

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL

Departamento de Tecnología de Alimentos



## APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN EL SALADO DE CARNE. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE SAL

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS  
ALIMENTOS

**ALUMNA:** Shu ying Wu Deng

**TUTOR:** Juan Andrés Cárcel Carrión

Curso académico: 2019/2020

Valencia, Julio 2020

**TÍTULO:** Aplicación de tecnologías emergentes en el salado de carne. Influencia de la aplicación de ultrasonidos en la distribución de sal.

**RESUMEN:** El proceso de salado se utiliza en todo el mundo para la conservación de alimentos, especialmente para productos cárnicos. Sin embargo, se trata de una técnica que requiere elevados tiempos de proceso debido a la lenta difusión de la sal en el interior de la matriz cárnica. Por este motivo, se están investigando nuevas técnicas que mejoren la difusión y la distribución de sal, y permitan obtener productos cárnicos homogéneos. En el presente trabajo se describen diferentes tecnologías estudiadas para mejorar el proceso de salado y disminuir los tiempos de tratamiento, como la aplicación de ultrasonidos, altas presiones o campos eléctricos. Además, también se incluye un estudio experimental preliminar sobre la difusión de sal en carne posterior al salado.

**PALABRAS CLAVE:** Salado, difusión, distribución de sal, homogeneidad, ultrasonidos.

**AUTOR:** Shu ying Wu Deng

**TUTOR ACADÉMICO:** Juan Andrés Cárcel Carrión

Valencia, Julio 2020

**TÍTOL:** Aplicació de tecnologies emergents en el salat de carn. Influència de l'aplicació d'ultrasons en la distribució de sal.

**RESUM:** El procés de salat s'utilitza en tot el món per a la conservació d'aliments, especialment per a productes carnis. No obstant això, es tracta d'una tècnica que requereix elevats temps de procés a causa de la lenta difusió de la sal a l'interior de la matriu càrnica. Per aquest motiu, s'estan investigant noves tècniques que milloren la difusió i la distribució de sal, i proporcionen productes carnis homogenis. En el present treball es descriuen diferents tecnologies estudiades per millorar el procés de salat i disminuir els temps de tractament, com l'aplicació d'ultrasons, altes pressions o camps elèctrics. A més a més, també s'inclou un estudi experimental preliminar sobre la difusió de sal en carn posterior al salat.

**PARAULES CLAU:** Salat, difusió, distribució de sal, homogeneïtat, ultrasons

**AUTOR:** Shu ying Wu Deng

**TUTOR ACADÈMIC:** Juan Andrés Cárcel Carrión

València, Juliol 2020

**TITLE:** Application of emerging technologies in salting meat. Influence of the application of ultrasound on the distribution of salt.

**ABSTRACT:** The salting process is used worldwide for food preservation, especially for meat products. However, this operation requires high processing times due to the slow diffusion of salt inside the meat matrix. For this reason, new techniques are being investigated to improve diffusion and provide a homogeneous salt distribution throughout the meat product. In this work, different technologies studied to improve the salting process and to decrease the treatment time are described, such as the application of ultrasound, high pressures or electric fields. In addition, a preliminary experimental study on salt diffusion in meat after salting is also included.

**KEY WORDS:** Salting, brining, diffusion, salt distribution, homogeneity, ultrasounds

**AUTHOR:** Shu ying Wu Deng

**ACADEMIC TUTOR:** Juan Andrés Cárcel Carrión

Valencia, July 2020

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Salado con sal sólida.....	2
1.2. Salado en salmuera .....	3
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3. SALADO APLICANDO TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS.....</b>	<b>6</b>
3.1. Inyección de la salmuera .....	6
3.2. Masajeado.....	8
3.3. Impregnación de salmuera mediante pulsos de vacío.....	9
3.4. Altas presiones .....	11
3.5. Salado y descongelado simultáneo en salmuera.....	13
3.6. Ultrasonidos .....	14
3.7. Campos eléctricos .....	17
3.7.1. MEF: Campos eléctricos moderados.....	19
3.7.2. PEF: Campos eléctricos pulsados.....	21
<b>4. ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EVOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE SAL EN CARNE .....</b>	<b>26</b>
4.1. Materiales y métodos.....	26
4.1.1. Planificación experimental .....	26
4.1.2. Materia prima.....	28
4.1.3. Preparación de la salmuera para el salado .....	28
4.1.4. Preparación de las muestras .....	28
4.1.5. Proceso experimental .....	29
4.2. Determinaciones analíticas.....	30
4.2.1. Determinación del contenido en agua .....	30
4.2.2. Determinación del contenido en cloruro sódico .....	31
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>32</b>
5.1. Evolución del perfil de sal y humedad.....	32
5.2. Influencia de la dirección de las fibras .....	33
<b>6. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Ilustración de un tambor de masajeado</i> .....	8
<b>Figura 2.</b> <i>Efecto del mecanismo hidrodinámico durante la aplicación de pulso de vacío en el proceso de salado</i> .....	10
<b>Figura 3.</b> <i>Esquema de funcionamiento de un tratamiento de HHP en un producto envasado</i> .....	12
<b>Figura 4.</b> <i>Ilustración de un baño de ultrasonidos</i> .....	15
<b>Figura 5.</b> <i>Efecto del campo eléctrico en las células</i> .....	18
<b>Figura 6.</b> <i>Distintas técnicas que incluyen la aplicación de corriente eléctrica</i> ..	19
<b>Figura 7.</b> <i>Forma de onda arbitraria en MEF: a) onda cuadrada, b) onda sinusoidal, c) onda triangular</i> .....	20
<b>Figura 8.</b> <i>Forma de pulsos eléctricos usados en PEF: a) forma de disminución exponencial monopolar, b) forma de caída exponencial bipolar, c) pulsos cuadrados monopolar y d) pulsos cuadrados bipolar.</i> .....	23
<b>Figura 9.</b> <i>Plan de trabajo</i> .....	27
<b>Figura 10.</b> <i>Localización de la cinta de lomo en la canal de cerdo</i> .....	28
<b>Figura 11.</b> <i>Corte de las muestras: a) con orientación paralela a las fibras del músculo y b) con orientación perpendicular a las fibras del músculo.</i> .....	29
<b>Figura 12.</b> <i>Ilustración de la inyección de salmuera en la muestra de carne</i> .....	29
<b>Figura 13.</b> <i>Ilustración del corte de las muestras de carne en 7 secciones de 1 cm cada una</i> .....	30
<b>Figura 14.</b> <i>Perfil de distribución de sal a lo largo de las muestras con inyección de salmuera en paralelo a las fibras</i> .....	33
<b>Figura 15.</b> <i>Perfil de distribución de sal a lo largo de las muestras con inyección de salmuera en perpendicular a las fibras</i> .....	33

## 1. INTRODUCCIÓN

El salado es utilizado en todo el mundo desde la antigüedad. Esta técnica es conocida por la capacidad de conservar alimentos y se emplea especialmente en productos cárnicos. Este método de conservación implica la adición de cloruro sódico (NaCl) o sal común que debe penetrar al interior de la matriz de la carne y distribuirse de forma homogénea en todo el producto. La sal hace que haya una disminución de la actividad del agua ( $a_w$ ) y, como consecuencia, un aumento en la estabilidad microbiológica del alimento. Sin embargo, la sal también provoca una pérdida de agua que puede venir acompañada de una disminución de nutrientes hidrosolubles.

Por otro lado, la adición de sal cambia la estructura de las fibras haciendo que haya una mayor retención de agua (McDonnell *et al.*, 2014c) y permite desarrollar y reforzar el sabor debido a fenómenos fisicoquímicos y bioquímicos que se producen en la carne (Siró *et al.*, 2009), como proteólisis, lipólisis y oxidación de lípidos (Tomažin *et al.*, 2020).

Así, la proteólisis juega un papel importante en el efecto de la textura y el sabor, e indirectamente en el desarrollo de aromas (Flores *et al.*, 2006), pues se produce una rotura en la red de proteínas y consecuentemente, péptidos de cadena corta y aminoácidos libres. Sin embargo, una proteólisis excesiva disminuye la capacidad de retención de agua, generando un efecto pastoso en la carne caracterizado por una suavidad excesiva, textura demasiado blanda y sabores desagradables. Las reacciones de lipólisis generan ácidos grasos libres que son susceptibles a la oxidación. Los compuestos volátiles oxidados pueden actuar como precursores del sabor. Sin embargo, una excesiva oxidación puede producir cambios indeseables en el color, sabor y conducir a una disminución en la vida útil del producto (Tomažin *et al.*, 2020).

La composición bioquímica de los productos cárnicos puede variar en función de la especie, la alimentación del animal, la edad y el sexo, entre otros (Rinella, 2014). De hecho, la carne es un alimento muy complejo, tanto a nivel microscópico, donde la integridad, el tipo e historia de la miofibrilla afectará a sus propiedades, como a nivel macroscópico, donde la dirección de las fibras y las membranas de grasa inter e intramusculares variarán a lo largo de la matriz de la carne (Siró *et al.*, 2009). Por tanto, estos factores internos van a influir en la velocidad a la que la sal difunda a través de esta matriz compleja haciendo del salado un proceso lento (McDonnell *et al.*, 2014c). Además de estos factores internos, hay que sumarle factores externos como la temperatura, el medio salino o el tamaño de los cristales de sal (Albarracín, 2009).

La transferencia de masa es un fenómeno de transporte que aparece en muchas operaciones dentro de la industria alimentaria como, por ejemplo, todas aquellas que tienen el objetivo de obtener sustancias de interés, eliminar el agua de los alimentos o introducir una sustancia en el interior de matrices alimentarias (Puértolas *et al.*, 2012).

Durante el salado, el principal responsable del transporte de sodio y cloro es el mecanismo de difusión. La sal difunde al interior de la matriz del alimento mientras que el agua sale al exterior, debido a las diferencias de concentración y presiones osmóticas entre las células y el agente de salado.

Así pues, ambos tipos de transporte, el de agua y el de sal, se pueden modelizar a través de la ley de Fick (Ecuación 1), donde la velocidad de transferencia de masa que difunde a través de una sección de área unitaria es directamente proporcional al gradiente de concentración (Olivares, 2018).

$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

(Ecuación 1)

El coeficiente de difusión (D) representa una medida de la facilidad con la que las moléculas de soluto difunden en el medio. Así pues, cuanto mayor sea D, mayor será la velocidad de transferencia de masa (Olivares, 2018). Sin embargo, el coeficiente de difusión no permanece constante durante el proceso de salado, pues depende de factores como la temperatura o de los cambios microestructurales que se producen durante el proceso (Rinella, 2014).

El proceso tradicional de salado ha sido desarrollado mediante cubrimiento o frotado de la carne directamente con sal sólida o mediante inmersión de la carne en una disolución de salmuera. Este proceso es lento, de modo que se están investigando y desarrollando métodos alternativos que necesiten tiempos de tratamiento más reducidos.

### **1.1. Salado con sal sólida**

El proceso de salado con sal sólida es conocido comúnmente como salado en seco y consiste en cubrir o frotar la materia prima con sal. En la industria cárnica normalmente se realiza por apilado de capas alternas de sal y carne, y

se le denomina salado en pila (Armenteros, 2010). En este tipo de salado hay que tener en cuenta la posición de la pieza de carne en la pila, pues con el apilado se ejerce mayor presión sobre los estratos inferiores haciendo que haya una mayor transferencia de masa (Gómez, 2012).

Durante todo el proceso, es importante controlar tanto la temperatura como la humedad relativa. En principio, cuanto mayor sea la temperatura mayor es la difusión, pero al mismo tiempo, también se incrementa la velocidad de desarrollo de microorganismos en el interior de las piezas, donde todavía no ha llegado la sal. Es por ello que, para conseguir un equilibrio entre estas dos variables, durante esta fase se mantiene la temperatura en torno a 3-4°C y la humedad relativa en 90-95% (Armenteros, 2010).

El exudado de la carne se disuelve con la sal que se encuentra en contacto directo con la superficie del alimento formando una solución saturada de cloruro sódico y permitiendo de esta forma la difusión de la sal hacia el interior de la masa muscular (Díaz, 2014), como consecuencia de mecanismos osmóticos y de difusión (Gómez, 2012).

Sin embargo, este proceso es muy lento y la distribución de sal en el producto es heterogénea. Además, se pueden producir oxidaciones en la carne debido al contacto directo con la sal y el aire (Díaz, 2014). Una alternativa al salado en seco es la utilización de salmueras que pueden suponer una reducción del tiempo de proceso (Fito *et al.*, 2001) debido a la pre-solubilización de la sal (Albarracín, 2009).

### **1.2. Salado en salmuera**

El salado en salmuera se denomina comúnmente salado por vía húmeda y consiste en sumergir la pieza de carne en una disolución de sal y agua. Durante esta operación, tiene lugar la transferencia de sal y de agua entre la salmuera y la carne (Gómez, 2012), consecuencia de la necesidad de alcanzar un equilibrio entre la concentración de sal en el interior de la carne y la solución de salmuera externa (Villacís, *et al.*, 2008). La velocidad de transferencia de masa va a depender de la concentración de sal en la salmuera. Así, cuanto mayor sea el gradiente de concentración, mayor será la velocidad de transferencia. Es por este motivo, que generalmente en la industria se utilizan salmueras saturadas (Ozuna, 2011).

Sin embargo, el uso de salmueras saturadas puede hacer que la carne adquiera un contenido de sal excesivo e incluso dar lugar a carnes con quemaduras (Gómez, 2012) y, por tanto, carnes de menor calidad.

Por otro lado, la concentración de sal en el producto final no viene determinada solamente por la concentración de sal en la salmuera, sino también por la dirección de transporte de agua en relación con las fibras de la carne (Ozuna *et al.*, 2013). Por lo tanto, el corte de las piezas puede afectar al proceso de salado.

Al igual que en el salado en seco, es de especial importancia mantener una temperatura baja (entre 2-5°C) durante el proceso de salado para evitar el crecimiento de microorganismos.

## **2. OBJETIVOS**

El presente trabajo tiene como objetivo general el establecer una visión actual de las tecnologías alternativas para mejorar y optimizar la transferencia de masa durante el proceso de salado en productos cárnicos. Este objetivo se completa con la evaluación mediante un estudio experimental preliminar de la evolución del perfil de distribución de sal tras la inyección de salmuera en carne.

### 3. SALADO APLICANDO TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

En las últimas décadas, la investigación, la mejor comprensión de la operación de salado y su industrialización ha hecho posible el desarrollo de un proceso controlado y seguro. Sin embargo, los métodos convencionales de salado por vía seca o húmeda requieren largos tiempos de operación. Es por ello, que se están buscando alternativas que aumenten la velocidad de difusión de la sal en carnes, causando un mínimo impacto en la calidad del producto (Ozuna *et al.*, 2014). En este sentido, se está investigando la introducción de tecnologías como la impregnación al vacío (Chiralt *et al.*, 2001), la aplicación de ultrasonidos (Cárcel *et al.*, 2007) o los campos eléctricos moderados (Simpson *et al.*, 2018), entre otros, para reducir los tiempos de tratamiento.

#### 3.1. Inyección de la salmuera

Una de las técnicas para disminuir el tiempo de salado y que actualmente está totalmente implementada en la industria alimentaria, es el salado por inyección de salmuera, utilizado especialmente en productos cárnicos y de pesca (Albarracín, 2009).

Esta técnica se basa en inyectar en el interior de la matriz cárnica una solución salina de forma continua y a presión mediante múltiples agujas. Una vez en el interior de la matriz se produce la migración de la sal desde el punto donde se inyecta la salmuera hacia el resto del tejido por diferencia de concentraciones (Olivares, 2018).

La aplicación de esta técnica busca aumentar la rapidez y uniformidad en la distribución de la sal respecto a los métodos tradicionales, obtener unas buenas características organolépticas, así como garantizar la seguridad microbiológica del alimento (Uttaro *et al.*, 2011).

Los equipos de salado por inyección de salmuera que se utilizan en la industria alimentaria son variados y numerosos, aunque todos siguen un mismo mecanismo de actuación. Así, una cinta transportadora lleva la carne hasta donde se encuentra el sistema de inyección con agujas. En el momento en el que la pieza está situada en la localización adecuada, las agujas descienden e inyectan la salmuera almacenada en un tanque. Con ayuda de una bomba, se aplica la presión necesaria para la inyección y una válvula controla la cantidad de salmuera a suministrar. El equipo deja de inyectar salmuera en el momento en el que las agujas empiezan a elevarse para evitar la entrada de aire en éstas

y como consecuencia, la inyección de ese aire a la siguiente porción de carne (Uttaro *et al.*, 2011).

Estos equipos están controlados principalmente por tres factores, que varían según el tipo de carne que se esté salando y de sus características (Uttaro y Aalhus, 2007):

- La presión con la que la salmuera es introducida, ya que tiene que ser lo suficientemente alta como para superar la presión de resistencia que ejerce la carne alrededor de las agujas. Comúnmente, la presión utilizada para la inyección de salmuera en carne es de 150-350 kPa. Algunos autores han observado que la presión a la que se inyecta la salmuera no influye en la distribución de la sal y que es posible inyectar a presiones inferiores (Uttaro *et al.*, 2011).
- El tiempo de permanencia de las agujas en la carne ya que, cuanto mayor sea, menor deberá ser la presión del flujo para introducir la misma cantidad de salmuera.
- La velocidad de la cinta transportadora, ya que determina la proximidad de los sitios de inyección entre sí.

Con lo comentado anteriormente, diferentes estudios realizados en carne de ternera han evidenciado que el flujo de salmuera se puede producir a bajas presiones. Uttaro y Aalhus (2007) observaron que se produce un mayor flujo de salmuera cuando la inyección tiene lugar en paralelo que en perpendicular a las fibras del músculo. Además, autores como Uttaro *et al.*, (2011) sugieren que son las fuerzas capilares las que determinan el flujo de la salmuera en lugar de la presión aplicada, y que la sal se distribuye por acción capilar en los mismos canales a través de los cuales fluye el agua que se pierde por goteo.

Generalmente, para aumentar el rendimiento, esta técnica se combina con un tratamiento físico, que consiste en masajear o golpear la carne para que exista una mejor distribución de la salmuera inyectada en todo el tejido (Olivares, 2018).

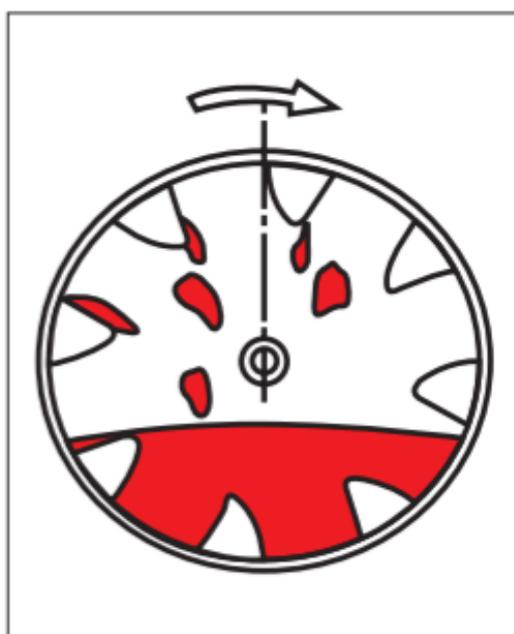
Esta técnica de salado tiene un gran impacto sobre la calidad del producto final (Pioselli *et al.*, 2011), pues el exceso de inyecciones puede dañar la estructura de la carne debido a las agujas (Jayasooriya *et al.*, 2007) y el posterior tratamiento físico del masajeado puede afectar a la textura y al color del alimento. Así pues, el aspecto visual del producto final puede provocar en algunos casos el rechazo por parte de los consumidores (Olivares, 2018).

### 3.2. Masajeado

El masajeado o tumbling es una técnica mecánica utilizada en la industria alimentaria aplicada normalmente tras la inyección de salmuera y que permite una mejor distribución de ésta en el interior de la matriz (McDonnell *et al.*, 2014c).

Para ello, se utilizan tambores rotatorios en los que se introduce la carne. Estos tambores giran y levantan las piezas de carne hasta una altura determinada para, posteriormente, caer sobre la masa del resto de carne que se encuentra en el fondo del contenedor, como se muestra en la Figura 1, produciendo así una mejora en la distribución de la salmuera (Schmidt, 1984). Durante el tratamiento, la energía cinética que se ejerce sobre la carne produce la rotura de células, una pérdida de la estructura muscular, un aumento en la permeabilidad de las membranas celulares y un aumento en la movilidad de las proteínas (Dolata *et al.*, 2004). Esta disrupción celular del tejido de la carne (Siró *et al.*, 2009) permite una mejor y mayor distribución de la salmuera introducida por inyección, facilitando el acceso de la sal al tejido muscular. Además, aumenta la capacidad de retención de agua y mejora la capacidad de unión de la carne, consiguiendo carnes más tiernas y con mejores características organolépticas (Dolata *et al.*, 2004).

Sin embargo, Sharedeh *et al.*, (2015) sugieren que la disrupción celular del tejido muscular no es el principal factor de la migración de sal en la matriz de la carne, sino que hay otros factores, como el movimiento del agua debido a la deformación de la carne, que deberían tenerse en cuenta.



**Figura 1.** Ilustración de un tambor de masajeado (Xargayó, 2010)

En cuanto al tamaño de los tambores, Dolata *et al.*, (2004) y Sharedeh *et al.*, (2015) observaron una mayor homogeneidad en la distribución de sal en la carne al utilizar tambores de mayor tamaño. Esto indica la importancia del control del proceso. Así, para obtener un masajeo eficaz, es necesario controlar los siguientes parámetros (Xargayó, 2010):

- Velocidad de giro. Velocidades elevadas producen una mayor solubilización de las proteínas, pero a su vez, también una mayor rotura de los músculos. Es por ello, que es necesario encontrar un punto de equilibrio para cada producto.
- Tiempo de aplicación. Los efectos en la carne se incrementan con el tiempo de procesado. Sin embargo, si el tiempo de masajeo es excesivo, los efectos pueden ser contrarios a los deseados.
- Temperatura. El propio efecto mecánico sobre la carne hace que aumente su temperatura. Si ésta no se controla, puede haber riesgo de contaminación bacteriana.
- Tipo de proceso utilizado. En este aspecto, hay estudios que aconsejan utilizar un masajeo continuo (Gillett *et al.*, 1982), mientras que otros sugieren utilizar un masajeo intermitente (Ockerman y Organisciak, 1978). Entre las ventajas de utilizar uno u otro proceso se encuentra (Gao *et al.*, 2015):
  - Masajeo Intermitente. Se utiliza para obtener un equilibrio entre el tiempo óptimo de masajeo y el tiempo de migración de la salmuera.
  - Masajeo Continuo. Evita de manera efectiva el encogimiento intrínseco de las muestras de carne que se produce durante el momento de reposo del proceso intermitente.

Normalmente, los equipos están provistos de un sistema de vacío que permite optimizar el proceso, evitando la oxidación de proteínas y lípidos (Sharedeh *et al.*, 2015), además de aportar estabilidad en el color del producto (Hayes *et al.*, 2007).

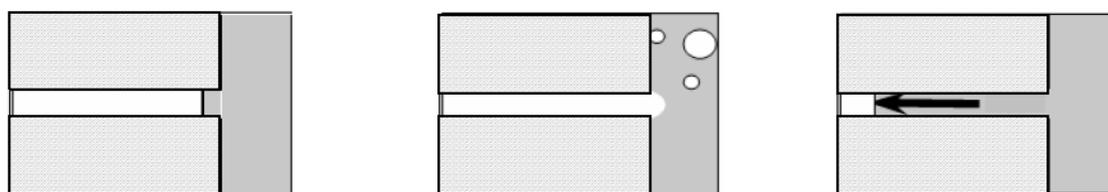
### **3.3. Impregnación de salmuera mediante pulsos de vacío**

El salado por vía húmeda puede verse mejorado con la aplicación de pulsos de vacío. La técnica se basa en someter el producto a diferentes presiones, alternando entre presión atmosférica, aplicación de vacío y recuperación de la presión atmosférica de nuevo. Estas fluctuaciones de presión facilitan la difusión

de la salmuera hacia el interior del alimento debido a la deformación mecánica, la dinámica del fluido y la fuerza capilar (Wang *et al.*, 2016).

La impregnación del alimento con la salmuera se produce debido a la acción del mecanismo hidrodinámico que resulta de los gradientes de presión entre el vacío y la presión atmosférica (Figuroa, 2019). Este mecanismo consta de dos fases (Figura 2):

1. Cuando el sistema se somete a vacío, la estructura muscular aumenta en volumen (Fito *et al.*, 1996) debido a que el aire ocluido en el interior del tejido se expande, y sale del producto a través de los poros (Deumier *et al.*, 2003a). Una vez se alcanza el equilibrio de presiones en el sistema, una parte de salmuera penetra en los poros por acción de la fuerza capilar (Schmidt *et al.*, 2008).
2. Cuando se reestablece la presión atmosférica, el gas residual presente en el interior de la muestra se comprime, permitiendo la impregnación de los poros del producto con la salmuera (Schmidt *et al.*, 2008), lo que acelera la migración de sal hacia el interior y promueve una distribución más homogénea (Wang *et al.*, 2016).



**Figura 2.** Efecto del mecanismo hidrodinámico durante la aplicación de pulso de vacío en el proceso de salado (Albarracín, 2009)

La impregnación a vacío se ha utilizado en frutas y verduras como una técnica no destructiva para la introducción de una solución con compuestos de interés en esas matrices. De esta manera, se pueden modificar las propiedades fisicoquímicas del producto, como reducir el pH y la actividad del agua, o sus características sensoriales como mejorar la textura, color, sabor o aroma, entre otros (Radziejewska-Kubzdela *et al.*, 2014).

La efectividad de los pulsos de vacío depende de la porosidad y de las propiedades viscoelásticas del alimento para resistir los gradientes de presión (Andrés *et al.*, 2005). Es por ello por lo que esta técnica se utiliza generalmente en productos vegetales, debido a la porosidad que éstos presentan, mucho más alta que los productos cárnicos. Sin embargo, ha crecido el interés por la

utilización de esta técnica para el salado de quesos, jamones, pescados o carnes de aves de corral (Cheng y Sun, 2006). Así, Deumier *et al.*, (2003b) demostraron que la transferencia de masa en el tratamiento de pechuga de pavo mejora al utilizar un periodo largo de vacío seguido de un periodo corto a presión atmosférica. En el salado de quesos, Chiralt y Fito (1997) observaron la aceleración del proceso y una distribución más uniforme de la sal. En el caso de la carne, Fito *et al.*, (2001) informaron que la ganancia de sal en jamón se debe a la capilaridad promovida por las bajas presiones y, por tanto, que la aplicación al principio de pulsos de vacío durante un periodo corto de tiempo es menos efectiva que si se aplica vacío de forma continua.

Por tanto, diversos estudios coinciden en que la utilización de esta técnica permite obtener productos salados, más uniformes y menos deshidratados, que aquellos que son salados a presión atmosférica. Para obtener un mayor rendimiento, esta técnica puede aplicarse utilizando varios ciclos de vacío, y se puede aplicar combinándola con un masajeado, lo que reduciría los tiempos de proceso.

### 3.4. Altas presiones

El procesado con altas presiones (HPP, High Pressure Processing) es una tecnología emergente que ha tenido un gran impacto en la industria alimentaria, especialmente en la industria cárnica como método de conservación. En este sentido, esta tecnología tiene como principal ventaja el ser un tratamiento físico y no químico (Guignon, 2011). De hecho, el proceso de altas presiones también es conocido como pasteurización en frío ya que permite inactivar microorganismos patógenos sin utilizar altas temperaturas, garantizando la seguridad microbiológica y aumentando la vida útil del producto. Además, los sabores, aromas, vitaminas y colores (Pradas y Moreno, 2016) se mantienen mejor que en el caso de los tratamientos térmicos tradicionales (Holmgaard Bak *et al.*, 2012).

El proceso consiste en colocar el alimento, previamente envasado al vacío, en la vasija del equipo. Ésta está constituida por paredes metálicas gruesas capaces de soportar la presión. Tras el cierre, la vasija se llena con agua, que será la encargada de transmitir la presión al alimento. Posteriormente, se cierra la válvula de purga y por medio de una bomba hidráulica se genera la presión. Una vez alcanzada la presión deseada, se mantiene un tiempo, que normalmente oscila entre 1 y 15 minutos. Y finalmente, se reduce la presión para sacar el producto tratado (Guignon, 2011), como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Esquema de funcionamiento de un tratamiento de HPP en un producto envasado (Pradas y Moreno, 2016).

Esta tecnología se basa en dos principios:

- El principio isostático o teorema de Pascal: Este principio establece que, en un líquido, cualquier presión ejercida se transmite a través de él de forma constante y uniforme en todas las direcciones (Guignon, 2011) y, por tanto, en todos los puntos del producto, independientemente del volumen y geometría. De esta manera, se evita la deformación y la aparición de zonas sobretreatadas (Pradas y Moreno, 2016).
- El teorema de Le Châtelier: Este principio postula que, cualquier cambio en la presión, concentración o temperatura desplazará la posición de equilibrio para contrarrestar este cambio. En este caso, la perturbación en un aumento de la presión conlleva una reducción del volumen. Por tanto, se favorecerán aquellas reacciones que impliquen una reducción del volumen y se inhibirán las que lo aumenten (Guignon, 2011).

Hay estudios que indican que una aplicación moderada de presión aumenta la difusión de componentes en los alimentos. Por ejemplo, Rastogi y Raghvarao (2004) observaron que un pretratamiento con presiones aumentaba la velocidad de difusión de agua y solutos durante la deshidratación osmótica en piña. De igual forma, Ahromrit *et al.*, (2006) evidenciaron un aumento de absorción de agua en arroz al realizar un pretratamiento con altas presiones. Sin embargo, otros estudios no han encontrado un aumento significativo de la difusión de sal aplicando HPP en el salado de queso Manchego (Pavia *et al.*, 2000) y Gouda (Messens *et al.*, 1999).

En cuanto al conocimiento de los efectos de la presión sobre la transferencia de masa y estructura de la carne, es limitado (Villacís *et al.*, 2008). Así, Villacís *et al.*, (2008) y Leng *et al.*, (2013) estudiaron los efectos de la aplicación de altas presiones en la transferencia de masa en pechuga de pavo y pechuga de pollo. Para ello, las muestras se sumergieron previamente en salmuera, se envasaron a vacío y se sometieron a presión. En ambos estudios, todas las muestras tratadas con presión presentaron mayor contenido en sal y agua que aquellas que no fueron tratadas. Sin embargo, Cheftel y Culioli (1997) indican que la aplicación de esta tecnología puede provocar un importante efecto negativo sobre el color, probablemente debido a la desnaturalización de las proteínas.

Ambos estudios coinciden en indicar que el contenido de sal y agua varía en función de la presión aplicada:

- A presiones inferiores de 150 MPa, se produce una disminución en la difusión de agua y un aumento en la de sal.
- A presiones entre 150 y 300 MPa, se produce un aumento en la difusión de agua y una disminución en la de sal.

La aplicación de HPP en productos cárnicos, ha sido estudiada principalmente para la desactivación microbiológica, el ablandamiento del tejido y para inducir la gelificación y oxidación de lípidos en carnes. Pero, con lo visto previamente, es posible considerar esta tecnología como una alternativa rápida y segura al salado tradicional. Sin embargo, cabe mencionar que son necesarias futuras investigaciones que estudien más a fondo los efectos de las altas presiones en el salado sobre la transferencia de sal y otros componentes en la carne (Leng *et al.*, 2013).

### **3.5. Salado y descongelado simultáneo en salmuera**

La utilización de carne congelada como materia prima para la elaboración de jamón curado ha ido en aumento en la industria alimentaria debido a las ventajas que esto supone. Por un lado, se facilita tanto su almacenamiento como su transporte desde los mataderos hasta las zonas de procesamiento. Por otro lado, permite la acumulación suficiente de producto para permitir que lotes homogéneos se procesen industrialmente al mismo tiempo (Grau *et al.*, 2008).

Sin embargo, el congelado y posterior descongelado de la carne produce cambios en la estructura muscular que influyen en la difusión del agua y de la sal. Diferentes estudios han evidenciado que el tiempo de salado de productos

descongelados se reduce en comparación con los productos sin congelar, debido a que se produce un aumento en la absorción de sal (Grau *et al.*, 2008).

Es por ello que, también se ha estudiado como alternativa en estos casos, la aplicación simultánea del salado y el descongelado (Barat *et al.*, 2006). Así, esta técnica consiste en congelar el producto hasta alcanzar una temperatura de -18/ -20°C para su almacenamiento. Posteriormente, cuando las necesidades de fabricación lo indiquen, se descongela el alimento introduciéndolo en una salmuera saturada a temperatura controlada de refrigeración para evitar el crecimiento de microorganismos durante el proceso. Así, Barat *et al.*, (2006) aplicando esta técnica en el proceso de salado para la fabricación de jamón curado, obtuvieron una reducción de los tiempos de proceso de más de la mitad respecto al método tradicional de salado en seco. La aceptación sensorial por parte de los consumidores puede ser similar al producto convencional (Flores *et al.*, 2006).

También se ha estudiado la aplicación de esta técnica combinándola con la aplicación de pulsos de vacío durante el proceso de descongelado/salado simultáneo. Así, Albarracín (2009) obtuvo una reducción del tiempo de proceso de hasta el 77% con respecto a los tiempos necesarios utilizando el salado tradicional en jamón curado. Probablemente, el mecanismo hidrodinámico generado por el pulso de vacío sea el principal responsable de esta reducción (Albarracín, 2009). Al aplicar una atmósfera de vacío, se facilita la entrada de salmuera en los espacios del tejido periférico, que posteriormente difundirá al interior del alimento. Asimismo, se produce una modificación ligera en los tejidos de la carne debido al pulso de vacío, disminuyendo la resistencia (Grau *et al.*, 2011) y forzando la entrada de salmuera al restablecer la presión atmosférica (Albarracín, 2009).

Por tanto, esta técnica representa una posible alternativa viable para la disminución de los tiempos de salado en jamón curado. En este sentido, podría ser una alternativa también para el procesado de otros alimentos, aunque sería necesario la realización de estudios más específicos.

### **3.6. Ultrasonidos**

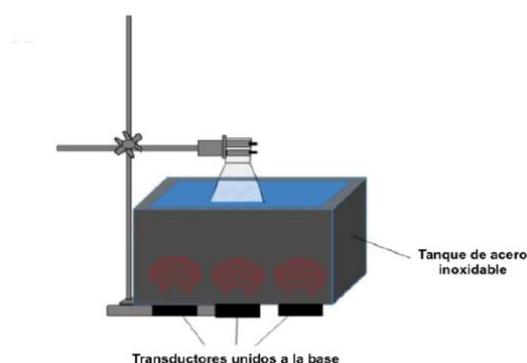
Los ultrasonidos son ondas mecánicas con frecuencias superiores al límite de audición humano, es decir, situadas por encima de 20 kHz. Cuando los ultrasonidos se propagan a través de una estructura biológica, como son los alimentos, se producen compresiones y descompresiones de las partículas permitiendo que una gran cantidad de energía se propague. Dependiendo de la

frecuencia y amplitud de la onda de sonido utilizada, se pueden observar una gran variedad de efectos físicos, químicos y bioquímicos (Dolatowski *et al.*, 2007), que dan lugar a las diferentes aplicaciones de los ultrasonidos en la industria alimentaria. Así, se pueden encontrar aplicaciones de los ultrasonidos en los alimentos para inactivar microorganismos y enzimas con un mínimo impacto en la calidad del producto (Delgado, 2012), deshidratación osmótica, extracción de nutrientes u homogeneización, entre otras.

En general, la aplicación de ultrasonidos permite disminuir los tiempos de proceso con respecto a los métodos convencionales (Chemat *et al.*, 2011) y acelerar la transferencia de masa en tratamientos con soluciones hipertónicas en diferentes alimentos (Cárcel *et al.*, 2007) como manzana, queso o carne (McDonnell *et al.*, 2014d).

Entre los equipos utilizados para aplicar ultrasonidos en medios líquidos destacan los baños de ultrasonidos por su versatilidad, precio y robustez. Consisten en un recipiente de acero inoxidable, en cuya base se encuentran acoplados una matriz de transductores. Éstos generan una vibración que se transmite a la carcasa del baño y, a su vez, al líquido de dentro del recipiente, en el seno del cual, está el alimento a tratar (Figura 4).

En medios líquidos, también pueden utilizarse los sistemas tipo sonda. En este caso, el transductor está acoplado a una sonda que es la encargada de transmitir la vibración al medio líquido (Delgado, 2012).



**Figura 4.** Ilustración de un baño de ultrasonidos (Menor, 2019)

La aplicación de ultrasonidos en un medio líquido produce el efecto de la cavitación. Éste consiste en la generación de microburbujas por causa de la alta intensidad de las ondas de ultrasonidos, que crecen y colapsan, transmitiendo su energía al alimento. Cuando las burbujas implosionan cerca de un alimento sólido, dicha implosión es asimétrica y genera un microchorro que impacta con

la superficie del sólido. Esto puede afectar a la transferencia de masa al alterar la capa límite de difusión (Cárcel *et al.*, 2007) y, si la intensidad es suficiente, producir cierta inyección del líquido en el alimento. Además, la cavitación genera gradientes de temperatura y produce una intensa microagitación en la interfase que permite disminuir el espesor de la capa límite, facilitando el intercambio de materia (McDonnell *et al.*, 2014c).

Además, en el interior de los productos se produce otro efecto importante debido a los cambios estructurales producidos por la contracción y relajación de las miofibrillas. Éste es el denominado “efecto esponja” (Ozuna *et al.*, 2013) que podría contribuir a una mejor distribución de la salmuera dentro del producto (McDonnell *et al.*, 2014c) y a la mejora de la textura y ternura de la carne (Jayasooriya *et al.*, 2007). Diferentes estudios sugieren que los ultrasonidos aplicados a altas intensidades podrían actuar como un sistema de microinyecciones de salmuera durante el salado, incrementando directamente el contenido de sal y agua de las muestras (Ozuna *et al.*, 2013). Además, los ultrasonidos podrían producir un efecto similar al masajeado de la carne tras la inyección de salmuera (McDonnell *et al.*, 2014b). Todos estos efectos pueden contribuir a un aumento en la transferencia de masa (Cárcel *et al.*, 2007). Por este motivo, se está investigando la aplicación de ultrasonidos como alternativa para disminuir los tiempos de salado y curado en carne.

Sin embargo, existen discrepancias entre diferentes autores con respecto a la influencia de los ultrasonidos durante el salado de carne. Así, hay autores que han encontrado efectos en la transferencia de masa aplicando esta tecnología (Cárcel *et al.*, 2007), mientras que otros no encontraron efectos significativos (Paulsen *et al.*, 2001).

La capacidad para que los ultrasonidos generen efectos significativos depende de la frecuencia e intensidad de las ondas de ultrasonidos, de las propiedades del producto y de las condiciones ambientales como la temperatura y presión (Jayasooriya *et al.*, 2007).

Diversos autores han hallado una relación directa entre la intensidad de los ultrasonidos aplicados y los efectos que se producen en el alimento. Así, Cárcel *et al.*, (2007) observaron que la aplicación de ultrasonidos a una intensidad superior de 51 ó 64 W/cm<sup>2</sup> aumenta significativamente el transporte de agua y sal durante el salado de carne. Mientras que Siró *et al.*, (2009) indicaron que la difusión de sal aumenta exponencialmente utilizando un rango de ultrasonidos de entre 2-4 W/cm<sup>2</sup>. Por el contrario, Paulsen *et al.*, (2001) no encontraron efectos significativos de los ultrasonidos sobre la transferencia de masa durante el salado de carne.

Cárcel *et al.*, (2007) afirman la existencia de un umbral en la intensidad de ultrasonidos. Así pues, si la intensidad de ultrasonidos aplicada en el sistema supera este umbral, se observa un incremento significativo en la transferencia de masa. En cambio, si la intensidad aplicada es inferior, no podrá observarse este efecto. Es por ello, que las discrepancias entre los diferentes autores pueden deberse a la aplicación de una intensidad de ultrasonidos superior o no a dicho umbral.

De esto se deduce que la intensidad de los ultrasonidos a aplicar sobre un producto cárnico debe de elegirse con mucho cuidado. Una intensidad baja puede no producir efectos y una intensidad excesivamente alta puede dar como resultado la desnaturalización de las proteínas y, por tanto, una pérdida en la calidad del producto (Siró *et al.* 2009).

En todo caso, los ultrasonidos son una posible alternativa para disminuir los tiempos de proceso y mejorar la distribución de sal durante el salado de productos cárnicos. Sin embargo, es necesario estudiar los efectos de los ultrasonidos sobre la calidad de la carne en aspectos tecnológicos y sensoriales (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019). Asimismo, será necesario estimar la rentabilidad de aplicar esta tecnología a nivel industrial (McDonnell *et al.*, 2014d).

### 3.7. Campos eléctricos

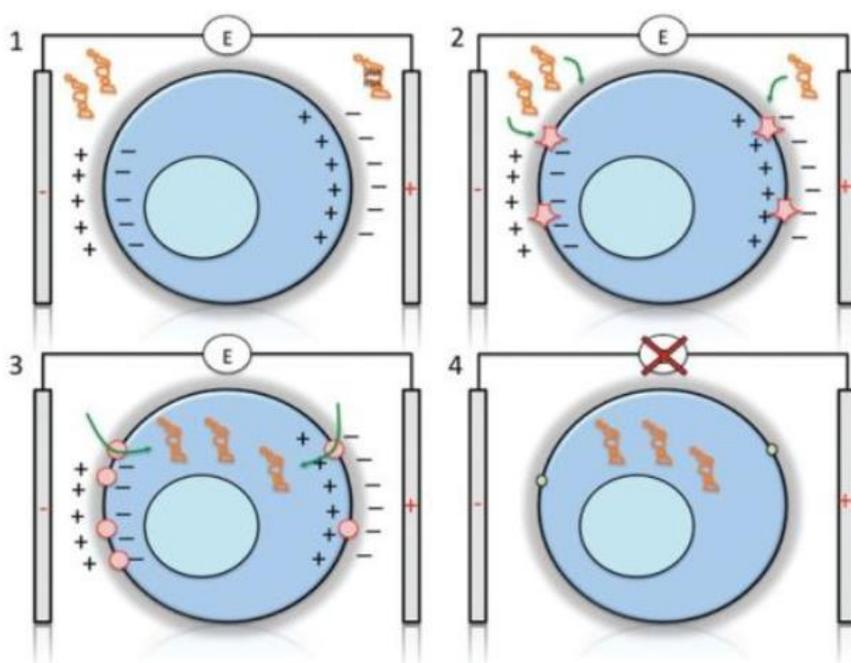
La industria alimentaria ha implementado la utilización de campos eléctricos en numerosas aplicaciones que incluyen la deshidratación, evaporación (Simpson *et al.*, 2018) o una alternativa a la pasteurización y esterilización (Porrás-Parral *et al.*, 2011).

La aplicación de campos eléctricos es una tecnología no térmica. Su uso se basa en producir el efecto de la electroporación (Olivares, 2018). Ésta se describe como la formación de poros en la membrana celular causada por la aplicación externa de un campo eléctrico, lo cual aumenta la conductividad eléctrica y la permeabilidad de la membrana celular (Simpson *et al.*, 2018). Por lo tanto, la electroporación podría contribuir a un mejor transporte de sal y agua dentro de las matrices alimentarias.

El proceso de tratamiento con campos eléctricos se puede dividir en 4 etapas (Olivares, 2018), representado en la Figura 5:

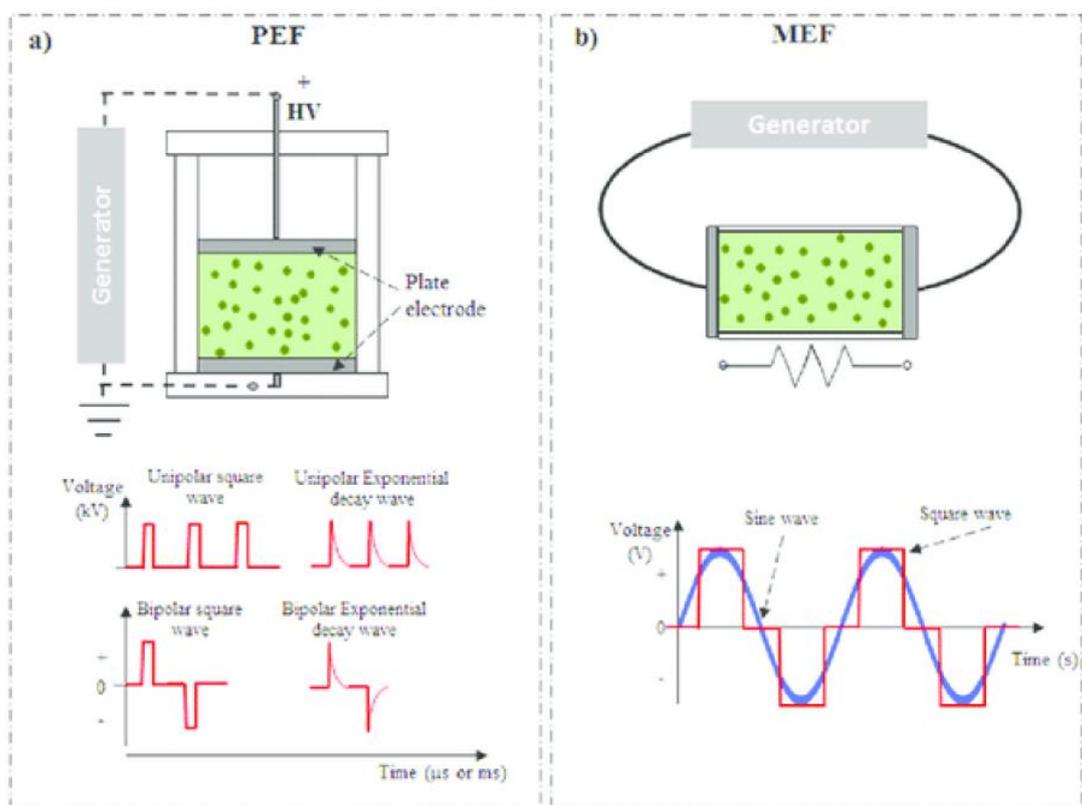
1. El producto se sumerge en una salmuera, donde todos los iones se encuentran en reposo.

2. Se le aplica el campo eléctrico, lo que provoca la polarización de los iones y la desestabilización de la bicapa fosfolipídica de las células. Esto hace que se formen poros (electroporación).
3. A través de los poros se produce la entrada o salida de solutos y/o agua.
4. Cuando cesa el paso de la corriente, los iones vuelven a su estado natural. Dependiendo de la intensidad del tratamiento, el poro puede restablecerse o quedar de manera permanente.



**Figura 5.** Efecto del campo eléctrico en las células (Olivares, 2018).

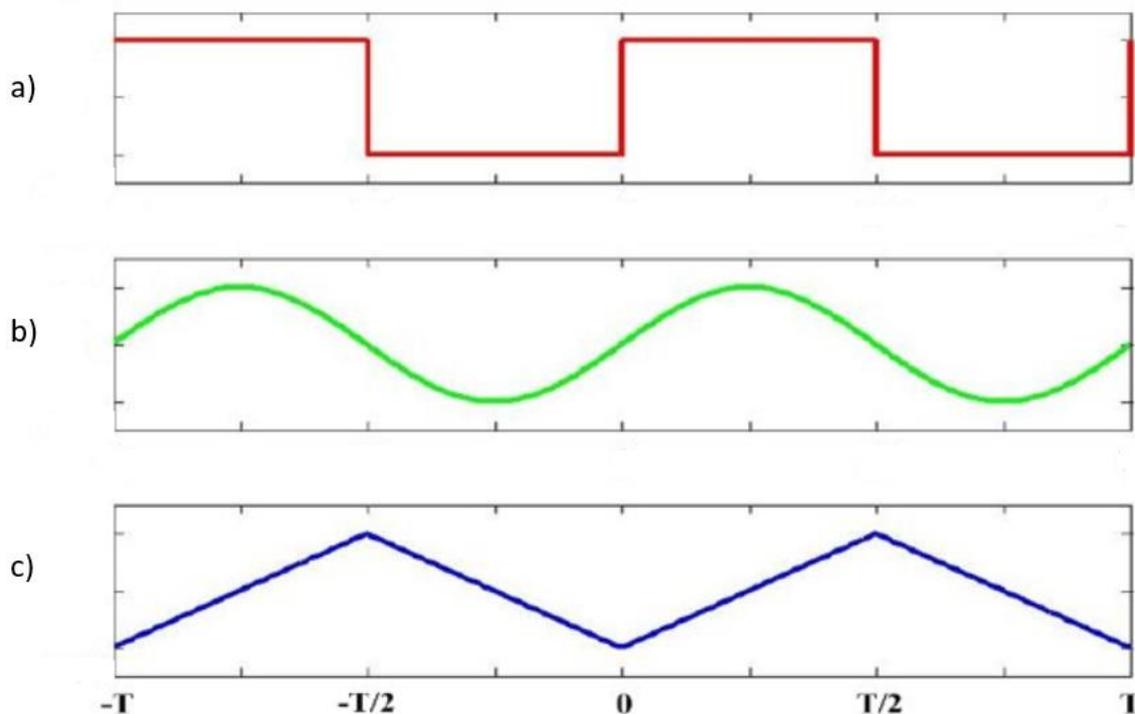
Entre las tecnologías emergentes más destacadas que utilizan campos eléctricos se encuentran los campos eléctricos pulsados (PEF) y los campos eléctricos moderados (MEF).



**Figura 6.** Distintas técnicas que incluyen la aplicación de corriente eléctrica (Olivares, 2018).

### 3.7.1. MEF: Campos eléctricos moderados

Los campos eléctricos moderados (MEF, Moderate Electric Fields) se definen como un proceso de permeabilización controlado, y reversible en muchos casos, que se caracteriza por el uso de campos eléctricos alternos, con una intensidad de entre 1 a 100 V/cm, con o sin efectos de calentamiento óhmico (Simpson *et al.*, 2018). Los campos eléctricos moderados se pueden aplicar con diferentes formas de onda (Figura 7) como, por ejemplo: sinusoidal, triangular o cuadrada (Lyng, 2019).



**Figura 7.** Forma de onda arbitraria en MEF: a) onda cuadrada, b) onda sinusoidal, c) onda triangular (Liang *et al.*, 2012)

El calentamiento óhmico es el aumento de la temperatura en el interior del alimento que se produce debido a la resistencia que ofrece el propio alimento cuando se hace pasar una corriente eléctrica (Olivares, 2018). Este aumento de la temperatura puede ocasionar una pérdida de nutrientes termosensibles, lo que modificaría las características nutricionales del alimento. Generalmente, el calor que se produce se puede eliminar del sistema con baños de agua o equipos similares para mantener una temperatura constante durante todo el proceso (Porrás-Parral *et al.*, 2011).

Estudios realizados en patatas, apio, castañas o champiñones han demostrado que la aplicación de MEF mejora la transferencia de masa en estos alimentos (Simpson *et al.*, 2018). También se ha demostrado que aumenta el rendimiento de procesos de extracción y difusión en otros tejidos vegetales. Sin embargo, aunque hay varios estudios, el efecto de la aplicación de los MEF en carne aún no se ha estudiado en detalle (Rinella, 2014).

Así, Hong *et al.*, (2012) aplicaron un tratamiento de descongelado en carne de cerdo utilizando MEF (60 Hz ~ 2,5-3,8 V/cm). Estos autores observaron que

el producto tratado adquirió un mayor contenido en sal que aquellas muestras que se descongelaron por inmersión a altas temperaturas.

Asimismo, los resultados obtenidos por [Simpson \*et al.\*, \(2018\)](#) en salmón confirman que el efecto de la electroporación por acción de los MEF (60 Hz ~ 2 V/cm) hacen que aumente el flujo de la solución osmótica hacia el interior del tejido del alimento. Esto permite la disminución de los tiempos de proceso en comparación con el salado tradicional en salmuera. Sin embargo, el coeficiente de difusión obtenido aplicando un modelo difusivo basado en la ley de Fick no mostró diferencias significativas al aplicar esta tecnología. Esto podría indicar que el tratamiento con MEF pudo ayudar a alcanzar el equilibrio osmótico en el sistema sin afectar a los mecanismos de transferencia de masa.

Lo mismo ocurrió en el estudio realizado por [Rinella \(2014\)](#) al aplicar MEF a carne de cerdo, pues no se encontraron diferencias significativas en el coeficiente de difusión de sal. En este estudio se sugiere que el análisis de difusión del agua y sal en un sistema tan complejo como es la carne, se utilice un modelo matemático no basado en la ley de Fick.

Así pues, la aplicación de MEF para mejorar la transferencia de masa es posible en productos vegetales. Mientras que, en el caso de los productos cárnicos, son necesarios más estudios para cuantificar los efectos y la influencia de estos procesos ([Rinella, 2014](#)).

### **3.7.2. PEF: Campos eléctricos pulsados**

El tratamiento con campos eléctricos pulsados (PEF, Pulsed Electric Field) consiste en aplicar pulsos de alto voltaje durante un periodo corto de tiempo (rango de micro a milisegundos) sobre un alimento situado entre dos electrodos ([Gómez \*et al.\*, 2019](#)). La diferencia de potencial entre los dos electrodos genera un campo eléctrico cuya intensidad va a depender del voltaje aplicado y de la separación de los electrodos ([Menor, 2019](#)). La intensidad de los campos eléctricos aplicados para PEF, generalmente, se sitúa entre 100 V/cm y 100 kV/cm ([Schoenbach \*et al.\*, 1997](#)).

Aunque los PEF se consideran una tecnología no térmica, puede haber un ligero aumento de la temperatura debido al tratamiento con alto voltaje. En algunos casos, este aumento de la temperatura podría afectar ligeramente a compuestos termosensibles, y generar modificaciones en las características organolépticas como el color, sabor o aromas ([Gómez \*et al.\*, 2019](#)). Sin embargo, dado que el tratamiento se aplica durante un periodo de tiempo muy corto, el aumento de temperatura no suele ser significativo.

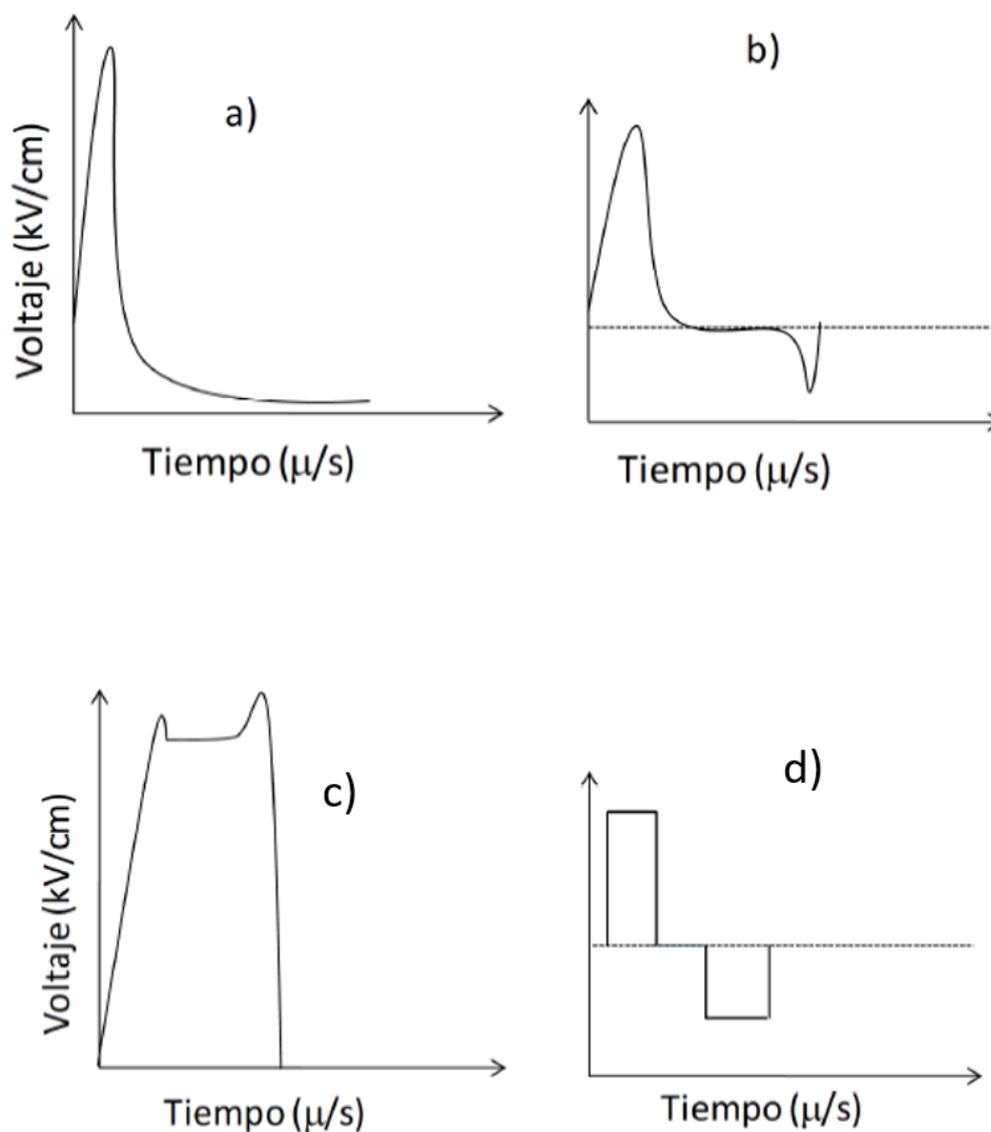
La aplicación de PEF en los alimentos puede producir la electroporación, que aumenta la conductividad eléctrica y la permeabilidad de las membranas celulares. En el caso de los PEF se describen dos tipos de electroporación (Gómez *et al.*, 2019):

1. El comentado anteriormente para los tratamientos con MEF, donde los poros se forman al aplicar externamente un campo eléctrico con suficiente intensidad que hace que aumente la permeabilidad de las células debido a la modificación de las membranas fosfolípídicas de las mismas.
2. Cuando se supera un límite de intensidad, entre 1-10 kV/cm dependiendo del tipo de célula, la fuerza electrocompresiva produce una rotura dieléctrica local de la membrana formando el poro, tanto por un aumento de los ya existentes o por la generación de nuevos.

La electroporación, dependiendo de las condiciones a las que se somete el alimento, puede ser reversible, donde los poros generados pueden volver a cerrarse recuperándose la estructura celular original, o permanente, lo que conducirá a la muerte celular (Schoenbach *et al.*, 1997).

El efecto que se produce en el alimento depende de los parámetros propios del PEF aplicado (amplitud de pulso, duración y número) así como de las características de las células a las que se les aplica (forma, tamaño y membrana celular) (McDonnell *et al.*, 2014a).

Los componentes básicos de un equipo de PEF consisten en un generador de pulso eléctrico, la cámara donde se sitúa el alimento, electrodos, correctamente diseñados para evitar el efecto de la electrólisis, y un sistema para el control y la adquisición de datos. Los pulsos eléctricos se pueden aplicar con diferentes formas de señal (Figura 8), incluyendo pulsos de caída exponenciales, pulsos de forma cuadrada, oscilatorios, monopolares y bipolares (Gómez *et al.*, 2019).



**Figura 8.** Forma de pulsos eléctricos usados en PEF: a) forma de disminución exponencial monopolar, b) forma de caía exponencial bipolar, c) pulsos cuadrados monopolar y d) pulsos cuadrados bipolar. (Cerón-Carrillo et al., 2010).

Los estudios realizados indican que los pretratamientos con PEF pueden mejorar la transferencia de masa en procesos posteriores de tratamiento con disoluciones hipertónicas en alimentos vegetales, como manzanas, patatas o zanahorias, en comparación con los métodos convencionales (McDonnell et al., 2014a).

Así, Janositz *et al.*, (2011) observaron que el contenido de sal en el interior de unas rodajas de patata al aplicarle un pretratamiento con PEF (1,5 kV/cm ~ 20 pulsos) era superior al que se adquiriría solamente por inmersión en salmuera.

Los estudios de PEF en alimentos cárnicos son escasos pero prometedores. Así, Toepfl y Heinz, (2007) observaron una mejora en la difusión de sal y nitritos en carne de cerdo al aplicar un tratamiento con PEF previo a la inmersión en salmuera.

Asimismo, los resultados obtenidos por McDonnell *et al.*, (2014a) en carne de cerdo mostraron que bajas frecuencias y un alto número de pulsos pueden conducir a una mayor electroporación en las células que mejora la difusión de la sal. Sin embargo, esto puede llevar a un aumento en el tiempo de proceso y, por tanto, a un aumento en los costes. En este estudio, los autores obtuvieron un tratamiento óptimo para la transferencia de masa en este tipo de carne a 1,1 kV/cm, con una frecuencia de 100 Hz y 300 pulsos.

Cabría esperar que la aplicación de PEF a altas intensidades resultara en una mayor permeabilización de las membranas celulares y, por tanto, una mayor difusión. Sin embargo, Toepfl y Heinz (2007) observaron que los tratamientos a altas intensidades facilitaron la formación de un encostramiento externo que actuó como barrera a la transferencia de masa.

Además de la electroporación, hay autores (Alahakoon *et al.*, 2016) que sugieren que los PEF pueden reducir las células musculares aumentando el espacio extracelular y de esta forma, ayudar a la transferencia de masa. Asimismo, sostienen que los PEF causan la fragmentación de las miofibrillas de las células musculares, produciendo su desorganización y degradación de su estructura.

Generalmente, la aplicación de PEF produce un aumento en la interacción entre los ácidos grasos y los fosfolípidos de las membranas celulares con un efecto prooxidante en la carne. Estas interacciones pueden generar compuestos indeseables que pueden desencadenar la aparición de aromas desagradables, reduciendo así la calidad nutricional y características organolépticas (Gómez *et al.*, 2019).

Existen pocas publicaciones respecto al efecto de los PEF sobre el color de la carne y su estabilidad. El efecto en el color al aplicar PEF va a depender del aumento de la temperatura durante el tratamiento: a mayor temperatura, mayor será el impacto en el color debido a la oxidación de la mioglobina (Alahakoon *et al.*, 2016). Sin embargo, los tratamientos realizados por McDonnell *et al.*, (2014a) en carne de cerdo con PEF a 1,1 kV/cm ~ 100Hz ~ 300 pulsos; y

por *Arroyo et al., (2015)* a 1,4 kV/cm ~ 10 Hz ~ 600 pulsos en carne de ternera, coinciden en que el color y su estabilidad no se vieron afectados por la aplicación de los PEF. Estos resultados se pueden deber a las bajas intensidades de campo aplicadas en ambos estudios.

En definitiva, se puede establecer que los PEF podrían utilizarse como pretratamiento en el salado de carne para mejorar la transferencia de masa con un mínimo impacto en la calidad del producto final. Sin embargo, son necesarios futuros estudios para encontrar la combinación óptima de los parámetros del PEF en los diferentes alimentos y realizar un balance de los costes para su aplicación a nivel industrial.

## **4. ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EVOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE SAL EN CARNE**

La idea original del trabajo fue estudiar la influencia de la aplicación de ultrasonidos en la evolución de la distribución de sal en carne de cerdo a la que previamente se le inyectó salmuera.

Sin embargo, la situación provocada por la COVID-19 obligó a suspender la realización de experiencias. Por ello, solo dio tiempo a realizar un estudio preliminar sobre la evolución de la distribución de sal en condiciones experimentales.

### **4.1 Materiales y métodos**

#### **4.1.1 Planificación experimental**

Las experiencias planificadas siguieron el esquema de trabajo que se describe en la Figura 9. Como se puede observar, se incluye la obtención de muestras de tamaño homogéneo a las que se les inyectó salmuera en su centro geométrico. Posteriormente, las muestras se envasaron y se mantuvieron en condiciones controladas de temperatura. A tiempos establecidos, las muestras se cortaron en rodajas y en cada una de estas submuestras se analizó el contenido de agua y sal. De esta manera, se pretendió determinar los perfiles de agua y sal y su evolución con el tiempo.

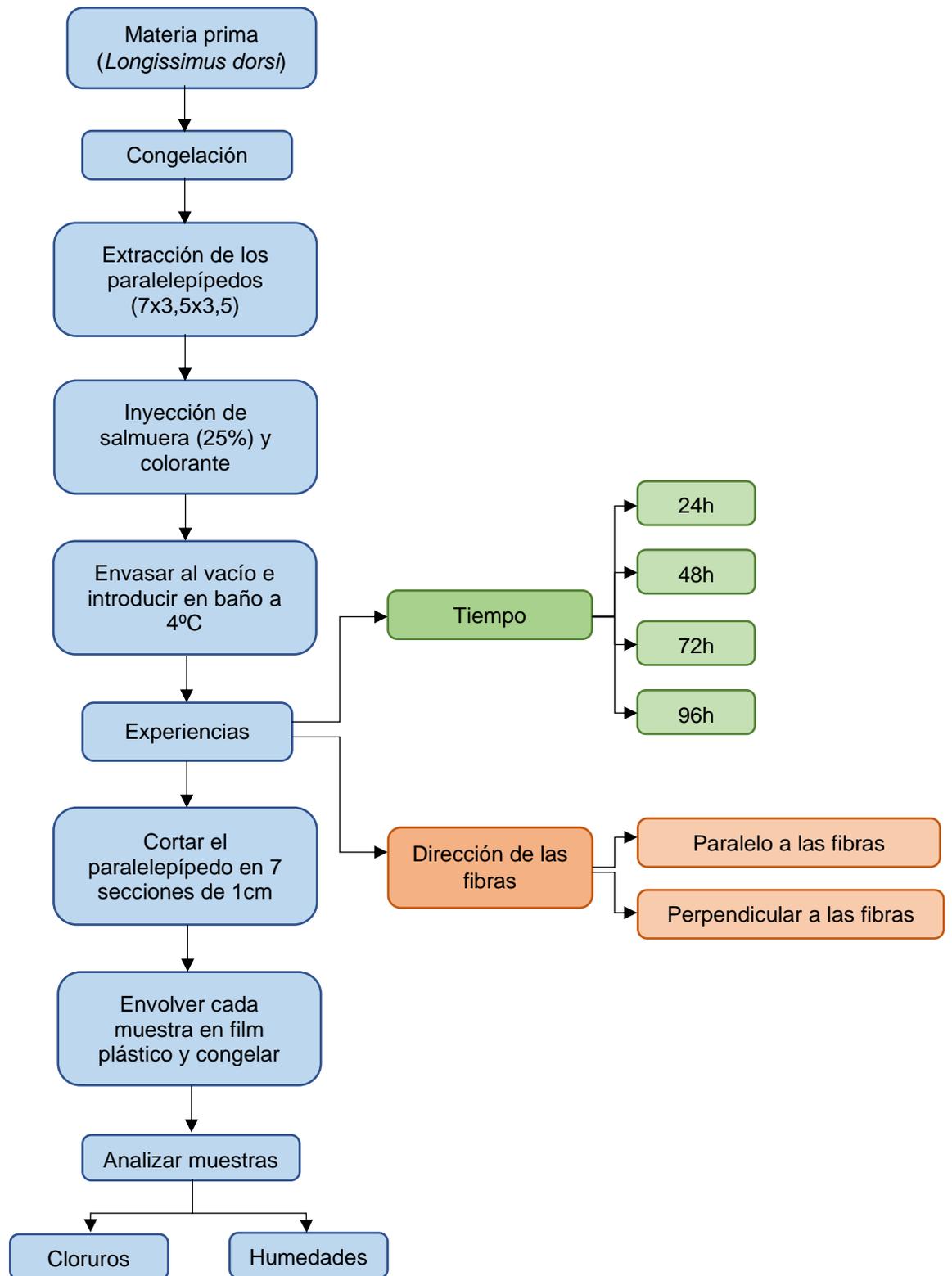
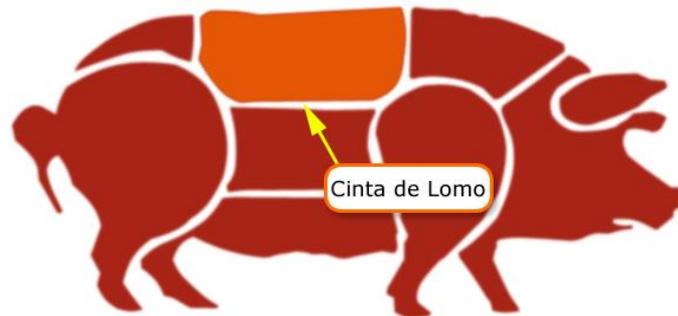


Figura 9. Plan de trabajo.

#### 4.1.2 Materia prima

La materia prima utilizada para la experimentación fue el músculo *Longissimus dorsi* o cinta de lomo de cerdo (Figura 10). Las piezas de lomo se adquirieron en un comercio local en Valencia (España) y se almacenaron en congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta la preparación de las muestras.



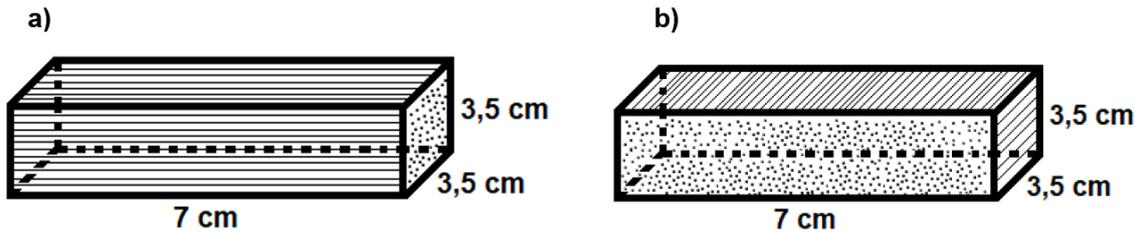
**Figura 10.** Localización de la cinta de lomo en la canal de cerdo.

#### 4.1.3 Preparación de la salmuera para el salado

Se preparó una salmuera con cloruro sódico ( $\text{NaCl}$ ) al 25%. A dicha salmuera se le añadió violeta de metilo, colorante conocido comúnmente como violeta de genciana, para poder observar posteriormente la distribución de la salmuera dentro de la matriz de la carne.

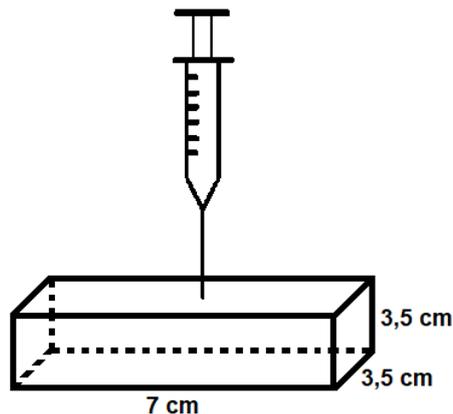
#### 4.1.4 Preparación de las muestras

La materia prima congelada, se mantuvo a  $4^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar la textura óptima para la extracción de las muestras. Para ello, en primer lugar, se eliminó la grasa superficial. Luego, con ayuda de un pie de rey y un cuchillo afilado se extrajeron muestras paralelepípedicas con una dimensión de  $7 \times 3,5 \times 3,5$  cm. Se obtuvieron 2 tipos de muestras en función de la orientación de las fibras musculares en relación a las dimensiones más grandes del paralelepípedo: muestras con fibras paralelas y muestras con fibras perpendiculares (Figura 11).



**Figura 11.** Corte de las muestras: a) con orientación paralela a las fibras del músculo y b) con orientación perpendicular a las fibras del músculo.

A continuación, con una jeringuilla intramuscular de 5 mL, se inyectó a cada una de las muestras 3 mL de salmuera en el centro del paralelepípedo como se indica en la Figura 12. Posteriormente, las muestras se envasaron a vacío. De esta manera, las muestras quedaron aisladas del entorno evitando así la entrada o salida de agua en éstas.



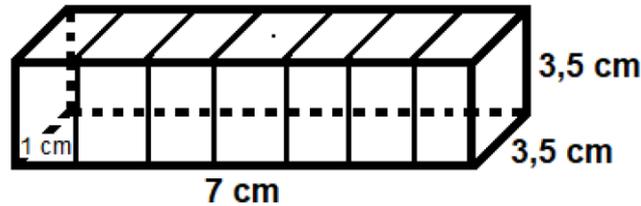
**Figura 12.** Ilustración de la inyección de salmuera en la muestra de carne.

#### 4.1.5 Proceso experimental

Una vez envasadas al vacío, las muestras se introdujeron en un baño de agua con control de temperatura a  $4 \pm 0.1$  °C. Las muestras de los dos tipos estudiados, con orientación en paralelo y con orientación en perpendicular, se fueron extrayendo del baño a diferentes tiempos: 24, 48, 72 y 96 h.

Pasado el tiempo de permanencia en el baño, las muestras paralelepípedicas se extrajeron de la bolsa de vacío y se cortaron en 7 secciones perpendiculares al eje mayor de la muestra de 1 cm de espesor cada una (Figura 13). Posteriormente, se envolvieron individualmente en film plástico para evitar

pérdidas o ganancias de agua y se almacenaron en congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta proceder al análisis del contenido en humedad y cloruros. Dicho contenido de humedad y cloruros en cada sección permitió obtener un perfil aproximado de las concentraciones de estos componentes a lo largo de la muestra original.



**Figura 13.** Ilustración del corte de las muestras de carne en 7 secciones de 1 cm cada una.

## 4.2 Determinaciones analíticas

### 4.2.1 Determinación del contenido en agua

El contenido en agua de cada muestra de carne se determinó a partir del método gravimétrico tras su deshidratación en estufa. Para ello, las muestras se trituraron con ayuda de una picadora. Se depositaron aproximadamente 2 gramos de muestra triturada en una flanera, previamente pesada, con arena y una varilla de vidrio, y se volvió a pesar. Con ayuda de la varilla y etanol se homogeneizó la mezcla. Finalmente, se introdujeron en una estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar peso constante (como mínimo durante un periodo de tiempo de 24h).

El valor de humedad se obtuvo por diferencia de peso (entre el peso inicial y final) y se expresó en base seca. Se realizaron un total de tres repeticiones por cada muestra de carne y se consideró la humedad como la media de las tres repeticiones.

$$\text{Humedad (b.s)} = \frac{M2 - M3}{M3 - M1} \text{ (kg agua/kg muestra seca)}$$

(Ecuación 2)

M1= masa flanera+arena+varilla

M2= masa flanera+arena+varilla+muestra

M3= masa flanera+arena+varilla+muestra seca

#### 4.2.2 Determinación del contenido en cloruro sódico

La determinación del contenido en cloruro sódico en la carne se realizó por triplicado para cada muestra. Para cada réplica, se tomaron aproximadamente 0,5-1 gramos de muestra previamente triturada y se introdujeron en un Erlenmeyer con 100 mL de agua destilada. Seguidamente, se homogeneizó la mezcla con ayuda de un ultraturrax modelo T25 (IKA Labor Technik, Janke & Kunkel GMBH & Co, Staufen, Alemania) equipado con un vástago modelo S25N-18G girando a una velocidad de 9500 r.p.m. durante 5 minutos.

A continuación, la mezcla homogeneizada se hizo pasar por un filtro de papel obteniendo un extracto, en el cual se realizó la medida de la concentración de iones cloruro. Para ello, se empleó un analizador de cloruros (modelo 926, Ciba Corning, Halstead, Essex, Reino Unido). Primeramente, el equipo fue ajustado a cero con una disolución de tampón ácida. Posteriormente, se añadieron 0,5 mL de extracto para su medida. La concentración de cloruros de la muestra fue la media de tres repeticiones en las que la diferencia entre el valor máximo y mínimo fue inferior a 5 mg/L.

Finalmente, la medida se tradujo a concentración de NaCl en la muestra (mg Na/g muestra).

$$C_g = \text{Concentración de Cloruros} = C_1/X_1/10 \text{ (mg Cloruros/ g muestra)}$$

$$\text{Concentración} = C_g + \left(\frac{C_g}{35,453} * 22,99\right) \text{ (mg NaCl/ g muestra)}$$

(Ecuación 3)

$X_1$  = masa de la muestra

$C_1$  = concentración de cloruros (g/L)

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El objetivo del presente trabajo era estudiar la evolución del perfil de distribución de sal y agua en la carne de cerdo con el tiempo y la aplicación de ultrasonidos. Como se ha comentado anteriormente, no se ha podido terminar el trabajo experimental debido a la interrupción de los trabajos presenciales por causa de la crisis provocada por la COVID-19. Por ello, sólo se ha podido realizar un estudio preliminar de la evolución de dicho perfil con solo una repetición por condición ensayada.

### **5.1 Evolución del perfil de sal y humedad**

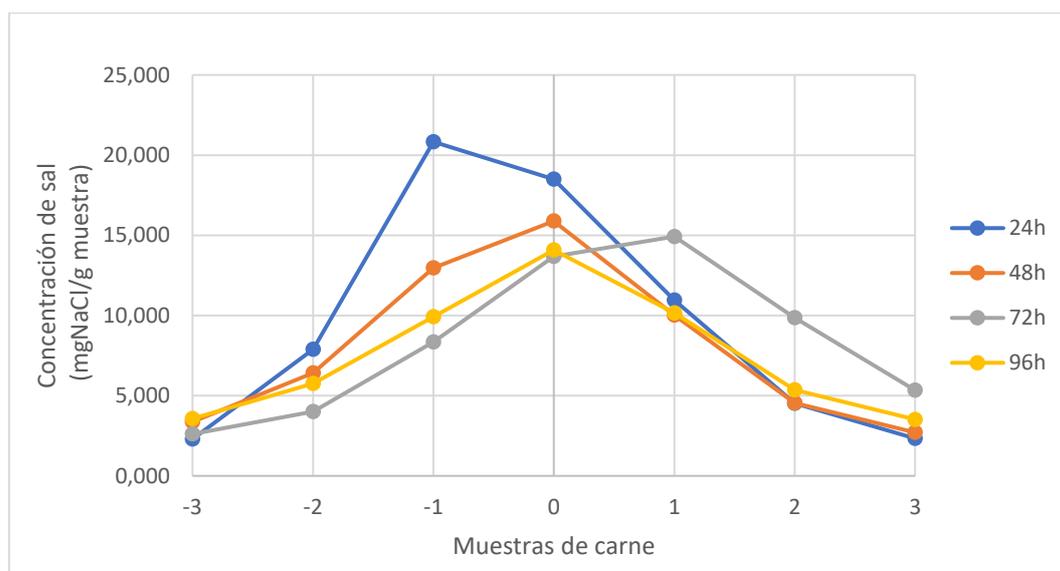
Los resultados obtenidos mostraron que el contenido de humedad de las diferentes secciones de las muestras, a diferentes tiempos después de la inyección de salmuera, resultaron muy similares. Así, todas las muestras tuvieron un contenido de humedad de  $3\pm 0.3$  kg de agua/kg de muestra seca. La cantidad de agua inyectada con la salmuera en estas experiencias fue pequeña con relación al contenido de agua de la carne por lo que no supuso una modificación significativa del contenido de agua.

Respecto a la distribución del contenido de sal, cabría esperar que los perfiles de las muestras con menor tiempo de permanencia en el baño mostraran una mayor concentración de sal cerca del punto de inyección. Conforme estuvieran más tiempo en el baño, las concentraciones de sal se deberían homogeneizar con el resto de las secciones debido a la difusión de sal producidas por los gradientes de concentración.

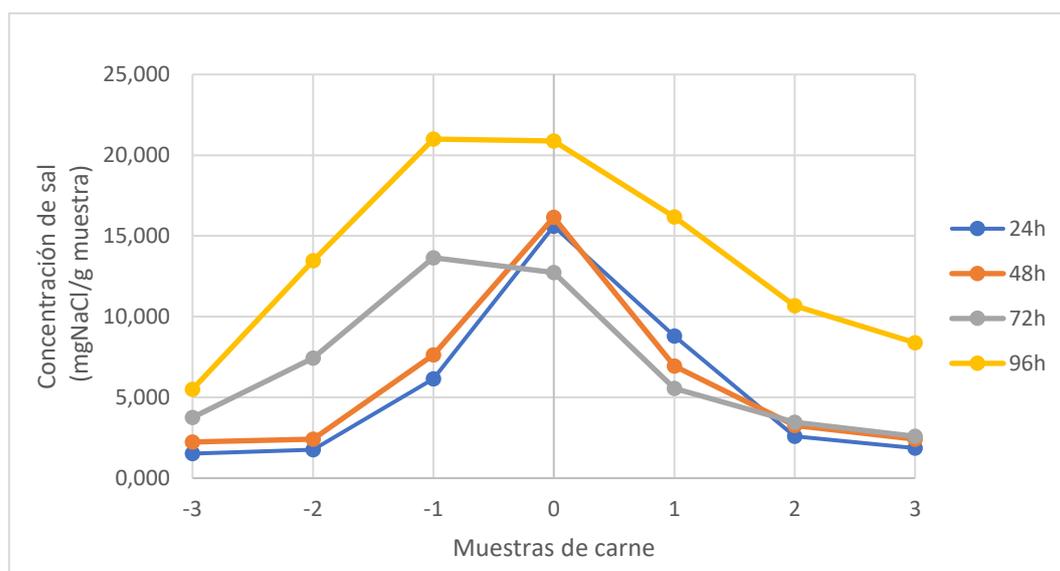
Sin embargo, en todas las muestras de carne analizadas se observaron una mayor concentración de sal en la sección central. Esta concentración disminuyó en secciones más alejadas del punto de inyección. Esta distribución, aunque varió ligeramente, se mantuvo durante los tiempos estudiados. Esto indica que la difusión de sal en el interior de la matriz de la carne es muy lenta a la temperatura estudiada y que los tiempos de permanencia en el baño fueron insuficientes para observar la evolución de los perfiles de distribución. A ello, además, se suma la variabilidad natural de las muestras que no se pudo contrarrestar con repeticiones de las experiencias. Por ello, para futuros estudios se recomienda que los tiempos de permanencia considerados sean superiores a 96h, así como la realización de un mayor número de repeticiones.

## 5.2 Influencia de la dirección de las fibras

En la Figura 14 y en la Figura 15, se muestran la evolución de los perfiles de sal en muestras con las fibras en paralelo y en perpendicular al eje mayor de las muestras, respectivamente.



**Figura 14.** Perfil de distribución de sal a lo largo de las muestras con inyección de salmuera en paralelo a las fibras.



**Figura 15.** Perfil de distribución de sal a lo largo de las muestras con inyección de salmuera en perpendicular a las fibras.

Como se puede observar, los resultados obtenidos no permiten establecer una influencia significativa de la dirección de las fibras en la difusión de la sal ni en la evolución del perfil. Tanto en las muestras con fibras en paralelo al eje mayor como en las muestras con fibras perpendiculares, el mayor contenido en sal se observó en el centro, es decir, en el punto de inyección. Esta concentración disminuye al alejarse de dicho punto. Tampoco se observa una influencia clara del tiempo desde la inyección. Sería necesario realizar más repeticiones de estos ensayos y considerar mayores tiempos para asegurar que estos resultados son indicativos del comportamiento real de la carne.

En todo caso, en un estudio realizado en carne de cerdo y ternera, [Djelveh y Gros \(1998\)](#) no observaron una influencia en el coeficiente de difusión aparente de la sal por la dirección de las fibras musculares hacia los ejes de difusión.

Cabría esperar una mayor difusión de sal desde el centro hacia los laterales y una distribución más uniforme en las muestras de carne con las fibras en paralelo al eje mayor. Sin embargo, en ambas figuras se observa el mismo perfil de distribución de sal para los tiempos estudiados.

Por tanto, según los resultados obtenidos la distribución de sal no se ve afectada por la dirección de las fibras. No obstante, sería necesario realizar un mayor número de repeticiones y aumentar los tiempos de permanencia en el baño para obtener unos resultados concluyentes.

## 6. CONCLUSIÓN

El salado en productos cárnicos es un proceso largo y costoso. Para disminuir los tiempos de proceso, la industria alimentaria ha recurrido a la aplicación de diferentes tecnologías buscando aumentar la velocidad de transferencia de masa en el interior del producto y que la distribución de sal sea uniforme.

Técnicas como la inyección de salmuera o el masajeado ya se están aplicando en la industria cárnica con este fin. Pero se está estudiando la aplicación de otras alternativas, como las altas presiones o los campos eléctricos (PEF y MEF). En todo caso, estas opciones necesitan de mucha investigación que establezca el efecto sobre la calidad de los diferentes alimentos, así como el impacto en el coste.

Por otro lado, el estudio preliminar realizado ha confirmado que la difusión de sal en la matriz cárnica es un proceso muy largo. De hecho, en el periodo de tiempo considerado (96h) no se observaron diferencias en la distribución de sal. Esto indica que los tiempos estudiados fueron insuficientes para una difusión significativa de la sal en la matriz cárnica. Además, resulta imprescindible realizar más repeticiones para obtener resultados concluyentes debido a la elevada variabilidad natural de la muestra.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHROMRIT, A.; LEDWARD, D.A.; NIRANJAN, K. (2006). High pressure induced water uptake characteristics of Thai glutinous rice. *Journal of Food Engineering*, 72 (3): 225-233.
- ALAHAKOON, A.U.; FARIDNIA, F.; BREMER, P.J.; SILCOCK, P.; OEY, I. (2016). Pulsed Electric Fields Effects on Meat Tissue Quality and Functionality, en: *Handbook of Electroporation*. Springer, Cham: 2-21.
- ALARCON-ROJO, A.D.; CARRILLO-LÓPEZ, L.M.; REYES-VILLAGRANA, R.; HUERTA-JIMÉNEZ, M.; GARCIA-GALICIA, I.A. (2019). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 55: 369-382.
- ALBARRACÍN, W. (2009). *Salado y descongelado simultáneo en salmuera para la obtención de jamón curado de cerdo de raza ibérica*. Tesis doctoral en Tecnología de Alimentos. Univ. Politécnica de Valencia. 221pp.
- ANDRÉS, A.; RODRÍGUEZ-BARONA, S.; BARAT, J.M. (2005). Analysis of some cod-desalting process variables. *Journal of Food Engineering*, 70: 67-72.
- ARMENTEROS, M. (2010). *Reducción de sodio en lomo y jamón curados. Efecto sobre la proteólisis y las características sensoriales*. Tesis Doctoral en Tecnología de Alimentos. Univ. Politécnica de Valencia. 268pp.
- ARROYO, C.; LASCORZ, D.; O'DOWD, L.; NOCI, F.; ARIMI, J.; LYNG, J.G. (2015). Effect of Pulsed Electric Field treatments at various stages during conditioning on quality attributes of beef *longissimus thoracis et lumborum* muscle. *Meat Science*, 99: 52-59.
- BARAT, J.M.; GRAU, R.; IBÁÑEZ, J.B.; PAGÁN, M.J.; FLORES, M.; TOLDRÁ, F.; FITO, P. (2006). Accelerated processing of dry-cured ham. Part I. Viability of the use of brine thawing/salting operation. *Meat Science*, 72: 757-765.
- CÁRCEL, J.A.; BENEDITO, J.; BON, J.; MULET, A. (2007). High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*, 76: 611-619.
- CERÓN-CARRILLO, T.G.; PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A. (2010). Pulsos eléctricos: fundamentos y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 4 (1): 9-26.
- CHEFTEL, J.C.; CULIOLI, J. (1997). Effects of High Pressure on Meat: A Review. *Meat Science*, 46 (3): 211-236.

- CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18 (4): 813-835.
- CHENG, Q.; SUN, D.W. (2006). Improving the quality of pork ham by pulsed vacuum cooling in water. *Journal of Food Process Engineering*, 29 (2): 119-133.
- CHIRALT, A.; FITO, P. (1997). Salting of Manchego type cheese by vacuum impregnation. En *Food engineering 2000, Proceedings of the conference*, São Paulo, Nov. 1995.
- CHIRALT, A.; FITO, P.; BARAT, J.M.; ANDRÉS, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; ESCRICHE, I.; CAMACHO, M.M. (2001). Use of vacuum impregnation in food salting process. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3): 141-151.
- DELGADO, J.O. (2012). Aplicación del ultrasonido en la industria de los alimentos. *Publicaciones E Investigación*, 6: 141-152.
- DEUMIER, F.; BOHUON, P.; TRYSTRAM, G.; SABER, N.; COLLIGNAN, A. (2003a). Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer. *Journal of Food Engineering*, 58: 75-83.
- DEUMIER, F.; TRYSTRAM, G.; COLLIGNAN, A.; GUÉDIDER, L.; BOHUON, P. (2003b). Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms. *Journal of Food Engineering*, 58: 85-93.
- DÍAZ, K. (2014). *Sistema de control "on-line" del proceso de salado de productos cárnicos*. Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Univ. Politécnica de Valencia. 52pp.
- DJELVEH, G.; GROS, J.B. (1998). Measurement of effective diffusivities of ionic and non-ionic solutes through beef and pork muscles using a diffusion cell. *Meat Science*, 24 (1): 11-20.
- DOLATA, W; PIOTROWSKA, E.; WAJDZIK, J.; TRITT-GOC, J. (2004). The use of the MRI technique in the evaluation of water distribution in tumbled porcine muscle. *Meat Science*, 67 (1): 25-31.
- DOLATOWSKI, Z.J.; STADNIK, J.; STASIAK, D. (2007). Applications of ultrasound on food technology. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*, 6 (3): 89-99.
- FIGUEROA, C.V. (2019). *Aplicación de impregnación a vacío y perforación láser para la potencial aceleración del proceso de marinado de carne de cerdo*. Tesis de pregrado. Univ. Técnica Federico Santa María. 65 pp.
- FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. (1996). Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxation Phenomena

- During Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. *Journal of Food Engineering*, 27 (3): 229-240.
- FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J.M; SPIESS, W.E.L.; BEHSNILIAN, D. (2001). *Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation: Applications in Food Industries*. Technomic Publishing Company. Pennsylvania, USA. 336pp.
  - FLORES, M.; BARAT, J.M.; ARISTOY, M.C.; PERIS, M.M; GRAU, R.; TOLDRÁ, F. (2006). Accelerated processing of dry-cured ham. Part 2. Influence of brine thawing/salting operation on proteolysis and sensory acceptability. *Meat Science*, 72 (4): 766-772.
  - GAO, T.; LI, J.; ZHANG, L.; JIANG, Y.; MA, R.; SONG, L.; GAO, F.; ZHOU, G. (2015). Effect of different tumbling marination treatments on the quality characteristics of prepared pork chops. *Asian Australas. J. Anim. Sci*, 14 (2): 260-267.
  - GILLETT, T.A.; CASSIDY, R.D.; SIMON, S. (1982). Ham massaging. Effect of massaging cycle, environmental temperature and pump level on field, bind, and colour of intermittently massaged hams. *Journal of Food Science*, 47(4): 1083-1088.
  - GÓMEZ, B.; MUNEKATA, P.E.S.; GAVAHIAN, M.; BARBA, F.J.; MARTÍ-QUIJAL, F.J.; BOLUMAR, T.; BASTIANELLO CAMPAGNOL, P.C.; TOMASEVIC, I.; LORENZO, J.M. (2019). Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Research International*, 123: 95-105.
  - GÓMEZ, J.A. (2012). *Modelización de las cinéticas de difusión de nitrato de sodio y nitrito de sodio durante el salado de carne*. Tesis Doctoral en Tecnología de Alimentos. Univ. Politécnica de Valencia. 264pp.
  - 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 (4): 677-682.
  - GRAU, R.; ALBARRACÍN, W.; TRINIDAD PÉREZ, M.; ANTEQUERA, T.; BARAT, J.M. (2011). Use of simultaneous brine thawing/salting in dry-cured Iberian ham production. *Journal of Food Engineering*, 104 (2): 316-321.
  - GUIGNON, B. (2011). Altas presiones en tecnología de alimentos, en: *Materia a alta presión: fundamentos y aplicaciones*. Ediciones de la Universidad de Oviedo. Oviedo, Asturias: 441-457.
  - HAYES, J.E.; KENNY, T.A.; WARD, P.; KERRY, J.P. (2007). Development of a modified dry curing process for beef. *Meat science*, 77 (3): 314-323.

- HOLMGAARD BAK, K.; LINDAHL, G.; KARLSSON, A.H.; ORLIEN, V. (2012). Effect of high pressure, temperature, and storage on the color of porcine *longissimus dorsi*. *Meat Science*, 92 (4): 374-381.
- HONG, G.P.; CHUNG, J.Y.; CHOI, M.J. (2012). Applications of Low-voltage Ohmic Process Combined with Temperature Control System to Enhance Salting process of Pork. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour*, 32 (3): 293-300.
- JANOSITZ, A.; NOACK, A.-K.; KNORR, D. (2011). Pulsed electric fields and their impact on the diffusion characteristics of potato slices. *LWT- Food Science and Technology*, 44 (9): 1939-1945.
- JAYASOORIYA, S.D.; TORLEY, P.J.; D'ARCY, B.R.; BHANDARI, B.R. (2007). Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine *Semitendinosus* and *Longissimus* muscles. *Meat Science*, 75 (4): 628-639.
- LENG, X.; ZHANG, L.; HUANG, M.; XU, X.; ZHOU, G. (2013). Mass transfer dynamics during high pressure brining of chicken breast. *Journal of Food Engineering*, 118 (3): 296-301.
- LIANG, W.; WANG, S.; DONG, Z.; LEE, G.B.; LI, W.J. (2012). Optical Spectrum and Electric Field Waveform Dependent Optically-Induced Dielectrophoretic (ODEP) Micro-Manipulation. *Micromachines*, 3 (2): 492-508.
- LYNG, J. (2019). Green Processing of Foods using Moderate Electric fields- Present Status and Future Prospects. *MEFPROC*. 56pp.
- MCDONNELL, C.K.; ALLEN, P.; CHARDONNEREAU, F.S.; ARIMI, J.M.; LYNG, J.G. (2014a). The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork. *LWT- Food Science and Technology*, 59 (2): 1054-1060.
- MCDONNELL, C.K.; ALLEN, P.; MORIN, C.; LYNG, J.G. (2014b). The effect of ultrasonic salting on protein and water-protein interactions in meat. *Food chemistry*, 147: 245-251.
- MCDONNELL, C.K.; LYNG, J.G.; ALLEN, P. (2014c). The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat Science*, 98 (2): 142-149.
- MCDONNELL, C.K.; LYNG, J.G.; ARIMI, J.M.; ALLEN, P. (2014d). The acceleration of pork curing by power ultrasound: A pilot-scale production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26: 191-198.
- MENOR, L. (2019). *Intensificación de la extracción de betanina en remolacha roja mediante ultrasonidos y pulsos eléctricos*. Trabajo fin de grado en ciencia y tecnología de los alimentos. Univ. Politécnica de Valencia. 47pp.

- MESSENS, W.; DEWETTINCK, K.; HUYGHEBAERT, A. (1999). Transport of sodium chloride and water in Gouda cheese as affected by high-pressure brining. *International Dairy Journal*, 9 (8): 569-576.
- OCKERMAN, H.W.; ORGANISCIK, C.S. (1978). Influence of continuous versus intermittent tumbling on brine (salt, sugar and nitrite) diffusion in porcine tissue. *Journal of Food Protection*, 41 (11): 878-880.
- OLIVARES, J.I. (2018). *Aplicación de campos eléctricos moderados y microperforación láser-CO<sub>2</sub> para la aceleración del proceso de salado de salmón atlántico (salmo salar)*. Tesis de pregrado. Univ. Técnica Federico Santa María. 67pp.
- OZUNA, C. (2011). *Influencia de la concentración de la salmuera en el transporte de agua y sal durante el salado de lomo de cerdo (Longissimus dorsi)*. Tesis de máster en Tecnología de Alimentos. Univ. Politécnica de Valencia. 21pp.
- OZUNA, C.; PUIG, A.; GARCÍA-PÉREZ, J.V.; CÁRCEL, J.A. (2014). Ultrasonically enhanced desalting of cod (*Gadus morhua*). Mass transport kinetics and structural changes. *LWT- Food Science and Technology*, 59 (1): 130-137.
- OZUNA, C.; PUIG, A.; GARCÍA-PÉREZ, J.V.; MULET, A.; CÁRCEL, J.A. (2013). Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering*, 119 (1): 84-93.
- PAULSEN, P.; HAGEN, U.; BAUER, F. (2001). Physical and chemical changes of pork loin. Ultrasonic curing compared to conventional pickle curing. *Fleischwirtschaft*, 81(12): 91-93.
- PAVIA, M.; TRUJILLO, A.J.; GUAMIS, B.; FERRAGUT, V. (2000). Effectiveness of High-Pressure Brining of Manchego-type Cheese. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.*, 33: 401-403.
- PIOSELLI, B.; PAREDI, G.; MOZZARELLI, A. (2011). Proteomic analysis of pork meat in the production of cooked ham. *Mol. Biosyst.*, 7 (7): 2252-2260.
- PORRAS-PARRAL, G.; MIRI, T.; BAKALIS, S.; FRYER, P. (2011). The effect of electrical processing on mass transfer and mechanical properties of food materials. *Procedia Food Science*, 1: 76-80.
- PRADAS, I.; MORENO, J.M. (2016). *Aplicación de altas Presiones Hidrostáticas en la Industria Alimentaria. SERVIFAPA*. 18pp.
- PUÉRTOLAS, E.; LUENGO, E.; ÁLVAREZ, I.; RASO, J. (2012). Improving Mass Transfer to Soften Tissues by Pulsed Electric Fields:

- Fundamentals and Applications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3: 263-282.
- RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA-MARECIK, R.; KIDÓN, M. (2014). Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products- A Review. *Int. Journal. Molecular Science*, 15 (9): 16577-16610.
  - RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Lebensm.- Wiss. U.- Technol.*, 37: 43-47.
  - RINELLA, A. (2014). *Effect of Moderate Electric Fields on Sodium Chloride Diffusion in Porcine Muscle*. Thesis for the Degree Master of Science. Graduate School of The Ohio State University. 68pp.
  - SCHMIDT, H. (1984). *Carne y productos cárnicos: su tecnología y análisis*. Editorial universitaria: Universidad de Chile. Santiago, Chile. 111pp.
  - SCHMIDT, F.C.; CARCIOFI, B.A.M.; LAURINDO, J.B. (2008). Efeito da impregnação a vácuo na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 28(2): 366-372.
  - SCHOENBACH, K.H.; PETERKIN, F.E.; ALDEN, R.W.III; BEEBE, S.J. (1997). The Effect of Pulsed Electric Fields on Biological Cells: Experiments and Applications. *IEEE transactions on plasma science*, 25 (2): 284-292.
  - SHAREDEH, D.; MIRADE, P.S.; VENIEN, A.; DAUDIN, J.D. (2015). Analysis of salt penetration enhancement in meat tissue by mechanical treatment using a tumbling simulator. *Journal of Food Engineering*, 166: 377-383.
  - SIMPSON, R.; NUÑEZ, H.; JAQUES, A.; RAMÍREZ, C.; QUIROZ, N.; MORENO, J.; SASTRY, S. (2018). Application of a moderate electric field for the potential acceleration of the salting process of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal Food Process Eng.* 41: e12846.
  - SIRÓ, I.; VÉN, CS.; BALLA, CS.; JÓNÁS, G.; ZEKE, I.; FRIEDRICH, L. (2009). Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food Engineering*, 91 (2): 353-362.
  - TOEPFL, S.; HEINZ, V. (2007). Application of pulsed electric fields to improve mass transfer in dry cured meat products. *Fleischwirtschaft Intern.*, 22: 62-64.
  - TOMAŽIN, U.; ŠKRLEP, M.; PREVOLNIK POVŠE, M.; BATOREK LUKAČ, N.; KAROLYI, D.; ČERVEK, M.; ČANDEK-POTOKAR, M.

- (2020). The effect of salting time and sex on chemical and textural properties of dry cured ham. *Meat Science*, 161: e107990.
- UTTARO, B.; AALHUS, J.L. (2007). Effect of thawing rate on distribution of an injected salt and phosphate brine in beef. *Meat Science*, 75 (3): 480-486.
  - UTTARO, B.; BADONI, M.; ZAWADSKI, S.; GILL, C.O. (2011). Effects of the pressure, flow rate and delivered volume of brine on the distributions of brine and bacteria in brine-injected meat. *Food Control*, 22 (2): 180-185.
  - VILLACÍS, M.F.; RASTOGI, N.K.; BALASUBRAMANIAM, V.M. (2008). Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT- Food Science and Technology*, 41 (5): 836-844.
  - WANG, Z.; XU, W.; KANG, N.; SHEN, Q.; ZHANG, D. (2016). Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining. *Meat Science*, 113: 132-138.
  - XARGAYÓ, M. (2010). Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero III: Masaje. *Metalquimia*: 99-105.