

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

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



**“MONITORIZACIÓN DEL SALADO Y POST-SALADO
DE LOMO MEDIANTE ULTRASONIDOS”**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL
MEDIO RURAL**

CURSO ACADÉMICO: 2016/2017

ALUMNA: Paula Miota Soriano

TUTOR: José Javier Benedito Fort

COTUTOR: José Vicente García Pérez

VALENCIA, Noviembre de 2016



Datos del trabajo de fin de grado (TFG)

Título del TFG: Monitorización del salado y post-salado de lomo mediante ultrasonidos

Autor: Dña. Paula Miota Soriano

Tutor Académico: D. José Javier Benedito Fort

Cotutor: D. José Vicente García Pérez

Lugar y fecha: Valencia, Noviembre de 2016

Resumen

Dada la gran variabilidad composicional y estructural de la carne, así como de las condiciones de procesado, el establecer tiempos fijos de salado y post-salado puede dar lugar a una elevada heterogeneidad en la calidad final de los productos cárnicos crudo-curados. Las técnicas que se emplean actualmente para controlar el salado y post-salado de estos productos implican el uso de métodos destructivos, que analizan el contenido en sal y agua de la muestra al finalizar el proceso, lo que conlleva que se generalicen los resultados para una misma partida de carne, en base a un número reducido de muestras analizadas.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la viabilidad de los ultrasonidos de señal como técnica no destructiva, para caracterizar el proceso de salado y post-salado de carne de cerdo (*Longissimus dorsi*, LD) con lo que poder establecer relaciones entre los parámetros ultrasónicos obtenidos de forma no destructiva de la muestra de lomo (LD) y los cambios en el contenido y distribución de sal dentro de los lomos durante el salado y post-salado.

Se midió de forma automática el tiempo de vuelo (T_v) cada 5 minutos durante el salado y post-salado. Se ensayaron 5 tiempos de post-salado (14, 28, 43, 56 y 72 h). Al finalizar el proceso de post-salado, se determinó el gradiente de sal, de humedad y de dureza entre la zona externa e interna de los lomos. Por último se establecieron las relaciones entre las variables composicionales y texturales y el incremento del tiempo de vuelo.

El gradiente de humedad dentro de la pieza de lomo se redujo durante el post-salado llegando a una situación de equilibrio a las 43 h. Por otro lado, el gradiente de sal también disminuyó, mostrando una estabilización a las 28 h. En el caso del gradiente de dureza, también se observó una tendencia descendente con el tiempo de post-salado, aunque la variabilidad experimental no permitió encontrar diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los diferentes tiempos de post-salado.

La variación del tiempo de vuelo dividida por el tiempo de vuelo inicial ($\Delta T_v / T_{v_0}$) disminuyó con el tiempo de post-salado, estabilizándose a partir de las 43 h de post-salado, lo que, coincide con el momento en el que dejan de producirse cambios significativos en el gradiente de sal y de humedad.

Los resultados obtenidos mostraron que los ultrasonidos de señal permiten monitorizar adecuadamente la etapa de post-salado de *Longissimus dorsi* (LD), estimando el momento en el que se estabilizan los cambios composicionales y texturales en la carne.

Palabras Clave

Carne, lomo, salado, post-salado, ultrasonidos de señal, análisis no destructivo

Abstract

Due to the great compositional and structural variability of the meat as well as the processing conditions, to establish a fixed time of salting and post-salting lead to a high heterogeneity in the final quality of the meat dry-cured products. The techniques currently used to control the salting and post-salting of these products involve the use of destructive methods, which analyze the salt and water content of the sample at the end of the process, which means that the results are generalized for the same lot of meat, based on a small number of samples analyzed.

The main objective of the present work was to determine the viability of using low intensity ultrasound as a non-destructive technique to monitor the salting and post-salting process of pork (*Longissimus dorsi*, LD) with which to establish relations between the ultrasonic parameters obtained in a non-destructive way from the loin sample (LD) and changes in the content and distribution of salt inside the loins during salting and post-salting.

The time of flight was measured automatically every 5 minutes during the salting and post-salting process. 5 post-salting times (14, 28, 43, 56 and 72 h) were tested. When the post-salting process finished, the gradient of salt, moisture and hardness were determined between the external and internal zones of the loins. Finally, the relationships between the compositional and textural variables and the variation of the time of flight were established.

The moisture gradient inside the loin was reduced during post-salting, reaching equilibrium at 43 h. On the other hand, the salt gradient also decreased, showing stabilization at 28 h. In the case of the hardness gradient, a downward trend was also observed with the post-salting time, however, the experimental variability did not allow to find significant differences ($p > 0.05$) between the different post-salting times.

The variation of the time of flight divided by the initial time of flight ($\Delta T_v / T_{v_0}$) decreased with the post-salting time, becoming stable after the 43 h of post-salting, which, coincides with the moment in which significant changes in the gradient of salt and of dampness stop producing.

The results obtained showed that low intensity ultrasounds allow to suitably monitor the period of post-salting of *Longissimus Dorsi* (LD), estimating the moment in which compositional and textural changes in the meat stabilize.

Keywords

Meat, salting process, post-salting process, low intensity ultrasound, non-destructive analysis

Me gustaría poder expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han hecho posible la realización de este trabajo

A todas las personas del laboratorio que de una u otra manera han hecho que no me sintiese sola en las largas horas de trabajo, en especial a Marta De Prados, que ha sido quien me ha guiado en mis comienzos allí, preocupándose en todo momento por mí.

A mi tutor, José Javier Benedito Fort, sus conocimientos, su manera de trabajar, sus orientaciones y, ante todo, su paciencia, han hecho posible este trabajo.

A mis amigos, que de forma directa o indirecta, me habéis ayudado, animándome a seguir adelante y a no rendirme nunca.

A mis compañeros de universidad, que en estos años se han convertido en una familia, en especial a Marina, Unzué, Natalia, Dani y Jordi que han estado prestándome toda la ayuda posible, compartiendo mis dudas y ansiedades, y apoyándome ante cualquier situación.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Finalmente a mi hermana, que aunque estemos separadas, siempre me ayuda y me guía. Sé que siempre estará a mi lado, pase lo que pase.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	IMPORTANCIA DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDO-CURADOS.....	1
1.2.	PROCESO DE ELABORACIÓN DEL LOMO CURADO.....	1
1.3.	SALADO DE PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDO-CURADOS.....	3
1.3.1.	Proceso de salado y post-salado. Generalidades	3
1.3.2.	Tipos de salado	3
1.4.	MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SAL EN PRODUCTOS CÁRNICOS	4
1.4.1.	Métodos destructivos.....	5
1.4.2.	Métodos no destructivos.....	5
1.5.	ULTRASONIDOS.....	6
1.5.1.	Generalidades.....	6
1.5.2.	Ultrasonidos de señal	6
1.5.3.	Aplicaciones de los ultrasonidos de señal en tecnología de alimentos	7
2.	OBJETIVOS.....	8
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1.	MATERIA PRIMA	9
3.2.	SALADO EN SECO Y POST-SALADO. MONITORIZACIÓN MEDIANTE ULTRASONIDOS.....	9
3.3.	CÁLCULO DEL TIEMPO DE VUELO	13
3.4.	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS TRAS EL SALADO Y POST-SALADO PARA EL ANÁLISIS COMPOSICIONAL Y TEXTURAL	14
3.5.	ANÁLISIS QUÍMICOS.....	15
3.5.1.	pH	15
3.5.2.	Determinación del contenido en cloruros.....	16
3.5.3.	Determinación de humedad.....	16
3.5.4.	Medición de la dureza	17
3.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	18
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1.	HUMEDAD.....	19
4.2.	SAL	21
4.3.	DUREZA.....	23
4.4.	MONITORIZACIÓN DEL SALADO Y POST-SALADO MEDIANTE US	24
4.4.1.	Monitorización del salado	24

4.4.2. Monitorización del post-salado	25
5. CONCLUSIONES.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama del proceso de elaboración del lomo curado (Díaz, 2014). 2

Figura 2 Muestra de músculo Longissimus dorsi (LD) 9

Figura 3 Sistema para la monitorización del salado de lomo mediante ultrasonidos. (A) Detalle de los transductores. (B) Cubeta de plástico con los transductores..... 10

Figura 4 Salado de los lomos. (A) Detalle bandeja con la sal y el músculo LD. (B) Bandeja con el músculo LD totalmente cubierto de sal. 10

Figura 5 Cámara frigorífica para el salado de los lomos a temperatura controlada..... 11

Figura 6 Generador-receptor empleado para la monitorización del salado y post-salado de lomos..... 12

Figura 7 Multiplexador para la excitación y recepción de la señal de ultrasonidos. 12

Figura 8 Montaje experimental del equipo de ultrasonidos empleado para la monitorización del salado y post-salado de lomos. 12

Figura 9 Señal sin procesar..... 13

Figura 10 Imagen del programa para la aplicación del método de Cross correlation (transductor 1 en la etapa de salado). 14

Figura 11 Esquema de la extracción de las muestras para el análisis de composición y textura tras el salado y post-salado. 14

Figura 12 (A) Sección rebanada post-salado transductor 4. (B) Plantilla rebanada post-salado transductor 4..... 15

Figura 13 Plantillas exterior, intermedia y centro para la división de las rebanadas de lomo en tres zonas. 15

Figura 14 Analizador de cloruros..... 16

Figura 15 (A) Equipo medición textura. (B) Detalle punzón..... 17

Figura 16 Evolución gradiente de humedad (GH) entre exterior y centro del lomo durante el post-salado..... 19

Figura 17 Evolución gradiente de sal (GS) entre el exterior y el centro del lomo durante el post-salado. 21

Figura 18 Evolución gradiente de dureza (GD) entre exterior y centro del lomo durante el post-salado. 23

Figura 19 Evolución de la variación del Tv cada cinco minutos del transductor 1 durante el salado del lomo con 28 h de post-salado..... 25

Figura 20 Evolución de la variación del Tv cada cinco minutos del transductor 1 durante el post-salado de 28 horas. 26

Figura 21 Evolución de la variación del Tv cada hora del transductor 1 durante el post-salado de 28 horas..... 26

Figura 22 Variación del tiempo de vuelo (ΔTv) durante los diferentes tiempos de post-salado. (A) Post-salado de 14 horas. (B) Post-salado de 28 horas. (C) Post-salado de 43 horas. (D) Post-salado de 56 horas. (E) Post-salado de 72 horas..... 27

Figura 23 Tiempo de vuelo final dividido por el Tv_0 para los diferentes tiempos de post-salado. 28

Figura 24 Relación entre la ($\Delta Tv/Tv_0$) y los gradientes composicionales y texturales. (A) Relación con GS. (B) Relación con GH. (C) Relación con GD..... 30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cambios en la humedad (%b.h.) durante el post-salado para los diferentes transductores de ultrasonidos. 20

Tabla 2 Cambios en el contenido de sal (%b.h.) durante el post-salado para los diferentes transductores de ultrasonidos. 22

Tabla 3 Cambios en la dureza (N) durante el post-salado para los diferentes transductores de ultrasonidos..... 24

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1 17

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDO-CURADOS

Debido al gran aumento de la demanda por parte de una sociedad cada vez más urbanita, en los últimos años se han intensificado las explotaciones y la actividad industrial relacionada con la producción animal (Bello, 2008).

Entre los sectores más importantes de la Unión Europea destaca el sector cárnico (Bello, 2008). En nuestro país, la industria cárnica ocupa el cuarto sector industrial, con casi 3000 pequeñas y medianas empresas, sólo por detrás de sectores como la industria automovilística. Ocupa así el primer lugar de toda la industria española de alimentos y bebidas, con más del 21,6% de todo el sector alimentario español (con una cifra de negocio de 22.168 millones de euros). España se sitúa como el cuarto productor de carne de porcino a nivel mundial, con un 3,4% de la producción mundial, siendo al mismo tiempo el segundo país europeo en producción, 16% del total de la Unión Europea. Asimismo, la Unión Europea ocupa el puesto número dos a nivel mundial con un 21,4% del total de la producción (ANICE, 2016).

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). España produce 1,3 millones de toneladas anuales de elaborados cárnicos, por detrás de Alemania, Italia y Francia, dentro de la Unión Europea. Pese a llegar a estas cifras, la industria española es deficitaria en tecnología (ANICE, 2016). Debido a estos cambios en el consumo de la población y a la elevada presión regulatoria y exceso de capacidad productiva, se hace necesario el incremento en inversiones para poder competir a nivel internacional con otros mercados (Ullastres, 2013).

Las preferencias del consumidor siguen siendo los jamones curados, aun así, los datos del ICEX-ESTACOM (2014) revelan un auge en los formatos loncheados y porciones, junto a productos adaptados a las necesidades actuales de los hogares, llevando a cuotas de ventas más altas a los jamones curados (48%), lomo embuchado (71%), chorizo (64%), salchichón, fuet y salami (60%), fiambres y yorks (65%), bacon y panceta (72%), salchichas cocidas (61%) (Asociación Nacional de Industrias de la Carne de España (ANICE), 2016).

1.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL LOMO CURADO

Se considera producto curado o crudo curado a los obtenidos de la carne y grasa del cerdo y/o vacuno junto con especias, aditivos y sal que han pasado por un proceso de maduración o curado (Carballo *et al.*, 2001). Un ejemplo de estos productos es el lomo adobado de cerdo, que teniendo como base el músculo *Longissimus dorsi*, se introduce en una envoltura permitida para la industria alimentaria (Cenzano *et al.*, 1994).

Para la preparación del lomo curado en la industria cárnica se sigue un diagrama de flujo como el mostrado en la figura 1.

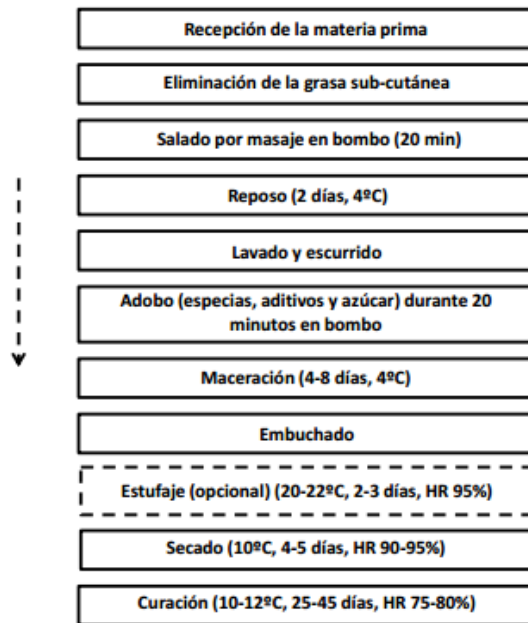


Figura 1 Diagrama del proceso de elaboración del lomo curado (Díaz, 2014).

Se empieza el proceso con una preparación previa de la pieza que se ha recibido, eliminando la grasa subcutánea (Díaz, 2014). Con la pieza ya preparada se procede al salado, donde se mezcla la sal con nitritos y nitratos, frotándose mediante masaje durante 20 minutos. Tras el masaje se llevan a la cámara de frío con sal común (Armenteros, 2010).

Está demostrado que, en el proceso de salado, a mayor temperatura se produce una mejor propagación de la sal hacia el interior. Sin embargo, por motivos sanitarios (crecimiento de microorganismos), la misma se debe mantener baja (Ullastres, 2013). Así pues, la salazón se realiza junto con la mezcla de especias, aditivos y azúcar que se pretende introducir, a temperaturas que oscilan entre los 2 y 5°C. Las piezas se colocan en pallets sin que se toquen entre ellas y la sal difunde hacia el interior de la pieza. Al finalizar la etapa de salado, la pieza sufre variaciones composicionales de una parte a otra de la carne, en cuanto a actividad del agua. Al finalizar el proceso de salado se elimina la sal adherida a la superficie de la carne mediante lavado con agua. Una vez escurrida la carne, se traslada a una cámara donde se lleva a cabo el post-salado o maceración, dejando reposar la carne para que la sal que ha penetrado en la pieza pueda difundir de la parte externa a la interna (Bello, 2008).

Tras el post-salado, se realiza un embutido de las piezas con tripas naturales o artificiales (Figura 1). Si se pretende que la pieza alcance la curación antes se le aplica un estufaje, si no, se mantiene con una temperatura de 10°C y 90-95% de HR para posteriormente ir reduciendo la humedad. Por último, la etapa de curación tiene una duración entre 25 y 45 días dependiendo de la tripa empleada, a unos 10°C y 75-80% de HR (Armenteros, 2010).

1.3. SALADO DE PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDO-CURADOS

1.3.1. Proceso de salado y post-salado. Generalidades

La salazón constituye uno de los procedimientos más antiguos para preservar la carne, incorporando ingredientes además de algún tratamiento como el secado, la cocción, etc. (Compairé, 1991). La sal ayuda a que durante la etapa de maduración la carne tenga la apariencia y consistencia deseadas. Con el proceso de salado se impide que los microorganismos presentes se desarrollen gracias a fenómenos fisicoquímicos y bioquímicos (Armenteros, 2010).

La estabilización de la carne tras el salado se debe a la disminución de la actividad del agua en el producto (Bello, 2008). En el proceso de salado se hace uso de sal común debido a tres razones fundamentales, frena el desarrollo de microorganismos anaerobios alterantes y potencialmente patógenos, al reducir la actividad del agua, e influye en las características de la carne a nivel muscular. La entrada de sal hacia el interior está favorecida por el intercambio que se hace de ésta con el agua del interior, estos fenómenos difusivos están regidos por las leyes de Fick (Bello, 2008).

La heterogeneidad en la materia prima es una de las grandes desventajas en la industria cárnica, ya que incluso en un mismo animal se pueden encontrar piezas que presenten características y comportamientos muy diferentes. Una vez en la etapa post-mortem, las reacciones que se desencadenan aumentan aún más estas diferencias, que la industria intenta controlar para poder procesar la carne de un modo correcto (Girón, 2014). Para poder estabilizar la carne, se aplican las operaciones de salado y post-salado en un medio controlado. El salado permite la incorporación de la sal al producto mientras que, el post-salado se enfoca en conseguir que la sal se distribuya de forma uniforme en toda la carne, minimizando las diferencias entre el exterior e interior de las piezas cárnicas. Debido a la heterogeneidad de la materia prima anteriormente mencionada y a la falta de control sobre algunos parámetros del proceso, un mismo salado puede dar lugar a piezas con un contenido en sal muy diferente. Asimismo, el proceso de post-salado puede necesitar de un tiempo diferente, en función de las características de la materia prima. En el momento actual, no hay métodos que permitan definir cuándo cada pieza ha alcanzado el nivel de sal adecuado, ni cuando ésta se ha distribuido adecuadamente durante el post-salado (Bello, 2008).

1.3.2. Tipos de salado

Actualmente se distinguen tres tipos de salado, explicados a continuación.

- Salado en seco

Existen dos tipos de salado en seco, en uno se utiliza la cantidad de sal exacta en base al peso de carne o aplicando el salado individual por pieza. El segundo tipo de salado es el más común y consiste en agrupar las piezas de carne y sal en capas contiguas (salado en pila). La duración del proceso varía en función del peso de la pieza, a razón de 0,7 días/kg de peso. Antes de colocar las piezas en la pila, se frota manualmente con las sales para que absorban mejor y facilitar su penetración. El proceso tiene lugar en recintos con temperatura entre 1 y 3°C y con

una humedad alrededor del 90%. Durante el proceso se generan efluentes formados por salmuera saturada, sangre y proteínas disueltas (Bello, 2008).

Los principales puntos a favor de este método son el bajo coste del proceso y la gran deshidratación osmótica producida. Por el contrario, la desventaja de la forma en la que se colocan las piezas en la pila es que, da lugar a que la carne que se encuentra abajo soporte una gran presión, provocando mayor exudación, un salado desigual en las diferentes piezas, y que se puedan encontrar defectos en los productos finales por la falta de penetración de la sal hacia el interior (Bello, 2008).

- Salado en salmuera

El salado en salmuera es un tipo de salado por vía húmeda en el que la materia prima se coloca dentro de una disolución altamente concentrada de sal en agua.

La ventaja de este método es que la carne absorbe mayor cantidad de sal en un menor tiempo de salado por la presolubilización de la sal. Permite también, realizar el proceso de descongelación al mismo tiempo que el salado, no siendo necesario descongelar la carne previamente (Albarracín, 2009).

Por el contrario, sus desventajas son el mayor riesgo de quemaduras debidas a la sal, y por la poca deshidratación osmótica que hay se alarga el tiempo de secado (Armenteros, 2010).

- Salado por inyección

Esta técnica está basada en la inserción de agujas en el interior de la carne con el objetivo de dispersar la salmuera y garantizar la uniformidad en la distribución de ésta en el interior del tejido cárnico (Albarracín, 2009).

Puede realizarse de forma artesanal o en fábricas mediante inyección manual, siempre teniendo en cuenta el peso de la pieza para inyectar. En las fábricas de mayor tamaño se utilizan sistemas de multiagujas, estos sistemas se regulan atendiendo al tiempo de inyección y a la presión para introducir la salmuera necesaria (Carballo *et al.*, 2001).

1.4. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SAL EN PRODUCTOS CÁRNICOS

Las técnicas que se emplean actualmente para controlar el salado y post-salado de productos cárnicos implican el uso de métodos destructivos, que analizan el contenido en sal y agua de la muestra al finalizar el proceso, lo que conlleva que se generalicen los resultados para una misma partida de carne, en base a un número reducido de muestras analizadas. En este sentido, es interesante el uso de nuevas técnicas que conlleven una monitorización del proceso sin que lleve a la generalización de resultados ni a la destrucción de las muestras de carne.

Existen una gran variabilidad de métodos para el análisis composicional de la carne, a continuación se detallan algunos.

1.4.1. Métodos destructivos

Actualmente se emplean en la industria numerosos métodos con los que poder garantizar la calidad del producto acabado. Los métodos sensoriales se aplican a través de personal cualificado para la evaluación mediante la vista, el tacto y el olor, la textura, la firmeza, etc., de este modo se clasifican las piezas de acuerdo a características organolépticas establecidas por expertos. Para complementar, de manera rápida y objetiva los métodos sensoriales, se realizan análisis químicos (Bello, 2008).

La determinación del contenido en sal de las muestras se lleva a cabo actualmente mediante el uso de técnicas costosas que, además, necesitan de la destrucción de las piezas seleccionadas de cada lote, como los métodos de Mohr y Volhard o la medida de la conductividad eléctrica y los métodos electroquímicos. Al ser análisis destructivos, es necesario hacer un muestreo y generalizar su resultado al resto de piezas del lote. Esta generalización resulta poco precisa debido a la elevada variabilidad tras los procesos de salado y post-salado.

1.4.2. Métodos no destructivos

Los métodos no destructivos empleados se basan en medidas de tipo físico. Los métodos son rápidos y no invasivos y se realizan on-line, permitiendo que en todo momento se tengan datos del salado, teniendo de este modo una mayor calidad del proceso y del producto. Algunos de estos métodos se detallan a continuación.

Tomografía computerizada (TC)

Con el uso de este método se demostró la correlación entre los análisis químicos (sal y humedad) y los parámetros obtenidos mediante TC. Es un método muy útil para usarse tanto en investigación como en la elaboración industrial de jamón curado, si se combina con un analizador de imagen (Bello, 2008).

Espectroscopia de impedancia eléctrica (EIS)

En este método se aloja una aguja con electrodos en la muestra a analizar, ésta caracteriza las propiedades eléctricas de la muestra. No es adecuado para productos como jamón y lomo que tienen integridad anatómica, ya que esta podría verse alterada. Se comprueba la resistencia que ha presentado el material al paso de la corriente, que está directamente relacionada con la composición de la muestra. Existe una relación directa entre la EIS y la concentración de sal en el salado. Con esta técnica Rizo *et al.* (2013) predijeron el contenido en humedad, sal y la actividad del agua del salmón ahumado.

Lengua electrónica

Con este método se puede conocer el grado de curación del jamón mediante sensores electrónicos, colocados en contacto con la pieza. (EUROPA PRESS, 2016).

Sensores on-line, conductímetros de punción

Son del tamaño de una aguja hipodérmica de 0,4 mm, pueden insertarse en el interior del jamón permitiendo registrar la evolución de la sal, además del nivel de contaminación

microbiana durante todo el proceso. Con estos sensores la alteración de la pieza de carne es mínima (EUROPA PRESS, 2016).

Ultrasonidos

Se ha demostrado ya la viabilidad de este método para la monitorización del salado de jamón pudiéndose relacionar los cambios composicionales de la pieza de carne con las señales obtenidas tras el paso de las mismas por el interior del jamón (Martínez, 2015).

La ventaja de este método principalmente es su rapidez, su bajo coste y la posibilidad de usarse on-line en la línea de producción (Dolz, 2014).

Por estos motivos es interesante el estudio de esta técnica en la predicción de los cambios composicionales en la carne de cerdo tanto durante el salado como el post-salado.

1.5. ULTRASONIDOS

1.5.1. Generalidades

Los ultrasonidos son ondas elásticas (mecánicas) que están por debajo del rango del audible (>20 kHz). Estas ondas al pasar de un medio a otro se reflejan o refractan, dependiendo de la densidad de cada medio y el ángulo con el que incidan, la reflexión será mayor o menor (Swatland, 2002).

Dependiendo del rango de frecuencias y de la intensidad, las aplicaciones de los ultrasonidos se pueden clasificar en dos tipos: para frecuencias entre 20 kHz y 100 kHz e intensidades mayores de 1 Wcm^{-2} se denominan ultrasonidos de potencia y, se emplean para inducir cambios en procesos o productos. Si su rango de frecuencias está por encima de 100 kHz y por debajo de 1 MHz y poseen intensidades menores de 1 Wcm^{-2} , se denominan ultrasonidos de baja intensidad o de señal y son empleados para la monitorización de procesos y el análisis de productos, sin que se produzcan alteraciones en las muestras analizadas (Dolz, 2014).

1.5.2. Ultrasonidos de señal

Mediante los ultrasonidos de señal se pueden determinar parámetros de calidad sin tener que destruir la pieza para el análisis químico. Determinando las propiedades de la onda, que viaja a través del material, se pueden relacionar sus parámetros (velocidad, frecuencia y amplitud) con las características fisicoquímicas del producto (Peñarrubia, 2014).

Existen dos configuraciones o modos para el uso de ultrasonidos de señal. En el modo transmisión-recepción, se emplean dos transductores, uno emite la señal ultrasónica y el otro la recibe al atravesar la muestra, la desventaja principal de este modo es la necesidad de la correcta alineación de los transductores. Por otro lado, en el método pulso-eco se puede escoger la opción de tener dos transductores como en el modo transmisión-recepción o un mismo transductor para hacer de transmisor y receptor. En ambos casos, los o el transductor,

están en la misma cara del material a analizar y la señal se refleja en la cara opuesta para retornar a la cara donde se encuentran los transductores (Martínez, 2015).

El parámetro más empleado para determinar las propiedades de la onda y poder estimar las propiedades del material estudiado es la velocidad. Su uso tan extendido se debe a la gran sensibilidad que tiene para predecir la organización molecular y las interacciones intermoleculares (Dolz, 2014). Otro parámetro empleado en la caracterización de materiales es la atenuación que cambia dependiendo de las características del medio atravesado por la onda (Martínez, 2015).

1.5.3. Aplicaciones de los ultrasonidos de señal en tecnología de alimentos

Existen una gran cantidad de estudios donde se ha demostrado que se pueden relacionar las propiedades ultrasónicas con los cambios en las propiedades de los materiales analizados, a continuación, se nombrarán algunos de ellos.

Para predecir el nivel de grasa subcutáneo en piezas de jamón, se emplearon los ultrasonidos, midiendo el tiempo que transcurre desde que se emite la señal hasta que es devuelta, esto se asoció al espesor de la grasa. Se ha planteado su uso para estimar la calidad de la materia prima tomando como referencia la distribución de la grasa en la masa muscular (Bello, 2008). Se han aplicado para estimar la textura de dos músculos bovinos (Abouelkaram *et al.*, 2000). Niñosles *et al.* (2007) relacionaron la raza y la alimentación de los cerdos ibéricos con la velocidad ultrasónica, caracterizando su grasa dorsal (Peñarrubia, 2014). Sahim *et al.* (2008) consiguió predecir el contenido en grasa de animales vivos. De Prados *et al.* (2014) encontraron un aumento de la velocidad ultrasónica en el músculo *Biceps femoris* durante su salado en salmuera.

En frutas y verduras, Nielsen y Martens (1997), relacionaron la textura de zanahorias con el efecto térmico de la cocción con ayuda de ultrasonidos. Mizrach (2008), pudo relacionar la firmeza de ciruelas y tomates con el contenido de azúcares. Por otro lado, mediante el descenso de la velocidad de los ultrasonidos Gaete-Garretón *et al.* (2005) determinaron la madurez del aguacate.

En productos lácteos, Benedito *et al.* (2001), observaron la relación entre la madurez del queso y la velocidad de los ultrasonidos, mientras que, Martínez (2015) empleó los ultrasonidos para predecir el momento idóneo de corte de la cuajada.

En el sector de aceites, Jiménez *et al.* (2006) estudiaron la aplicación de ultrasonidos para la elaboración de aceite de oliva, mejorando el rendimiento de extracción en el proceso.

Teniendo como referencia lo expuesto anteriormente, se puede decir que los ultrasonidos son una técnica no destructiva idónea para la industria agroalimentaria, presentando un gran abanico de posibilidades para su implementación en las líneas de proceso.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la viabilidad de los ultrasonidos de señal como técnica no destructiva, para caracterizar el proceso de salado y post-salado de carne de cerdo (*Longissimus dorsi*, LD). En base a este objetivo general, se definieron los siguientes objetivos particulares:

- Analizar la evolución del contenido y distribución de sal y humedad dentro del lomo (LD) durante el post-salado.
- Determinar como la evolución de los cambios composicionales (contenido y distribución de sal y de agua) de las muestras durante el post-salado puede afectar a las propiedades texturales dentro de la carne.
- Validar el método del cálculo del tiempo de vuelo para monitorizar de forma no destructiva los cambios composicionales y texturales que tienen lugar durante el post-salado, mediante ultrasonidos de señal.
- Establecer relaciones entre los parámetros ultrasónicos obtenidos de forma no destructiva de la muestra de lomo (LD) y los cambios en la distribución de sal, humedad y dureza dentro de los lomos durante el post-salado.

MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIA PRIMA

Para las diferentes experiencias realizadas en el presente trabajo experimental, se utilizaron muestras procedentes del músculo *Longissimus dorsi* (LD) de cerdo (Figura 2). Las piezas de LD se consiguieron en un supermercado local, días después del sacrificio del animal. Después de la compra, se eliminó la grasa superficial y se ajustó la longitud de cada pieza a 29 ± 1 cm.



Figura 2 Muestra de músculo *Longissimus dorsi* (LD)

Una vez ajustada cada muestra de LD a las medidas establecidas, se envolvieron las mismas en film plástico para evitar la pérdida de humedad y se mantuvieron en refrigeración durante 24 horas a 2°C , con objeto de atemperar las piezas.

3.2. SALADO EN SECO Y POST-SALADO. MONITORIZACIÓN MEDIANTE ULTRASONIDOS

En el presente TFG se consideró un solo tiempo de salado (72 horas), y seis tiempos de post-salado (0, 14, 28, 43, 56 y 72 horas). Para cada salado se empleó sal gruesa (6 kg, NaCl), de la empresa SAL BUENO (Valencia), que previamente se dejó atemperar en refrigeración (2°C) durante 24 horas, al mismo tiempo que la muestra fresca. Todas las experiencias tuvieron lugar en el interior de una cubeta de plástico, con unas dimensiones de 15 cm de alto, 25 cm de largo y 22 cm de ancho, dotada de cuatro transductores en su base (Figura 3B).



Figura 3 Sistema para la monitorización del salado de lomo mediante ultrasonidos. (A) Detalle de los transductores. (B) Cubeta de plástico con los transductores.

Después de atemperar la sal y la muestra fresca (LD), se cubrió con sal la base de la cubeta, introduciendo posteriormente la pieza de carne fresca (LD) para que estuviera en contacto continuo con los transductores (Figura 3A). Finalmente se descargó el resto de sal cubriendo por completo la carne (Figura 4).

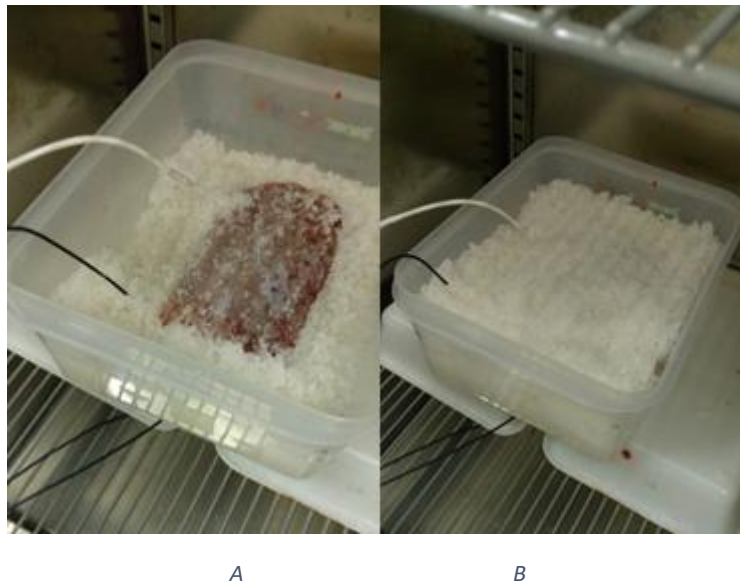


Figura 4 Salado de los lomos. (A) Detalle bandeja con la sal y el músculo LD. (B) Bandeja con el músculo LD totalmente cubierto de sal.

Las experiencias se efectuaron dentro de una cámara frigorífica (AEX 1000TF, INFRICO, España) a 2°C (Figura 5).



Figura 5 Cámara frigorífica para el salado de los lomos a temperatura controlada.

Para medir las señales de ultrasonidos se dispuso de un montaje (Figura 8) que monitorizó el salado y el post-salado del lomo. El montaje constaba de un generador-receptor (5077PR, Panametrics, USA) (Figura 6), cuatro transductores, dos de ellos (1 y 4) del tipo A (A103S-RM de 1MHz/0.5", Olympus, Japón) y los otros dos (2 y 3) del tipo B (A303S-SU de 1MHz/0.5", Olympus, Japón) que trabajaron en modo pulso-eco (Figura 3A). En anteriores trabajos se ha verificado que el tipo de transductor no tiene ninguna influencia sobre las medidas de ultrasonidos (Martínez, 2015). El dispositivo también contaba con un multiplexador desarrollado en el laboratorio (Figura 7) y un PC con una tarjeta osciloscopio (PXI/PCI-5112, National Instruments, USA). El funcionamiento era el siguiente: los transductores convertían la señal del generador en una onda ultrasónica que atravesaba el lomo y al ser reflejada en la interfase lomo-sal, volvía al mismo transductor para convertirse en una señal eléctrica. Las señales llegaban al generador-receptor donde se filtraban y amplificaban para posteriormente ser enviadas al PC, encargado de digitalizar las señales mediante la tarjeta de adquisición de datos. El sistema de multiplexado permitía que mediante un solo generador-receptor y una tarjeta de digitalización se pudiera realizar la medición de forma secuencial en los cuatro transductores.

El generador-receptor utilizó los mismos parámetros para todas las experiencias: frecuencia (100Hz), altura de pulso (100V) y ganancia (30dB).



Figura 6 Generador-receptor empleado para la monitorización del salado y post-salado de lomos.



Figura 7 Multiplexador para la excitación y recepción de la señal de ultrasonidos.

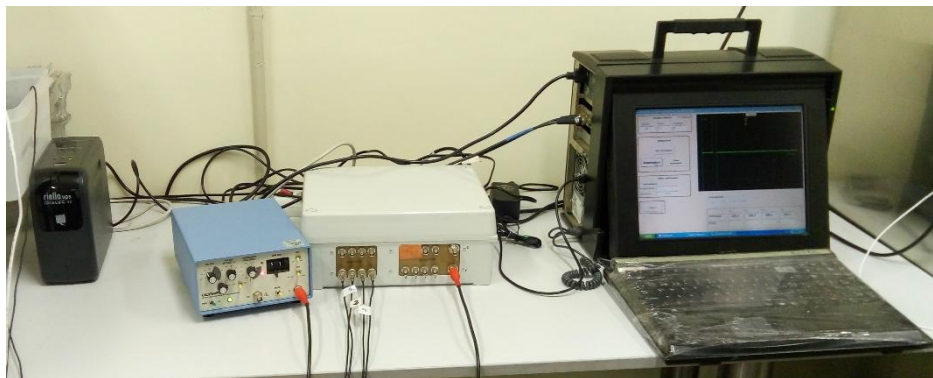


Figura 8 Montaje experimental del equipo de ultrasonidos empleado para la monitorización del salado y post-salado de lomos.

Tras el salado, en el que se realizaban las medidas US cada cinco minutos, la muestra (LD) se limpiaba de sal y se envolvía en film plástico, sometiéndose al proceso de post-salado, en el mismo montaje y en la misma posición en la que había transcurrido su salado. Durante el post-salado se hacían medidas de US cada 5 minutos. El objetivo de envolver las piezas en film

plástico fue evitar la influencia de la pérdida de humedad y así poder observar con claridad el posible efecto de la migración de sal y agua dentro de los lomos sobre los cambios estructurales (y por tanto sobre la textura de la carne), determinando si esos cambios se pueden monitorizar con US.

3.3. CÁLCULO DEL TIEMPO DE VUELO

Mediante el dispositivo montado para la monitorización del salado y post-salado (Figura 8) se obtuvieron las señales. De las señales capturadas, la información se obtenía del 1^{er} eco (Figura 9), que corresponde con la onda que ha salido del transductor, se ha reflejado en la cara opuesta del lomo (interfase lomo/sal) y ha regresado al transductor. La distancia entre el disparo o Trigger (Figura 9) y la llegada del primer eco se corresponde con dos veces el tiempo de vuelo (tiempo que tarda la onda en atravesar la pieza de carne, T_v). Durante el salado, si la velocidad aumenta, el tiempo de vuelo disminuye, observándose como el primer eco se va desplazando en dirección al Trigger. Para poder calcular los cambios en el tiempo de vuelo durante el salado se empleó el método de “correlación cruzada” o “cross correlation”.

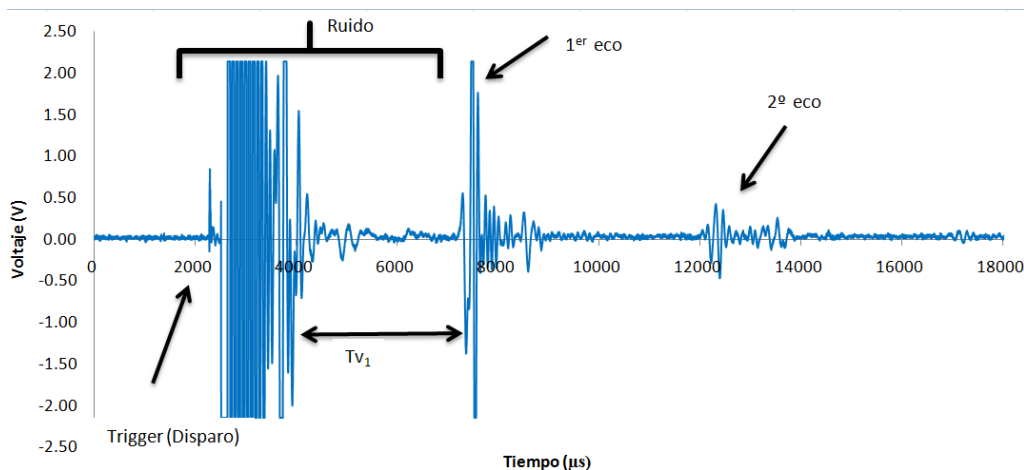


Figura 9 Señal sin procesar.

Mediante el empleo de este método se identifican similitudes y diferencias entre señales a distintos tiempos. El método utiliza una señal de referencia y compara el desplazamiento temporal con respecto a otra señal de ultrasonidos. En este caso se calculó la variación del tiempo de vuelo (ΔT_v) entre señales consecutivas (cada 5 minutos) tanto durante el salado como el post-salado. Posteriormente se calculó la ΔT_v acumulada como la suma de ΔT_v entre todas las señales de cada experiencia.

El procedimiento de cálculo del T_v se realizó según describe De Prados (2016) mediante el software desarrollado en LabviewTM 2015 (National Instruments, Austin, EEUU) (Figura 10).

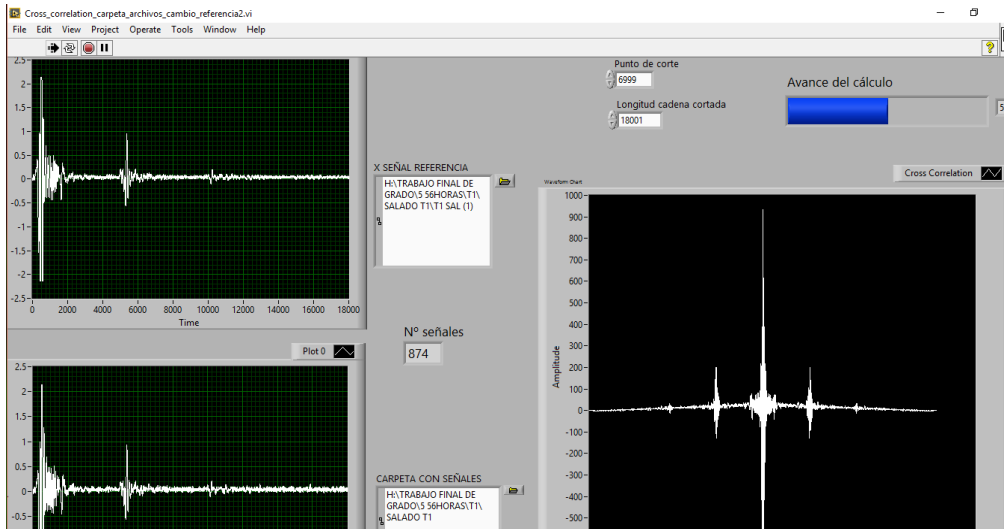


Figura 10 Imagen del programa para la aplicación del método de Cross correlation (transductor 1 en la etapa de salado).

3.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS TRAS EL SALADO Y POST-SALADO PARA EL ANÁLISIS COMPOSICIONAL Y TEXTURAL

De la muestra procedente del músculo *Longissimus dorsi* de cerdo (LD) se obtuvieron las muestras empleadas para el análisis composicional.

Finalizada la etapa de salado, se procedió a eliminar la sal adherida, tomando una rebanada del extremo (Figura 11) para su análisis composicional. Como se ha comentado anteriormente, el resto del lomo se envolvió en film plástico y se recolocó de nuevo en la cubeta de plástico para proceder con la etapa de post-salado el tiempo correspondiente. Tras el período de post-salado, se tomaron rebanadas (Figura 11) de lomo, de forma que coincidiesen con cada transductor (Figura 11).



Figura 11 Esquema de la extracción de las muestras para el análisis de composición y textura tras el salado y post-salado.

Las rebanadas obtenidas tras el salado y post-salado fueron de sección transversal con un espesor de 4 ± 0.5 cm. Dado que las muestras de carne sufren deformaciones con el paso del tiempo de salado y post-salado, se empleó el programa AutoCAD para la obtención de plantillas con las que seccionar y analizar las diferentes zonas dentro de las rebanadas.

A cada rebanada se le tomó una fotografía (Figura 12A) que se pasó al programa AutoCAD y mediante la cual se hizo la plantilla (Figura 12B) para poder separar la rebanada en las tres zonas a analizar, exterior, intermedio y centro, de manera proporcional entre ellas, ya que la sal se expande por el interior del lomo de forma radial, desde el exterior al interior.



Figura 12 (A) Sección rebanada post-salado transductor 4. (B) Plantilla rebanada post-salado transductor 4.

Posteriormente se recortaron las plantillas para poder separar de forma física las tres zonas (Figura 13) y así poder llevar a cabo las analíticas de cloruros, dureza y humedad en cada zona.

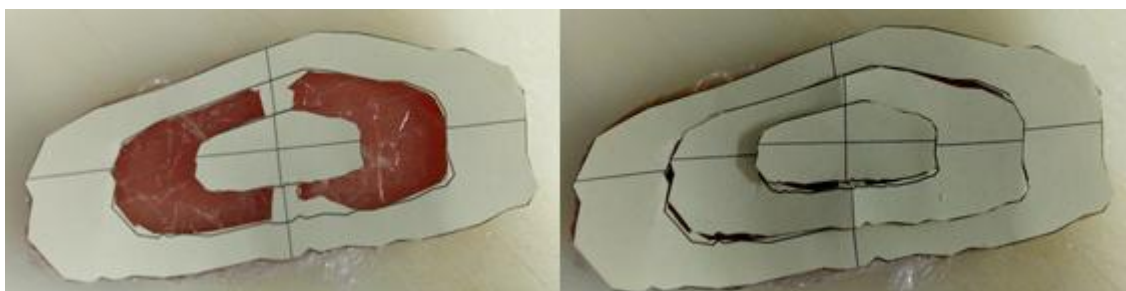


Figura 13 Plantillas exterior, intermedia y centro para la división de las rebanadas de lomo en tres zonas.

3.5. ANÁLISIS QUÍMICOS

3.5.1. pH

Las medidas de pH, llevadas a cabo solamente sobre las muestras frescas, se realizaron con la finalidad caracterizar las muestras y comprobar que se encontraban en el rango habitual de pH

para este producto. Las medidas se tomaron con un dispositivo para sólidos, pH-metro (FG2-FiveGo™, Mettler Toledo, Suiza-USA), con un electrodo especial de penetración. Se realizaron ocho medidas por rebanada de muestra antes del salado.

3.5.2. Determinación del contenido en cloruros

Para la determinación de cloruros se procedió a picar cada rebanada de muestra fresca, así como cada zona (exterior, intermedia y centro) de cada rebanada tras el salado y el post-salado. Se realizaron tres medidas en cada rebanada de muestra fresca. En cada rebanada de muestra salada se hicieron tres medidas por zona (exterior, intermedia y centro), y tras el post-salado se hizo por cada rebanada tres medidas por zona (exterior, intermedia y centro). Todas las medidas, treinta y seis por muestra de LD, se repitieron para cada tiempo de post-salado.

Una vez picada cada muestra se homogeneizó con agua destilada (100 mL) mediante un ultraturrax (T25 IKA Labortechnik, Janke & GMB & Co, Staufen, Alemania) equipado con un vástago modelo S25N-18G girando durante 5 minutos. Posteriormente se filtró el homogeneizado y se refrigeró durante 24 horas a 2°C, analizándose con el equipo analizador de cloruros (MK II Chloride Analyzer 926, Sherwood, Reino Unido) (Figura 14) tomando alícuotas de 500 µl (Albarracín *et al.*, 2005). El resultado de cada determinación se expresó como % de NaCl en la muestra (%b.h.).



Figura 14 Analizador de cloruros.

3.5.3. Determinación de humedad

Tras triturar las muestras, se prepararon y pesaron crisoles con arena (P_1). Después se añadieron aproximadamente 3 gramos de muestra para pesarse a continuación (P_2). Tras esto se procedió a colocar los crisoles con la muestra y arena en una estufa a 105°C durante 24 horas, tiempo suficiente para que se estabilizara el peso de las muestras. Al acabar las 24 horas

se pesó el crisol con arena y muestra deshidratada (P_3). Posteriormente se calculó la humedad con la Ec. 1.

$$x_w = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Se realizaron tres medidas en cada rebanada de muestra fresca, en cada rebanada de muestra salada se hicieron tres medidas por zona (exterior, intermedia y centro), y tras el post-salado se hizo por cada rebanada tres medidas por zona (exterior, intermedia y centro). Todas las medidas, treinta y seis por muestra de LD, se repitieron para cada tiempo de post-salado.

3.5.4. Medición de la dureza

Para determinar en qué medida afecta la penetración de sal al grado de dureza de cada rebanada se realizó un ensayo de punción midiendo así la fuerza requerida para que penetre el punzón en el alimento (Chiralt et. al, 2012).

Las determinaciones de textura fueron realizadas mediante el empleo de un texturómetro, Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro System, Reino Unido) (Figura 15A), con un punzón de 2 mm de diámetro (SMS P/2N) (Figura 15B), con una velocidad de punción de 1 mm/s, e introduciéndose hasta el 60% de la altura de la muestra (Lorenzo et. al, 2013)



Figura 15 (A) Equipo medición textura. (B) Detalle punzón.

Para la determinación de textura se realizaron ocho medidas para cada zona (exterior, intermedio y centro) de cada rebanada, tras el salado y el post-salado, haciendo un total de 24 medidas para cada rebanada (en los 6 tiempos de post-salado).

Con el programa Exponent Lite versión 6.1.4.0 se obtuvo la fuerza máxima de penetración a partir de las curvas fuerza-deformación.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el programa Statgraphics (Centurion XVI, Warrenton, USA) se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para estudiar si existían diferencias significativas en los diferentes parámetros estudiados (gradientes de sal, humedad y dureza) entre los diferentes tiempos de post-salado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las piezas de lomo fueron analizadas después del proceso de salado de 72 horas y tras el post-salado a diferentes tiempos (0, 14, 28, 43, 56 y 72 horas), determinándose su humedad, contenido en sal y textura. Todo el proceso de salado y post-salado fue monitorizado mediante ultrasonidos de señal.

4.1. HUMEDAD

La humedad media de las piezas de lomo no mostró cambios durante el post-salado (Tabla 1), ya que las mismas estaban envueltas en un film plástico, produciéndose únicamente una redistribución de la humedad dentro de los lomos. Para la caracterización de esta redistribución, se calculó el gradiente de humedad (GH) como la diferencia de humedad entre el exterior e interior de la pieza, definidas las áreas exterior e interior tal y como se detalla en el apartado 3.4 “Preparación de las muestras tras el salado y el post-salado para el análisis composicional” de Materiales y Métodos.

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el GH para los diferentes tiempos de post-salado. Tras el salado, se encontró una diferencia inicial entre el centro y el exterior de 8.33 puntos porcentuales. Como se puede ver en la Figura 16, al aumentar el tiempo de post-salado, disminuyó el GH, es decir, tendió a igualarse la humedad de la zona externa y central de los lomos. Además, se observa que se produce un cambio más rápido en el GH desde las 14 hasta las 44 h y pasado ese tiempo los cambios en el gradiente evolucionan más lentamente.

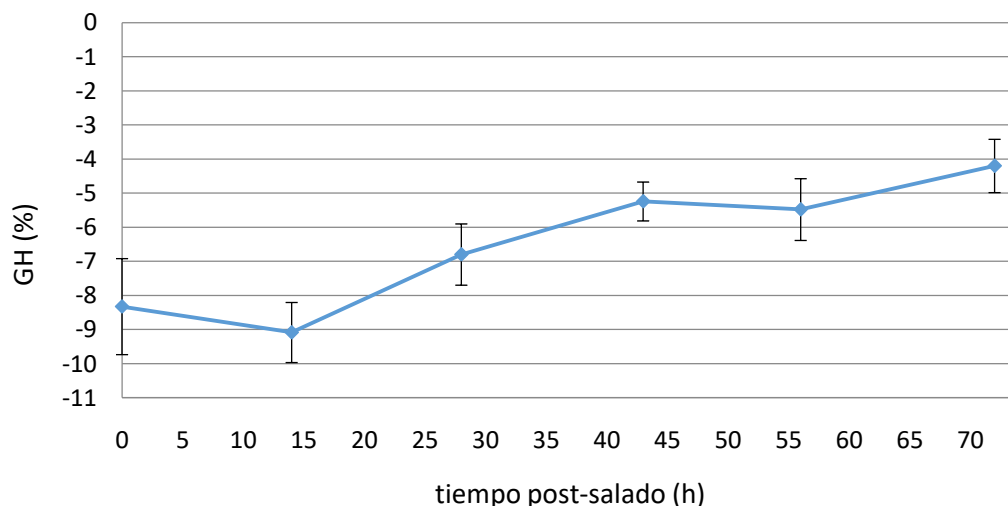


Figura 16 Evolución gradiente de humedad (GH) entre exterior y centro del lomo durante el post-salado.

Tabla 1 Cambios en la humedad (%b.h.) durante el post-salado para los diferentes transductores de ultrasonidos.

			HORAS DE POST-SALADO					
			0	14	28	43	56	72
TRANSDUCTOR 1	EXTERIOR	MEDIA	62.73	62.62	59.50	61.38	62.42	63.07
		DESVEST	3.90	0.37	0.20	0.28	0.29	0.43
	INTERMEDIO	MEDIA	66.52	69.34	63.57	63.91	64.45	66.25
		DESVEST	0.07	0.36	0.59	1.55	0.60	0.56
	CENTRO	MEDIA	69.04	72.91	65.01	66.89	67.13	68.00
		DESVEST	0.13	0.45	0.35	0.22	0.06	0.41
TRANSDUCTOR 2	EXTERIOR	MEDIA	60.19	62.06	58.59	61.01	61.70	64.54
		DESVEST	0.38	0.61	0.53	0.39	0.07	0.53
	INTERMEDIO	MEDIA	66.79	67.14	64.26	65.04	66.38	67.54
		DESVEST	0.12	0.34	0.30	0.19	0.43	0.18
	CENTRO	MEDIA	69.57	70.66	66.13	66.48	67.47	69.34
		DESVEST	0.18	0.26	0.79	0.41	0.13	0.09
TRANSDUCTOR 3	EXTERIOR	MEDIA	60.11	62.93	58.39	61.58	60.67	64.93
		DESVEST	0.04	0.14	0.89	0.12	1.08	0.15
	INTERMEDIO	MEDIA	65.21	63.09	63.14	64.18	64.75	67.22
		DESVEST	0.13	0.08	0.26	0.23	0.21	0.17
	CENTRO	MEDIA	69.29	71.22	65.60	65.97	67.30	68.64
		DESVEST	0.21	0.11	0.09	0.10	0.07	0.12
TRANSDUCTOR 4	EXTERIOR	MEDIA	58.55	62.16	59.76	60.52	61.97	63.37
		DESVEST	0.61	0.05	0.15	0.56	0.58	0.66
	INTERMEDIO	MEDIA	63.23	67.94	63.33	63.81	64.69	67.82
		DESVEST	0.16	0.26	1.37	0.22	0.44	1.87
	CENTRO	MEDIA	66.98	71.32	66.71	66.12	66.78	66.73
		DESVEST	0.06	0.13	0.25	0.53	0.11	0.61

Resultados similares encontró Girón (2014) para el caso de la humedad en el jamón curado salado. Albarracín (2009) también observó la migración de agua desde las capas internas a las externas hasta llegar a una situación de equilibrio en el post-salado de pernils de cerdo de raza ibérica.

4.2. SAL

Al igual que en el caso de la humedad, el contenido medio de sal de las piezas de lomo no mostro variación durante el post-salado (Tabla 2), debido al film plástico que los recubría produciéndose una redistribución de la sal dentro de la pieza. Por este motivo se buscó caracterizar la redistribución del contenido en sal, calculando el gradiente de sal (GS) entre el exterior e interior de la pieza.

El análisis de los resultados mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$) en los valores del GS dependiendo de la zona del lomo de donde se extrajo cada muestra, apreciándose un mayor porcentaje de sal en las muestras extraídas de los extremos de cada pieza de lomo (transductores 1 y 4, Figura 11).

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el GS para los diferentes tiempos de post-salado. Se observó una diferencia inicial entre el centro y el exterior (GS) de 6.37 puntos porcentuales. Como se puede apreciar en la Figura 17, el cambio más acusado se produce desde las 14 horas hasta las 28 de post-salado, pasado este tiempo, se aprecia una estabilización en la redistribución del contenido en sal.

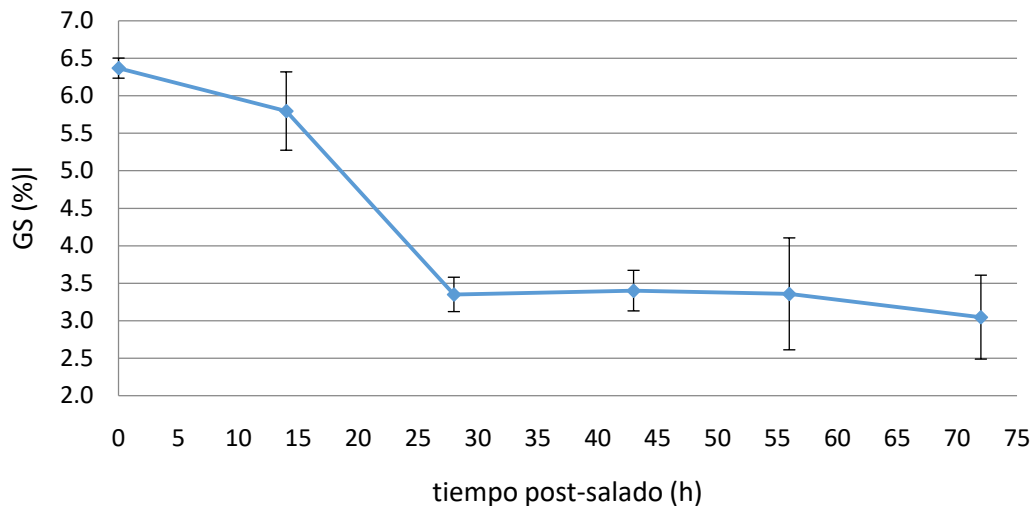


Figura 17 Evolución gradiente de sal (GS) entre el exterior y el centro del lomo durante el post-salado.

Tabla 2 Cambios en el contenido de sal (%b.h.) durante el post-salado para los diferentes transductores de ultrasonidos.

			HORAS DE POST-SALADO					
			0	14	28	43	56	72
TRANSDUCTOR 1	EXTERIOR	MEDIA	11.11	8.95	8.50	8.98	8.24	8.86
		DESVEST	0.17	0.17	0.22	0.14	0.17	0.17
	INTERMEDIO	MEDIA	6.76	4.28	6.95	7.23	4.55	7.49
		DESVEST	0.29	0.12	0.10	0.12	0.10	0.21
	CENTRO	MEDIA	4.80	2.67	5.49	5.87	4.09	6.39
		DESVEST	0.07	0.09	0.09	0.18	0.08	0.61
TRANSDUCTOR 2	EXTERIOR	MEDIA	10.93	8.33	8.84	9.16	7.46	8.98
		DESVEST	0.18	0.17	0.22	0.14	0.04	0.71
	INTERMEDIO	MEDIA	6.41	5.31	6.91	6.94	4.55	6.30
		DESVEST	0.18	0.17	0.10	0.41	0.09	0.44
	CENTRO	MEDIA	4.42	3.28	5.40	5.43	4.35	5.25
		DESVEST	0.04	0.22	0.29	0.27	0.22	0.49
TRANSDUCTOR 3	EXTERIOR	MEDIA	10.96	8.70	9.74	9.38	8.11	8.65
		DESVEST	0.22	0.34	0.05	0.31	0.04	0.17
	INTERMEDIO	MEDIA	7.31	4.54	7.68	7.53	5.88	6.66
		DESVEST	0.15	0.17	0.10	0.41	0.09	0.44
	CENTRO	MEDIA	4.69	2.72	6.26	6.09	4.39	5.41
		DESVEST	0.09	0.04	0.12	0.32	0.05	0.04
TRANSDUCTOR 4	EXTERIOR	MEDIA	10.57	9.21	9.30	9.58	7.43	8.52
		DESVEST	0.32	0.34	0.02	0.21	0.24	0.23
	INTERMEDIO	MEDIA	8.27	4.97	8.10	7.28	6.32	6.78
		DESVEST	0.08	0.06	0.09	0.14	0.04	0.10
	CENTRO	MEDIA	6.29	3.35	5.83	6.10	4.98	5.78
		DESVEST	0.22	0.05	0.32	0.03	0.10	0.09

Al igual que para la humedad, Girón (2014), Albarracín (2009) y Torres (2008) también observaron la migración de la sal de las capas externas a las internas hasta llegar a una situación de equilibrio en el post-salado de jamón curado.

4.3. DUREZA

Los valores de dureza reflejan una gran variabilidad en las medidas (Tabla 3), independientemente de la zona de la pieza. Esto se explica por la tipología de medida empleada, compresión/punción en un área muy reducida (2mm de diámetro de punzón), además de por la heterogeneidad en la muestra.

Al igual que para la humedad y el contenido en sal, se calculó el gradiente de dureza (GD) entre el exterior e interior de los lomos. Se observó una diferencia inicial entre el centro y el exterior de 1,7 N (Figura 18).

En la Figura 18 se refleja el descenso en el gradiente de dureza que tiene lugar durante el post-salado. A pesar de observarse una tendencia descendente, las diferencias entre tiempos de post-salado no fueron significativas ($p>0.05$), debido a la elevada variabilidad experimental comentada anteriormente.

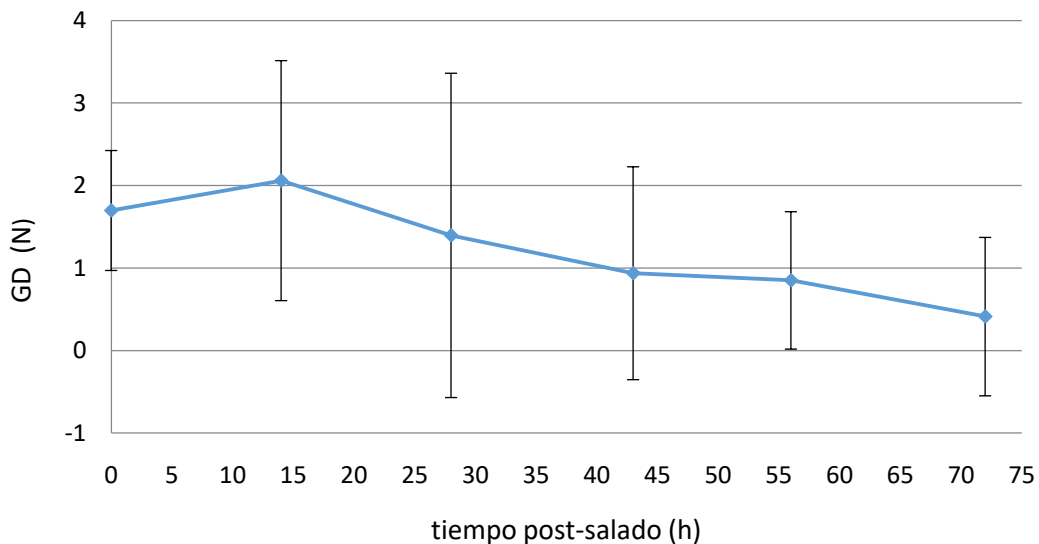


Figura 18 Evolución gradiente de dureza (GD) entre exterior y centro del lomo durante el post-salado.

La disminución de las diferencias de dureza (GD) está relacionada con el avance de la sal del exterior al interior de las piezas y la salida hacia el exterior del agua, mostrado en los apartados anteriores. Así, la penetración de la sal hace que se extienda la desnaturalización proteica producida por la sal, igualando la dureza entre el exterior e interior de la muestra. Sin embargo, el mayor efecto sobre la dureza de la carne se produce en la parte exterior de los lomos donde la concentración de sal es mayor que en el centro durante todo el post-salado. Por eso las diferencias en el GD no llegan a desaparecer totalmente ($GD>0$).

Tabla 3 Cambios en la dureza (N) durante el post-salado para los diferentes transductores de ultrasonidos.

			HORAS DE POST-SALADO					
			0	14	28	43	56	72
TRANSDUCTOR 1	EXTERIOR	MEDIA	9.78	7.35	7.98	7.66	3.03	7.85
		DESVEST	1.44	1.59	1.74	2.89	0.62	2.55
	INTERMEDIO	MEDIA	5.60	6.36	6.89	7.21	2.83	8.53
		DESVEST	1.81	3.21	1.15	0.77	0.41	2.80
	CENTRO	MEDIA	5.29	3.41	9.10	4.98	2.88	8.78
		DESVEST	0.80	1.00	1.64	1.05	0.71	2.28
TRANSDUCTOR 2	EXTERIOR	MEDIA	8.47	7.25	8.40	6.79	4.11	6.25
		DESVEST	0.75	2.57	1.41	0.74	1.16	2.06
	INTERMEDIO	MEDIA	6.25	6.47	6.00	5.61	2.97	6.41
		DESVEST	0.53	1.04	0.62	0.76	0.27	1.25
	CENTRO	MEDIA	7.92	4.90	6.99	6.02	2.16	6.62
		DESVEST	1.63	1.20	1.14	2.11	0.44	1.24
TRANSDUCTOR 3	EXTERIOR	MEDIA	7.84	7.16	7.06	9.07	5.31	6.76
		DESVEST	2.25	1.83	1.45	2.00	0.54	1.73
	INTERMEDIO	MEDIA	6.25	5.10	4.66	6.80	4.64	4.82
		DESVEST	1.63	1.19	0.67	0.56	0.62	0.82
	CENTRO	MEDIA	7.82	5.74	4.94	7.30	4.54	5.51
		DESVEST	2.56	1.39	1.35	1.99	0.41	1.09
TRANSDUCTOR 4	EXTERIOR	MEDIA	10.35	8.07	7.16	7.62	4.45	5.64
		DESVEST	1.89	0.78	1.07	0.92	0.52	0.98
	INTERMEDIO	MEDIA	8.91	7.87	4.08	7.61	4.22	5.49
		DESVEST	2.31	2.27	1.29	3.34	0.75	1.48
	CENTRO	MEDIA	8.63	7.54	3.59	7.92	4.23	5.13
		DESVEST	2.04	2.07	0.88	2.00	0.86	0.92

4.4. MONITORIAZIÓN DEL SALADO Y POST-SALADO MEDIANTE US

4.4.1. Monitorización del salado

- Evolución de la variación del Tv

Tal y como se vio en el apartado 3.2 “Salado en seco y post-salado. Monitorización mediante ultrasonidos”, se realizó el cálculo del tiempo de vuelo cada cinco minutos. A modo de ejemplo, en la Figura 19 se puede observar la evolución de la variación del tiempo de vuelo para el caso particular del salado del lomo con 28 horas de post-salado, en el transductor 1.

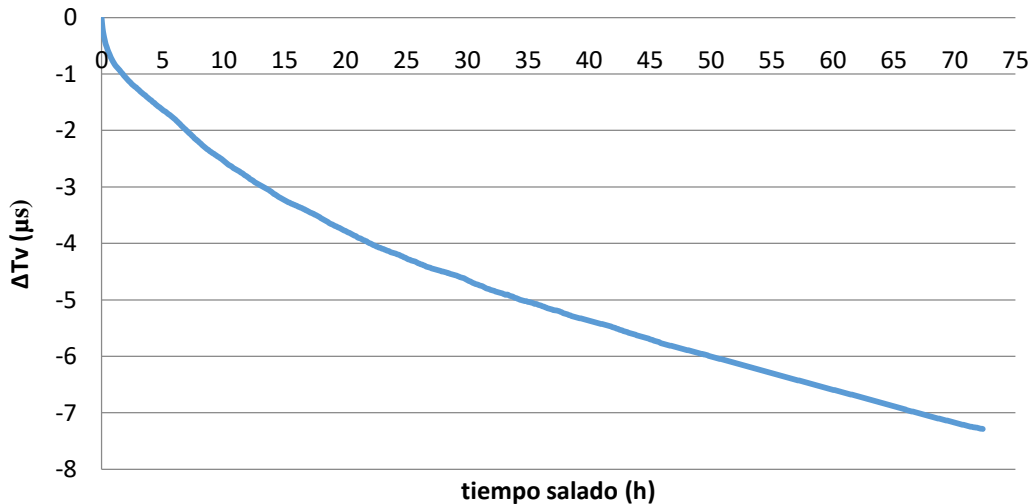


Figura 19 Evolución de la variación del Tv cada cinco minutos del transductor 1 durante el salado del lomo con 28 h de post-salado.

Como puede observarse, en las primeras 20 h se produce una disminución brusca en el tiempo de vuelo para posteriormente disminuir pero con menor intensidad. Este patrón de cambio se corresponde con el patrón de ganancia de sal en un proceso difusivo.

En trabajos anteriores, De Prados (2016), relacionó el cambio en el tiempo de vuelo con la ganancia de sal en el lomo (LD) de forma que el método empleado de ultrasonidos permitió la monitorización del proceso de salado. En este trabajo se observa como la metodología empleada permite también un seguimiento de la operación de salado en lomos.

4.4.2. Monitorización del post-salado

- **Métodos para el cálculo del Tv**

Para la monitorización del post-salado se realizó el cálculo de la variación del tiempo de vuelo cada cinco minutos (Figura 20) como en el caso del salado.

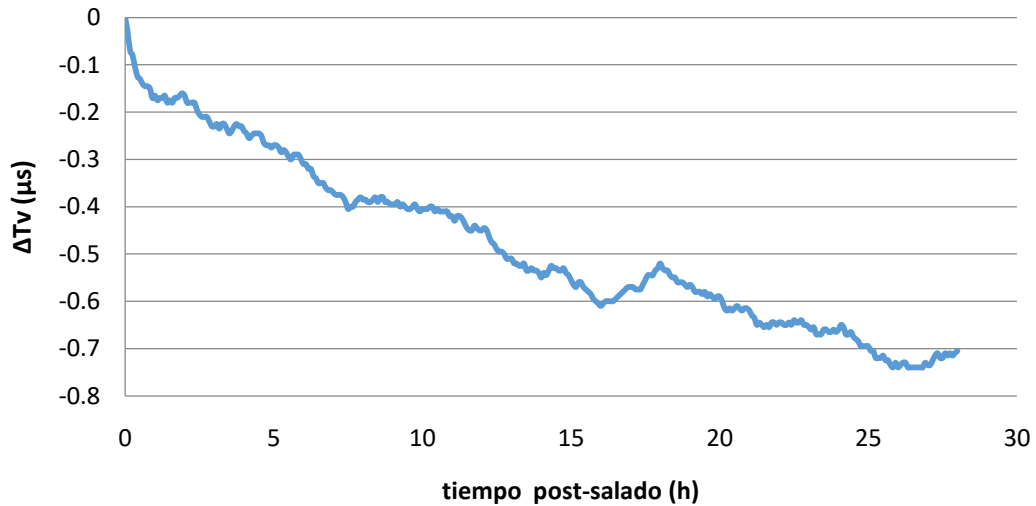


Figura 20 Evolución de la variación del Tv cada cinco minutos del transductor 1 durante el post-salado de 28 horas.

Al haberse envuelto en film plástico el lomo, la muestra no sufre cambios en su contenido en sal o agua sino que únicamente se produce una redistribución de estos compuestos. Esto da lugar a que los cambios en el Tv sean mucho menores que en el caso del salado (Figura 19) y que los resultados (Figura 20) presenten una mayor variabilidad en el método del cálculo de las variaciones del Tv, ya que entre señales consecutivas (5 min) apenas existen diferencias. Para solventar este problema, se aplicó el método de correlación cruzada entre señales separadas 1 hora en lugar de cada 5 min, obteniéndose la Figura 21.

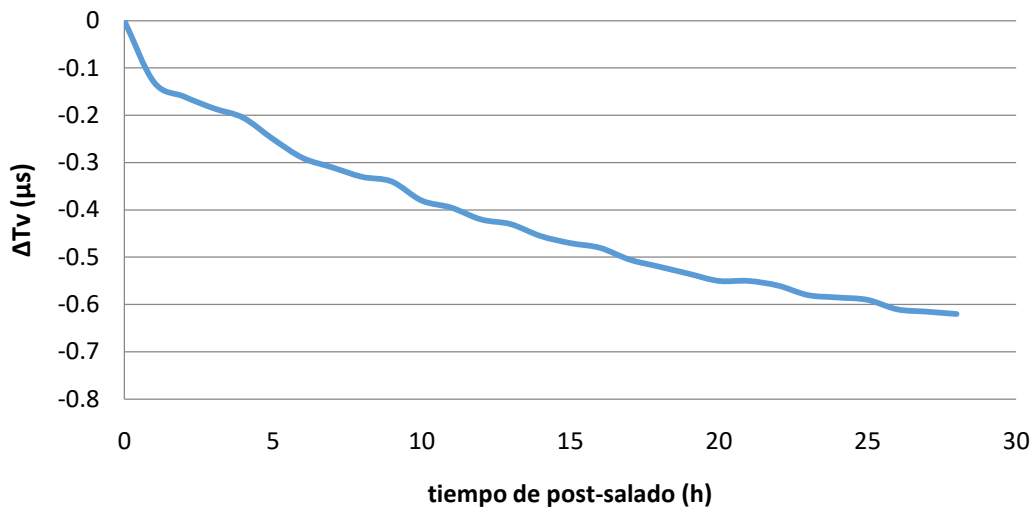


Figura 21 Evolución de la variación del Tv cada hora del transductor 1 durante el post-salado de 28 horas.

En la Figura 21 se aprecia la tendencia descendente del tiempo de vuelo cada hora, sin las irregularidades presentes en el cálculo cada cinco minutos (Figura 20). Similares resultados se

obtuvieron para el resto de transductores y tiempos de post-salado. Así pues, se empleó esta metodología para todas las experiencias y transductores de post-salado.

- **Evolución de la variación del Tv**

Una vez seleccionado el modo de análisis para la variación del Tv se representaron el conjunto de señales pertenecientes a los diferentes tiempos de post-salado estudiados (14, 28, 43, 56 y 72 h). Se observó una disminución más acusada del Tv en las primeras horas de post-salado; pasado ese tiempo, la caída del Tv se fue suavizando (Figura 22).

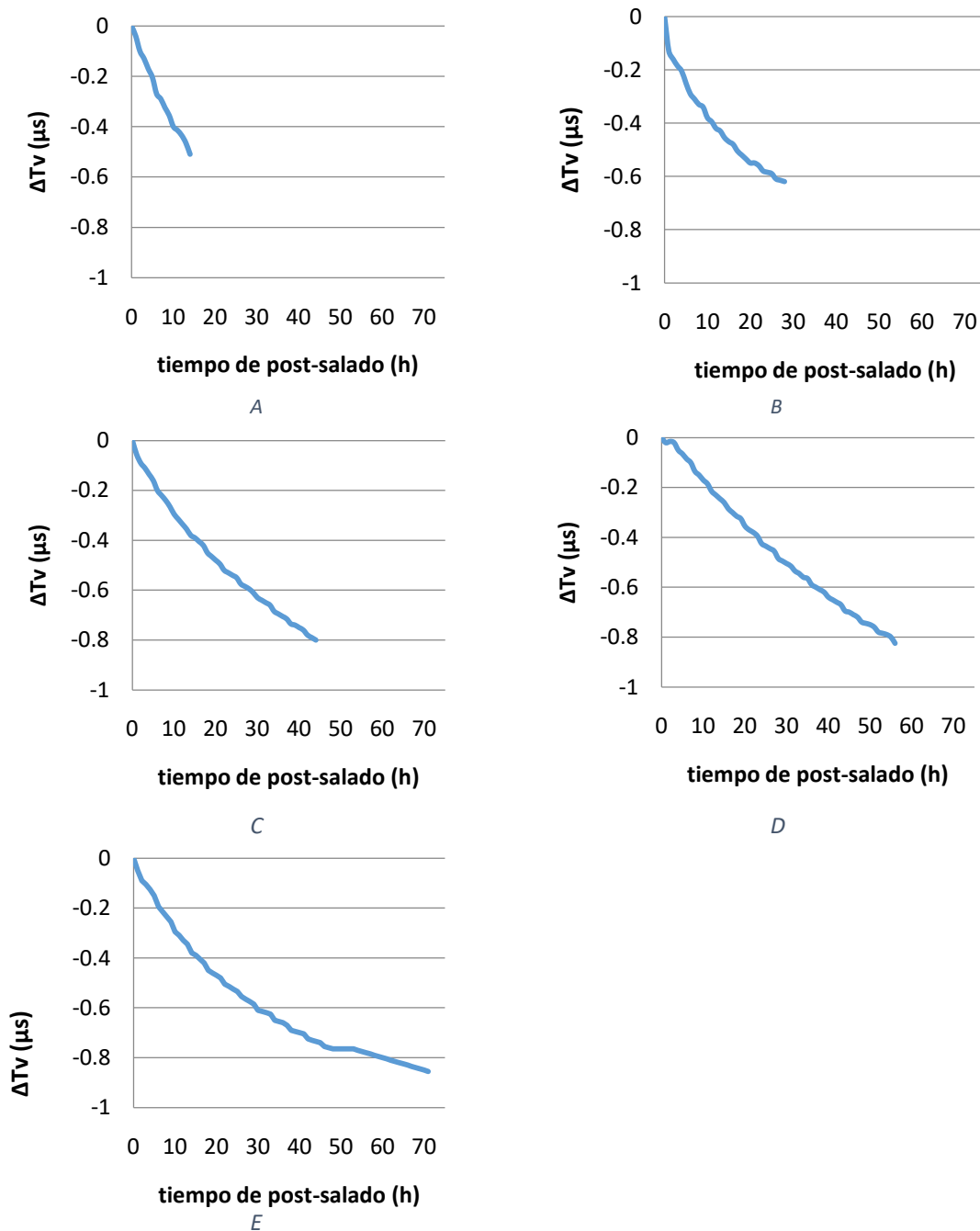


Figura 22 Variación del tiempo de vuelo (ΔT_v) durante los diferentes tiempos de post-salado. (A) Post-salado de 14 horas. (B) Post-salado de 28 horas. (C) Post-salado de 43 horas. (D) Post-salado de 56 horas. (E) Post-salado de 72 horas.

Dado que el espesor inicial de los lomos afecta a la velocidad a la que se redistribuye la sal y la humedad y por lo tanto a como se producen los cambios texturales y ultrasónicos, se consideró el tiempo de vuelo inicial (Tv_0) como un estimador de ese espesor inicial. De esta forma, se corrigió la ΔTv media de cada tiempo de post-salado dividiéndola por el Tv_0 (De Prados, 2016). En la Figura 23 se puede observar que la bajada más pronunciada en la $\Delta Tv/Tv_0$ tiene lugar hasta las 43 horas de post-salado y posteriormente se estabiliza. Este patrón encontrado en las variaciones del parámetro ultrasónico estudiado, se corresponde con los cambios encontrados en los gradientes de humedad y sal y los cambios texturales vistos anteriormente.

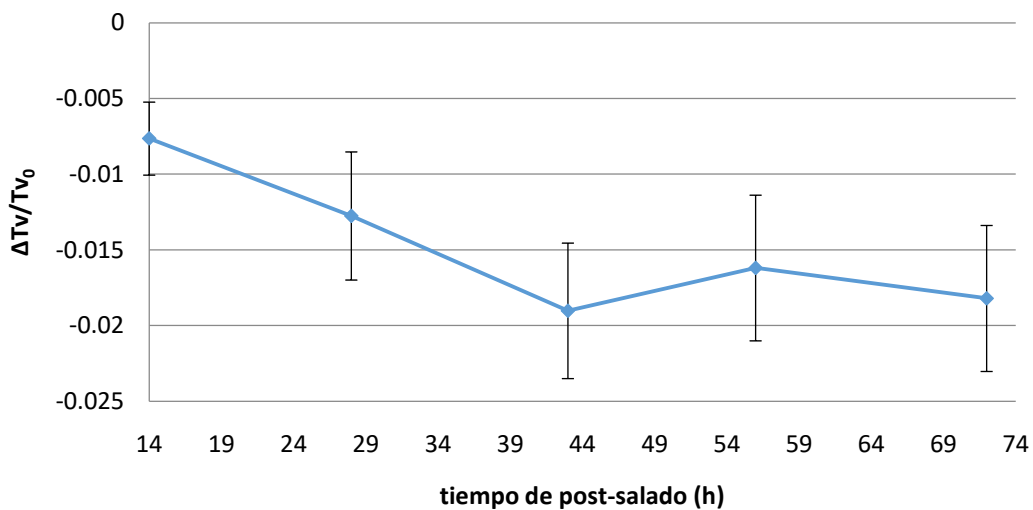


Figura 23 Tiempo de vuelo final dividido por el Tv_0 para los diferentes tiempos de post-salado.

Estos resultados muestran que los ultrasonidos de señal permiten monitorizar adecuadamente la etapa de post-salado de carne de cerdo, estimando el momento en el que se estabilizan los cambios composicionales y texturales en la carne.

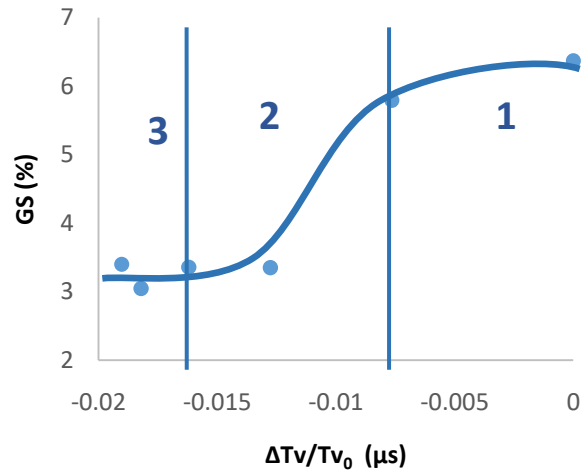
- **Relaciones entre las medidas ultrasónicas y los gradientes de sal, humedad y dureza**

En las gráficas que relacionan el gradiente de sal (GS), de humedad (GH) y de dureza (GD) con la $\Delta Tv/Tv_0$ (Figura 24 A-C), se observa una primera etapa (hasta las 14 h de post-salado) en la cual apenas hay cambios en ninguno de los tres parámetros. Esto se debe a que la transferencia de materia entre la zona externa y central aún no ha tenido tiempo de producirse en toda su extensión (tanto sal como agua están aún difundiendo por la zona intermedia) y por lo tanto no se aprecian cambios significativos en los gradientes). En cuanto a la dureza, como la sal no ha llegado a la zona central, no ha transcurrido el tiempo suficiente para que se produzcan las modificaciones en las propiedades texturales de la zona central que dan lugar a la disminución del gradiente de dureza. Este fenómeno (estancamiento de GS, GH y GD) también se observó en las Figuras 16 a 18. Sin embargo, en esta fase (Fase 1, Figura 24), sí

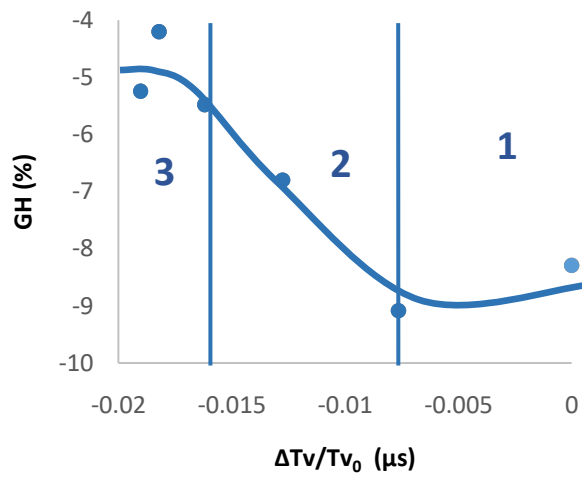
que se produce un cambio importante en el $\Delta T_v / T_{v_0}$ ya que la sal en la zona externa y la que ya ha penetrado en la zona intermedia afectan al parámetro ultrasónico que se mide a través de todo el perfil de la muestra.

En la Figura 24, se observa una segunda fase en la que los gradientes caen rápidamente para posteriormente, en la fase 3, mantenerse constantes. En esta segunda fase la $\Delta T_v / T_{v_0}$ también cambia en línea con los cambios composicionales y texturales. En la tercera fase (Figura 24) no se producen cambios significativos ni en los gradientes ni en la $\Delta T_v / T_{v_0}$.

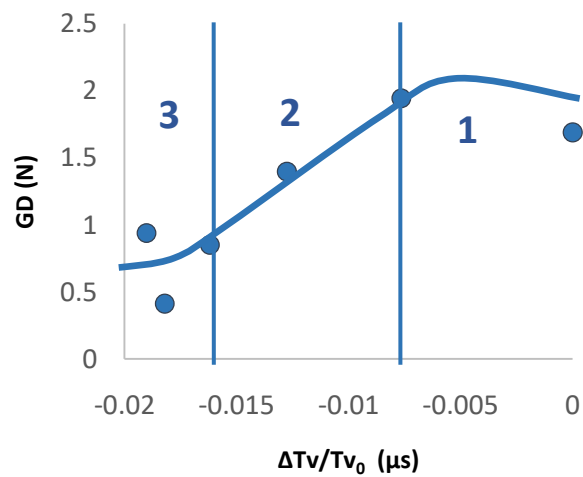
Por lo tanto, el cálculo de la $\Delta T_v / T_{v_0}$ podría servir para monitorizar los cambios en la distribución composicional y textural durante el post-salado de los lomos de cerdo.



A



B



C

Figura 24 Relación entre la $(\Delta T_v/T_{v_0})$ y los gradientes composicionales y texturales. (A) Relación con GS. (B) Relación con GH. (C) Relación con GD.

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones extraídas del presente trabajo son las siguientes:

- Durante el post-salado de *Longissimus dorsi* (LD) se produce la redistribución del contenido en sal y agua dentro de las piezas. Los mayores cambios composicionales (gradiente de humedad y gradiente de sal) se producen a partir de las 14 h de post-salado. La humedad continúa equilibrándose en el interior de los lomos hasta las 44 h de post-salado. Por otro lado, la redistribución del contenido en sal tiene lugar hasta las 28 h de post-salado.
- Existió una elevada variabilidad en la medición de los cambios en el gradiente de dureza (equilibrio dureza zona exterior e interior de las piezas). Los cambios en el gradiente de dureza son debidos a la redistribución de sal y de agua y al efecto que la sal tiene sobre la desnaturalización proteica.
- Los cambios en el tiempo de vuelo (Tv) durante el salado están relacionados con la entrada de sal y la salida de agua en los lomos.
- El Tv también disminuyó durante el post-salado, lo que se relacionó con la redistribución de sal y agua así como con los cambios en la dureza como consecuencia de la desnaturalización proteica producida por la sal.
- En el caso del cálculo del Tv durante el post-salado de *Longissimus dorsi* (LD) se debe aplicar el método de cross-correlation cada hora para evitar problemas de cálculo.
- Se encontraron relaciones entre los cambios en los gradientes de humedad (GH) y de sal (GS) con los cambios en el Tv.
- Los resultados obtenidos mostraron que los ultrasonidos de señal permiten monitorizar adecuadamente la etapa de post-salado de *Longissimus dorsi* (LD), estimando el momento en el que se estabilizan los cambios composicionales y texturales en la carne.

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- ALBOUELKARAM, S.; SUCHORSKI, K.; BUQUET, B.; BERGE, P.; CULIOLI, J.; DELACHARTRE, P. Y BASSET, O. (2000). Effects of muscle texture on ultrasonic measurements. *Food Chemistry*, 69, 447-455.
- ALBARRACÍN HERNÁNDEZ, W. (2009). *Salado y descongelado simultáneo en salmuera para la obtención de jamón curado de cerdo de raza ibérica*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- ALBARRACÍN, W; GRAU, R.; BARAT, J.M.; CLEMENTE, G. (2005). Análisis del efecto de las variables asociadas al proceso de salado de jamón en pila, en: *Series de ciencia e ingeniería de alimentos: investigación del postgrado del IIAD-DTA, Año 2003*. Editorial UPV. Valencia, 1-18.
- ARMENTEROS, M. (2010). *Reducción de sodio en lomo y jamón curados. Efectos sobre la proteólisis y las características sensoriales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- BELLO GUTIÉRREZ, J. (2008). *Jamón curado, aspectos científicos y tecnológicos. Perspectiva desde la Unión Europea*. Editorial Díaz de Santos. Madrid.
- BENEDITO, J.; CÁRCEL, J.A.; GISBERT, M. Y MULET, A. (2001). Quality control of cheese maturation and defects using ultrasonics. *Food Engineering and Physical Properties*, 66, 100-104.
- CARBALLO GARCÍA, B.M., LÓPEZ DE TORRE, G. Y MADRID VICENTE, A. (2001). *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- CHIRALT BOIX, A.; MARTÍNEZ NAVARRETE, N.; GONZÁLEZ MARTÍNEZ, C.; TALENS OLIAG, P. Y MORAGA BALLESTEROS, G. (2012). *Propiedades físicas de los alimentos*. Editorial UPV. Valencia.
- CENZANO DEL CASTILLO, I.; VICENTE MADRID, A. Y VICENTE, J.M. (1994). *Nuevo manual de industrias alimentarias*. Editorial Mundi-Prenda. Madrid.
- COMPAIRÉ, C.; GIRARD, J. Y VALIN, C. (1991). *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Editorial Acribia. Zaragoza.
- DE PRADOS PEDRAZA, M. (2016). *Caracterización mediante ultrasonidos de señal de los cambios composicionales del jamón curado durante su procesado*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- DE PRADOS M.; GARCÍA, J.V.; FULLADOSA, E., MULET, A. Y BENEDITO, J. (2014). Monitorización del salado en pila de Longissimus dorsi mediante ultrasonidos de señal, en: *Libro de Actas. Vol I. Valencia, España*, Editores Fito P., Andrés A.M., Argüelles A., Ortolá M.D).
- DÍAZ PICÓ, K. (2014). *Sistema de control "on-line" del proceso de salado de productos cárnicos*. Trabajo Final de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.
- DOLZ PÉREZ, S. (2014). *Caracterización no-destructiva del salado en salmuera de carne de cerdo mediante ultrasonidos de señal*. Trabajo Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia.
- GAETE-GARETÓN, L.; VARGAS, Y.; LEÓN, C. Y PETTORINO, A. (2005). A novel non-invasive ultrasonic method to assess avocado ripening. *Food Engineering and Physical Properties*, 70, 187-191.

- GIRÓN HERNÁNDEZ, L.J. (2014). *Uso de sensores electrónicos para la optimización y control del proceso de elaboración del jamón curado*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- JIMÉNEZ MÁRQUEZ, A.; BELTRÁN MAZA, G.; UCEDA OJEDA, M. Y AGUILERA HERRERA, M.P. (2006). Empleo de ultrasonidos de potencia en el proceso de elaboración del aceite de oliva virgen. Resultados a nivel de planta de laboratorio. *Grasas y aceites*, 57, 253-259.
- LORENZO, J.M.; PATEIRO, M. Y FRANCO, D. (2013). Influence of muscle type on physicochemical and sensory properties of foal meat. *Meat Science*, 94, 77-83.
- MARTÍNEZ ESCRIVÁ, G. (2015). *Aplicación de ultrasonidos para la monitorización del salado en seco de jamón*. Trabajo Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia.
- MIZRACH, A. (2008). Review ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetable in pre and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 315-330.
- NIELSEN, M. Y MARTENS, H.J. (1997). Low frequency ultrasonics for texture measurements in cooked carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food Science*, 62, 1167-1175.
- NIÑOLES, L.; CLEMENTE, G.; VENTANAS, S. Y BENEDITO J. (2007). Quality assessment of Iberian pigs through backfat ultrasound characterization and fatty acid composition. *Meat Science*, 76, 102-111.
- PEÑARRUBIA PINZA, S. (2014). *Monitorización del salado en seco de carne de cerdo mediante ultrasonidos de señal*. Trabajo Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia.
- RIZO, A.; FUENTES, A. Y FERNÁNDEZ, I. (2013). *Desarrollo de un nuevo método de salado-ahumado de salmón y monitorización del proceso por espectroscopia de impedancia*. Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Valencia.
- SAHIM E.H.; YARDIMCI N.; CETINGUL I.S.; BAYRAM I. Y SENGOR, E. (2008). The use of ultrasound to predict the carcass composition of live Akkaraman lambs. *Meat Science*, 79, 716-721.
- SWATLAND, H.J. (2002). *Evaluación de la carne en la cadena de producción*. Acribia, D.L. Zaragoza.
- TORRES VARGAS, O.L. (2008). *Puesta a punto de métodos no destructivos y de análisis rápidos utilizables en el proceso de elaboración de jamón curado*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- ULLASTRES, C. (2013). *La innovación en el sector del cerdo ibérico: Un recorrido por las Empresas y el Conocimiento*. Asociación interprofesional del cerdo ibérico.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- AGENCIA SINC, 2008. *Ultrasonidos para salar los jamones*, visto el 7 de Septiembre de 2016
<http://www.agenciasinc.es/Noticias/Ultrasonidos-para-salar-los-jamones>
- ANICE, 2016. *El sector cárnico español*, visto el 24 de Agosto de 2016
<http://www.anice.es/industrias>

- LA VERDAD, 2016. *Científicos del CSIC desarrollan sensores que permitirán mejorar la de elaboración del jamón*, Valencia, visto el 7 de Septiembre de 2016 <http://servicios.laverdad.es/agroregion/pg081008/suscr/nec13.htm>
- PRESS, E., 2008. *Investigadores del CSIC y la UPV desarrollan nuevas tecnologías para mejorar la calidad del jamón curado*, Valencia, visto el 7 de Septiembre de 2016 <http://www.europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-innova-investigadores-csic-upv-desarrollan-nuevas-tecnologias-mejorar-calidad-jamon-curado-20081002122059.html>

