

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL**



***“Evaluación de los cambios texturales durante la
fase de reposo de jamón curado”***

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

ALUMNO: JORDI VILAR RAMBLA

TUTORES: JOSÉ VICENTE GARCÍA PÉREZ Y JOSÉ JAVIER BENEDITO FORT

CURSO ACADÉMICO: 2016/2017

VALENCIA, JULIO DE 2017





Datos del trabajo fin de grado

Título del TFG: Aplicación de ultrasonidos para la caracterización no destructiva de los cambios texturales del jamón curado durante la fase de reposo.

Autor: Jordi Vilar Rambla.

Tutores Académicos: D. José Vicente García Pérez. y D. José Javier Benedito Fort.

Lugar y fecha: Valencia, julio 2017

Resumen

Dada la gran heterogeneidad de la materia prima en la elaboración del jamón curado, se hace necesario el control no-destructivo de la evolución de sus parámetros fisicoquímicos durante el procesado, para asegurar una mayor calidad y homogeneidad en el producto final.

En el presente trabajo se estudió la viabilidad de los ultrasonidos de baja intensidad para la caracterización no destructiva del jamón curado durante la fase de reposo. Para alcanzar este objetivo, se salaron 8 jamones. Posteriormente, durante la fase de reposo se realizaron periódicamente medidas ultrasónicas en la zona de la maza mediante un equipo de caracterización ultrasónica de alimentos.

La etapa de reposo se llevó a cabo durante 8 semanas. Al final de cada semana se caracterizó destructivamente un jamón. Para ello, se separó la maza en tres partes: exterior, intermedia y interna (A, B y C, respectivamente) según su proximidad a la grasa subcutánea. Las propiedades texturales del jamón se caracterizaron mediante análisis instrumental (dureza y fuerza de corte), además, se midió la evolución del color (sistema CIE L^*a^*b) y su composición química (análisis de grasa subcutánea, grasa, humedad y cloruros).

Durante la etapa de salado, la velocidad aumentó debido a la pérdida de agua y la ganancia de sal. A medida que transcurrió el reposo, la sal difundió desde las zonas externas a las más internas. Para el color, se realizó un ANOVA encontrándose estadísticamente significativos ($p < 0.05$) los efectos de los factores tiempo de reposo y zona sobre los parámetros L^* , a^* y b . Para confirmar que los resultados del ANOVA en relación al tiempo de reposo fueron debidos a cambios reales y no a la variabilidad entre jamones, se realizaron regresiones lineales entre el tiempo de reposo y las variables L^* , a^* y b^* . Aunque para algunas variables y zonas se encontraron relaciones significativas ($p < 0.05$), en general, el hecho de que cada tiempo de reposo correspondiera a un jamón diferente y la elevada variabilidad de los mismos, dificultó observar tendencias de cambio de color con el tiempo de reposo. Para el análisis de textura, en las variables compresión y corte se encontraron efectos significativos ($p < 0.05$) para los factores zona y tiempo. Al igual que en el caso del color la elevada variabilidad composicional y estructural de los jamones, dificultó observar tendencias de cambio de textura con el tiempo de reposo.

Por otra parte, durante el reposo aumentó la velocidad ultrasónica. Se encontró una relación significativa ($p < 0.05$) entre la pérdida de agua y la variación de la velocidad ultrasónica durante el reposo. Por cada 1% de disminución de la humedad, la velocidad ultrasónica aumentó en 5.2 m/s. mientras que la influencia del aumento en la dureza fue no significativa ($p > 0.05$). Esto podría ser debido a que las variaciones de dureza fueron pequeñas y debido a la gran influencia de la pérdida de humedad sobre la velocidad ultrasónica.

Así pues, solo en el caso de que las pérdidas de agua estén bien relacionadas con los cambios en la distribución de sal, sería posible monitorizar de forma no destructiva el proceso de reposo mediante ultrasonidos.

Palabras clave: Jamón curado, Reposo, Monitorización, Ultrasonidos de señal, Cambios texturales

Abstract

Due to the great heterogeneity of the raw material in the elaboration of dry-cured ham, the non-destructive control of its physicochemical parameters evolution during the processing is necessary, to assure a higher quality and homogeneity in the final product.

In the present work, the feasibility of low intensity ultrasound for the non-destructive characterization of the cured ham during the resting phase was studied. To achieve this goal, eight hams were salted. Subsequently, during the resting phase, ultrasonic measurements were performed periodically in the cushion area using an ultrasonic food characterization equipment.

The resting stage was carried out for eight weeks. At the end of each week a ham was destructively characterized. For this, the cushion was divided into three parts: external, intermediate and internal (A, B and C, respectively) according to its proximity to the subcutaneous fat. The textural properties of the ham were characterized by instrumental analysis (hardness and shear force). The evolution of its colour (CIE L * a * b system) and its chemical composition (subcutaneous fat, fat, moisture and chloride analysis) was measured.

During the salting phase, the speed increased due to water loss and salt gain. During the resting period, the salt diffused from the outer to the inner zones. An ANOVA was performed and a statistically significant ($p < 0.05$) effect of the resting time and zone factors on the parameters L *, a * and b were found for the colour. To confirm that the ANOVA results in relation to the resting time were due to real changes and not to the variability among hams, linear regressions between the resting time and the variables L *, a * and b were performed. Although for some variables and zones significant relations were found ($p < 0.05$), in general, the fact that each resting period corresponded to a different ham and the high variability among them, made difficult to observe trends of colour change over the resting time. For texture analysis, a significant effect ($p < 0.05$) was found for zone and time factors in the ANOVAs for compression and cut variables. As well as in colour, the high compositional and structural variability of hams made difficult to observe trends of texture change in the resting time.

On the other hand, during the resting period the ultrasonic speed increased. The relation among the water loss and ultrasonic speed variation was found statistically significant ($p < 0.05$). For every 1% of moisture decrease, the ultrasonic speed increased by 5.2 m/s. Whereas the influence of the hardness increase was not significant ($p > 0.05$). This could be due to the small hardness variations and due to the large influence of moisture decrease on ultrasonic velocity. Thus, only if water losses were well related to changes in the salt distribution, the non-destructive monitoring of the resting process by ultrasound would be possible.

Keywords: Dry-cured ham, Post-salting phase, Monitoring, Low-intensity ultrasounds, Textural changes.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. EL SECTOR CÁRNICO. PRODUCTOS CRUDO CURADOS.....	1
1.2. CLASIFICACIÓN DEL JAMÓN.	2
1.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL JAMÓN.	2
1.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO.	3
1.5. NECESIDAD DE LA MONITORIZACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO	4
1.6. ULTRASONIDOS.	5
1.6.1. GENERALIDADES.	5
1.6.2. ULTRASONIDOS DE SEÑAL EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.	6
2. OBJETIVOS.....	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1. MATERIA PRIMA.....	8
3.2. PROCESO DE SALADO.....	8
3.3. FASE DE REPOSO.	9
3.4. MEDIDAS ULTRASÓNICAS.	9
3.4.1. MONTAJE EXPERIMENTAL DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CARACTERIZACIÓN ULTRASÓNICA DE ALIMENTOS.....	9
3.4.2. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO	10
3.4.3. PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS EQUIPOS ULTRASÓNICOS.	11
3.4.4. REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS ULTRASÓNICAS.....	11
3.4.5. ANÁLISIS DE LA SEÑAL ULTRASÓNICA. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD.....	12
3.5. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS.	14
3.5.1. ANÁLISIS TEXTURAL DE LAS MUESTRAS.	15
3.5.2. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO DE LAS MUESTRAS.....	16
3.5.3. ANÁLISIS COMPOSICIONAL.....	16
4.RESULTADOS Y DISCUSION.....	20
4.1 CONTENIDO EN GRASA	20
4.2. CAMBIOS EN LA VELOCIDAD ULTRASONICA DURANTE EL SALADO.....	20
4.3. DIFUSIÓN DE SAL DURANTE LA FASE DE REPOSO.....	21
4.4. CAMBIOS DE COLOR DURANTE LA FASE DE REPOSO.....	22
4.5. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS TEXTURALES DURANTE EL REPOSO.	26
4.6. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS DURANTE EL REPOSO.....	29
4.4.1 VELOCIDAD ULTRASÓNICA DURANTE EL REPOSO.	29

4.4.2. INFLUENCIA DE LA PÉRDIDA DE HUMEDAD SOBRE LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA.	30
4.4.3. INFLUENCIA DE LA DUREZA SOBRE LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA.	32
5. CONCLUSIONES.....	34
6. BIBLIOGRAFÍA.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Porcentaje en peso de la producción de las principales carnes en España.	1
Figura 1.2. Perfilado del jamón.....	3
Figura 1.3. Jamones en una cámara de maduración	4
Figura 3.1 Jamón durante el periodo del salado.	8
Figura 3.2. Esquema del sistema automático de caracterización ultrasónica de alimentos ...	10
Figura 3.3. Puntos establecidos en la maza del jamón para las medidas ultrasónicas	11
Figura 3.4. Cálculo del tiempo de vuelo con el método del umbral de energía para la medición de la velocidad ultrasónica.....	13
Figura 3.5. Esquema de la maza, zonas y puntos	14
Figura 3.6. Paralelepípedos usados en los análisis físico-químicos	14
Figura 3.7. análisis de con la sonda SMS P/IK.....	15
Figura 3.8. Test de cizalla con la sonda Warner Blatzler Blade V	15
Figura 3.9. Muestras picadas para el análisis composicional.....	16
Figura 3.10. Crisoles con muestra deshidratada	17
Figura 3.11. Montaje para el disgregado y filtrado de la muestra	18
Figura 3.12. Análisis de cloruros. Introducción de la alícuota de muestra.....	18
Figura 3.13. Montaje experimental del equipo Soxhlet	19
Figura 4.1. Evolución durante el reposo del contenido en NaCl de las diferentes zonas de la maza del jamón	22
Figura 4.2. Evolucion de la luminosidad entre zonas durante el reposo	23
Figura 4.3. Incremento de luminosidad entre las zonas C y B de la maza durante el reposo .	23
Figura 4.4. Evolución de a* entre zonas de la maza durante el reposo	24
Figura 4.5. Evolución de b* entre zonas de la maza durante el reposo	25
Figura 4.6. Fuerza de compresión (N) para cada zona de la maza durante el reposo	26
Figura 4.7. Diferencia en la fuerza de compresión entre zonas de la maza durante el reposo	27

Figura 4.8. Fuerza de corte por zonas durante el reposo 28

Figura 4.9. Velocidad ultrasónica medida para cada jamón hasta los análisis destructivos ... 29

Figura 4.10. Comparación entre las evoluciones de el Δ de velocidad durante el reposo y la velocidad al final del reposo..... 30

Figura 4.11. Pérdida de peso del jamón 8 durante el reposo 30

4.12. Relación entre el % de pérdida de peso y la ΔV (V_t -Inicio reposo) durante el reposo para todos los jamones..... 31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contenido en grasa (Xg) de los jamones del estudio..... 20

Tabla 2: Porcentaje de sal e incremento de velocidad tras la etapa de salado. 21

Tabla 3. Parámetros colorimétricos en jamón fresco, al final del reposo y maduro 25

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. EL SECTOR CÁRNICO. PRODUCTOS CRUDO CURADOS.

La industria agroalimentaria, con un 15,6 % de volumen de facturación total, representa el tercer sector de la economía en la unión europea solo superado por el sector farmacéutico y el sector automovilístico. El sector cárnico contribuye en un 20% a la facturación dentro del sector agroalimentario europeo (Food and Drink Industry, 2016), y en un 21,6% de la industria española de alimentos y bebidas (ANICE, 2017).

La producción española de carne de porcino fue en 2014 de más de 3,5 millones de toneladas, lo que representa un 61,2% de la producción de carne en el país (figura 1.1.) (ANICE, 2017).

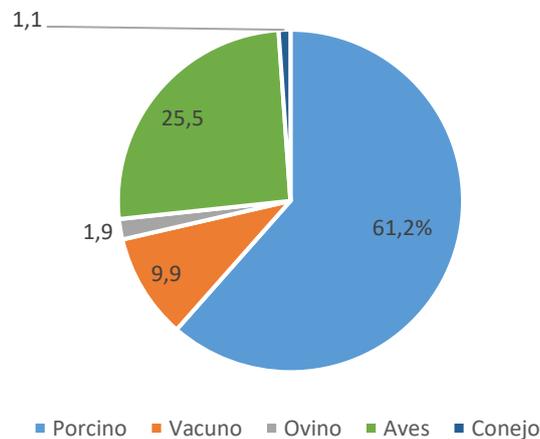


Figura 1.1 Porcentaje en peso de la producción de las principales carnes en España.

La carne porcina, así como sus derivados transformados, ocupan un lugar primordial en la dieta debido a su composición química, además de sus destacables propiedades tecnológicas, nutritivas y sensoriales (Bello, 2008). Los productos crudo-curados se definen como productos cárnicos no tratados por calor. Estos se pueden dividir en dos diferentes grupos, los productos con integridad anatómica (como el jamón y el lomo embuchado); y los productos sin integridad anatómica (como el chorizo, salchichón, sobrasada o salami). El objetivo principal en la elaboración de estos productos es la estabilización de la materia prima, consiguiendo así productos estables a nivel microbiológico a temperatura ambiente, gracias a una disminución significativa de la actividad de agua. Esta estabilización se consigue con la adición de sales de curado, especias y aditivos. Algunos de estos productos sufren etapas de fermentación y/o ahumado, para finalizar con una etapa de secado-maduración en cámaras de temperatura y humedad controladas (Pérez, 2006). Durante este proceso se desarrollan aromas, texturas y sabores característicos de los productos crudo-curados (Arnau et al., 2007).

1.2. CLASIFICACIÓN DEL JAMÓN.

El jamón es el nombre genérico del embutido de las patas traseras del cerdo, salado en crudo y curado de forma natural.

Dependiendo de la raza del cerdo y de su alimentación el Real Decreto 4/2014 (BOE 2017) clasifica los diferentes tipos de jamón ibérico en:

1. Denominación según la alimentación del animal y su entorno de crianza:
 - **De bellota**, para animales alimentados únicamente con bellotas, hierba y de otros alimentos que se puedan encontrar en la dehesa de manera natural. El cerdo se encuentra en estado de libertad, lo que provoca que se ejercite. Este ejercicio físico supone que la grasa se infiltre más en el músculo.
 - **De cebo de campo**, el animal está en espacios exteriores durante un periodo de su crianza. Puede estar alimentado completamente por pienso, o parcialmente teniendo una fase final de engorde a base de pienso.
 - **De cebo**, son cerdos criados en granjas alimentados exclusivamente con piensos.
2. Según su tipo racial.
 - **100% Ibérico**, se refiere a jamones íntegramente de raza ibérica procedente de dos progenitores 100% raza ibérica.
 - **Ibérico**, son aquellos cerdos con raza ibérica de un mínimo del 50% de pureza, así como sus progenitores.

Según esta normativa, las etiquetas tendrán colores clasificando así los distintos tipos de cerdo ibérico, siendo de color Negro los alimentados con bellota y 100% Ibéricos, de color Rojo los de jamón de bellota ibérico, los de la etiqueta Verde jamón de cebo de campo ibérico y la etiqueta de color Blanco para los jamones de cebo ibéricos. Los jamones de raza ibérica suelen sufrir periodos de curación largos teniendo una duración aproximada de 24 a 36 meses.

Por otro lado, el jamón de cerdo blanco o **jamón serrano** es el obtenido de cerdos de raza blanca, raza procedente de Centro Europa mejorada por el cruce de cerdos de raza Duroc, Pietrain, Landrace o Large White, de gran capacidad productiva. Su alimentación es a base de pienso y son criados en espacios cerrados. Tiene un período de curación de 7-16 meses.

1.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL JAMÓN.

El jamón curado, es una gran fuente **de grasa, sal y proteína**, presentando unos valores de estos componentes superiores a los de la muestra fresca debido a la deshidratación de las piezas durante su procesado.

El contenido medio de sal del jamón curado está en torno a 4 g de sal por 100 gramos de producto. Sin embargo, puede variar dependiendo de la etapa de salado (tipo de salado, humedad de la sal, tiempo de salado) y de la anatomía de cada pieza (composición y estructura), así como de otros pretratamientos como el perfilado o la congelación previa.

Otro componente mayoritario en el jamón es la grasa. Su contenido es variable, desde el 20% b.h en los jamones serranos hasta el 40% b.h en los de bellota (de Prados et al., 2015a). El mayor o menor contenido en grasa depende de la edad, sexo, raza y alimentación del animal. La calidad de los jamones curados dependerá de su composición lipídica (Soto et al., 2010). Un alto ratio de grasas saturadas respecto a las monoinsaturadas y polinsaturadas (oleico y linoleico respectivamente) repercute negativamente en las propiedades sensoriales, así como en el valor nutricional del jamón. Así pues, jamones con bajos niveles de grasas saturada presentan menor consistencia y suelen ser más oleosos, obteniéndose mejores perfiles gustativos y sensoriales (Plaza et al., 2017). El jamón ibérico de bellota es el que presenta mayores proporciones de oleico C18:1 (monoinsaturado) en su perfil lipídico, con un 85,2%, siguiéndole el ibérico de cebo con un 80% y el serrano con 56,8% (Fuente BEDCA, 2017).

El jamón contiene proteínas de gran valor biológico, no contiene apenas carbohidratos y una ración de 100 g aporta el 18% de la ingesta diaria recomendada en hierro, un 5% de la de zinc y potasio y un 20% de la de fósforo (FEN; Federación española de nutrición, 2017). También aporta vitaminas del grupo B, como la tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3), y en piridoxina (B6).

1.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO.



Figura 1.2. Perfilado del jamón.

A continuación, se describen las operaciones más importantes en la elaboración del jamón curado:

Operaciones preliminares. En primer lugar se realiza el perfilado (figura 1.2.), que consiste en darle la forma típica en función del tipo de jamón, eliminando parte de los músculos, grasa y piel. Posteriormente se hace el sangrado, que puede ser manual o mecanizado mediante un sistema de rodillos, presionando sobre la arteria femoral y safena (Zumalacárregui, 1997).

Salado. Se incorpora la sal común y los agentes de salado contemplados en la Directiva 95/2/CE. Seguidamente, se realiza un frote de la pieza con sales nitrificantes y se cubre la pieza con sal. El periodo de salado debe estar comprendido entre 0.65 días y 2 días/kg, a una temperatura entre 0 y 4^o C y una humedad relativa (HR) entre el 75 y 95% (Mapama, 2017).

Un salado excesivo provocará el rechazo del consumidor mientras que un salado deficiente conllevará riesgos en la estabilidad microbiológica y defectos de textura como una mayor pastosidad (García-Gil et al., 2012).

El lavado o cepillado, se realiza nada más acabar el salado. Tiene como objetivo la eliminación de residuos de sal de la superficie, evitando así una excesiva permeación de sal durante la elaboración del jamón.

Fase de reposo. Esta etapa dura entre 40-60 días. Debe ser en refrigeración a temperaturas menores de 5°C y con una humedad relativa (HR) entre el 50 y 90%. Valores altos de HR previenen la formación de una gelatina pegajosa y la cristalización de los fosfatos mientras que valores más bajos mejoran la velocidad de pérdida de agua (Arnau et al., 2003).

Después del salado, la concentración de sal es mayor en la superficie y menor en las áreas más profundas. El objetivo de la fase de reposo es la distribución de la sal hacia las zonas más internas, posibilitando unas mejores características organolépticas y una estabilidad microbiológica para las siguientes fases de la elaboración (Larrea et al., 2006). La permeación de sal repercute sobre los cambios texturales. Se produce la solubilización de las proteínas, proceso donde de los iones de Cl⁻ enlazan las cadenas cargadas de las proteínas provocando la formación de una red que atrapa el agua mejorando la textura y jugosidad (McDonnell et al., 2014). Por otro lado, una mala distribución de sal puede conllevar problemas texturales en el producto final, debido a que bajas cantidades de sal favorecen la proteólisis. Esto se reflejará en la aparición de jamones pastosos (Arnau, 1993).

Durante el reposo, la humedad del jamón disminuye ligeramente, debido a que la actividad de agua del jamón es mayor que la humedad relativa del ambiente. Esta disminución de humedad también permite la estabilización enzimática del producto al reducirse la actividad enzimática endógena (Corona, 2013).

Periodo de bodega o de maduración. Las piezas son sometidas al proceso de envejecimiento en bodegas, donde procesos bioquímicos como la proteólisis y la lipólisis confieren los aromas y sabores característicos del jamón (Barat et al., 2004). En el periodo de bodega la temperatura se aumenta debido a que la permeación de sal y la pérdida de agua conlleva una estabilidad microbiológica, permitiendo condiciones de temperatura que oscilan entre 8-22°C de temperatura y 60-80% de humedad relativa. La duración de la fase de maduración fluctúa entre los 18 meses y los 2,5-3 años (Corona, 2012).



Figura 1.3. Jamones en una cámara de maduración.

1.5. NECESIDAD DE LA MONITORIZACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL JAMÓN CURADO

La tendencia actual en la elaboración de jamón es reducir el contenido de sal. Esta reducción puede dar lugar a defectos de textura y problemas microbiológicos. Por ello es importante controlar la operación de salado para que se incorpore la cantidad justa de sal, que proporcione las características organolépticas adecuadas a los jamones, posibilitando a su vez la estabilidad del producto. Por otro lado, es fundamental que durante la fase de reposo se produzca una distribución adecuada de la sal, que permita la estabilización del conjunto de la pieza una vez comience la etapa de maduración.

Pese a que los jamones estén previamente clasificados en función de sus características (fundamentalmente el peso), los procesos de salado y reposo no son uniformes en todas las piezas debido a las diferentes características químicas y estructurales de cada jamón. Los análisis convencionales de textura y composicionales son destructivos, lo que implica la destrucción de

la pieza. Así pues, sería muy conveniente poder monitorizar las etapas de salado y reposo a partir de tecnologías no destructivas, lo que permitiría uniformizar la ganancia y distribución de sal en todas las piezas de un mismo lote.

Algunas técnicas de análisis no destructivo de alimentos son la espectroscopia dieléctrica por microondas, el infrarrojo cercano, los rayos X y los ultrasonidos, entre otras (de Prados et al., 2015b). Sin embargo, aún no existen soluciones reales a la monitorización del proceso de elaboración del jamón curado.

Entre las técnicas no destructivas arriba nombradas, destacan los ultrasonidos de señal ya que éstos son económicos, sencillos de usar y robustos (Chandrapala, 2015). Esta técnica ha permitido conocer la composición y estructura interna de los alimentos, mediante las relaciones entre los parámetros ultrasónicos y las propiedades fisicoquímicas y composicionales de los productos analizados. En este sentido, los ultrasonidos tienen un gran potencial para ser utilizados en la monitorización de las etapas de elaboración del jamón curado, como por ejemplo en el reposo.

1.6. ULTRASONIDOS.

1.6.1. GENERALIDADES.

Los ultrasonidos son ondas elásticas u oscilaciones mecánicas con frecuencias por encima de la zona audible del ser humano (>20 kHz) 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.

Dependiendo del rango de frecuencias y de la intensidad, clasificamos los ultrasonidos en dos tipos.

Se denominan **ultrasonidos de potencia** aquellos con frecuencias que oscilan entre 20 KHz y 100 kHz e intensidades mayores de 1 Wcm^{-2} , provocando un fenómeno descrito como cavitación acústica, el cual modifica las propiedades físico-químicas y funcionales de los alimentos (Carrillo-Lopez et al., 2017). Éstos, se emplean para inducir cambios en procesos o productos, como por ejemplo acelerar procesos de secado, homogenización de compuestos, extracciones, pasteurización a bajas temperaturas (Patist y Bates, 2008), para favorecer el salado en salmuera de lomo de cerdo (Cárcel et al. 2007), para mejorar las propiedades funcionales y físicas de los lípidos (Whag et al., 2016) o para aumentar la digestibilidad o eliminar alergenicidad a partir de cambios en las proteínas que las producen (Rahaman et al., 2016).

Se denominan **ultrasonidos de señal** o de baja intensidad si su rango de frecuencias está entre 100 kHz y 1 MHz y poseen intensidades menores de 1 Wcm^{-2} . Estos, son empleados para la monitorización de procesos y el análisis de productos, sin que se produzcan alteraciones en las muestras analizadas (Awad et al., 2012). Las ondas ultrasónicas sufren cambios en sus propiedades cuando viajan a través de un medio. A partir del estudio de esas variaciones se puede caracterizar el medio o el alimento (Cárcel et al., 2012).

Las medidas de los ultrasonidos de señal se pueden realizar de dos maneras; por transmisión-recepción o por pulso-eco (Mulet et al., 1999).

En el modo de **transmisión-recepción**, los transductores (emisor y receptor) son colocados paralelos sobre las caras opuestas del alimento a analizar. El transductor emisor genera la onda ultrasónica que atraviesa la muestra y es detectada por el transductor receptor (Povey et al., 1998).

El **modo pulso-eco** se caracteriza porque los transductores se localizan en la misma cara de la muestra. El transductor genera la onda ultrasónica que viaja a través de la muestra, se refleja en la interfase muestra-medio y retorna atravesando de nuevo la muestra al mismo transductor (de Prados, 2016). Esta onda pierde energía al propagarse por el medio, proporcionando información de las propiedades físicas del material.

Los parámetros ultrasónicos más empleados en la caracterización de materiales son la velocidad y la atenuación ultrasónica.

1.6.2. ULTRASONIDOS DE SEÑAL EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.

Mediante esta técnica se han realizado numerosos estudios para la evaluación de productos curados de origen animal y de carne fresca, como, por ejemplo; la determinación del contenido en grasa de jamones (de Prados, 2015a), la evaluación del contenido de sal en productos a base de carne de cerdo (García-Pérez et al., 2015). También se han empleado ultrasonidos de señal para determinar la composición en mezclas de carne fresca (Benedito et al., 2001a), para la determinación de grasa en carne de vaca y pescado (Halim et al., 2012), para estimar la composición de carne de pollo (Chanamai y McClements, 1999) o para la evaluación de las propiedades texturales de sobrasada de Mallorca (Llul et al., 2002). En el sector lácteo se han usado para determinar el grado de madurez del queso (Benedito et al., 2001b), para detectar cambios en la estructura interna del queso durante su elaboración (Benedito et al., 2000a), así como para la predicción composicional del queso (Telis-Romero et al., 2011).

A su vez, también existen estudios que utilizan los ultrasonidos de señal para monitorizar o modelizar el comportamiento de distintos alimentos en una etapa determinada, como por ejemplo; la monitorización del lomo de cerdo y del jamón durante el salado en seco (de Prados et al., 2017), la monitorización de la coagulación de la leche para la obtención de queso (Budelli et al., 2017), la evaluación de la maduración del queso cheddar (Benedito et al., 2000b), o la monitorización de la temperatura durante el asado de carne de vacuno (Hægström y Luukkala, 2000).

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS.

El presente trabajo tiene como objetivo principal la caracterización no destructiva de los cambios que tienen lugar en el jamón curado durante su periodo de reposo mediante el uso de ultrasonidos de señal. En base a este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos.

- Estudiar los cambios en los parámetros ultrasónicos tras la etapa de salado.
- Analizar la evolución de los parámetros ultrasónicos durante la fase de reposo.
- El estudio de la difusión de sal y agua en el interior de los jamones durante el reposo.
- La evaluación de los cambios colorimétricos durante el reposo.
- La evaluación de los cambios texturales durante el reposo.
- Estudiar la influencia del agua, la grasa y la sal sobre los cambios texturales que tienen lugar en la fase de reposo.
- Estudiar las relaciones entre los cambios en la velocidad ultrasónica y las variaciones en los parámetros físico-químicos analizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. MATERIA PRIMA.

Los jamones empleados como materia prima en este trabajo fueron adquiridos en un supermercado local (Valencia, España). El peso medio fue de $10,9 \pm 0,7$ kg. Las piezas en fresco se dejaron 2 días en refrigeración a 2°C antes de la etapa del salado.

3.2. PROCESO DE SALADO.

El salado se realizó en dos lotes de cuatro jamones cada uno. Los jamones se salaron un día por kilogramo de producto fresco (Barat et al., 2004). Así, los jamones del lote 1 (jamones 1, 2, 3 y 4) se salaron 10 días, ya que su peso medio fue $10,3 \pm 0,2$ kg. En cuanto a los jamones del lote 2 (jamones 4, 5, 6 y 7) se salaron doce días, ya que su peso medio fue de $11,5 \pm 0,4$ kg.



Figura 3.1 Jamón durante el periodo del salado.

El salado se realizó en recipientes de plástico de 45L para cada jamón. Se necesitaron unos 10-12 kg de sal gruesa (Sal Bueno) por jamón para asegurar cubrir totalmente cada pieza (figura 3.1.). Para el salado se humedeció la sal hasta un 10% de humedad (p/p) y el proceso se llevó a cabo en condiciones controladas, a una temperatura de $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de 80-85% (Larrea et al., 2006). Para ello los jamones se situaron en el interior de una cámara frigorífica (AEX 1000TF, INFRICO, España).

Finalizado el salado se eliminó la sal superficial con agua y se secaron los jamones con papel.

3.3. FASE DE REPOSO.

Finalizado el salado, se llevó a cabo la fase de reposo. Las condiciones en esta fase fueron de una humedad relativa del 80-85% y una temperatura de $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Larrea et al., 2006).

Los tiempos de reposo considerados fueron de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 semanas. Durante la fase de reposo se controló las variaciones de peso de cada jamón.

3.4. MEDIDAS ULTRASÓNICAS.

3.4.1. MONTAJE EXPERIMENTAL DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CARACTERIZACIÓN ULTRASÓNICA DE ALIMENTOS.

Para la realización de las medidas ultrasónicas se utilizó un sistema automático de caracterización ultrasónica de alimentos (figura 3.2.). Los componentes de este equipo son:

Un **brazo deslizante (1, figura 3.2)** LEY 16RB, SMC, Japan.

Dos transductores uno de emisión (**2, figura 3.2**) y otro de recepción (**3, figura 3.2**) (modelo A314S, Panametrics, U.S.A.). Estando el transductor de emisión unido al brazo deslizante.

Un **generador-receptor (4, figura 3.2)** (modelo 5058PR, Panametrics, U.S.A.). Su función es generar, recibir y acondicionar impulsos eléctricos.

Un **osciloscopio (5, figura 3.2)** (USB-5133, National Instruments, U.S.A) que convierte la señal eléctrica proveniente del generador-receptor en una señal digital.

Un **ordenador (6, figura 3.2)** con un software específico desarrollado en LabView 2015™ (National Instruments, U.S.A.) que se encarga de posicionar el brazo para la medición, recuperar la distancia entre transductores del controlador, recuperar la señal digitalizada del ordenador y calcular la velocidad ultrasónica.

Y un **controlador (7, figura 3.2)** LECP6N (SMC, Japan), que permite el control del movimiento del brazo deslizante y la regulación de la fuerza de compresión ejercida por el mismo.

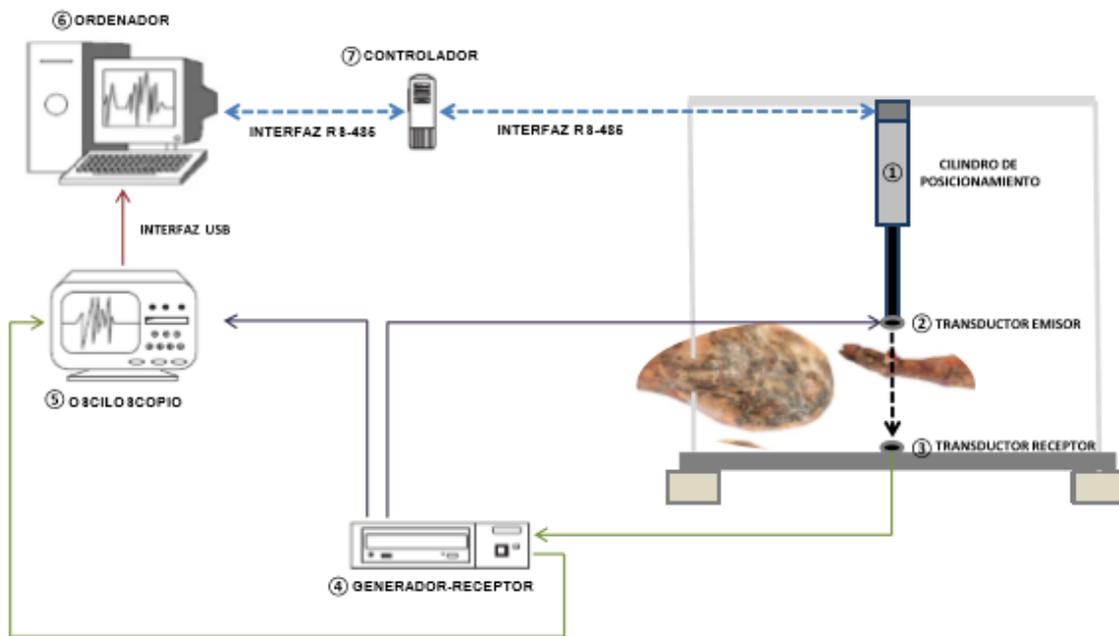


Figura 3.2. Esquema del sistema automático de caracterización ultrasónica de alimentos.

3.4.2. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

El jamón se situaba entre los dos transductores (figura 3.2). Una vez en la posición adecuada, se accionaba el botón de inicio que activaba todas las operaciones que se describen a continuación.

El brazo móvil bajaba acoplándose con el jamón a una velocidad de 250mm/s. Seguidamente, el generador-receptor generaba un pulso eléctrico que se enviaba al transductor emisor (transductor superior) y al mismo tiempo se enviaba la señal de disparo (trigger) al osciloscopio para la sincronización de la medida, para así, empezar la adquisición de la señal digitalizada (Contreras et al., 2015). Al llegar la señal eléctrica al transductor superior, se convertía en una vibración que viajaba por el jamón hasta llegar al transductor inferior, el cual, realiza el proceso inverso, convirtiendo las ondas recibidas en una señal eléctrica. Inmediatamente la señal llegaba hasta el generador-receptor, donde se acondicionaba. Por último, la señal eléctrica era conducida desde el generador-receptor hasta el osciloscopio, digitalizándose de manera que pudiera ser procesada por el ordenador. A partir de la señal digitalizada y tal y como se describe en el apartado 3.4.5, se determinó la velocidad ultrasónica.

3.4.3. PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS EQUIPOS ULTRASÓNICOS.

Los parámetros utilizados durante la experimentación para la medida de la velocidad ultrasónica fueron:

Generador-receptor: Modo transmisión-recepción, tasa de repetición 100 Hz; amortiguación 100 Ω ; altura de pulso 400V; ganancia 35 dB y filtro desactivado.

Osciloscopio: velocidad de adquisición 100 MHz y 25.000 puntos.

Se aceptaron todas las señales donde el frente de llegada superase un voltaje de 1 V, en caso contrario se repitió la medida hasta obtener una señal aceptable.

3.4.4. REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS ULTRASÓNICAS.

Para realizar las medidas de forma uniforme en todos los jamones y para efectuar la medida en un mismo lugar, se delimitaron **nueve puntos** en la maza de cada jamón (figura 3.3). Los puntos se colocaron de manera que no interviniese el hueso en la transmisión de los ultrasonidos a través del jamón.



Figura 3.3. Puntos establecidos en la maza del jamón para las medidas ultrasónicas.

Periódicamente se realizaron medidas ultrasónicas por duplicado en cada punto del jamón durante la fase de reposo.

Durante toda la fase de experimentación, se humedecieron los puntos de medida para evitar la presencia de aire y mejorar el acople transductor-muestra.

Durante el avance de la fase de reposo, debido al endurecimiento de la superficie del jamón, se adaptó la fuerza de compresión del brazo para asegurar un correcto contacto jamón-transductor, siendo para el jamón fresco del 17%, para el jamón salado del 20%, a partir de 30 días de reposo del 25% y a partir del día 42 se ajustó al 35 % de fuerza. Estos valores se refieren al porcentaje sobre la fuerza máxima que puede hacer el brazo (7,54 kg).

Es importante que la temperatura antes de las medidas ultrasónicas esté controlada, ya es una variable que repercute directamente en la velocidad ultrasónica. Esto es debido a que la temperatura influye sobre el estado de la materia grasa. A una baja temperatura, toda la grasa está cristalizada y los ultrasonidos se propagan más rápidamente (de Prados et al., 2015a), mientras que a mayores temperaturas se obtiene una menor velocidad ultrasónica debido a la fusión parcial de la grasa (García-Pérez et al., 2017). En este sentido, Benedito et al. (2001) observaron una disminución de la velocidad ultrasónica en la grasa de 5,6 m/s por el aumento de 1°C. Por otro lado, un aumento de la temperatura en un grado aumenta en 3 m/s la velocidad ultrasónica en el agua.

En este sentido, las medidas ultrasónicas no se efectuaron en un recinto refrigerado. No obstante, las medidas se efectuaron en un intervalo de tiempo corto (<400 s), lo que implicó una variación muy pequeña de la temperatura del jamón.

3.4.5. ANÁLISIS DE LA SEÑAL ULTRASÓNICA. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD.

Para el análisis de la señal ultrasónica se definen los siguientes parámetros. El tiempo de vuelo real (t_{vr}) es el tiempo durante el cual la señal viaja por la muestra, estando relacionado con la velocidad ultrasónica (V_{us}) y el espesor de la muestra (e) por la ecuación 1. Siendo el espesor la distancia entre los transductores.

$$V_{us} = \frac{e}{t_{vr}} \quad \text{Ec.1}$$

El tiempo de vuelo medido no solo contempla el tiempo durante el cual la señal viaja por la muestra, sino por todos los componentes del sistema como cables y transductores. Este tiempo por el cual la señal viaja por estos componentes se denomina tiempo de retardo (t_r), siendo el tiempo de vuelo real (t_{vr}) el tiempo de vuelo medido (t_v) menos el tiempo de retardo (t_r), tal como se muestra en la ecuación 2. Se determinó el tiempo de retardo mediante una calibración previa del equipo (de Prados et al., 2015a).

$$t_{vr} = t_v - t_r \quad \text{Ec.2}$$

El procedimiento más común para el cálculo del tiempo de vuelo es el del umbral de energía, donde se busca el primer punto de la señal digitalizada (figura 3.4) que supere un umbral de energía de 0.1 V (línea verde). Una vez localizado, se retrocede hasta encontrar el primer punto que quede por debajo de un umbral inferior fijado en 0.03 V. Siendo ese punto el que se considera como el tiempo de llegada de la señal (T_b). A partir de este punto de llegada se calcula el tiempo de vuelo.

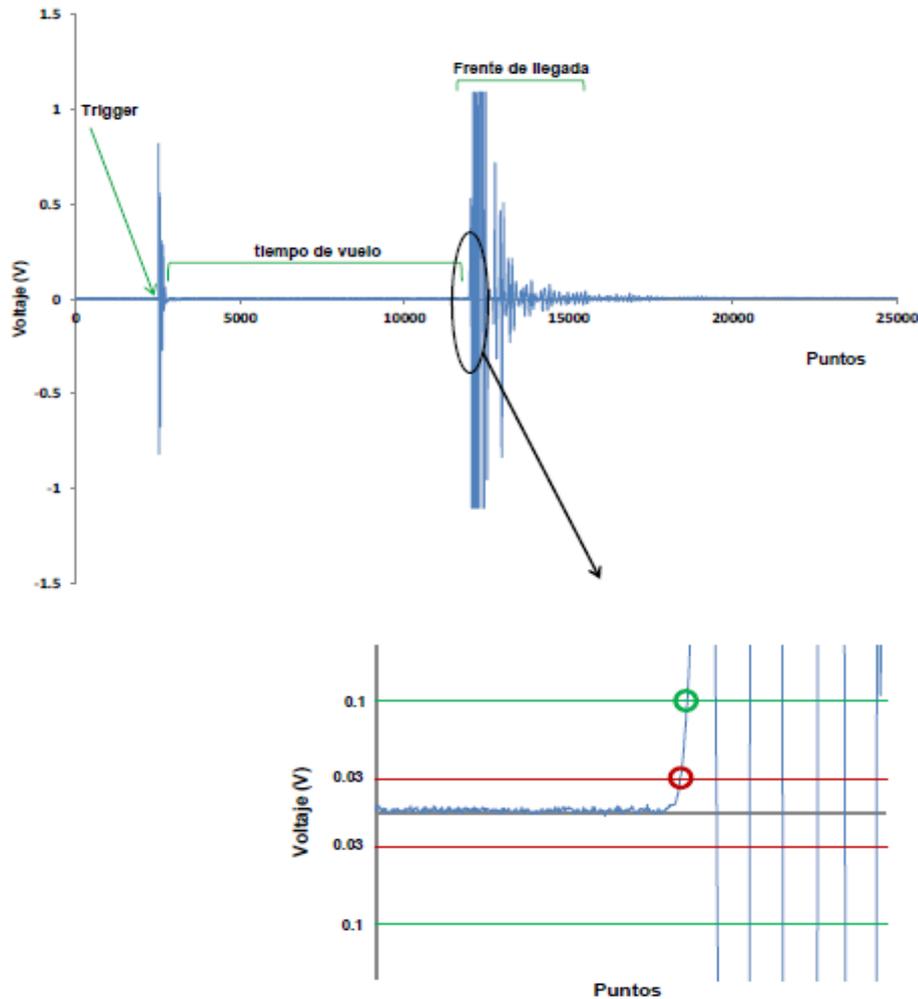


Figura 3.4. Cálculo del tiempo de vuelo con el método del umbral de energía para la medición de la velocidad ultrasónica.

Se configuro el osciloscopio para que mostrara 2500 puntos (10% de los puntos totales) antes del trigger. Estos puntos solo son una medida espacial sobre la gráfica y nos permiten ver el inicio el trigger.

Conociendo el punto de llegada de la señal (T_b), el número de puntos antes del trigger (2500) y la velocidad de digitalización o adquisición (V_a), se puede calcular el tiempo de vuelo mediante la ecuación 3.

$$tv = \frac{T_b - 2500}{V_a} \quad (\text{Ec. 3}).$$

Siendo la velocidad de adquisición de 100Mhz (relación entre puntos y tiempo (Mpts/s)).

Se promediaron 10 medidas del tiempo de vuelo (t_v) para obtener la velocidad ultrasónica a partir de la ecuación 1.

3.5. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS.

Durante la fase de reposo se analizó cada semana un jamón de manera destructiva con el fin de caracterizar la evolución del color, la textura y la composición de los jamones durante dicha fase. Para ello se extrajo la porción de la maza y se dividió en tres zonas (figura 3.5).

Zona A: Zona superficial más alejada de la grasa subcutánea.

Zona B: Zona intermedia.

Zona C: Zona más interna en contacto con la grasa subcutánea.

Cada zona se dividió verticalmente por cada punto de medida (figura 3.3., 3.5.) Por lo tanto, se dividió la porción de maza en 27 trozos (9 puntos x 3 zonas) que se numeraron dependiendo su posición en la maza (figura 3.5.). Estos trozos se estandarizaron formando paralelepípedos de **dos** centímetros de alto y **tres** centímetros de ancho (figura 3.6.). Por otra parte, la longitud del paralelepípedo, no afecta a las medidas texturales y vendrá determinado dependiendo la morfología del jamón.

Se desecharon los paralelepípedos formados completamente por tejido conectivo.

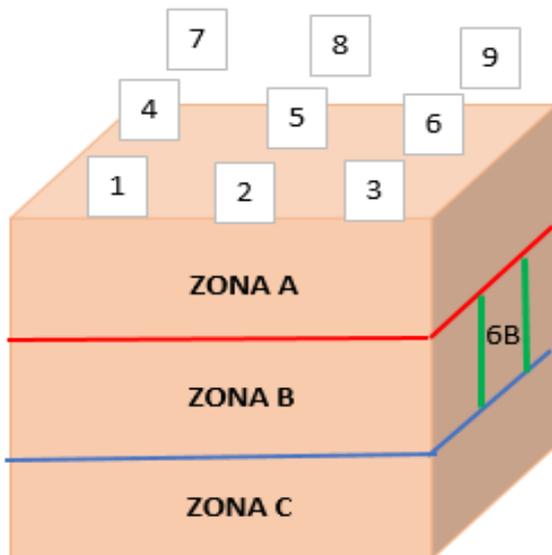


Figura 3.5. Esquema de la maza, zonas y puntos.



Figura 3.6. Paralelepípedos usados en los análisis físico-químicos.

3.5.1. ANÁLISIS TEXTURAL DE LAS MUESTRAS.

Una vez cortadas las muestras en paralelepípedos, se dejaron atemperar a 8°C durante 3 horas. En primer lugar, se realizó el test de compresión, después se midió el color (explicado en el apartado 3.5.2) y por último se efectuó el test de corte.

El análisis textural se realizó en condiciones de refrigeración, ya que la temperatura afecta a la dureza de los tejidos. Los ensayos se realizaron en refrigeración a 10 ± 3 °C (variabilidad alta debido a la apertura y cierre de la cámara frigorífica durante las pruebas). Los análisis se realizaron mediante un texturómetro modelo TA XT2i texture analyzer (Hamilton, Reino Unido).

Para el análisis de compresión se usó una sonda cilíndrica plana de 1 cm de diámetro (*SMS P/IK*) mientras que para el análisis de corte se usó una sonda *Warner Blatzler Blade V* (figuras 3.7 y 3.8, respectivamente).

En primer lugar, se realizó el ensayo de compresión sobre cada paralelepípedo tomando datos por triplicado de cada muestra. Se configuró el equipo para que se comprimiera la muestra hasta llegar a un 25% de su altura a una velocidad de 1mm/s. A partir de la curva fuerza-deformación se calculó la dureza como el punto máximo de esa curva.

El test de cizalla supone realizar un corte de la muestra, por lo tanto, solo se realizó una medida por cada paralelepípedo, obteniendo solamente 3 medidas por punto y 9 medidas por zona para cada jamón. El ensayo se realizó a una velocidad de 10mm/s en dirección paralela a las fibras. A partir de la curva fuerza-deformación se calculó la fuerza de corte como el valor máximo de la curva.

Después de los análisis texturales los paralelepípedos se agruparon por puntos y zonas, se envasaron a vacío y se congelaron hasta la realización del análisis composicional.

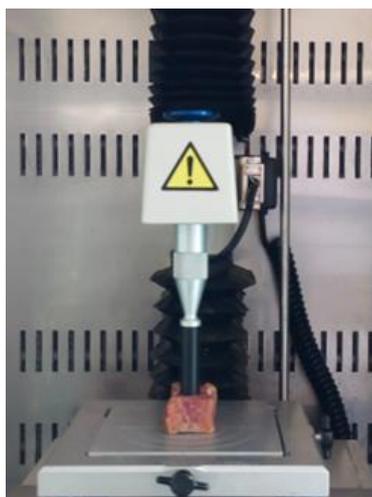


Figura 3.7. Análisis de compresión con la sonda SMS P/IK.



Figura 3.8. Test de cizalla con la sonda Warner Blatzler Blade V.

3.5.2. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO DE LAS MUESTRAS.

Para las medidas de color se utilizó el sistema (CieL*a*B*), éstas se realizaron con el colorímetro *Konica Minolita CM-2500d (Sensing, Japón)*. Los parámetros utilizados en las medidas fueron iluminante D65 y observador 10°. Se configuró el equipo para que realizara el promedio de tres medidas para cada repetición. Se realizaron 2 repeticiones por paralelepípedo en zonas distintas de una misma cara que estuviesen libres de grasa, determinándose los parámetros L* a* y b* del espacio de color CIE L*a*b*, referentes a la percepción del color del ojo humano (SCE).

3.5.3. ANÁLISIS COMPOSICIONAL.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Los análisis de composición de cada jamón se realizaron por zonas, excepto el análisis de grasa que se realizó en conjunto para todo el jamón.

Se pesó cada zona por separado, así como la grasa subcutánea (procedente de la zona C). Posteriormente, la grasa subcutánea se agregó a la zona C para poder determinar la humedad real de la zona C, aunque esto imposibilitó conocer la humedad del tejido magro de dicha zona.

Cada zona se trituró 8-12 segundos con la trituradora Blixer 2 Robot Coupe (South Perkins, USA) para conseguir un troceado pequeño y homogéneo (figura 3.10) que permitió obtener muestras representativas de cada zona para realizar los análisis composicionales.



Figura 3.19. Muestras picadas para el análisis composicional.

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

El contenido de agua (X_w) se determinó mediante el método AOAC 950.46.

El método consiste en mezclar unos $3 \pm 0,10$ g de muestra homogenizados con 0,5 gramos de arena. Secar la mezcla en una estufa a 105°C durante 24h, alcanzando así un peso constante, lo que indica que se ha evaporado toda el agua libre de la muestra.

Para ello se pesó el crisol más la arena (P1) y la muestra fresca + crisol + arena (P2). Al finalizar el secado se atemperaron las muestras (siempre evitando que haya una ganancia de agua en las mismas) y se pesaron (P3; Peso crisol + muestra seca + arena). Con estas medidas se determinó el contenido de humedad de cada zona del jamón (X_w , %b.h.) mediante la ecuación 4.

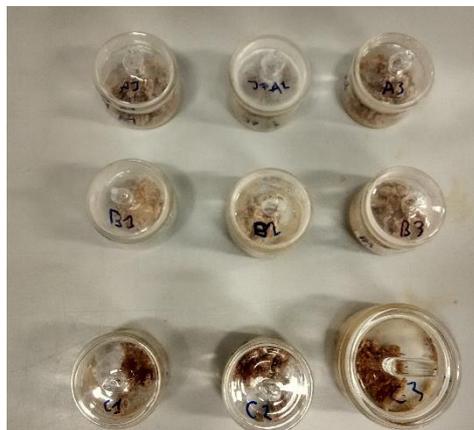


Figura 3.10. Crisoles con muestra deshidratada.

$$X_w = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \times 100 \quad \text{Ec.4}$$

Los análisis se realizaron por triplicado para cada zona del jamón (figura 3.6).

ANÁLISIS DE CLORUROS.

La determinación del contenido en cloruros se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Cárcel et al. (2007). El análisis se llevó a cabo para cada zona del jamón. Para ello, se homogeneizaron 0,5 g de muestra salada con 100 mL de agua destilada con un ultraturrax (T25 IKA Labortechnik, Janke & GMB & Co, Staufen, Alemania) durante 5 minutos a 9500 rpm. El extracto obtenido tras homogeneizar se filtró y se dejó reposar en nevera a 4°C durante 24h. A continuación, se determinó el contenido en cloruros, en g de Cl^-/L , con un analizador de cloruros (926 Mark 2 Chloride Analyzer, Sherwood, Reino Unido) (figura 3.12). En primer lugar, se lavaron los elementos de plata con Aladdin y se enjuagaron para evitar impurezas que interfirieran en el análisis. Se calibró con una disolución tampón de ácido combinado y se comprobó el correcto funcionamiento con una muestra estándar de cloruros. Posteriormente se analizó la muestra mediante el uso de alícuotas de 500 μL de la disolución preparada (figura 3.12). El equipo se fundamenta en una valoración coulométrica donde los filamentos de plata generan iones hasta complejarse con todos los cloruros (Sherwood-scientific, 2017).



Figura 3.11. Montaje para el disgregado y filtrado de la muestra.



Figura 3.12. Análisis de cloruros. Introducción de la alícuota de muestra.

El resultado final se expresó como % de NaCl en la muestra en b.h. y también en b.s. para poder comparar si el salado fue homogéneo entre las piezas utilizadas, ya que el contenido en sal total no varía en la fase de reposo, variando solo el contenido en agua.

ANÁLISIS DE GRASA.

La determinación del contenido en grasa se llevó a cabo siguiendo el método de la AOAC 991.36. El método consiste en extraer la grasa de la muestra con de éter de petróleo (disolvente orgánico).

Los análisis se realizaron a partir de una muestra homogenizada de las tres zonas (mezcla de 20 gramos por zona) y se realizaron tres repeticiones para cada jamón. Para ello, se introdujeron 3 g de muestra triturada en un cartucho de papel de filtro, se añadió arena de mar lavada y se homogeneizó con la ayuda de una varilla. Estos cartuchos se secaron durante 1,5 horas a 105°C para reducir el contenido en humedad y facilitar la penetración del disolvente. Una vez transcurrido, se atemperaron y se introdujeron dentro del equipo Soxhlet (figura 3.13.).

El montaje empleado consta de un baño de agua a 72°C **(1)** al que está acoplado el cuerpo del Soxhlet **(2)**, un condensador **(3)** y un balón de cristal **(4)**. El montaje, está conectado a un baño de agua contiguo donde se mantiene una temperatura de $2\pm 1^\circ\text{C}$ **(5)**.

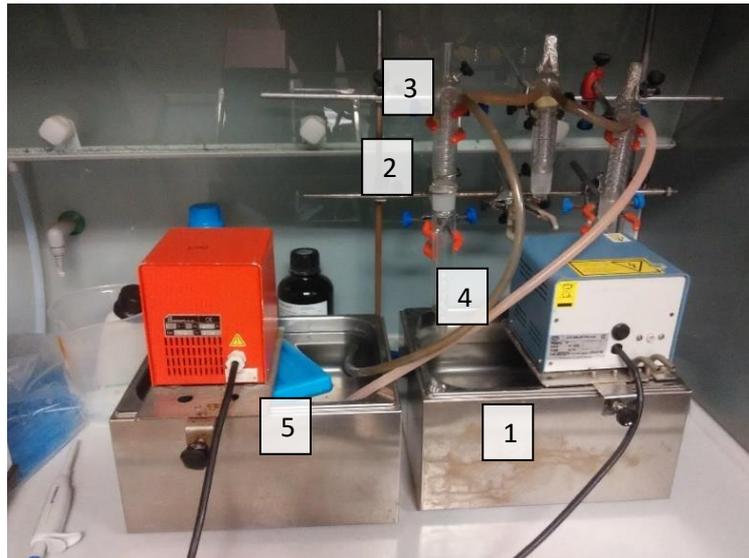


Figura 3.13. Montaje experimental del equipo Soxhlet.

Una vez montado, se introduce disolvente hasta que sifone (aproximadamente 70mL de éter de petróleo). Éste se volatiliza llegando al condensador, donde se condensa y se acumula en el cuerpo del Soxhelt donde se encuentra el cartucho con la muestra. Cuando el Soxhlet tiene la cantidad suficiente de disolvente en el cuerpo, éste es sifonado arrastrando toda la grasa de la muestra disuelta hacia el balón. Se repite este ciclo durante 6 horas acumulándose así la grasa en el balón.

Una vez pasado este periodo, se llevan los balones a un equipo de rota evaporación *IKA RV 10 digital*, Alemania) a 72°C. En esta operación se extrajo el disolvente quedando el balón más la grasa. 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 (ecuación 5) se expresó como porcentaje de la materia fresca (%b.h.), dividiendo el resultado por el peso de la muestra (m).

$$X_w = \frac{P_2 - P_1}{m} \times 100 \quad (\text{Ec.5}).$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 CONTENIDO EN GRASA

Mediante el análisis composicional de los jamones se determinó el valor medio del contenido en grasa de la materia prima para la zona de la maza, siendo de $9,51 \pm 4,56$ % en b. h. y variando entre el 6,3% y el 20,3% (tabla 1). Otros estudios obtuvieron valores dentro de este rango, como de Prados et al. (2017) con valores de $14 \pm 3,7$ % en b.h. de grasa en jamones enteros, mientras que Martuscelli et al. (2017) obtuvieron valores de grasa para el músculo *biceps femoris (BF)* de 8.32 ± 4.40 % b.h. Observándose que tanto la maza como los músculos internos son menos grasos que el jamón entero.

A la temperatura a la que se realizaron las mediciones (4 °C), un incremento en el contenido de grasa de los jamones supone un incremento de la velocidad ultrasónica. Esto se debe a que la velocidad de los ultrasonidos a 4 °C en el tejido graso es de 1610-1620 m/s, mientras que en el tejido magro la velocidad es de 1530-1555 m/s (Benedito et al., 2001a). Por lo tanto, las diferencias de grasa entre jamones (tabla 1) también supondrán una variabilidad en el estudio, afectando no solo a la velocidad de los ultrasonidos, sino también a la ganancia y distribución de la sal durante las fases de salado y reposo (Mulet et al., 1992), ya que a mayor contenido en grasa menor será la penetración de sal.

Tabla 1: Contenido en grasa (Xg) de los jamones del estudio.

	Jamón 1	Jamón 2	Jamón3	Jamón 4	Jamón 5	Jamón 6	Jamón 7	Jamón 8
Xg (%b.h.)	10,7±2,1	7,2 ± 1,2	6,84 ± 0,9	6,3 ± 1,0	8,1 ±2,8	20,3 ± 0,2	8,7 ± 1,4	8,2 ± 1,0

4.2. CAMBIOS EN LA VELOCIDAD ULTRASONICA DURANTE EL SALADO

No se observó una relación significativa ($p>0.05$) entre el contenido de sal y el contenido de grasa de los jamones. Esto podría deberse a que la elevada variabilidad experimental (composición de materia prima y proceso de salado) enmascarara el efecto de la grasa en el salado.

La ganancia de NaCl (% b.s.) para la maza fue de 5.7 ± 1.0 , obteniéndose valores entre 4,3 y 6,9. (Tabla 2), esta ganancia de sal y la pérdida de agua produjo un aumento de la velocidad ultrasónica, tal y como se observa en la tabla 2. Los valores obtenidos suponen un contenido en NaCl de $1,86 \pm 0,39$ (% b.h). de Prados et al., (2015a) obtuvieron que por cada 1% de sal b.h. ganada se aumentaba $13,9 \pm 0.9$ (m/s) para el músculo *Longissimus Dorsi* , por lo tanto se obtienen valores similares a este estudio dado que siguiendo esta relación para deberíamos obtener ganancias de velocidad próximas a 26% (Tabla 2).

Tabla 2: Porcentaje de sal e incremento de velocidad tras la etapa de salado.

	Jamón 1	Jamón 2	Jamón 3	Jamón 4	Jamón 5	Jamón 6	Jamón 7	Jamón 8
X_s (%b.s.)	4,32 ±	5,39 ±	4,51 ±	6,81 ±	5,09 ±	6,92 ±	6,39 ±	6,36 ±
	0,13	0,13	0,12	0,14	0,04	0,33	0,05	0,16
ΔV (m/s)	28,99 ±	25,25 ±	23,19 ±	32,33 ±	25,85 ±	27,5 ±	29,02 ±	28,13 ±
	5,84	4,52	5,57	5,16	8,43	10,51	6,37	4,2

No se encontró una relación significativa ($p > 0.05$) entre la ganancia de sal y la variación de velocidad ultrasónica, probablemente debido a que todas las piezas se salaron con el mismo ratio tiempo salado/peso de la pieza y los valores de sal finales fueron bastante similares.

4.3. DIFUSIÓN DE SAL DURANTE LA FASE DE REPOSO.

Uno de los fenómenos más importantes de la fase de reposo es la difusión de la sal de la zona externa a la interna del jamón. Esta difusión no implica que haya una pérdida de sal total sino una redistribución de la misma para igualar potenciales osmóticos. En la figura 4.1 se observa como al principio del reposo la zona A es la que mayor contenido en sal presenta ($6,96 \pm 0,58\%$ b.s.), la zona C tiene valores intermedios ($4,42 \pm 0,45\%$ b.s.), mientras que la zona B es la que menos sal tiene ($1,56 \pm 0,32\%$ b.s.). La zona A es la de mayor contenido en sal, al ser la capa más exterior del jamón y por lo tanto la más expuesta al contacto con la sal, mientras que la zona B es la de menor contenido salino al ser la parte más interna.

Al avanzar la fase de reposo, se observa que el contenido en sal de las zonas A y B aumentan mientras que la salinidad de la zona C disminuye ligeramente. Se realizó un análisis estadístico encontrándose que la evolución con el tiempo de las zonas A y C no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$), mientras que si se encontró un aumento significativo ($p < 0.05$) del contenido en sal para la zona B.

Si analizamos las tendencias por zonas, en un principio la **zona A** debería perder sal debido a la difusión de los cloruros hacia capas internas, pero no se observan cambios significativos e incluso se aprecia una tendencia de aumento. Este aumento podría explicarse por el hecho de que, durante la preparación de las muestras para los análisis texturales, se cortaron aproximadamente 5 mm de la zona superficial de la zona A, para evitar que la dureza de esa capa afectara a las medidas. Al eliminar esa capa más superficial de la zona A y por lo tanto la que más sal tenía, no se cuantificó la sal real de la zona A en los análisis de sal realizados. Por lo tanto, existen dos flujos de sal en la zona A. Uno de sal entrante desde la zona más superficial (retirada para el análisis) y uno de sal saliente hacia la zona media del jamón (zona B). En consecuencia, al ser el flujo de entrada de sal igual o ligeramente mayor que el de salida, la sal cuantificada de la zona A aumenta ligeramente durante el tiempo de reposo aunque las diferencias no son significativas.

El aumento de sal de la **zona B** es debido al flujo de sal desde la zona A y posiblemente a un flujo de sal desde la zona C, la cual baja ligeramente su contenido salino.

Además, en todas las zonas se observa una variabilidad importante, dificultando la visualización de las tendencias. Este hecho puede ser debido a que cada tiempo de reposo se corresponde a un jamón diferente y que la variabilidad composicional y estructural de cada jamón enmascare los posibles cambios composicionales que ocurren durante el reposo.

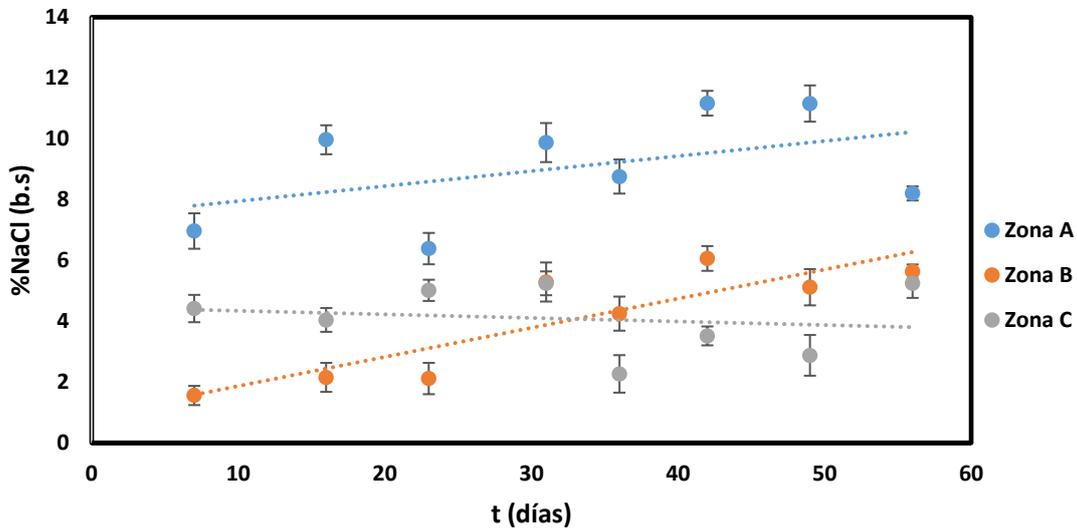


Figura 4.1. Evolución durante el reposo del contenido en NaCl de las diferentes zonas de la maza del jamón.

4.4. CAMBIOS DE COLOR DURANTE LA FASE DE REPOSO.

Para estudiar los cambios de color durante la fase de reposo se analizaron los efectos de las variables **zona y tiempo** para cada uno de los parámetros L^* , a^* y b^* del espacio de color CIE $L^*a^*b^*$.

En la figura 4.2. se presenta la luminosidad (L^*) de las muestras para los diferentes tiempos de reposo. Se observa que la zona C siempre es la más luminosa, mientras que las zonas A y B presentan valores similares de luminosidad. Asimismo, al final del reposo se observa una disminución en la luminosidad de B y aumento de A.

Se realizó un ANOVA multifactorial considerando como factores el tiempo y la zona, encontrándose un efecto significativo ($p < 0.05$) del tiempo, la zona y la interacción entre tiempo y zona sobre el parámetro L^* .

El efecto del factor tiempo se estudió a partir de la regresión lineal de L^* frente al tiempo de reposo. No se encontró una relación significativa ($p > 0.05$) entre L^* y el tiempo de reposo. Por lo tanto, aunque el ANOVA indica diferencias significativas en L^* para los diferentes tiempos de reposo, estas no son debidas a una evolución de los parámetros sino a las diferencias propias de la materia prima, al tratarse cada tiempo de reposo de jamones diferentes.

Así pues, dado que la variabilidad propia de cada jamón puede no permitir visualizar los cambios de los valores absolutos de los parámetros estudiados a lo largo del tiempo, se estudiaron las variaciones entre **zonas** para cada jamón. Con esto se pretende minimizar el efecto de la variabilidad composicional y estructural de cada jamón y estudiar los cambios relativos entre zonas a lo largo del tiempo.

En este sentido, la figura 4.3 muestra un aumento significativo ($p < 0.05$) de las diferencias de L^* entre las zonas C y B del jamón. El bajo coeficiente de correlación podría ser debido a la variabilidad asociada al empleo de jamones diferentes para cada tiempo de reposo.

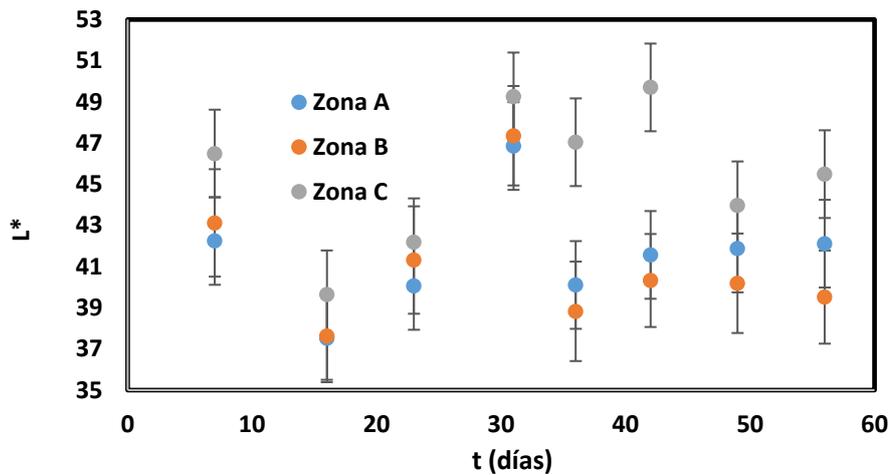


Figura 4.2. Evolución de la luminosidad entre zonas de la maza durante el reposo.

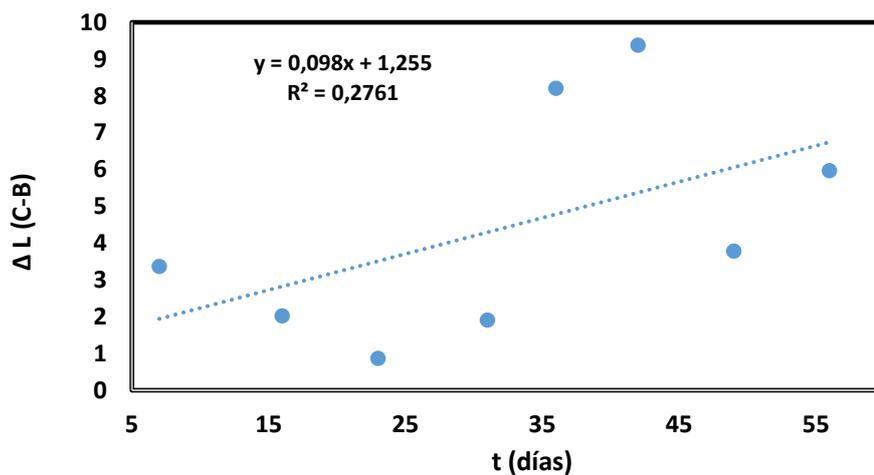


Figura 4.3. Incremento de luminosidad entre las zonas C y B de la maza durante el reposo.

En la figura 4.4. se presenta la a^* (redness) para los diferentes tiempos de reposo y zonas. Para estudiar el efecto de los factores tiempo y zona, se realizó un ANOVA multifactorial, encontrando efectos significativos ($p < 0.05$) del factor tiempo, del factor zona, así como la interacción entre estos dos factores para el parámetro a^* .

En la figura 4.4, se observa que la zona B presenta valores mayores, por lo que se observan colores más rojizos, mientras que las zonas A y C presentan valores que varían en función del jamón.

Por otro lado, al efectuar la regresión lineal para estudiar el efecto tiempo, no se encontraron relaciones significativas ($p > 0.05$) en los análisis de las zonas A y B, entre el valor de a^* y el tiempo de reposo. Siendo, al igual que para L^* , el efecto de la variabilidad de cada jamón superior que el propio efecto del factor tiempo. Por otro lado, se observó un descenso significativo ($p < 0.05$) del valor de a^* en la zona C con el tiempo de reposo (menos rojo).

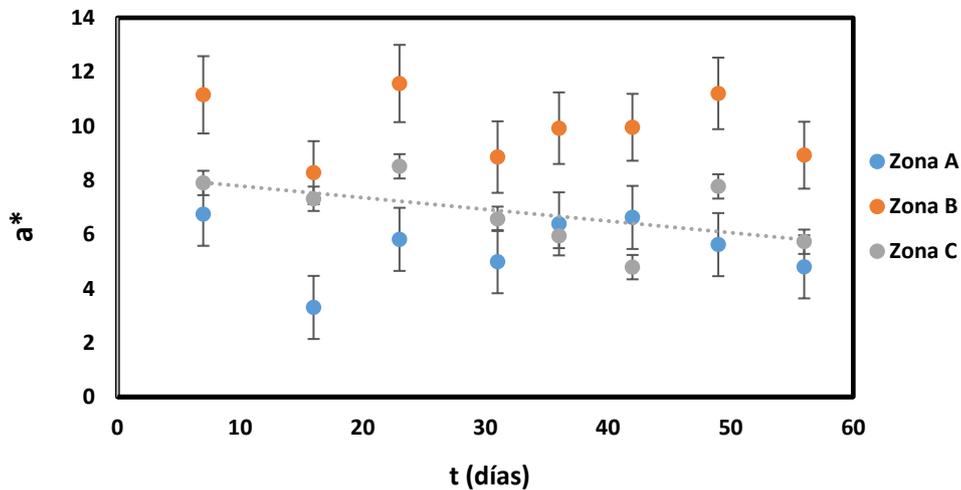


Figura 4.4. Evolución de a^* entre zonas de la maza durante el reposo.

En la figura 4.5 se presenta el parámetro b^* (yellowness), donde se observa que las zonas B y C presentan valores similares si son comparados para cada tiempo del reposo, mientras que la zona A siempre presenta valores menores.

Se realizó un ANOVA multifactorial considerando como factores el tiempo y la zona, encontrándose un efecto significativo ($p < 0.05$) del tiempo y la zona sobre el parámetro b^* , mientras que el efecto de la interacción entre tiempo y zona sobre el parámetro b^* no fue estadísticamente significativo ($p > 0.05$).

Por otro lado, se encontró un descenso significativo ($p < 0.05$) del parámetro b^* para todas las zonas de la maza a lo largo del reposo, virando el jamón ligeramente de tonalidades amarillas a azuladas.

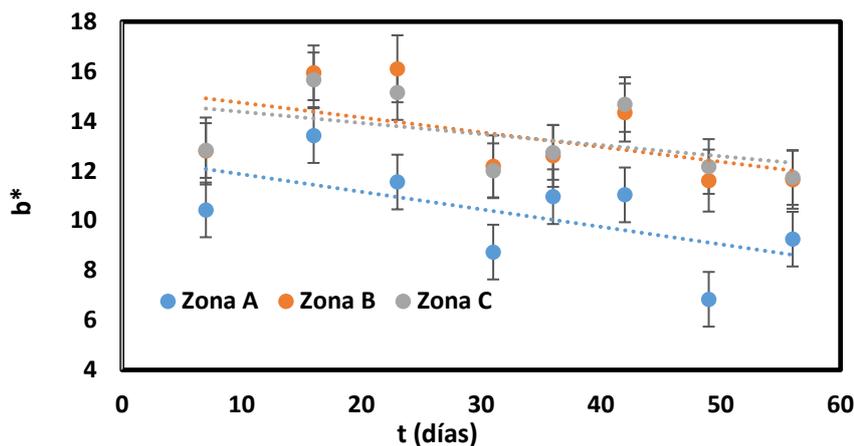


Figura 4.5. Evolución de b^* entre zonas de la maza durante el reposo.

En las figuras 4.2, 4.4 y 4.5, aunque se observan cambios estadísticamente significativos, éstos no son de una gran magnitud porque se trata de un periodo corto (60 días) y el jamón está a baja temperatura. Estas condiciones repercuten en que no haya cambios bioquímicos que alteren el color de una manera sustancial.

En la tabla 3, se comparan los datos obtenidos al final del reposo (jamón 8) con los valores obtenidos por Chizzolini et al. (1996), que estudió el músculo *biceps femoris en jamones* frescos y curados.

El jamón al final del reposo presentó una luminosidad L^* parecida a la del jamón curado, una a^* menor (menos rojo) a los valores de fresco y curado y una b^* más elevada (más amarillento) que los valores encontrados por Chizzolini et al. (1996) para jamones frescos y curados.

Tabla 3. Parámetros colorimétricos en jamón fresco, al final del reposo y maduro.

	L^*	a^*	b^*
Fresco*	49.96 ± 3.65	11.75 ± 2.50	7.37 ± 1.71
Curado*	42.93 ± 1.79	16.06 ± 1.70	4.65 ± 1.20
Final reposo**	42.7	7.9	9.6

*valores de Chizzolini et al. (1996)

** Valores del presente trabajo

4.5. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS TEXTURALES DURANTE EL REPOSO.

Para estudiar los cambios texturales durante el reposo se realizaron experimentos de compresión y corte de las muestras, posteriormente se analizaron estadísticamente los resultados obtenidos.

En la figura 4.6 se representa la evolución de la fuerza de compresión (N) durante el reposo para las diferentes zonas de la maza del jamón.

Siguiendo la metodología descrita en el apartado de color, se realizó un ANOVA considerando como factores la zona y el tiempo, encontrándose efectos significativos ($p < 0.05$) del factor zona, el factor tiempo y la interacción de los factores zona-tiempo, respecto al parámetro fuerza de compresión (N).

En la figura 4.6 se observa que la zona A fue la más dura, presentando valores de $2,67 \pm 0,72$ N. En cuanto a las zonas B y C, presentaron una dureza muy similar ($1,14 \pm 0,26$ N y $1,72 \pm 0,43$ N, respectivamente).

Por otro lado, se encontró únicamente un aumento lineal significativo ($p < 0.05$) entre la fuerza de compresión y el tiempo de reposo, para la zona A. Siendo en el caso de las zonas B y C los efectos del factor tiempo sobre el parámetro fuerza de compresión observados en el ANOVA atribuibles a la heterogeneidad de los jamones.

Este aumento de la dureza es debido a la mayor deshidratación de la zona A, al ser la capa externa, y a un mayor contenido salino de la capa, así como un mayor tiempo de contacto con la sal. Benedini et al. (2012) observaron un aumento en la dureza entre jamones con distinto grado de salado, aumentándose más en los que más sal tenían, así como Serra et al. (2005) observaron una correlación positiva entre el aumento de la dureza y el aumento de sal.

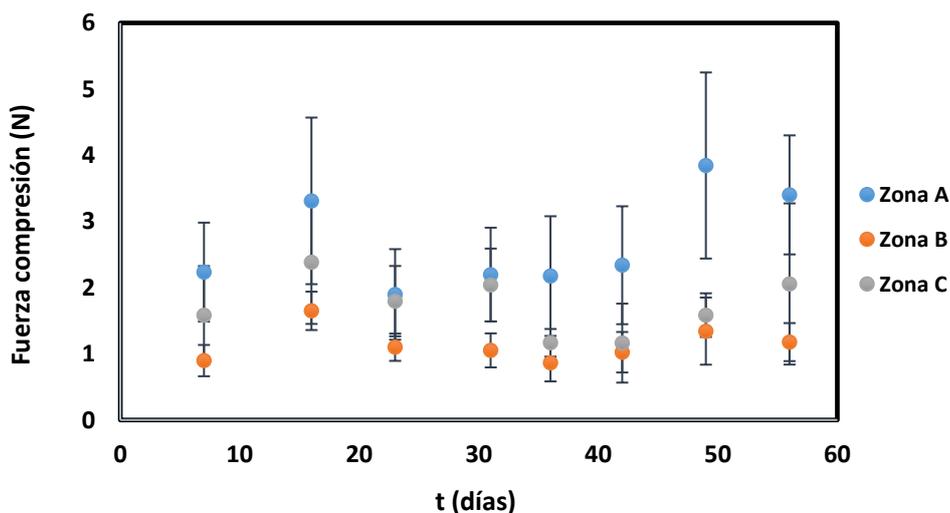


Figura 4.6. Fuerza compresión (N) para cada zona de la maza durante el reposo.

Dado que la variabilidad propia de cada jamón puede no permitir visualizar los cambios de los valores absolutos de los parámetros estudiados a lo largo del tiempo, se estudiaron incrementos de fuerza entre diferentes zonas. En la figura 4.7. se representa la variación de fuerza de compresión entre las zonas A-B y C-B. Después de realizar una regresión lineal, se observó que existe una relación significativa ($p < 0.05$) entre la evolución de las zonas A-B y el tiempo, mientras que no se observó una relación estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre la variación de fuerza de las zonas C-B con el tiempo de reposo. En la figura 4.7. Se observa que la dureza en la zona A aumenta respecto a la de B al avanzar el reposo. Los cambios entre las zonas A-B pueden ser debidos a la deshidratación de la capa externa (A) y a los cambios texturales en superficie por un mayor tiempo de contacto con la sal de la zona A.

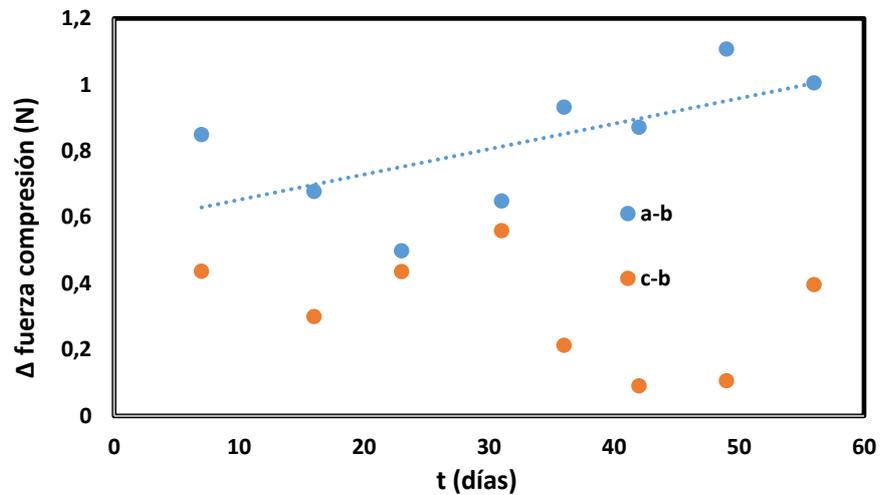


Figura 4.7. Diferencia en la fuerza de compresión entre zonas de la maza durante el reposo.

En la figura 4.8 se presenta **fuerza máxima de corte** (N) usada para cortar cada paralelepípedo de jamón respecto del tiempo de reposo.

Al igual que en compresión, se realizó un ANOVA multifactorial para los factores tiempo y zona, encontrando efectos significativos ($p < 0.05$) del factor tiempo y del factor zona respecto al parámetro fuerza máxima de corte (N). A su vez, no se observó un efecto significativo ($p > 0.05$) para la interacción de los factores tiempo-zona.

En la figura 4.8. se observa que la zona C necesita una fuerza máxima de corte mayor presentando un promedio de $117,2 \pm 18,5$ N durante la fase de reposo. Por otra parte, la zona A es la que menos fuerza de corte necesita con $77,2 \pm 7,0$ N. Siendo estos valores mayores a los obtenidos por Krzywdzińska-Bartkowiak et al. (2016) para el pernil fresco ($25,39 \pm 5,65$), que usó cilindros planos de 2cm de diámetro y altura.

Asimismo, no se encontró una evolución lineal significativa ($p > 0.05$) para las zonas A, B y C con respecto al tiempo de reposo. Por lo tanto, los efectos significativos mostrados en el ANOVA son debidos a las diferencias propias de la materia prima.

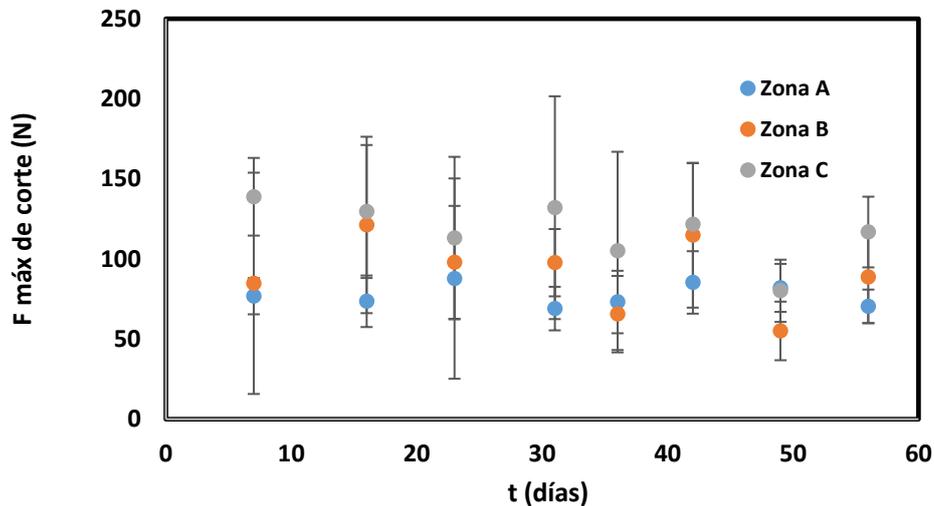


Figura 4.8. Fuerza de corte por zonas durante el reposo.

Para minimizar el efecto de la variabilidad composicional y estructural de cada jamón y estudiar los cambios relativos entre zonas a lo largo del tiempo, se analizaron los incrementos de fuerza máxima de corte (N) respecto la zona B, sin embargo, tampoco se encontraron relaciones significativas ($p > 0.05$) de las variaciones de fuerza de corte entre zonas y el tiempo de reposo.

Si comparamos la fuerza de compresión (figura 4.6), respecto a la fuerza de corte (figura 4.8), se observa que la zona con mayor dureza o fuerza de compresión (Zona A) es la que menor fuerza necesita para el corte. Esto se debe a que el salado desencadena la proteólisis de las fibras musculares lo que hace que las muestras sean más duras (difíciles de comprimir) pero más fácil sea romper las fibras. En este sentido, Cheng et al. (2004), observaron unos mayores valores de resistencia al corte en carne cruda que en carne cocinada donde se había producido una proteólisis por el efecto térmico.

4.6. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS ULTRASÓNICOS DURANTE EL REPOSO.

4.4.1 VELOCIDAD ULTRASÓNICA DURANTE EL REPOSO.

En la figura 4.9. se observa la evolución de la velocidad ultrasónica durante la fase de reposo para todos los jamones. Durante el reposo, hay un aumento de la velocidad debido a la pérdida de agua y a los cambios texturales sufridos, ya que los ultrasonidos se propagan más lentamente por un líquido (Benedito et al., 2000a) y la velocidad aumenta al modificarse el módulo elástico del tejido durante el procesado (Nowak et al., 2015).

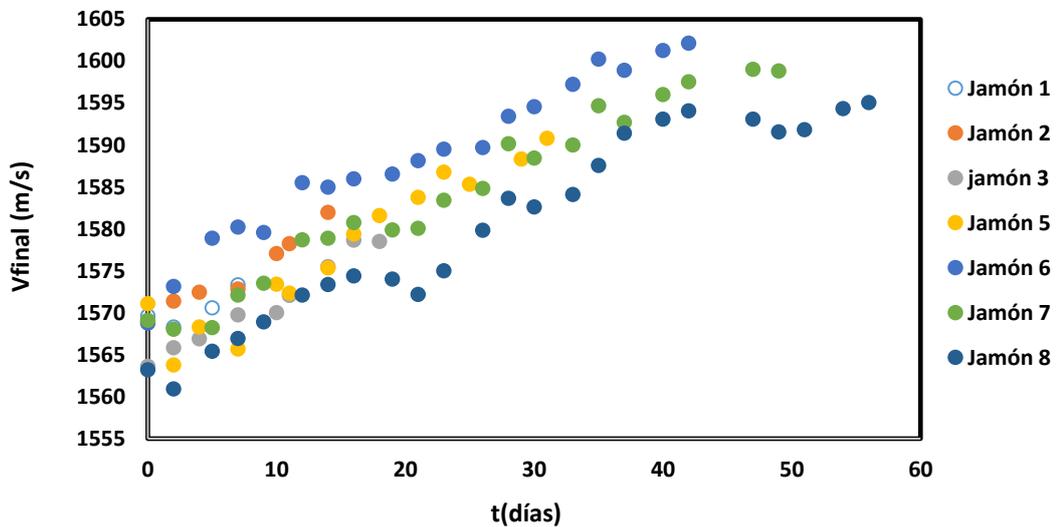


Figura 4. 9. Velocidad ultrasónica medida para cada jamón hasta los análisis destructivos.

En la figura 4.9. se observa que aunque la velocidad ultrasónica de los 8 jamones aumenta durante el reposo existe una gran variabilidad en la velocidad ultrasónica entre jamones. Esto es debido a las diferentes características físico-químicas de cada jamón. Estas, afectaron tanto a los valores iniciales, como al comportamiento de cada pieza durante la fase de reposo. El jamón 3 fue el que obtuvo valores más elevados hasta ser analizado, mientras que el jamón 8 fue el que menor velocidad ultrasónica mostró.

Al contrario que en el caso de los análisis destructivos, es posible comparar la velocidad ultrasónica durante el reposo con los valores correspondientes a la situación inicial del jamón. Esto permite minimizar el problema de la variabilidad del jamón. Para ello se calculó el incremento de velocidad durante la etapa de reposo para cada jamón. Si se representan estos incrementos respecto al tiempo de reposo (figura 4.10), se observa una mejora en la relación lineal ($R^2=0.90$) comparado con la velocidad final en valor absoluto ($R^2=0.71$).

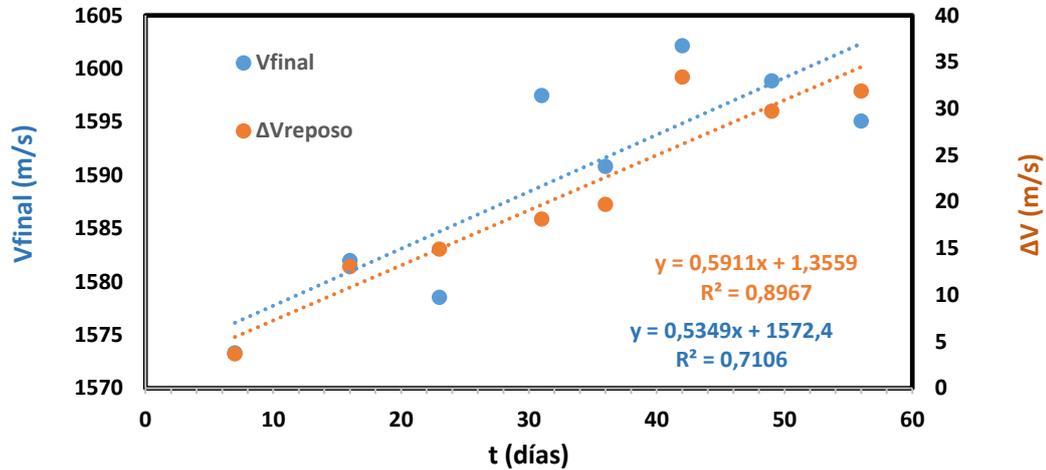


Figura 4.10 Comparación entre las evoluciones de la variación de velocidad durante el reposo y la velocidad al final del reposo.

4.4.2. INFLUENCIA DE LA PÉRDIDA DE HUMEDAD SOBRE LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA.

En la figura 4.11. se muestra la evolución del peso del jamón 8 durante el reposo, atribuida a la pérdida de agua. Como se puede observar, con el avance de la etapa de reposo el peso disminuye significativamente ($p < 0.05$). Esto es debido a la diferencia entre la actividad de agua del jamón y la humedad relativa del ambiente, migrando el agua desde las zonas internas a las externas y evaporándose en la superficie del jamón. Se observó el mismo comportamiento en el resto de jamones utilizados en el estudio (datos no mostrados).

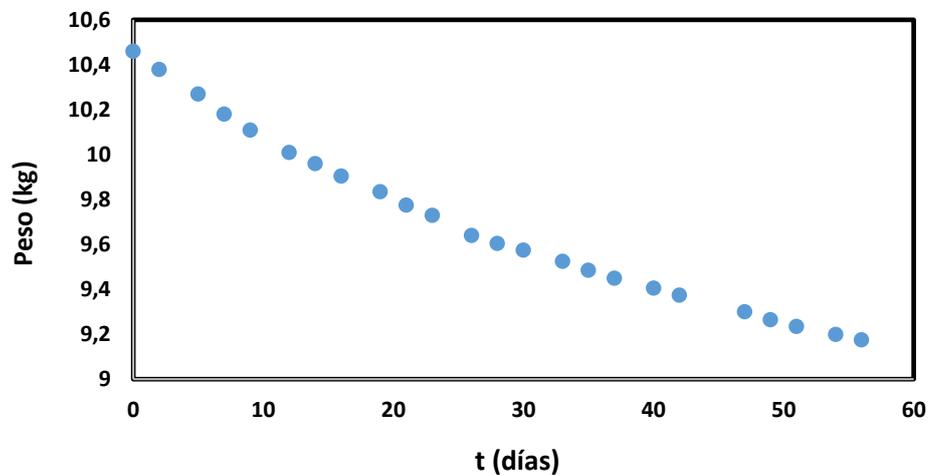


Figura 4.11 Pérdida de peso del jamón 8 durante el reposo.

En la figura 4.12. se observa la relación entre la variación de la velocidad ultrasónica y el % de pérdida de peso de los jamones. Se aprecia un aumento de velocidad al disminuir el peso (pérdida de agua). Esto es debido a que los ultrasonidos viajan más lentamente por líquidos y al perderse agua en el sistema, la velocidad aumenta (Benedito et al., 2000b).

No se calculó la humedad inicial del jamón ya que comportaría una destrucción de la pieza. Por ello se calculó el % en pérdida de peso de todo el jamón. El jamón 8 (final de reposo) perdió un 12,3 % de su peso inicial, valor similar a los valores de 17,86 y 12,61 % encontrados por Chizzolini et al. (1996) y Arnau et al. (2003), respectivamente.

A partir de los datos de la figura 4.12. se encontró una relación lineal significativa entre el % de pérdida de peso durante el reposo y el incremento de la velocidad ultrasónica, lo que evidencia que la variación de la velocidad ultrasónica está fuertemente ligada a la pérdida de agua.

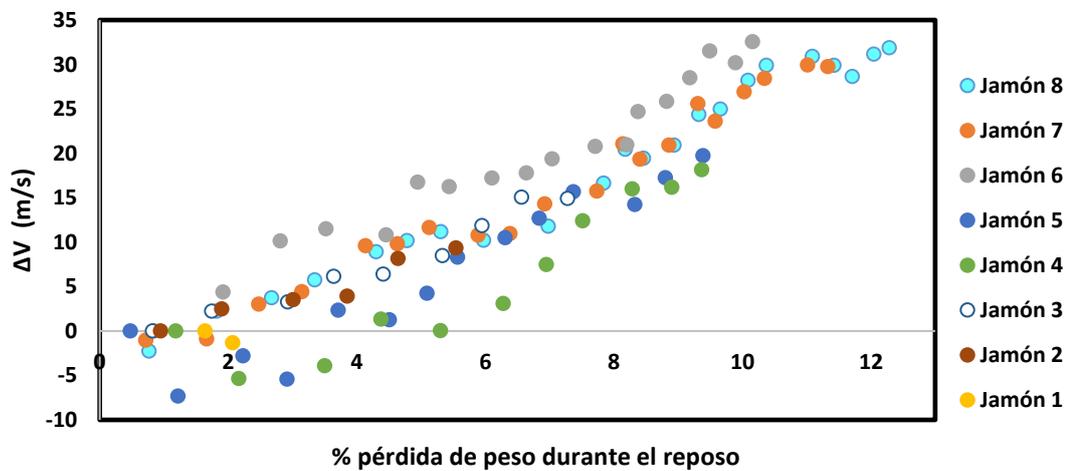


Figura 4.12. Relación entre el % de pérdida de peso y la ΔV (V_t -Inicio reposo) durante el reposo para todos los jamones.

En el caso del jamón 8, que es que se mantuvo un mayor tiempo en la fase de reposo, se estimó la humedad inicial (74,3 % b.h.) a partir de la humedad final (68,5 % b.h.) y la pérdida de peso (18,2%). Una vez conocida la variación de humedad (5,75 % b.h.), se obtiene que por cada 1% de cambio en humedad la velocidad aumenta 5,2 m/s. Este valor es muy próximo al encontrado por de Prados et al. (2015b), que concluyeron que el agua tiene una gran influencia sobre la velocidad ultrasónica, aumentándose en 5 m/s por cada pérdida de un 1% de humedad.

4.4.3. INFLUENCIA DE LA DUREZA SOBRE LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA.

El aumento de dureza conduce a un incremento de la velocidad ultrasónica ya que, al aumentar el módulo elástico de un tejido, se aumenta la velocidad ultrasónica (García-Pérez et al., 2017). Por lo tanto, en el trabajo se intentó cuantificar la importancia de este parámetro respecto al incremento de velocidad ultrasónica y compararlo con la importancia que tiene la pérdida de agua.

Se realizaron análisis estadísticos obteniéndose que la relación entre el incremento de dureza y el incremento de velocidad ultrasónica no fue estadísticamente significativo ($p > 0.05$).

Se conoce que el aumento de dureza de la carne provoca un aumento de la velocidad ultrasónica. En esta línea, Miota (2016) observó una disminución del tiempo de vuelo cuando aumentó la dureza en el reposo de lomo de cerdo envuelto en film plástico (por lo tanto sin posibilidad de pérdida de agua). Sin embargo, los cambios en la velocidad ultrasónica fueron muy pequeños debido a que los cambios texturales también fueron de poca magnitud.

Por lo tanto, en el presente trabajo, las variaciones de dureza son tan pequeñas que los cambios que puedan producirse sobre la velocidad ultrasónica debido a los cambios texturales son muy pequeños en comparación con los producidos por las pérdidas de agua de la muestra.

Así pues, solo en el caso de que las pérdidas de agua estén bien relacionadas con los cambios en la distribución de sal, sería posible monitorizar de forma no destructiva el proceso de reposo mediante ultrasonidos.

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES.

A continuación, se exponen las principales conclusiones que se pueden obtener de los resultados obtenidos en el presente trabajo:

- La ganancia de sal y pérdida de agua produjeron un aumento de la velocidad ultrasónica durante el salado.
- Durante el reposo la sal difundió desde el exterior (zona A) hacia el interior (zona B) del jamón.
- La luminosidad (L^*) fue dependiente de la zona del jamón analizado, siendo más luminosa la zona C. No se encontraron cambios con el tiempo de reposo.
- El parámetro a^* (redness) fue dependiente de la zona y del tiempo. La zona B obtuvo mayores valores de a^* . Mientras que al avanzar el reposo, a^* disminuyó en la zona C (menos rojo y más verdoso).
- El parámetro b^* (yellowness) fue dependiente de la zona y del tiempo. Siendo la zona A la de menor b^* . Durante el reposo b^* disminuyó en todas las zonas (menos amarillento y más azulado).
- Se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) en la dureza de la capa externa (zona A) debido a la deshidratación superficial, a un mayor contenido salino de la capa y a un mayor tiempo de contacto con la sal.
- No se obtuvieron relaciones significativas ($p > 0.05$) de la fuerza de corte con el tiempo de reposo. Se observó que las zonas con más fuerza de compresión necesitaron menor fuerza para su corte.
- El hecho de emplear jamones diferentes para cada tiempo de reposo y la elevada variabilidad de los mismos hizo difícil apreciar posibles cambios en el color y textura durante el reposo.
- La velocidad ultrasónica aumento durante el reposo
- Se observó que la velocidad ultrasónica era fuertemente dependiente de la pérdida de agua en el jamón.
- La influencia de las variaciones de dureza sobre la velocidad ultrasónica no fue significativa ($p > 0.05$) debido a que los cambios en la dureza experimentados durante el reposo son pequeños e influyen en menor medida que la pérdida de agua.
- Solo en el caso de que las pérdidas de agua estén bien relacionadas con los cambios en la distribución de sal, sería posible monitorizar de forma no destructiva el proceso de reposo mediante ultrasonidos.

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA.

Abdul Halim, M.H., Buniyamin, N., Mohd Shari, M.A., Abu Kassim, R. (2012) . Ultrasound velocity to measure beef, chicken and fish fillet fat content SCORed 2012 - 2012 IEEE Student Conference on Research and Development.

Arnau J. (1993)Technology for the production of cured ham. Microbiologia SEM. Volume 9 Spec No, February 1993, Pages 3-9.

Arnau, J., Gou, P., Comaposada, J. (2003). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and appearance of dry-cured ham Surface. Meat Science, 65 (4), pp. 1275-1280.

Arnau, J., Serra, X., Comaposada, J., Gou, P. & Garriga, M. (2007). Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products. Meat Science, 77, 81-89.

Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., Youssef, M.M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. Food Research International, 48 (2), pp. 410-427.

Barat J.M, Grau R., Pagán-Moreno M.J., Fito P. (2004). Replacement of pile salting by simultaneous brine thawing-salting in Spanish cured ham manufacturing. Meat science 66: 603-608.

Bello, J. (2008). El jamón curado. Aspectos científicos y tecnológicos: perspectiva desde la Unión Europea. Ed: Díaz de Santos. Madrid. España.

Benedini, R., Parolari, G., Toscani, T., Virgili, R. (2012). Sensory and texture properties of Italian typical dry-cured hams as related to maturation time and salt content. Meat Science, 90 (2), pp. 431-437.

Benedito, J., Carcel, J., Clemente, G., Mulet, A. (2000a). Cheese maturity assessment using ultrasonics. Journal of Dairy Science, 83 (2), pp. 248-254.

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

Benedito, J.; Carcel, J.A.; Rosello, C. & Mulet, A. (2001a). Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. Meat Science, 57, 365-370.

Benedito, J., Carcel, J., Gisbert, M., Mulet, A. (2001b) Quality control of cheese maturation and defects using ultrasonics. Journal of Food Science, 66 (1), pp. 100-104.

Budelli, E., Pérez, N., Negreira, C., Lema, P. (2017). Evaluation of ultrasonic techniques for on line coagulation monitoring in cheesemaking. Journal of Food Engineering, 209 .

Cárcel, J.A. García Pérez, J.V. Benedito, J. Mulet, A.(2012) Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. Journal of food engineering 110, 200-207.

Cárcel, J.A., Benedito, J., Bon, J. & Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound effects on meat brining. Meat Science, 76, 611-619.

- Carrillo-Lopez, L.M., Alarcon-Rojo, A.D., Luna-Rodriguez, L., Reyes-Villagrana, R. (2017). Modification of food systems by ultrasound *Journal of Food Quality*, 2017, art. no. 5794931.
- Chanamai, R., McClements, D.J. (1999). Ultrasonic determination of chicken composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (11), pp. 4686-4692.
- Chandrapala, J. (2015). Low intensity ultrasound applications on food systems . *International Food Research Journal*, 22 (3), pp. 888-895.
- Cheng, Q., Sun, D.-W. (2004) .Quality of pork ham as affected by locations within sample, cooking methods and storage .*Journal of Food Engineering*, 65 (4), pp. 551-556.
- Chizzolini, R., Novelli, E., Campanini, G., Dazzi, G., Madarena G., Zanardi E., Pacchioli M.T., Rossi A. (1996). Lean colour of green and matured Parma hams: Comparative evaluation and technological relevance of sensory and objective data. *Meat science* 44, 159-172.
- Contreras M., Benedito J., García-Pérez J.V.(2015). Desarrollo de un sistema automático de caracterización ultrasónica de alimentos. Aplicación a la monitorización del proceso de elaboración del jamón curado
- Corona, E. (2012). Caracterización de la calidad de productos cárnicos crudo-curados mediante ultrasonidos de señal. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.
- de Prados, M., Fulladosa, E., Gou, P.; Muñoz, I., García-Pérez, J.V., Benedito, J. (2015a). Non-destructive determination of fat content in green hams using ultrasound and Xrays. *Meat Science*, 104: 37-43.
- de Prados, M, J.V. García-Pérez, J.Benedito (2015b) Non-destructive salt content prediction in brined pork meat using ultrasound technology.
- de Prados, M. (2016). Caracterización mediante ultrasonidos de señal de los cambios composicionales del jamón curado durante su procesado. (PhD thesis) Spain: Universitat Politècnica de València.
- De Prados, M., Garcia-Perez, J.V., Benedito, J. (2016b). Ultrasonic characterization and online monitoring of pork meat dry salting process. *Food Control*, 60, pp. 646-655.
- de Prados, M., Garcia-Perez, Benedito, J. (2017).Non-invasive ultrasonic technology for continuous monitoring of pork loin and ham dry salting. *Meat Science*, 128, Pages 8-14.
- de Prados, M., Garcia-Perez, J.V., Benedito, J. (2017). Non-invasive ultrasonic technology for continuous monitoring of pork loin and ham dry salting *Meat Science*, 128, pp. 8.14.
- García-Pérez J.V., De Prados M., Benedito J. (2017). *Characterization of pork meat products using ultrasound* en "*Ultrasound in food processing*" Edited by; Mar Villamiel, José V. García-Pérez and Jose Benedito, Ed. Wiley Blackwell.
- García-Pérez, J.V., De Prados, M., Martínez-Escrivá, G., González, R.b, Mulet, A., Benedito, J. (2015). Exploring the use of low-intensity ultrasonics as a tool for assessing the salt content in pork meat products *Physics Procedia* 70, 837-840.
- Grau, R., Albarracín, W., Toldrá, F., Antequera, T. & Barat, J. M. (2008). Study of salting and post-salting stages of fresh and thawed Iberian hams. *Meat Science*, 79, 677 682.
- Hæggström, E., Luukkala, M. (2000). Ultrasonic Monitoring of Beef Temperature During Roasting. *LWT - Food Science and Technology*, 33 (7), pp. 465-470.

- J.M. Zumalacárregui (1997). "TECNOLOGÍA DEL JAMON CRUDO-CURADO", Ciencia y Tecnología Alimentaria, 1:5, 134-138.
- Krzywdzińska-Bartkowiak, M., Rezler, R., Gajewska-Szczerbal, H. (2016) The influence of meat muscle structural properties on mechanical and texture parameters of canned ham. Journal of Food Engineering, 181, pp. 1-9.
- Larrea, V., Hernando, I., Quiles, A Lluçh, A.M, Perez-Munuera, I., (2006). Changes in proteins during teruel dry-cured ham processing. Meat Sci. 74, 586-593.
- Llul, P., Simal, S., Femenia, A., Benedito, J., & Roselló, C. (2002). The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrasada from Mallorca. Journal of Food Engineering, 52, 323-330.
- Martuscelli, M., Lupieri, L., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2017). Prediction of the salt content from water activity analysis in dry-cured ham. Journal of Food Engineering, 200, pp. 29-39
- McClements, D.J., Povey, M.J.. (1992). Ultrasonic analysis of edible fats and oils. Ultrasonics, 30: 383-388.
- McDonnell, C.K., Lyng, J.G., Arimi, J.M., Allen, P. (2014). The acceleration of pork curing by power ultrasound: A pilot-scale production Innovative Food Science and Emerging Technologies, 26, pp. 191-198
- Miota, P. (2016). Monitorización del salado y post-salado de lomo mediante ultrasonidos. Trabajo fin de grado Universitat politècnica de València.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. & Cuadrado, C. (2013). Tablas de composición de alimentos. Ed: Pirámide.
- Mulet A., Benedito, J., Bon, J. & Sanjuán, N. (1999). Low intensity ultrasonics in food technology. Food Science and Technology International, 5, 285-297.
- 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. Nowak, K.W., Markowski, M., Daszkiewicz, T. Ultrasonic determination of mechanical properties of meat products. Journal of Food Engineering, 147 (C), pp. 49-55.
- Patist A. and Bates D. (2008) Ultrasonic innovations in the food industry: from the laboratory to commercial production.
- Pérez, J.A. (2006) Ciencia y tecnología de carnes. "Aspectos tecnológicos de los productos crudo-curados" Ed: Limusa.
- Plaza, J.F.S., Escudero, R., De Ávila, M.D.R., Olivares, L., Cambero, M.I., López-Bote, C.J. (2017) Effect of sex and dietary treatment on the composition and rheological properties of dry-cured ham subcutaneous fat. Czech Journal of Animal Science, 62 (3), pp. 110-120.
- Rahaman, T., Vasiljevic, T., Ramchandran, L. (2016) Effect of processing on conformational changes of food proteins related to allergenicity .Trends in Food Science and Technology, 49, pp. 24-34..

Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Gou, P. (2005) Texture parameters of dry-cured ham m. biceps femoris samples dried at different levels as a function of water activity and water content *Meat Science*, 69 (2), pp. 249-254.

Soto, E., Hoz, L., Ordóñez, J.A., Hiero, E., Heranz, B., López-Bote, C., Cambero, M.I. (2010). The lipid composition and texture profile of dry-cured loin as affected by feeding level in the period prior to the late fattening phase and by rearing system of iberian pigs. *Italian Journal of Food Science*, 22 (4), pp. 377-385.

Telis-Romero, J., Vázquez, H.A., Bon, J., Benedito, J. (2011). Ultrasonic assessment of fresh cheese composition. *Journal of Food Engineering*, 103,137-146.

Wagh, A., Birkin, P., Martini, S. (2016). High-Intensity Ultrasound to Improve Physical and Functional Properties of Lipids Annual. *Review of Food Science and Technology*, 7, pp. 23-41.

Referencias electrónicas.

www.anice.es El sector cárnico español. Fecha de consulta:13/06/2017

www.bedca.es Información detallada del alimento; Jamón ibérico de bellota; Jamón ibérico de cebo; Jamón serrano. Fecha de consulta 14/06/2017.

www.boe.es Real decreto 4/2014. Fecha de consulta 18/07/2017.

www.fen.org.es Cured Ham. Fecha de consulta 14/06/2017.

www.FooddrinkEurope.eu Data & Trends of the European Food and Drink Industry 2016. 10-06/2017

www.mapama.gob.es E.T.G Jamón serrano. Fecha de consulta 14/06/2017

www.sherwood-scientific.com Chloride chloridimeters. 25/06/2017

