llegada de la onda que resultase analizable. Por tanto, se descarta el uso de transductores de 5 MHz para estudios posteriores.

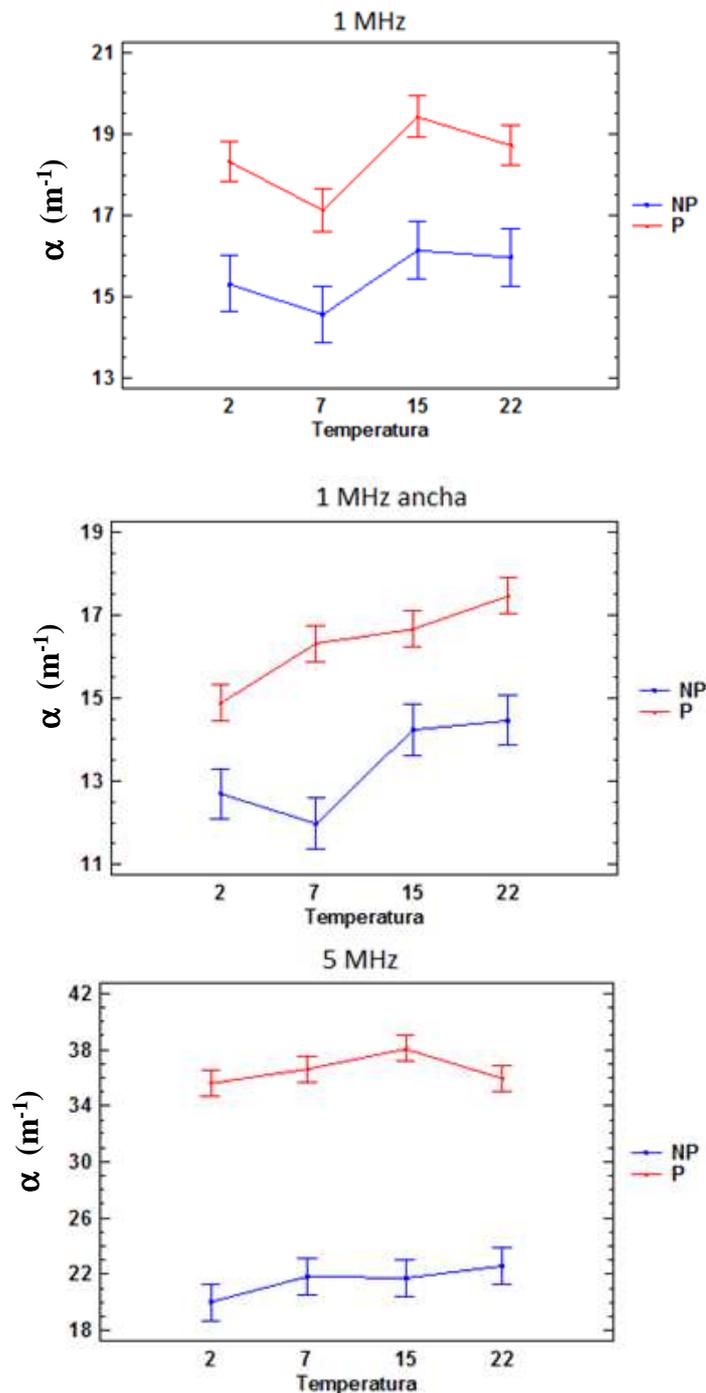


Figura 4.10. Valores medios e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación (α , m^{-1}) para jamones Pastosos y No Pastosos determinados a diferentes temperaturas (2, 7, 15 y 22 $^{\circ}\text{C}$) utilizando tres transductores diferentes (1 MHz y 5 MHz de banda estrecha y 1 MHz de banda ancha).

RESULTADOS

En el caso de las muestras cilíndricas, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las muestras Pastosas y No Pastosas (Figura 4.11).

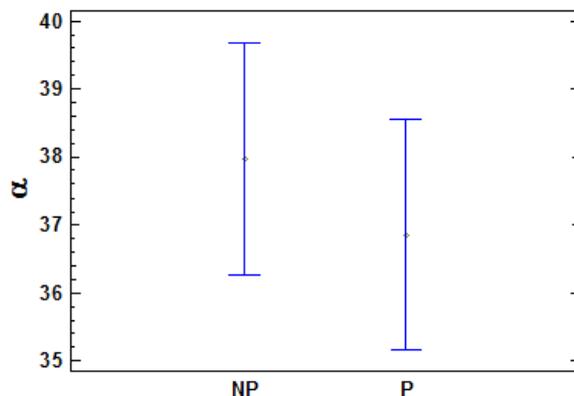


Figura 4.11. Valores medios e intervalos LSD (95%) del coeficiente de atenuación (α , m^{-1}) para los cilindros Pastosos y No Pastosos determinados a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz de banda ancha.

4.3.3. INFLUENCIA SOBRE OTROS PARÁMETROS US

Mediante el análisis de la señal ultrasónica utilizando la transformada rápida de Fourier (FFT), se obtuvieron una serie de parámetros ultrasónicos que pueden ser relevantes para caracterizar el defecto de pastosidad en jamón curado, tal y como se ha explicado en el apartado 2.3 de materiales y métodos. En la tabla 4.2, se muestran los factores que presentaron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre los diferentes parámetros ultrasónicos estudiados.

Tabla 4.2. Influencia de los factores pastosidad y temperatura y su interacción sobre los diferentes parámetros ultrasónicos. El símbolo "X" marca los efectos significativos determinados mediante un ANOVA multifactorial (con un nivel de significación del 95%).

Parámetros Ultrasónicos	Temperatura	Pastosidad	Interacción
P1/P2	X	X	X
F1-F2	X	X	
F1	X	X	
F2	X	X	
I(P1)	X	X	X
I(P2)		X	X
Nº picos 1	X	X	
Nº picos 2	X		
Curtosis 1	X	X	
Curtosis 2	X	X	
Asimetría 1	X	X	X
Asimetría 2	X	X	

RESULTADOS

En la tabla 4.2, se observa una fuerte relación de casi todos los parámetros evaluados con la pastosidad de las piezas y la temperatura del ensayo. En el caso de la relación de la amplitud máxima de pico ($P1/P2$), los No Pastosos presentaron un valor significativamente ($p < 0.05$) mayor que los Pastosos, hecho que refuerza el resultado obtenido previamente acerca de la mayor atenuación en los jamones Pastosos que No Pastosos.

Considerando las frecuencias a las que se encuentran los picos máximos, se comprueba que tanto para el primer frente como para el segundo, los No Pastosos presentan una frecuencia significativamente ($p < 0.05$) menor que los Pastosos. Por otro lado, la relación de frecuencias ($F1-F2$), también resultó significativamente ($p < 0.05$) mayor en los No Pastosos que en los Pastosos, indicando un mayor desplazamiento de las frecuencias a valores más bajos en el caso de los No Pastosos.

Las integrales de los picos ($I(P1)$ e $I(P2)$), resultaron significativamente ($p < 0.05$) mayores para los Pastosos. Hecho relacionado con las amplitudes máximas de pico y frecuencias de pico significativamente ($p < 0.05$) mayores observadas en los Pastosos en relación a los No Pastosos. Los jamones Pastosos tuvieron un mayor ($p < 0.05$) número de picos que los No Pastosos para el primer frente de llegada. En el caso del segundo frente de llegada no se observaron diferencias con respecto a la pastosidad (Tabla 4.2)

Respecto a la asimetría, los No Pastosos presentaron valores significativamente ($p < 0.05$) mayores que los Pastosos. Mientras que en relación a la curtosis, los valores de los Pastosos fueron significativamente ($p < 0.05$) más altos que los No Pastosos.

En relación con la temperatura, las frecuencias ($F1$ y $F2$) y la relación entre ambas ($F1-F2$), descendieron conforme aumentó la temperatura. Por otro lado, la asimetría, la curtosis y el número de picos aumentaron con la temperatura.

Es necesario recalcar que en trabajos posteriores y utilizando un número de muestras mayor, deben de aplicarse técnicas estadísticas para determinar la relación de estos parámetros entre sí y con la intensidad del defecto de pastosidad, tales como el análisis de componentes principales.

4.4. RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS TEXTURALES Y ULTRASÓNICOS

En las Figura 4.12, se muestra la relación existente entre los principales parámetros ultrasónicos (Velocidad ultrasónica (VUS) y atenuación ultrasónica (α) y texturales (Fuerza máxima ($F(0)$), reducción de fuerza a los 90 segundos ($Y(90)$) y ratio del área de relajación dividido por la fuerza máxima ($A/F(0)$)) para las piezas enteras de jamones Pastosos y No Pastosos. Se puede observar que no existe una relación evidente para los parámetros ultrasónicos y texturales. Es posible que este hecho pueda estar relacionado con la variabilidad

RESULTADOS

experimental y con el pequeño número de muestras utilizado en este proyecto, cuyo principal objetivo radicó en el desarrollo de una metodología basada en la caracterización no destructiva de este defecto utilizando ultrasonidos de señal. Por tanto, se recomienda realizar un estudio posterior con un número mayor de muestras con las que poder determinar si existe una relación significativa ($p < 0.05$) entre ambos parámetros texturales y ultrasónicos y así, validar la viabilidad de la metodología utilizada.

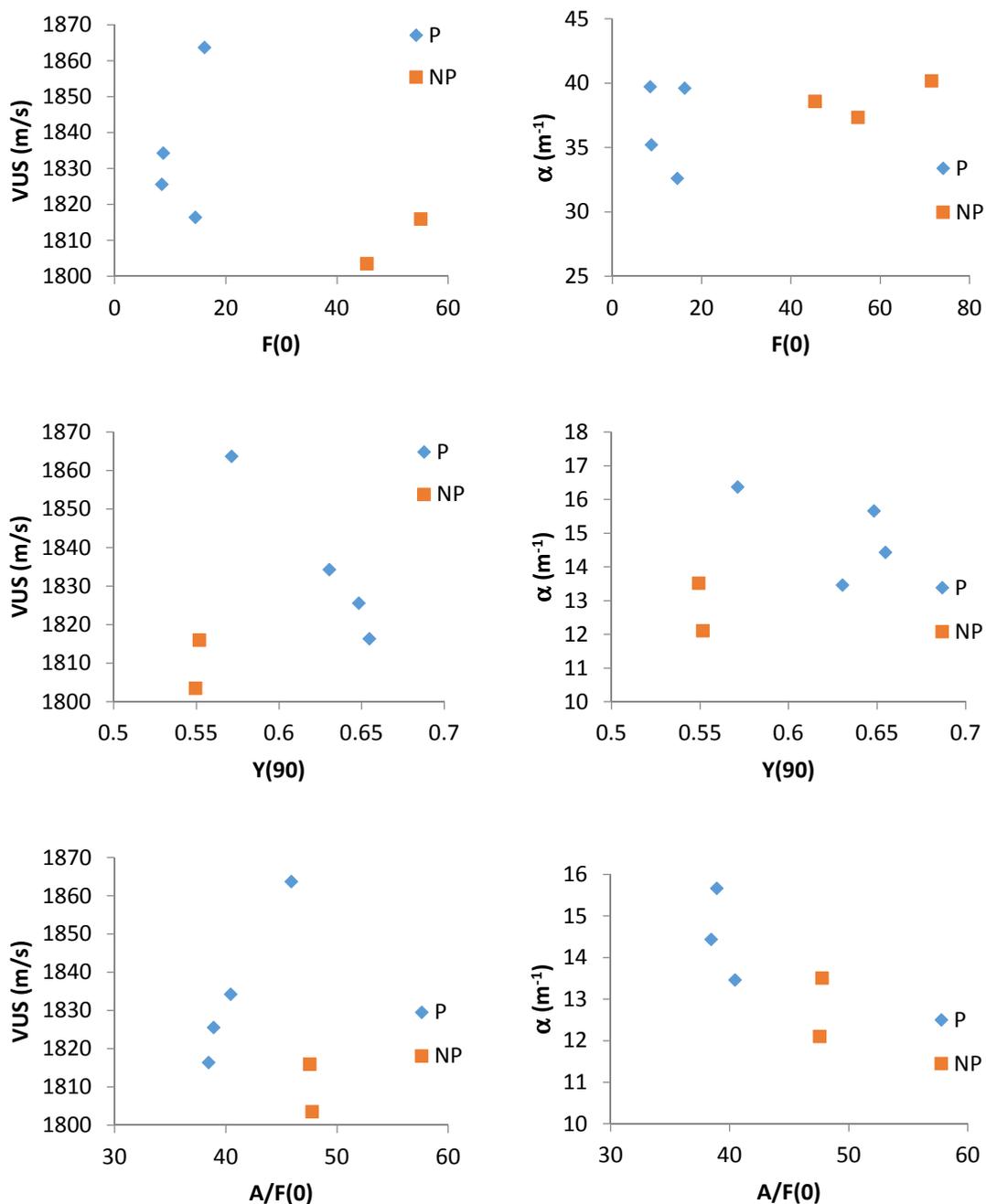


Figura 4.12. Relación entre parámetros ultrasónicos (Velocidad ultrasónica (VUS) y coeficiente de atenuación (α) medidos a 2°C utilizando un transductor de 1 MHz de banda ancha y texturales (F(0), Y(90) y A/F(0)) para jamones Pastosos y No Pastosos.

5. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo se muestran a continuación:

- Los jamones Pastosos presentaron una menor dureza y una mayor capacidad relajación que los No Pastosos.
- Las medidas de transmisión-recepción y pulso-eco fueron adecuadas para determinar la velocidad y atenuación ultrasónica en jamón curado con y sin el defecto de pastosidad, respectivamente.
- Los transductores de 1 MHz de banda ancha y estrecha utilizados se pueden considerar adecuados tanto para medir velocidad como atenuación. Sin embargo, los transductores de 5 MHz únicamente se pueden utilizar para la medida de la velocidad.
- La temperatura influyó en la velocidad ultrasónica, observándose un descenso de la velocidad con el aumento de la temperatura tanto para los jamones Pastosos como No Pastosos. No se observó influencia de la temperatura en la atenuación.
- Las medidas de velocidad ultrasónica a 2 y 22 °C resultaron adecuadas para diferenciar jamones Pastosos y No Pastosos.
- Los jamones con el defecto de pastosidad presentaron una mayor atenuación.
- La metodología desarrollada debe validarse en trabajos posteriores utilizando una mayor número de muestras y considerando diferentes niveles de intensidad en el defecto de pastosidad. Además, debería ampliarse el estudio considerando la percepción sensorial y estableciendo relaciones entre los parámetros ultrasónicos, texturales y sensoriales.

6. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

AOAC (1997). 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. (1998a). Tecnología de fabricación del jamón curado en distintos países. *El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. ICoMST*, 44, 9-21.

Arnau, J. (1998b). 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, H.A.; Shaltout, O.E.; Asker, D. & Youssef, M.M. (2012). Application 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.; Carcel, J.A.; Rosello, C. & Mulet, A. (2001b). Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science*, 57, 365-370.

Benedito, J.; Carcel, J.A.; Sanjuan, N. & Mulet, A. (2000). Use of ultrasound to assess Cheddar cheese characteristics. *Ultrasonics*, 38, 727-730.

Benedito, J.; Cárcel, J.A.; Sanjuan, N. & Mulet, A. (2001a). Quality control of cheese maturation and defects using ultrasonics. *Journal of Food Science*, 66, 100-104.

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.

BIBLIOGRAFÍA

Contreras, M. (2014). Estudio de parámetros de calidad de manzana deshidratada mediante secado a baja temperatura asistido con ultrasonidos. Trabajo Final de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.

Corona, E. (2011). Ultrasonidos de señal no destructivos aplicados para la evaluación del porcentaje de grasa fundida en los productos cárnicos curados. Tesina de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

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.; 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.

García-Gil, N.; Muñoz, I.; Santos-Garcés, E.; Arnau, J. & Gou, P. (2014). Salt uptake and water loss in hams with different water content at the lean Surface and at different salting temperatures. *Meat Science*, 95, 65-72.

Gou, P. (1998). Dinámica de secado del jamón. El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. *ICoMST*, 44, 89-106

Jimenez, N.; Picó, R.; Camarena, F.; Redondo, J. & Roig, B. (2012). Ultrasonic evaluation of hydration degree of the orange peel. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 130-137.

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.

BIBLIOGRAFÍA

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

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.

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.

Mizrach, A.; Flitsanov, U. & Fuchs, Y. (1997). An ultrasonic non-destructive method for measuring maturity of mango fruits. *Trans. ASAE*, 40, 1107-1111.

Mizrach, A.; Galili, N. & Rosenhouse, G. (1994). Determining quality of fresh products by ultrasonic excitation. *Food Technology*, 48, 68-71.

Mizrach, A.; Galili, N. ; Rosenhouse, G. & Teitel, D.C. (1991). Acoustical, mechanical, and quality parameters of winter-grown melon tissue. *Trans. ASAE*, 34, 2135-2138.

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.; Guerrero, L.; Serra, X. & Gou, P. (2007). Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. *Meat Science*, 76, 536-542.

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

Moreiras, O.; Carbajal, Á.; Cabrera, L. & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos*. Ed: Pirámide.

Mulet, A., Berna, A., Roselló, C., Cañellas, J. & López, 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.

BIBLIOGRAFÍA

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.

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

Prados, M. (2012). Monitorización del salado de carne de cerdo (Biceps femoris) mediante ultrasonidos de señal. Tesis de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Rosell, C.M. & Toldrá, F. (1996). Effects of curing agents on m-calpain activity throughout the curing process. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 203, 320-325.

Sancho, J. (1999). Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Ed: Edicions de la Universitat de Barcelona. 95.

Simal, S.; Benedito, J.; Clemente, G.; Femenia, A. & Roselló, C. (2003). Ultrasonic determination of the composition of meat-based product. *Journal of Food Engineering*, 58, 253-257.

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

Szczesniak, A. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-225.

Toldrá, F. (2002). *Dry-cured meat products*. Food & Nutrition Press, 1-238.

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.; Rico, E. & Flores, J. (1993). Cathepsin B, D, H and L activity in the processing of dry-cured-ham. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 62, 157-161.

Referencias electrónicas:

MAGRAMA, 2014: www.magrama.gob.es

ANICE, 2014: www.anice.es

Food Drink Europe, 2013: www.fooddrinkeurope.eu

BOE, 2015: www.boe.es