

Artículo de Revisión

Tecnologías emergentes no térmicas para la conservación de carne fresca y productos cárnicos

Non-thermal emerging technologies for the preservation of fresh meat and meat products

Sergio Díaz-Almanza¹, Alma Delia Alarcón-Rojo e Iván Adrián García-Galicia^{1*}

¹ Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Fco. R. Almada km 1. Chihuahua, Chih. C.P. 31453.

*Correspondencia: igarciag@uach.mx (García-Galicia Iván Adrián)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.829>

Recibido: 02 de agosto de 2021; Aceptado: 09 de noviembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

La búsqueda por una mejor conservación de la carne y sus productos es una constante dentro de la industria alimentaria. Dentro de los procesos de conservación, la descontaminación de microorganismos es una de las áreas en la que más se ha enfocado la investigación, el desarrollo y la innovación de metodologías, ya sea por un beneficio al producto alimenticio durante su almacenamiento, procesamiento o vida de anaquel, o por una reducción a problemas de salud en el consumidor causados por posible contaminación bacteriana. Existe una gran variedad de metodologías de conservación que se han desarrollado. Desafortunadamente, la mayoría de ellas conllevan alteraciones estructurales, nutricionales o sensoriales indeseables, sobre todo aquellos procesos térmicos que implican alteraciones en la temperatura de la carne o sus productos. En años recientes se ha puesto especial atención a metodologías de conservación emergentes no térmicas (Irradiación, luz ultravioleta, ultrasonido, campo de pulsos eléctricos, altas presiones hidrostáticas, antimicrobianos naturales y tecnologías de barrera), considerando a estas como una alternativa excelente, dado que no afectan la calidad del alimento. Este documento es una revisión de las tecnologías emergentes no térmicas aplicadas actualmente en el procesamiento de productos cárnicos, la combinación de varias de estas tecnologías y la investigación para su potencial implementación en el futuro.

Palabras clave: calidad de la carne, reducción microbiana, ultrasonido de alta intensidad, vida de anaquel.

Abstract

The search for better preservation of meat and meat products is a constant within the food industry. Within the conservation processes, decontamination of microorganisms is the area in which the research, development and innovation of methodologies has mostly focused, either for a benefit to the food product during its storage, processing or shelf life, or for a reduction in consumer health problems. There is a wide variety of conservation methodologies that have been developed. Unfortunately, most of them involve undesirable structural, nutritional, or sensory alterations, especially those that involve alterations in the temperature of the meat or its products. In recent years, special attention has been paid to non-thermal conservation methodologies (Irradiation, ultraviolet light, high-intensity ultrasound, electric pulse field, high hydrostatic pressure, natural antimicrobials and Hurdle technology), considering these as an excellent alternative, since they do not affect the quality of the food. This document is a review of non-thermal emerging processing technologies commonly applied to meat products, new trends, as well as the combination of various technologies for future implementation.

Keywords: meat quality, microbial reduction, high-intensity ultrasound, shelf life

1. Introducción

La contaminación física, química y biológica de los alimentos puede causar enfermedades en el consumidor. La contaminación biológica puede resultar ser la más significativa ya que causa la mayoría de las enfermedades transmitidas por alimentos a nivel global (Khan *et al.*, 2016). El procesamiento térmico da como resultado productos con una mayor vida de anaquel debido a su gran efectividad para la inactivación de microorganismos. Sin embargo, estos pueden tener efectos adversos sobre las propiedades nutricionales y funcionales de los alimentos. El mayor reto en la aplicación de tecnologías térmicas es evitar la pérdida de calidad nutricional y conservar la frescura de los productos (Peña-Gonzalez *et al.*, 2019). En la actualidad existe una creciente concientización de los consumidores por una vida más saludable, lo que lleva a una mayor demanda de productos mínimamente procesados, libre de aditivos químicos, listos para consumir, de alta calidad, de apariencia fresca, con aroma y sabor naturales (Pinton *et al.*, 2019). Sin embargo, los alimentos listos para consumir son una fuente importante de enfermedades de origen alimenticio. Las tecnologías no térmicas de procesamiento han surgido a partir de la necesidad de satisfacer esas demandas del consumidor, sin comprometer la inocuidad alimentaria (Aymerich *et al.*, 2008; Hygreeva y Pandey, 2016).

La carne es un alimento de gran aceptación en México. Además, es nutritiva y con características organolépticas deseables. Sin embargo, este alimento puede proveer de un excelente ambiente para la proliferación de microorganismos patógenos y causantes de descomposición. Por ello, las tecnologías de procesamiento para carne deben reducir el riesgo biológico y al mismo tiempo conservar las características deseables de contenido nutricional y propiedades organolépticas (Baños *et al.*, 2012; Hygreeva y Pandey, 2016). Existe un aumento en la demanda de productos naturales, reducidos en sal, reducidos en grasas o sin conservadores químicos. Para poder cumplir con estas demandas sin afectar la inocuidad alimentaria, los científicos o tecnólogos de alimentos investigan, desarrollan e implementan nuevas tecnologías de procesamiento como las tecnologías no térmicas (Aymerich *et al.*, 2008).

Algunas tecnologías no térmicas consideradas para la implementación a nivel industrial son: irradiación (gamma, electrones de alta energía y rayos X), luz ultravioleta, campos de pulsos

eléctricos, altas presiones hidrostáticas, antimicrobianos naturales y ultrasonido. Adicionalmente se ha considerado la utilización de estas tecnologías en combinación con tratamientos térmicos ligeros tales como: calentamiento óhmico, microondas, radiofrecuencia y vapor, entre otras. A la combinación de dos o más de estas tecnologías se le llama “Tecnología de Barreras” o Hurdle technologies, cuyo objetivo es mejorar su efectividad. Estas herramientas alternativas no utilizan temperaturas elevadas, garantizan la reducción de carga microbiana, conservan una apariencia natural del alimento, presentan un ahorro de energía y son amigables con el medio ambiente (Aymerich *et al.*, 2008; Hygreeva y Pandey, 2016).

Este documento es una revisión sistemática y actual del efecto de dichas tecnologías, sobre la inocuidad alimentaria, las propiedades organolépticas y el contenido nutricional de la carne fresca y sus productos.

2. Revisión

Irradiación

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2016) existen dos tipos de radiación, la no-ionizante y la ionizante. La radiación no ionizante es aquella energía radioactiva que solo tiene suficiente energía para excitar la materia (Longitud de onda > 100 nm. Baja energía de fotón < 12.4 eV. Campo electromagnético de 1 Hz a 3×10^{15} Hz). Ejemplos de esta radiación son las microondas, la luz solar, la luz infrarroja, etc. Por el contrario, la radiación ionizante es capaz de producir iones cargados o provocar la ionización de la materia. Esta es una energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Ejemplos de energía ionizante son; rayos x o rayos gamma.

La tecnología de irradiación consiste en la descontaminación de alimentos mediante la exposición del alimento a radiación ionizante controlada con alta precisión por un periodo de tiempo definido. La cual es generada al retirar un electrón del orbital de un átomo, lo que conlleva a la formación de iones. Su objetivo es la desnaturalización de los enlaces moleculares del ADN (Ácido desoxirribonucleico) cromosomal y de la membrana citoplásmica de la célula, causando muerte celular de microorganismos, insectos u otras plagas y de esta forma alargar la vida en anaquel del alimento. La efectividad de la irradiación depende principalmente de la cantidad absorbida, medida en grays (Gy) Existen dos tipos de tratamiento de irradiación en alimentos: pasteurización por radiación, la cual consiste en la destrucción de microorganismos sin incluir las esporas con dosis de baja energía (1-10 kGy) y la esterilización por radiación, que consiste en la eliminación de *Clostridium botulinum*. Sin embargo, para lograrla es necesaria una cantidad de energía por arriba de 40 kGy, una cantidad mucho mayor al límite permisible para la irradiación de alimentos que es de 10 Gy. A esta dosis máxima permisible ocurre un ligero incremento de temperatura cuando es aplicado en agua (aproximadamente 2.5 °C) por lo que la irradiación es considerada como un procesamiento no térmico. Adicionalmente, conserva la frescura y características nutricionales y organolépticas. Sin embargo, en algunos casos se han encontrado efectos negativos en aspectos sensoriales y color, aunque se pueden reducir al incorporar agentes antioxidantes o mediante la utilización de empaques activos (Aymerich *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2016).

Según la literatura, se ha encontrado mayor resistencia a radiación ionizante cuando los microorganismos se encuentran en gran estrés por inanición, cuando se encuentran en presencia de monóxido de carbono, de peróxido de hidrógeno, en estrés osmótico, estrés alcalino y estrés térmico. La efectividad de la irradiación además de la cantidad absorbida, también depende del tipo, cantidad de energía, tiempo de exposición, la sensibilidad del microorganismo. Además, son importantes también las características propias del alimento como capacidad de absorción, pH, temperatura, contenido de grasa, sal, aditivos, actividad de agua, cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Factores ambientales también tiene efecto en la efectividad, tales como la presencia de oxígeno (Khan *et al.*, 2016).

Dependiendo de su fuente, la irradiación de alimentos se puede producir por tres distintas técnicas: rayos gamma, electrones de alta energía (e-beam) y rayos X (Khan *et al.*, 2016). A continuación, se discuten las técnicas mencionadas.

Los rayos gamma son comúnmente generados por la industria mediante el uso de cobalto 60 ya que produce rayos gamas fuertes además de ser insoluble en agua, aunque también pueden originarse con cesio 137, los cuales son una fuente de radionucleidos. Los rayos gamma tienen una alta capacidad de penetración, por lo que es adecuado para el procesamiento de empaques de gran tamaño. Se conoce que a dosis de hasta 10 kGy no existe ningún efecto adverso, más de 26 países utilizan esta tecnología no térmica de procesamiento (Huq *et al.*, 2015). Los rayos gamma han sido utilizados para la reducción de carga microbiana en carne y productos cárnicos, entre los microorganismos objetivo se encuentran: *E. coli*, *Salmonella spp*, *Campylobacter spp*, *Vibrio spp*, entre otros microorganismos patógenos y de deterioro. En la Tabla 1 se muestran las dosis de irradiación administradas de acuerdo con el producto alimenticio y el microorganismo objetivo (Khan *et al.*, 2016). Al someter carne de cangrejo a radiación gama a 2, 4 y 6 kGy, se encontró que las dos dosis más bajas resultaron con mejores condiciones de procesamiento. Esto debido a que estas presentaron reducciones de 2.1 y 5.35 log en *Listeria monocytogenes*, sin cambios negativos en color y textura (Suklim *et al.*, 2014).

Tabla 1.- Dosis de irradiación gamma de acuerdo al microorganismo objetivo y al material biológico.

Table 1.- Gamma irradiation dose according to the target microorganism and the biological material.

Producto alimenticio	Microorganismo objetivo	Dosis (kGy)
Insectos	microorganismos de deterioro	>1
Pollo y sus derivados	<i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i>	3-4.5 en producto fresco 7 en producto congelado
Carne roja	<i>E. coli</i> O157:H7 entre otros patógenos	3-4.5 en producto fresco 7 en producto congelado
Ancas de rana	<i>Salmonella</i>	5
Productos sanguíneos	Patógenos y de deterioro	5-10
Mariscos	<i>E. coli</i> , <i>Vibrio spp</i>	1.5-3
Dietas médicas especiales	Patógenos y de deterioro	45

Referencia: IFST 2015.

Los electrones de alta energía son generados mediante aceleradores de electrones industriales y pueden ser utilizados en pequeñas piezas de alimento para su descontaminación superficial ya que

tiene baja capacidad de penetración. La aplicación de los electrones a una energía de 10 MeV tiene una profundidad de penetración de aproximadamente 4 cm. Esto debido a que pierde energía continuamente mediante una serie de interacciones con los orbitales de electrones del medio de propagación (Aymerich *et al.*, 2008). La aplicación de electrones de alta energía ha sido ampliamente documentada en superficies cárnicas, con dosis de 103–105 Gy/s. Esta tecnología se considera con ventajas sobre las otras radiaciones porque es más seguras para el consumidor y se pueden utilizar mayores dosis para inactivación bacteriana en comparación con rayos gama (Li *et al.*, 2015). Se ha utilizado con éxito para decontaminación de pollo, res, pescado, carne congelada, carne refrigerada y canales completas (Kundu, *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015; Arshad *et al.*, 2019).

La irradiación es efectiva en la reducción de carga bacteriana sobre superficies de bacterias totales, coliformes y *Salmonella sp* (Li *et al.*, 2015; Arshad *et al.*, 2019). La aplicación de electrones de alta energía a canales de res mostró una reducción en el conteo de *E. coli*, con reducción de hasta 4.5 log CFU/g en los conteos. Mientras que *Salmonella sp* presentó mayor resistencia en contra de la irradiación, con una reducción de 1.9 log CFU/g al ser aplicada una dosis de 1 kGy (Kundu *et al.*, 2014). De manera importante, se resalta que la aplicación de electrones de alta energía, no afecta parámetros sensoriales, ni genera compuestos indeseables como ácidos grasos *trans*, en carne de pato. Aunque se observaron desventajas de su uso, decolorando la carne y promoviendo oxidación de lípidos (Arshad *et al.*, 2019).

Los rayos X son un tipo de radiación ionizante con la capacidad de pasar a través de materiales de hasta 40 cm de grosor. Por lo que una ventaja de ellos es que pueden aplicarse a productos cárnicos empacados, evitando el riesgo de recontaminación. Mientras que su desventaja es que se requiere de una gran inversión inicial y costos elevados de mantenimiento, así como de un diseño especial de la planta procesadora para evitar la exposición del personal a los rayos X. De acuerdo con agencias sanitarias como la Food and Drugs Administration (Estados Unidos), los niveles máximos de radiación en alimentos no deben exceder el límite de 10 kGy (Ricciardi *et al.*, 2019; FDA, 2020).

Al comparar el efecto de la fuente de la irradiación ionizante (gamma, rayos X y electrones de alta energía) y la dosis (0, 2.5, 5, 7.5, 10 kGy) sobre propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbianas en carne para hamburguesa y salchicha a base de carne de puerco, no se encontró diferencia entre tratamientos en el pH de los productos cárnicos. En el caso de color, los electrones de alta energía causaron un mayor decremento en el parámetro rojo de la carne para hamburguesa. Mientras que, en salchichas a base de carne de puerco, los rayos gama causaron decremento. De igual forma, al aumentar la dosis de rayos gama, se disminuyó el parámetro rojo. No se encontró diferencia en la aceptabilidad de salchichas sin importar el tratamiento.

En carne para hamburguesa los rayos gamma afectaron negativamente la aceptabilidad general. Se observó una aceleración en la oxidación lipídica mediante la irradiación. Los electrones de alta energía causaron la reducción más efectiva en el conteo de bacterias aerobias totales en carne para hamburguesa. Mientras que en salchichas la exposición a rayos gamma causó la mayor reducción, siendo más efectiva al aumentar la dosis (Ham *et al.*, 2017).

La irradiación de alimentos a dosis bajas es un método de procesamiento no térmico seguro para el consumidor, que logra la disminución de microorganismos sin alterar las características

nutricionales y sensoriales del producto alimenticio. Sin embargo, se presentan retos en la producción y en el mercado de los productos con tratamiento de irradiación. Uno de esos retos es el rechazo por parte del consumidor a los productos irradiados, ya que existe falta de información que resulta en que los consumidores tengan una percepción de riesgo para la salud al consumir productos irradiados (IFST, 2015).

Luz ultravioleta

La luz ultravioleta (UV) es un tipo de radiación no ionizante, cuyo rango operacional se encuentra entre los 100 y 400 nm de longitud de onda del espectro electromagnético para el procesamiento de alimentos. La luz UV puede ser generada por varias fuentes. Las lámparas de mercurio son ampliamente utilizadas debido al bajo costo y riesgo bajo que representan su utilización a la salud de los operadores. La aplicación de UV en el alimento tiene como objetivo reducir la carga microbiana, conservando la calidad fisicoquímica y organoléptica al alargar la vida en anaquel. Puede ser clasificada en tres grupos de acuerdo con su longitud de onda: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (menor de 280 nm) (Loconsole and Santamaria, 2021). La UV-C es la más utilizado en el área de alimentos debido a que ha demostrado mayor actividad en contra de microorganismos. De forma más específica, una longitud de onda de 253.7 nm es la que cuenta con mayor poder letal en microorganismos, debido a que es la longitud de onda en donde se absorben en mayor cantidad los fotones en el ADN de los microorganismos. Dichos fotones crean puentes cruzados entre las pirimidinas cercanas de una misma cadena de ADN (Silva *et al.*, 2015).

La aplicación de UV a los alimentos de manera general consiste en la exposición directa del alimento a la luz UV. Inicialmente, se utilizó en superficies para procesado de alimentos, posteriormente en alimentos líquidos y superficies de alimentos sólidos. En la actualidad, con la utilización de lámparas de gas inerte (*i.e.* Xenón) que producen pulsos intensos de luz UV que consisten de radiación electromagnética con ondas en el rango de 100 a 1100 nm (luz visible, UV e infrarroja), también se aplica a alimentos semi- y sólidos (Keklik *et. al.* 2012).

Se han realizado estudios con aplicación de luz UV en forma de pulsos de aproximadamente 100 μ s. Con esta aplicación por pulsos se ha observado resultados más efectivos para la inactivación de microorganismos. La aplicación de UV-C puede ser utilizada para la disminución de la carga microbiana de *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella enterica*. Un estudio en carne de rana inicialmente inoculada con *S. aureus* resultó en una disminución significativa al aplicar el tratamiento de UV-C a dosis bajas (0.65 mW/s/cm²), medias (1.04 mW/s/cm²) y altas (1.68 mW/s/cm²), en comparación con la carne de rana sin tratamiento de luz UV, sin diferencias significativas entre dosis (Silva *et al.*, 2015). Cuando la radiación UV-C fue suministrada en forma de pulso (1000 pulsos, 200 s, 5.4 J/cm²) a carne de pollo, se encontró una reducción de las células viables de *S. entérica* y *L. monocytogenes* inoculadas en la superficie del pollo de 2–2.4 log₁₀ (N/N₀) UFC/ml, sin tener un efecto significativo en la percepción de las características organolépticas como; olor, sabor y color (Paskeviciute *et al.*, 2011). Al aplicarse la luz UV-C en salchichas, se encontró un efecto de inhibición de microorganismos como *Salmonella sp* y *S. aureus*. Este efecto fue más efectivo al combinarse con compuestos como lactato de potasio, diacetato de sodio y éster de

arginato láurico, sin efectos perjudiciales sobre el color o la textura de las salchichas (Sommers *et al.*, 2010).

Ultrasonido

El ultrasonido es definido como las ondas sonoras a una frecuencia mayor a la que puede ser escuchada por el oído humano, correspondiente a frecuencias mayores a 20kHz. El uso de ultrasonido se puede dividir en dos grandes categorías: ultrasonido de baja intensidad y ultrasonido de alta intensidad (UAI). En el UAI se utilizan intensidades mayores a 10 W/cm² y frecuencias entre 20 kHz y 1000 kHz. En este tipo de ultrasonido (destrutivo) el material es afectado a nivel celular generando daños en micro o macro escala (McClements y Sundaram, 1997). Los equipos de ultrasonido se encargan de convertir la energía eléctrica a energía mecánica, parte de la cual se pierde en forma de calor y el resto puede ser aprovechado en el medio. Cuando el ultrasonido es aplicado en un medio acuoso se genera compresión y rarefacción de las moléculas generando pequeñas burbujas de vapor que colapsan en implosión liberando energía al medio de propagación, a este fenómeno se le denomina cavitación. Cuando las burbujas implotan se generan grandes y veloces cambios localizados de presiones y temperatura. Los efectos de la cavitación pueden ser físicos (microchorros, turbulencia, ondas de choque, estrés de corte) y químicos (generación de radicales libres y productos moleculares) (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019).

La frecuencia de ultrasonicación es uno de los parámetros responsables del efecto o acción mecánica del ultrasonido sobre la carne. Al aplicar ondas ultrasónicas con una frecuencia por debajo de 100 kHz se crean una menor cantidad de burbujas de cavitación, pero de un mayor tamaño. Las cuales al implotar liberan gran cantidad de energía al medio favoreciendo los efectos físicos. Al aplicar ondas ultrasónicas con frecuencias mayores a 100 kHz se crean mayor número de burbujas de cavitación, pero de un menor tamaño, liberando menor energía al medio y generando radicales libres en el medio. Por lo que estas condiciones de procesamiento favorecen los efectos químicos de la cavitación (Zupanc *et al.*, 2019). Se han encontrado efectos benéficos al aplicar ultrasonido a alimentos tales como: promover la transferencia de masa, activación o inhibición de enzimas, reducción de carga microbiana, mejora de características organolépticas como el color, emulsificación, cristalización, homogenización, rompimiento de células y ablandamiento de carne (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Turantaş *et al.*, 2015; Almanza-Rubio *et al.*, 2016).

El deterioro de la carne se da principalmente por crecimiento microbiológico y por oxidación lipídica. Lo cual puede resultar en pérdidas económicas y en un riesgo de salud para el consumidor en caso de que no se realice un adecuado almacenamiento, distribución o procesamiento (Turantaş *et al.*, 2015). El UAI es una herramienta alternativa no térmica que ha sido investigada para la disminución de cargas microbianas en cárnicos (Turantaş *et al.*, 2015). Se ha encontrado disminución de coliformes totales, bacterias mesófilas y psicrófilas, mediante gradientes de presión y temperatura que pueden destruir la membrana celular y su ADN, causando la muerte celular (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Díaz-Almanza *et al.*, 2019). Adicionalmente, se han encontrado efectos antimicrobianos en contra de *Salmonella typhimurium*, *Salmonella derby*, *Salmonella infantis* y *Yersinia enterocolitica* (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Caraveo *et al.*, 2015) y una reducción de hasta 60% de la microflora natural de la carne (Aguilar *et al.*, 2021).

El efecto del UAI sobre los microorganismos depende de las condiciones de ultrasonificación (intensidad, tiempo, frecuencia), el medio de propagación de las ondas ultrasónicas y concentración y especie de los microorganismos (Díaz-Almanza *et al.*, 2019; Zupanc *et al.*, 2019; Aguilar *et al.*, 2021). En la Tabla 2 se muestra el efecto del tratamiento de UAI sobre bacterias Gram positivas.

Tabla 2.- Efecto de ultrasonido de alta intensidad sobre bacterias Gram positivas

Table 2.- Effect of high-intensity ultrasound on Gram positive bacteria

Microorganismo	Ultrasonido	Sistema de estudio	de	Efecto	Referencia
<i>Bacillus subtilis</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 4.5 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Sin efecto significativo	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Staphylococcus pseudintermedius</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Sin efecto significativo	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Bacillus subtilis</i>	Hasta 62 W, 850 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 2.5 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014b)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Hasta 62 W, 850 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 4.4 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014b)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	750 W, 20 kHz, 10 min	Suspensión inoculada		Reducción de 72% en solución salina y 84% en leche	(Cameron <i>et al.</i> , 2008)
<i>Listeria innocua</i>	75 y 96 W, 22 y 33 kHz, 60 min	Inoculado bacteriano		Reducción de 4 log	(Inguglia <i>et al.</i> , 2018)
<i>Listeria innocua</i>	0.9 W mL ⁻¹	Simulación de tejido con alcohol polivinílico.	de con	Efecto sinérgico al ultrasonificar con eritrosina B (0.25, 0.5 µM)	(Bastarrachea <i>et al.</i> , 2017)
<i>Mycobacterium species</i> 6PY1	Hasta 411 W mL ⁻¹ , 20 y 612 kHz, 70 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 93% al utilizar baja frecuencia y de 35.5% al utilizar alta frecuencia	(Al Bsoul <i>et al.</i> , 2010)

El ultrasonido de frecuencias menores a 100 kHz reduce cargas microbianas principalmente por efectos físicos de la cavitación. Mientras que al utilizar frecuencias mayores de 100 kHz los efectos químicos de la cavitación parecen ser los responsables de la disminución de cargas microbianas. Sin embargo, la inactivación microbiana es un efecto sinérgico de la cavitación (Zupanc *et al.*, 2019). Los efectos físicos generan un daño en la pared celular de las bacterias que además de alterar su funcionamiento, las hace más susceptibles a los efectos químicos de la cavitación. Esto porque se facilita el acceso de los radicales libres y los productos moleculares al interior de la célula. La efectividad del tratamiento de UAI parece ser específico para cada especie. Sin embargo, las

bacterias Gram positivas tienden a ser más resistentes que las bacterias Gram negativas, debido a sus características de la pared celular (Zupanc *et al.*, 2019). En la Tabla 3 se muestra el efecto sobre las bacterias Gram negativas.

La utilización únicamente de UAI suele tener un efecto bajo sobre la reducción de carga microbiana en cárnicos. Por lo que se pueden utilizar combinaciones con otras tecnologías como altas presiones (Evelyn y Silva, 2018), pulsos de campos eléctricos (Huang *et al.*, 2006), irradiación (Tremarin *et al.*, 2017), compuestos químicos (Bastarrachea *et al.*, 2017; Dolan *et al.*, 2018) y temperatura (Li *et al.*, 2017; Carrillo-Lopez *et al.*, 2017).

Tabla 3.- Efecto de ultrasonido de alta intensidad sobre bacterias Gram negativas

Table 3.- Effect of high intensity ultrasound on Gram negative bacteria

Microorganismo	Ultrasonido	Efecto	Referencia
<i>Enterobacter aerogenes</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Reducción de 4.4 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Enterobacter aerogenes</i>	62 W, 850 kHz, 20 min	Reducción de 4.2 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014b)
<i>Escherichia coli</i>	750 W, 20 kHz, 10 min	Reducción de 99%	(Cameron <i>et al.</i> , 2008)
<i>Escherichia coli</i> K12	96 W y 33 kHz, 60 min	Reducción de 6 log	(Inguglia <i>et al.</i> , 2018)
<i>Escherichia coli</i>	252 W cm ⁻² , 20 kHz, 12 min	Reducción de 98%	(Liao <i>et al.</i> , 2018)

La textura es una propiedad importante de la carne que afecta en la aceptación al momento del consumo. La ternura o suavidad es la propiedad de textura más importante, se refiere a la facilidad de masticar la carne hasta el punto en que esta lista para deglutir (Coll Cardenas and Olivera, 2016).

En cuanto a la mejora de textura en productos cárnicos por el UAI los resultados parecen ser muy variados. Por un lado se reportan mejoras en textura en carne de bovino *Longissimus dorsi* (Kang *et al.*, 2017; Peña-González *et al.*, 2017; Peña-Gonzalez *et al.*, 2019), *Longissimus lumborum* (Barekat and Soltanizadeh, 2017; Diaz-Almanza *et al.*, 2019), *Semitenidinosus* (Jayasooriya *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018), *Semimembranosus* (Stadnik and Dolatowski, 2011), sirloin (Roberts, 1991), flank (falda) (Zou *et al.*, 2018), en donde la disminución de la dureza es comúnmente atribuido a los efectos físicos de la cavitación acústica, resultando en daño en el perimio (Roberts, 1991), ruptura de la estructura de proteínas miofibrilares y de colágeno (Peña-Gonzalez *et al.*, 2019) y un mayor índice de fragmentación miofibrilar (Kang *et al.*, 2017). Sin embargo, otros autores reportan nulo efecto en ternura al aplicar ultrasonido, atribuyendo comúnmente a que las condiciones de sonicación no fueron lo suficientemente intensas (Gambuteanu and Alexe, 2013; Sikes *et al.*, 2014; Wan *et al.*, 2018). Otros autores reportan un aumento en la dureza al aplicar UAI a carne de puerco en solución salina, en donde este aumento en la textura es atribuido a un aumento en la ganancia de sal (Ozuna *et al.*, 2013). También se han encontrado mejoras en la transferencia de masa, facilitando la impregnación de cloruro de sodio durante el marinado en solución salina asistido con ultrasonido (Visy *et al.*, 2021).

En el ultrasonido de baja intensidad se utilizan intensidades menores a 1 W/cm² y frecuencias mayores a 1MHz, este tipo de ultrasonido es no destructivo, es una metodología rápida que puede

ser automatizada además de ser relativamente económica. En el área de alimentos, este tipo de ultrasonido es utilizado para análisis de composición o para caracterización de los alimentos, de acuerdo con la capacidad de los componentes del alimento para refractar o absorber las ondas ultrasónicas. La metodología consiste en propagar la onda ultrasónica a través del material, obteniendo información de las propiedades del material mediante la medición de parámetros ultrasónicos tales como velocidad ultrasónica, coeficiente de atenuación o impedancia acústica (McClements y Sundaram, 1997; Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Fulladosa *et al.*, 2015).

Algunos estudios han sido realizados en productos cárnicos tales como: caracterización de productos cárnicos curados secos (Corona *et al.*, 2013a), composición de mezclas de carne (Benedito *et al.*, 2001), evaluación de textura en embutidos (Corona *et al.*, 2013; Llull *et al.*, 2002), contenido de grasa y sal en jamón (Fulladosa *et al.*, 2015), contenido de sal en carne de cerdo (García-Pérez *et al.*, 2015; De Prados *et al.*, 2016), predicción de contenido de carne magra (Fortin *et al.*, 2004) y grado de marmoleo en *Longissimus dorsi* (Haumschild y Carlson, 1983).

En la mayoría de estas investigaciones, la variable ultrasónica medida es la velocidad, ya que es la más simple y confiable. Es importante controlar las variables que puedan afectar en las lecturas de las propiedades ultrasónicas, ya que se ha demostrado que la temperatura (Benedito *et al.*, 2001), la frecuencia (Kerhervé *et al.*, 2019) y la compresión en muestras cárnicas (Díaz-Almanza *et al.*, 2021) afectan sobre las lecturas de propiedades acústicas, tales como; velocidad de fase acústica y atenuación ultrasónica.

A pesar de las ventajas de la utilización del UAI, también se han reportado algunos efectos negativos en sobre algunos parámetros de importancia de la carne. El color es una de las propiedades más importantes debido a que es la primera impresión del consumidor en el mercado, considerando el color rojo cereza como el más deseable ya que generalmente lo relaciona con el grado de frescura y sabor de la carne (Tapp *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2019). El UAI puede tener un efecto adverso en las propiedades de color, se ha reportado disminución en las características deseables con cambios a colores menos rojos y más pálidos (Caraveo *et al.*, 2015; Peña-Gonzalez *et al.*, 2019). Al aplicar UAI en carne, se han encontrado una disminución de hasta 50% de los fosfatos necesarios para la elaboración de emulsiones cárnicas (Pinton *et al.*, 2019).

Campo de pulsos eléctricos o campos eléctricos pulsados

El procesamiento de campo de pulsos eléctricos (Pulsed Electric Fields, PEF por sus siglas en inglés) es una tecnología de procesamiento no térmico que se encuentra en crecimiento ya que genera productos alimenticios seguros microbiológicamente, nutritivos y de apariencia fresca. Adicionalmente tiene ventajas económicas y de ahorro de energía. Es comúnmente utilizada en alimentos líquidos de modo continuo o semicontinuo. Sin embargo, también puede ser utilizado en alimentos sólidos en procesamiento por lotes. Sus primeras utilidades datan de 1960 en Alemania, en donde fue patentado y utilizado en salchichas (Khan *et al.*, 2016).

La tecnología de PEF consiste en la aplicación de un campo eléctrico entre 20 y 80 kV/cm sobre un alimento situado en medio de dos electrodos. Estos generan pulsos eléctricos cortos con duración entre 1 y 100 μ s. Para que la tecnología de PEF sea efectiva en la inactivación de microorganismos

patógenos y de descomposición, debe de considerarse el tipo de pulso (monopolar o bipolar) y el tipo de onda (sinusoidal, cuadrado o de caída exponencial). Otros factores que afectan la efectividad de PEF son: los factores de proceso, como la fuerza del campo eléctrico, número de pulsos, tiempo de procesamiento, temperatura, forma del pulso, amplitud del pulso, polarización, frecuencia, energía específica y diseño del equipo. Otros factores propios del microorganismo también pueden intervenir en la efectividad de los PEF. Ejemplos de esos factores son: la concentración, la susceptibilidad del microorganismo, su especie y tipo, sus condiciones de crecimiento, la composición del medio de crecimiento, la temperatura a la cual se desarrolla, la concentración de oxígeno, entre otros. Los factores del producto alimenticio también influyen, tales como: composición, presencia de partículas, azúcares, sales, espesantes, conductividad, fuerza iónica, pH, actividad de agua, entre otros. El mecanismo de destrucción celular mediante la tecnología de PEF se debe a la ruptura eléctrica de las células a través de electroporación (Khan *et al.*, 2016).

Los PEF causan un diferencial de potencial eléctrico a través de la membrana celular, esto se llama potencial de transmembrana. Cuando el potencial transmembranal es mayor al potencial natural de la célula (generalmente cercano a 1 V) se forman poros reduciendo el grosor de la membrana celular. Esto resulta en un incremento de la transferencia de masa de moléculas, iones e incluso componentes celulares en ambos sentidos de la membrana. Dependiendo del proceso de aplicación de PEF, el efecto de electroporación puede ser reversible o irreversible. En las aplicaciones en alimentos, el efecto del PEF sobre las poblaciones bacterianas es normalmente irreversible. De manera que la membrana bacteriana sufre una disrupción permanente, resultando en la muerte (Arroyo *et al.*, 2014; Buchman y Mathys, 2019).

La inactivación de microorganismos se correlaciona linealmente con la intensidad de PEF. Por lo que a mayor intensidad mayor inactivación de microorganismos. Sin embargo, a intensidades muy elevadas se pueden afectar características organolépticas de los productos. Se han encontrado efectos sinérgicos de la utilización de PEF con tratamiento térmico, resultando en una reducción de carga microbiana y una extensión en la vida en anaquel de productos alimenticios (Khan *et al.*, 2016).

El uso de PEF en carne y pescado se ha relacionado con la mejora en la conservación del color, incremento de la ternura y añejado. Además, ha probado incrementar la capacidad de retención de agua de la carne en productos como pescado. Específicamente en carne de res (*Longissimus lumborum* y *Semimembranosus*) la aplicación de PEF (10 kV, 90 Hz and 20 μ s) incrementa la ternura de la carne por un posible efecto de aceleramiento de la proteólisis, junto con el efecto físico de los pulsos. Adicionalmente, no se detecta la formación de olores y sabores indeseables o la oxidación de lípidos en ese tipo de carne por aplicación de PEF (Swandy *et al.*, 2015). Recientemente, Gomes *et al.* (2019) publicaron un a revisión reciente de efecto de PEF sobre la ternura de res y pavo, con más de diez documentos soportando que se reduce la dureza de la carne hasta en un 21.6 %. Lo cual se considera una ventaja en la producción de carne, ya que la ternura es el parámetro organoléptico más importante para el consumidor.

Altas Presiones Hidrostáticas (APH)

Este método de procesamiento consiste en aplicar al alimento presiones entre 100 y 1000 MPa. El procedimiento consiste en introducir dicho alimento dentro de un empaque flexible y colocarlo en una cámara de altas presiones. La presión se transmite de forma uniforme en todas las direcciones a través del empaque hasta el alimento, por medio de un fluido de transmisión de presión (generalmente agua) (Giménez *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2016; Salazar *et al.*, 2021). A pesar de ello, las cámaras de procesamiento comerciales tienen un límite de 700 MPa (Giménez *et al.*, 2015). Al igual que el proceso de irradiación esta tecnología incrementa tan poco la temperatura, que es considerada como no térmica. Se considera un aumento aproximado de temperatura de 3 °C por cada 100 MPa de presión aplicada. Las APH son utilizadas principalmente en alimentos como; jugos, frutas, mariscos y productos cárnicos como jamón cocido, jamón curado, algunas comidas precocinadas con pavo, cortes de pollo y cerdo, comidas precocinadas de aves de corral, jamón de Parma, mortadela, tocino, salami y otros embutidos ahumados o no ahumados (Hereu *et al.*, 2012; Giménez *et al.*, 2015; Hygreeva and Pandey, 2016; Salazar *et al.*, 2021).

Las APH requieren de una alta inversión inicial. Sin embargo, su costo de operación es bajo. Adicionalmente, este proceso alternativo tiene buena aceptabilidad por el consumidor en Europa. La importancia de APH radica en su efectividad en el control de microorganismos en un producto alimenticio, mientras mantiene su frescura y textura por un tiempo prolongado sin la necesidad de la utilización de conservadores. Las ventajas que tienen las APH a comparación de métodos tradicionales de energía térmica son: menor daño por calor, menor tiempo de procesamiento, retención de frescura, textura y color, retención de vitaminas, cambios mínimos durante la congelación del material y menores cambios indeseables en las propiedades funcionales (Khan *et al.*, 2016). Estas ventajas son atribuidas a que la presión no afecta sobre los enlaces covalentes de las moléculas, por lo que se conservan estas características de calidad (Salazar *et al.*, 2021) La metodología de APH puede llevarse a cabo en alimentos sólidos y líquidos, por medio de tres distintas formas: por lotes, continuo o semicontinuo. En los casos de procesamiento continuo o semicontinuo, el alimento debe ser fluido bombeable y posterior al tratamiento debe empacarse asépticamente. En el caso del procesamiento por lotes los productos pueden ser sólidos o fluidos, siendo posible su procesamiento dentro de su empaque.

Las APH tienen efectos deseables en los alimentos, ya que producen desnaturalización de proteínas en organelos bacterianos como la membrana, inactivación de enzimas, cambios en interacción enzima con sustrato, así como en grasas y carbohidratos. Adicionalmente, conserva las características nutricionales, vitaminas y sustancias responsables del sabor y aroma del alimento, lo cual resulta en modificaciones mínimas a las características sensoriales de productos cárnicos. Se han utilizado APH para la preservación de distintos alimentos, como pollo, puerco, productos cárnicos, surimi y salmón, con efectos positivos en actividad proteolítica, propiedades de textura, sabor y aroma (Giménez *et al.*, 2015).

La descontaminación del alimento se da debido a que el daño celular ocurre en una primera instancia en la membrana celular con un consecuente cambio en la permeabilidad, causando pérdida de fluido intracelular e inhibiendo las reacciones bioquímicas celulares. También ocurren cambios en la morfología, mecanismo genético, los sistemas de transporte, pérdida de respuesta

osmótica e incapacidad de mantener el pH (Aymerich *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2015). Sin embargo, su efectividad depende de varios factores como: tipo de microorganismo, fase de crecimiento, presión aplicada, tiempo de procesamiento, composición del alimento, temperatura, pH y actividad de agua.

En general, las bacterias Gram negativas son más sensibles a las APH que las Gram positivas. El tratamiento es más efectivo cuando los microorganismos se encuentran en la fase de crecimiento *log*, teniendo el menor grado de efectividad en la fase estacionaria. Varios autores coinciden que las esporas bacterianas son altamente resistentes a presiones en el rango de 150 a 400 MPa a temperaturas de entre 25 a 40 °C. Moderadas presiones en el rango de 50 a 300 MPa pueden incluso inducir germinación de dichas esporas (Black *et al.*, 2007; Woldemariam y Emire, 2019). Altas presiones en el rango de 500 a 1000 MPa con temperaturas de 50 °C, también se han observado inducir germinación de esporas. Por ello se reconoce que, para la reducción o eliminación total de esporas, es necesaria la combinación de APH con otros métodos de desinfección (tecnologías de barrera) como la adición de compuestos antimicrobianos como nisina o enzimas, doble exposición a APH o pre-tratamientos térmicos (Daher *et al.*, 2017; Modugo *et al.*, 2020). La combinación de presiones mayores a 600 MPa y temperaturas en el rango de 70 – 90 °C, por 20 a 120 minutos, reducen la carga de esporas de *Bacillus spp* y *Clostridium spp* de 4 a 7.5 log (Zhang *et al.*, 2008; Woldemariam y Emire, 2019).

La presión más comúnmente utilizada para el tratamiento de productos cárnicos es en un rango de 300 a 600 MPa, por cortos periodos de tiempo, que van desde un min hasta 20 min. Los cuales son tratamientos suficientes para la reducción de distintos microorganismos como *E. coli*, *Campylobacter jejuni*, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. typhimurium* y *Yersinia enterocolitica*. En ese rango de presión se da una pérdida de color en la carne, ya que a presiones mayores a 300 MPa se desnaturaliza la mioglobina, perdiendo el hierro del grupo hemo (Giménez *et al.*, 2015). Para una reducción de 12D de *Clostridium botulinum* es necesaria una combinación de APH con presiones de 530 MPa y un tratamiento térmico por arriba de los 70 °C. En este tratamiento combinado se obtienen mejores características de calidad fisicoquímicas como el color, en comparación con el método de esterilización sin combinar, ya que es menos severo contra dichas características fisicoquímicas (Aymerich *et al.*, 2008; Hygreeva y Pandey, 2016). Un tratamiento entre 400 y 500 MPa suele ser suficiente para alcanzar el grado de seguridad objetivo para productos cárnicos, mientras que uno entre 700 y 800 MPa es suficiente para carne fresca (Aymerich *et al.*, 2008). Sin embargo, las condiciones de procesamiento más favorables en cuanto a seguridad y la relación costo-efectividad son aplicando presiones entre 350 y 400 MPa en combinación con temperaturas entre 60 y 80 °C, y tiempos de entre 1 a 15 min (Khan *et al.*, 2016).

Se han realizado investigaciones en donde se observa una disminución de las características de calidad y pérdida de compuestos activos durante el almacenaje, tales como pérdida de aroma y color y oxidación lipídica, debido a una actividad enzimática residual (Salazar *et al.*, 2021). La utilización de APH en carne fresca tiene como consecuencia un cambio negativo en el color, debido a una desnaturalización de la mioglobina (Szerman *et al.*, 2011). Mientras que en los productos cárnicos este cambio es muy pequeño, dando como resultado un producto final con color aceptable y con estabilidad microbiológica (Giménez *et al.*, 2015). La mayor ventaja de la utilización de APH sobre parámetros organolépticos en carne es la mejora de la terneza. La mejora en la dureza de la carne por las APH depende principalmente del tiempo *post-mortem* en que estas son aplicadas y el

nivel presión. De manera general, la reducción de dureza se debe a los efectos de las APH (100 a 300 MPa) aplicadas *pre-rigor mortis* sobre las proteínas de la carne. Esto consiste en: solubilización de proteínas miofibrilares (actina -miosina), desintegración de proteínas de línea Z, despolimerización de F-actina, rupturas de banda I, disociación y deformación de miosina, lo cual en conjunto provoca la fragmentación y ruptura de la estructura fibrilar. Sin embargo, presiones mayores a 400 HPa o aplicación *post-rigor mortis* puede ocasionar efectos nulos o incremento de la dureza por oxidación de proteínas (Bolumar *et al.*, 2020).

Antimicrobianos Naturales

El uso de nitratos y nitritos para la conservación de productos cárnicos es utilizado desde hace mucho tiempo (850 D.C.), aunque en aquel entonces era una impureza de la sal. Los nitritos son utilizados principalmente para el curado de productos cárnicos con varias funciones. Por ejemplo, estos otorgan el color rosa característico de embutidos, estabilizan el sabor, retardan la oxidación y confieren actividad antimicrobiana. Además, los nitritos inhiben el crecimiento de bacterias aeróbicas y adicionalmente reducen la germinación de esporas y previenen la formación de toxinas botulínicas. Sin embargo, a pesar de las grandes ventajas que poseen, la seguridad de los nitritos ha sido discutida por la potencial capacidad que tienen para producir *N*-nitrosaminas carcinogénicas en tejido adiposo de productos curados cuando estos son sometidos a altas temperaturas (Subramanian *et al.*, 2014).

De manera general, los consumidores tienen la percepción de que la utilización de conservadores artificiales es dañina para la salud, por lo que existe una tendencia en la utilización de compuestos antimicrobianos naturales (Lemay *et al.*, 2002; Subramanian *et al.*, 2014; Weiss *et al.*, 2015).

Los antimicrobianos pueden provenir de microorganismos, plantas y animales (Hugo y Hugo, 2015). El objetivo de la utilización de antimicrobianos naturales es extender la vida en anaquel y la inocuidad alimentaria mediante el uso de compuestos naturales o microflora natural, principalmente bacterias ácido lácticas (BAL), así como los compuestos antimicrobianos producidos, como el ácido láctico, bacteriocinas, entre otros (Hugo y Hugo, 2015).

Las BAL, entre ellas las asociadas con carne, son microorganismos que pueden ser una buena alternativa para reemplazar conservadores químicos (Yépez *et al.*, 2017). Las BAL pueden actuar como antimicrobianos debido a varios factores como: competencia por nutrientes y producción de compuestos antimicrobianos como ácidos orgánicos, dióxido de carbono, peróxido de hidrógeno, diacetil, etanol y bacteriocinas. Esta tecnología consiste en la aplicación del compuesto natural o las células bacterianas directamente en la masa del alimento, rociado en la superficie o agregado por medio de empaques activos. Al aplicarse BAL a productos cárnicos embutidos, se han encontrado aumentos en la vida de anaquel de hasta 19 días (Vermeiren *et al.*, 2004).

El grado de efectividad de la herramienta de antimicrobianos en productos cárnicos fermentados depende de la capacidad del cultivo de crecer y producir los compuestos antimicrobianos en el alimento (Vermeiren *et al.*, 2004; Aymerich *et al.*, 2008). Las BAL pueden generar bacteriocinas, las cuales son compuestos antibacterianos hipoalergénicos, termoestables, fácilmente degradable por enzimas del tracto intestinal humano (Aymerich *et al.*, 2008). La nisina es una bacteriocina utilizada

industrialmente, con gran efectividad en contra de microorganismos de deterioro y patógenos, especialmente Gram positivos de carne fresca, así como de embutidos. No obstante, existe información con resultados contrarios, en donde la efectividad de los cultivos productores de bacteriocinas es reducida, debido a su baja actividad en contra de microorganismos Gram negativos, pérdida espontánea de generación de bacteriocinas, difusión limitada en alimentos sólidos, inactivación por enzimas proteolíticas y una baja adaptación al medio (Lemay *et al.*, 2002; Vermeiren *et al.*, 2004).

Otro ejemplo reciente de la herramienta microbiana es el caso de *Weissella hellenica*. Esta es una cepa descubierta en China en productos cárnicos fermentados. La *W. hellenica* ha sido reportada como adecuada para la biopreservación de productos cárnicos fermentados, ya que genera la bacteriocina denominada weissellicina D. Esta bacteriocina presenta actividad contra microorganismos patógenos y de deterioro tales como; *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli*, algunos hongos y levaduras. Adicionalmente se considera ideal para la utilización en alimentos y particularmente en embutidos porque presenta estabilidad térmica y al pH (Chen *et al.*, 2014).

Cuando se utilizan cultivos antagonistas en los productos cárnicos para actuar en contra de microorganismos patógenos o de deterioro sin tener un cambio en las propiedades sensoriales, o con un cambio mínimo se denominan cultivos protectores. La mayoría de las investigaciones realizadas en el uso de cultivos protectores en productos cárnicos se centran en su antagonismo por competencia de nutrientes y mediante la formación de compuestos antimicrobianos en contra de microorganismos patógenos (Vermeiren *et al.*, 2004).

El uso de soluciones de ácido láctico (1%) en canales de cerdo ha demostrado disminuir la carga de coliformes totales, *Campylobacter jejuni*, *Salmonella thyphirium*, y al ser utilizado en combinación con ácido ascórbico presenta actividad en contra de *E. coli* (Khan *et al.*, 2016). El uso de compuestos adicionales como lactato de sodio o cloruro de sodio en combinación con las BAL han demostrado acción en contra de algunos microorganismos como *Brochothrix thermosphacta*, *S. aureus*, *Salmonella* y *Listeria* (Lemay *et al.*, 2002; Aymerich *et al.*, 2008). Las BAL han sido utilizadas en pescado fresco, con resultados positivos tanto para la disminución de microorganismos patógenos y de deterioro como para las características organolépticas, resultando una tecnología adecuada para su implementación en el mercado (Gómez-Sala *et al.*, 2016). Las BAL homofermentativas, tolerantes a la sal, psicrófilas y adaptadas a sustratos cárnicos tienen gran potencial para su uso en la biopreservación de productos cárnicos (Vermeiren *et al.*, 2004). La utilización de *Lactobacillus sp* y *Lactobacillus brevis* en productos cárnicos refrigerados fue eficaz en contra de *Yersinia enterocolitica* debido a la producción de ácido láctico y la disminución del pH (Castellano *et al.*, 2008; Angmo *et al.*, 2016). *Lactobacillus curvatus* CRL705 presentó actividad en contra de *Listeria innocua* y *Brochothrix thermosphacta* sin un efecto considerable en el pH (Castellano *et al.*, 2008). Jones *et al.* (2008) encontraron en carne fresca, que los microorganismos *Lactobacillus sakei* y *Lactobacillus lactis* tienen actividad inhibitoria en microorganismos patógenos y de deterioro, como *L. monocytogenes*, *Brochothrix thermosphact*, *Campylobacter jejuni* y *Clostridium estheticum*. *Lactobacillus plantarum* PCS20 y *Lactobacillus delbrueckii* DSM 20074 presentaron actividad antimicrobiana en contra de *Clostridium sp* (Di Gioia *et al.*, 2016). Es común el uso de ácido láctico en conjunto con sus sales en la industria de productos cárnicos, ya que además de impartir sabores deseables, también aumenta su vida en anaquel. Adicionalmente, se ha demostrado actividad en contra de microorganismos como

C. botulinum, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp* y *E. coli* (Aymerich et al., 2008).

Además de bacterias se han empleado levaduras como *Debaryomyces hansenii* en productos cárnicos curados secos, con resultados favorables mostrando actividad en contra de *Penicillium nordicum*, un hongo ocratoxigénico muy común en este tipo de productos. Las ocratoxinas son altamente tóxicas, mostrando efectos nefrotóxicos, carcinógenos, inmunotóxicos, genotóxicos y teratogénicos. La inhibición de hongos en productos cárnicos de humedad intermedia es importante porque estos productos aun contienen una actividad de agua suficientemente elevada para el desarrollo de hongos y para la producción de micotoxinas. (Andrade et al., 2014).

Otro tipo de compuestos antimicrobianos utilizados son los provenientes de plantas, ya que estos pueden alargar la vida en anaquel de productos cárnicos como salchichas, disminuir la oxidación y prevenir la pérdida de color (Hugo y Hugo, 2015). Los aceites esenciales han demostrado tener actividad antimicrobiana. Al utilizarse el aceite esencial de *Mentha piperita* (Compuesto principalmente de mentol e isomentona) se encontró una limitación del deterioro microbiológico, resultando en una mejora en la vida en anaquel de los productos cárnicos. Sin embargo, al utilizar el aceite esencial en conjunto con bacteriosinas (BacTN635), resultó en una mayor efectividad antimicrobiana, se disminuyó la acumulación de metamioglobina, mejoró la aceptabilidad sensorial y se aumentó la vida en anaquel por hasta 7 días adicionales (Smaoui et al., 2016). Mientras que al utilizar aceite esencial de mostaza se encontró una reducción de bacterias mesofílicas aerobias (Lemay et al., 2002). Al utilizar aceites esenciales de canela, tomillo y romero en pescado fresco y molido en contra de *L. monocytogenes*, se encontró que la mayor actividad antimicrobiana se obtuvo al utilizar el tomillo, seguido de canela y por último romero (Abdollahzadeh et al., 2014). El uso de compuestos polifenólicos extraídos de hojas de cerezo y grosella negra mejoraron la calidad microbiana de salchichas de puerco empacadas al vacío durante el almacenamiento por 14 d en refrigeración (Nowak et al., 2016).

Finalmente, el quitosano es un derivado de la quitina, un polímero natural con potencial uso como compuesto antimicrobiano. Es un compuesto no tóxico, biodegradable, biocompatible y seguro. Es el único antimicrobiano natural de origen animal utilizado en productos cárnicos, con resultados positivos en cuanto a una mayor vida en anaquel de salchichas y actividad antimicrobiana contra patógenos (Hugo y Hugo, 2015). Al ser utilizado en carne de puerco molida se ha encontrado actividad inhibitoria de microorganismos, manteniendo las características de calidad de la carne y alargando su vida en anaquel (Chantararataporn et al., 2014)

Tecnologías de barreras (Hurdle)

Se han encontrado efectos benéficos en la combinación de varias tecnologías convencionales para la conservación de los alimentos, tales como: uso de antimicrobianos naturales, APH, ultrasonido, irradiación, control de pH, control de actividad de agua, atmósferas modificadas y aplicación de temperaturas medias. A esta combinación de tecnologías convencionales se le llama Tecnología de Barreras o "Technologies Hurdle" en inglés (Chawla y Chander, 2004; Khan et al., 2016). Gran cantidad de productos cárnicos listos para consumir son desarrollados utilizando una combinación de tecnologías. Se desea conseguir la conservación de productos cárnicos e

incrementar la inocuidad alimentaria con menor cantidad de energía aplicada al alimento. Se han encontrado resultados positivos al aplicar una combinación de tratamientos de irradiación gama, reducción de actividad de agua (valores de 0.85) y empaque al vacío a productos cárnicos (kebabs). Estos efectos positivos fueron debido a que *C. botulinum* es incapaz de crecer y *S. aureus* no puede generar enterotoxinas en ambientes con actividad de agua reducida. Adicionalmente, *S. aureus* no puede desarrollarse en condiciones anaerobias y con una actividad de agua menor a 0.91. Por otro lado, para lograr la reducción de la actividad de agua del producto, en este estudio se necesitó suministrar calor, lo cual pudo causar una reducción de la carga inicial de microorganismos (Chawla y Chander, 2004).

El uso de antimicrobianos naturales como compuestos bioactivos o bacteriocinas, compuestos antioxidantes como los compuestos fenólicos, empaques activos o empaques inteligentes, en combinación con APH es una forma viable y efectiva para el desarrollo de productos cárnicos completamente seguros y bajos en sal (Hygreeva y Pandey, 2016). En jamón curado se ha encontrado un efecto sinérgico en contra de *Listeria monocytogenes*, mediante la utilización de irradiación ionizante (rayos gamma) en combinación con nisina y aceites esenciales de orégano y canela (Huq et al., 2015). La enterocina AS-48 es una bacteriocina que ha demostrado actividad en contra de microorganismos de descomposición. Esta actividad fue incrementada al utilizarse en combinación con nitritos, tripolifosfato pentasódico, pirofosfato de sodio, acetato de sodio y lactato de sodio, resultando en una reducción de UFCs de *Lactobacillus sakei*, *B. thermosphacta* y *Staphylococcus carnosus*, mejorando así la inocuidad alimentaria de jamón curado seco (Baños et al., 2012).

Al someter un producto cárnico a APH (300-600 MPa / 5 min) en combinación con inmersión en una solución conservadora compuesta por ácido ascórbico, nitrito de sodio y cloruro de sodio, se obtuvieron resultados favorables en el producto final, con un color aceptable y con estabilidad microbiana (Giménez et al., 2015). Al comparar el tratamiento de APH con el de biopreservación por nisina, el proceso de APH presentó mayor efectividad en contra de *L. monocytogenes* en jamón cocido. Sin embargo, el mejor tratamiento para la reducción bacteriana y la conservación de características fisicoquímicas como pH y porcentaje de agua fue mediante la combinación de ambos tratamientos (Hereu et al., 2012).

La combinación de ultrasonido (30-40 kHz) de alta intensidad con vapor (90-94 °C) por 10 s en carne de pollo mostró una reducción de *Campylobacter* de 1 log a comparación de solo vapor (Musavian et al., 2014). Por otro lado, la combinación de ultrasonido (30 to 40 kHz) con vapor (130 °C, presión de 3.5 a 5 atmósferas) por 2 s en carne de cerdo no mostró diferencia significativa en el conteo de *Salmonella typhimurium*, *Yersinia enterocolitica* y *Escherichia coli*. Posiblemente debido a los tiempos cortos de tratamiento (Morild et al., 2011). La combinación de ultrasonido de alta intensidad con ácido láctico a diferentes concentraciones (1 - 3 %) causó una reducción de UFC de *Salmonella sp* (Kordowska-Wiater y Stasiak, 2011), *Campylobacter jejuni* (Kassem et al., 2018) y *Pseudomonas fluorescens* (Kordowska-Wiater y Stasiak, 2011) a comparación de la aplicación aislada de ultrasonido de alta intensidad.

3. Conclusiones

Los métodos no térmicos de procesamiento para productos cárnicos que se discuten en el presente documento, incluyendo: irradiación iónica, luz UV, APH, ultrasonido y tecnologías de barrera, parecen tener un futuro prometedor en la industria cárnica. Aunque aún es necesaria la exploración experimental sobre parámetros de aplicación, todos ellos ya han demostrado su capacidad de reducción eficaz de cargas bacterianas, tanto patógenas como de descomposición de los alimentos. Algunos de ellos como el ultrasonido, también ha demostrado beneficios sobre características sensoriales como la terneza de la carne o el pH.

En el caso de antimicrobianos naturales se han observado beneficios organolépticos y mejoras del pH. Todos estos beneficios, puede ser de utilidad para productores y procesadores de carne, ya que pueden contribuir a alcanzar los niveles de inocuidad alimentaria demandados por los consumidores e instancias reguladoras, sin comprometer las características nutricionales y sensoriales, comúnmente degradadas por los métodos térmicos en los alimentos.

De manera sobresaliente, cuando se utilizan estas tecnologías en combinación se observan mayores ventajas que utilizarlas de manera aislada. Dichas ventajas pueden ser; el ahorro de energía, tratamientos menos severos en contra de las propiedades funcionales, contenido nutricional o características organolépticas del producto final, además de mayores niveles de reducción de bacterias tanto de descomposición como patógenas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés con respecto al trabajo presentado en este reporte.

Referencias

- Abdollahzadeh, E., M. Rezaei, and H. Hosseini. 2014. Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat. *Food Control* 35:177–183. <https://doi.org/10.1016/j.FOODCONT.2013.07.004>
- Aguilar, C., J. Serna-Jiménez, E. Benitez, V. Valencia, O. Ochoa, and L. I. Sotelo. 2021. Influence of high power ultrasound on natural microflora, pathogen and lactic acid bacteria in a raw meat emulsion. *Ultrasonics Sonochemistry* 72:105415. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105415>
- Alarcon-Rojo, A. D., L. M. Carrillo-Lopez, R. Reyes-Villagrana, M. Huerta-Jiménez, and I. A. Garcia-Galicia. 2019. Ultrasound and meat quality: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry* 55:369–382. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.016>
- Almanza-Rubio, J. L., N. Gutiérrez-Méndez, M. Y. Leal-Ramos, D. Sepulveda, and I. Salmeron. 2016. Modification of the textural and rheological properties of cream cheese using thermosonicated milk. *Journal of Food Engineering* 168:223–230. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.002>

- Andrade, M. J., L. Thorsen, A. Rodríguez, J. J. Córdoba, and L. Jespersen. 2014. Inhibition of ochratoxigenic moulds by *Debaryomyces hansenii* strains for biopreservation of dry-cured meat products. *International Journal of Food Microbiology* 170:70–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.004>
- Angmo, K., A. Kumari, Monika, Savitri, and T. Chand Bhalla. 2016. Antagonistic activities of lactic acid bacteria from fermented foods and beverage of Ladakh against *Yersinia enterocolitica* in refrigerated meat. *Food Bioscience* 13:26–31. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.fbio.2015.12.004>
- Arroyo, C., D. Lascorz, L. O'Dowd, F. Noci, J. Arimi, and J. G. Lyng. 2014. 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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.08.004>
- Arshad, M. S., J. H. Kwon, R. S. Ahmad, K. Ameer, S. Ahmad, and Y. Jo. 2020. Influence of E-beam irradiation on microbiological and physicochemical properties and fatty acid profile of frozen duck meat. *Food Sci. Nutr.* 8:1020–1029. <http://doi.org/10.1002/fsn3.1386>.
- Aymerich, T., P. A. Picouet, and J. M. Monfort. 2008. Decontamination technologies for meat products. *Meat Science* 78:114–129. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.007>
- Baños, A., S. Ananou, M. Martínez-Bueno, A. Gálvez, M. Maqueda, and E. Valdivia. 2012. Prevention of spoilage by enterocin AS-48 combined with chemical preservatives, under vacuum, or modified atmosphere in a cooked ham model. *Food Control* 24:15–22. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.foodcont.2011.08.001>
- Barekat, S., and N. Soltanizadeh. 2017. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 39:223–229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.009>
- Bastarrachea, L. J., M. Walsh, S. P. Wrenn, and R. V. Tikekar. 2017. Enhanced antimicrobial effect of ultrasound by the food colorant Erythrosin B. *Food Research International* 100:344–351. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.012>
- Benedito, J., J. A. Carcel, C. Rossello, and A. Mulet. 2001. Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science* 57:365–370. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(00\)00113-3](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00113-3)
- Black, E. P., P. Setlow, A. D. Hocking, C. M. Stewart, A. L. Kelly, and D. G. Hoover. 2007. Response of Spores to High-Pressure Processing. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 6:103–119. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00021.x>
- Bolumar, T., V. Orlien, A. Sikes, K. Aganovic, K. H. Bak, C. Guyon, A. S. Stübler, M. de Lamballerie, C. Hertel, and D. A. Brüggemann. 2021. High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 20:332–368. <http://doi.org/10.1111/1541-4337.12670>.
- Buchmann, L., and A. Mathys. 2019. Perspective on Pulsed Electric Field Treatment in the Bio-based Industry. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 7:265. <http://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00265>.
- Al Bsoul, A., J. P. Magnin, N. Commenges-Bernole, N. Gondrexon, J. Willison, and C. Petrier. 2010. Effectiveness of ultrasound for the destruction of *Mycobacterium* sp. strain (6PY1). *Ultrasonics Sonochemistry* 17:106–110. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.04.005>

- Cameron, M., L. D. McMaster, and T. J. Britz. 2008. Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* 15:960–964. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2008.02.012>
- Caraveo, O., A. D. Alarcon-Rojo, A. Renteria, E. Santellano, and L. Paniwnyk. 2015. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95:2487–2493. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6979>
- Carrillo-Lopez, L. M., A. D. Alarcon-Rojo, L. Luna-Rodriguez, and R. Reyes-Villagrana. 2017. Modification of Food Systems by Ultrasound. *Journal of Food Quality* 2017:1–12. <https://doi.org/10.1155/2017/5794931>
- Castellano, P., C. Belfiore, S. Fadda, and G. Vignolo. 2008. A review of bacteriocinogenic lactic acid bacteria used as bioprotective cultures in fresh meat produced in Argentina. *Meat Science* 79:483–499. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.10.009>
- Chang, H.-J., Q. Wang, C.-H. Tang, and G.-H. Zhou. 2015. Effects of Ultrasound Treatment on Connective Tissue Collagen and Meat Quality of Beef Semitendinosus Muscle. *Journal of Food Quality* 38:256–267. <http://dx.doi.org/10.1111/jfq.12141>
- Chang, H. J., X. L. Xu, G. H. Zhou, C. B. Li, and M. Huang. 2012. Effects of Characteristics Changes of Collagen on Meat Physicochemical Properties of Beef Semitendinosus Muscle during Ultrasonic Processing. *Food and Bioprocess Technology* 5:285–297. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0269-9>
- Chantarasataporn, P., P. Tepkasikul, Y. Kingcha, R. Yoksan, R. Pichyangkura, W. Visessanguan, and S. Chirachanchai. 2014. Water-based oligochitosan and nanowhisiker chitosan as potential food preservatives for shelf-life extension of minced pork. *Food Chemistry* 159:463–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.019>
- Chawla, S. P., and R. Chander. 2004. Microbiological safety of shelf-stable meat products prepared by employing hurdle technology. *Food Control* 15:559–563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2003.09.001>
- Chen, C., X. Chen, M. Jiang, X. Rui, W. Li, and M. Dong. 2014. A newly discovered bacteriocin from *Weissella hellenica* D1501 associated with Chinese Dong fermented meat (Nanx Wudl). *Food Control* 42:116–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.031>
- Coll Cardenas, F. J., and D. F. Olivera. 2016. *Texture Changes in Meat During Storage*. Elsevier, pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03294-7>
- Corona, E., J. V. Garcia-perez, T. E. G. Alvarez-arenas, N. Watson, M. J. W. W. Povey, J. Benedito, T. E. Gomez Alvarez-Arenas, N. Watson, M. J. W. W. Povey, and J. Benedito. 2013a. Advances in the ultrasound characterization of dry-cured meat products. *Journal of Food Engineering* 119:464–470. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.023>
- Corona, E., J. V. García-Pérez, A. Mulet, and J. Benedito. 2013b. Ultrasonic assessment of textural changes in vacuum packaged sliced Iberian ham induced by high pressure treatment or cold storage. *Meat Science* 95:389–395. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.008>

- Daher, D., S. Le Gourrierec, and C. Pérez-Lamela. 2017. Effect of high pressure processing on the microbial inactivation in fruit preparations and other vegetable based beverages. *Agric.* 7:1–18. <http://doi.org/10.3390/agriculture7090072>.
- Díaz-Almanza, S., I. A. García-Galicia, A. L. Rentería-Monterrubio, and R. A. Reyes-Villagrana. 2021. Analysis of the simultaneous measurement of acoustic phase velocity and stress-strain relationship in beef: An approach to Young's modulus. *Applied Acoustics* 182:108237. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108237>
- Díaz-Almanza, S., R. Reyes-Villagrana, A. D. Alarcon-Rojo, M. Huerta-Jimenez, L. M. Carrillo-Lopez, C. Estep, J. Urbina-Perez, and I. A. Garcia-Galicia. 2019. Time matters when ultrasonication beef: The best time for tenderness is not the best for reducing microbial counts. *Journal of Food Process Engineering* 42. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.13210>
- Di Gioia, D., G. Mazzola, I. Nikodinoska, I. Aloisio, T. Langerholc, M. Rossi, S. Raimondi, B. Melero, and J. Rovira. 2016. Lactic acid bacteria as protective cultures in fermented pork meat to prevent *Clostridium* spp. growth. *International Journal of Food Microbiology* 235:53–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.019>
- Dolan, H. L., L. J. Bastarrachea, and R. V. Tikekar. 2018. Inactivation of *Listeria innocua* by a combined treatment of low-frequency ultrasound and zinc oxide. *LWT - Food Science and Technology* 88:146–151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.008>
- Evelyn, and F. V. M. Silva. 2018. Differences in the resistance of microbial spores to thermosonication, high pressure thermal processing and thermal treatment alone. *Journal of Food Engineering* 222:292–297. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.037>
- Fortin, A., A. K. W. Tong, and W. M. Robertson. 2004. Evaluation of three ultrasound instruments, CVT-2, UltraFom 300 and AutoFom for predicting salable meat yield and weight of lean in the primals of pork carcasses. *Meat Science* 68:537–49. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.05.006>
- Fulladosa, E., M. De Prados, J. V. García-Perez, J. Benedito, I. Muñoz, J. Arnau, and P. Gou. 2015. X-ray absorptiometry and ultrasound technologies for non-destructive compositional analysis of dry-cured ham. *Journal of Food Engineering* 155:62–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.015>
- Gambuteanu, C., and P. Alexe. 2013. Effects of ultrasound assisted thawing on microbiological, chemical and technological properties of unpackaged pork *Longissimus dorsi*. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology* 37:98–107. <https://bit.ly/3w8I9gz>
- Gao, S., G. D. Lewis, M. Ashokkumar, and Y. Hemar. 2014a. Inactivation of microorganisms by low-frequency high-power ultrasound: 1. Effect of growth phase and capsule properties of the bacteria. *Ultrasonics Sonochemistry* 21:446–453. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.06.006>
- Gao, S., Y. Hemar, M. Ashokkumar, S. Paturel, and G. D. Lewis. 2014b. Inactivation of bacteria and yeast using high-frequency ultrasound treatment. *Water Research* 60:93–104. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.038>
- García-Pérez, J. V., M. De Prados, G. Martínez-Escrivá, R. González, A. Mulet, and J. Benedito. 2015. Exploring the use of Low-intensity Ultrasonics as a Tool for Assessing the Salt Content in Pork Meat Products. *Physics Procedia* 70:837–840. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2015.08.171>

- Giménez, B., N. Graiver, A. Califano, and N. Zaritzky. 2015. Physicochemical characteristics and quality parameters of a beef product subjected to chemical preservatives and high hydrostatic pressure. *Meat Science* 100:179–188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.017>
- Gómez, B., P. E. S. Munekata, M. Gavahian, F. J. Barba, F. J. Martí-Quijal, T. Bolumar, P. C. B. Campagnol, I. Tomasevic, and J. M. Lorenzo. 2019. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Res. Int.* 123:95–105. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.047>.
- Gómez-Sala, B., C. Herranz, B. Díaz-Freitas, P. E. Hernández, A. Sala, and L. M. Cintas. 2016. Strategies to increase the hygienic and economic value of fresh fish: Biopreservation using lactic acid bacteria of marine origin. *International Journal of Food Microbiology* 223:41–49. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.005>
- Got, F., J. Culioli, P. Berge, X. Vignon, T. Astruc, J. M. Quideau, and M. Lethiecq. 1999. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physicochemical properties of beef. *Meat Science* 51:35–42. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00094-1](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00094-1)
- Ham, Y. K., H. W. Kim, K. E. Hwang, D. H. Song, Y. J. Kim, Y. S. Choi, B. S. Song, J. H. Park, and C. J. Kim. 2017. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. *Radiation Physics and Chemistry* 130:259–264. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.09.010>
- Haumschild, D. J., and D. L. Carlson. 1983. An ultrasonic Bragg scattering technique for the quantitative characterization of marbling in beef. *Ultrasonics* 21:226–233. <https://core.ac.uk/download/pdf/38918548.pdf>
- Hereu, A., S. Bover-Cid, M. Garriga, and T. Aymerich. 2012. High hydrostatic pressure and biopreservation of dry-cured ham to meet the Food Safety Objectives for *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Food Microbiology* 154:107–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.027>
- Hernández, B., C. Sáenz Gamasa, J. M. Diñeiro Rubial, and C. Alberdi Odriozola. 2019. CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science* 157:107889. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
- Huang, E., G. S. Mittal, and M. W. Griffiths. 2006. Inactivation of *Salmonella enteritidis* in Liquid Whole Egg using Combination Treatments of Pulsed Electric Field, High Pressure and Ultrasound. *Biosystems Engineering* 94:403–413. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.03.008>
- Hugo, C. J., and A. Hugo. 2015. Current trends in natural preservatives for fresh sausage products. *Trends in Food Science and Technology* 45:12–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.003>
- Huq, T., K. D. Vu, B. Riedl, J. Bouchard, and M. Lacroix. 2015. Synergistic effect of gamma (γ)-irradiation and microencapsulated antimicrobials against *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat (RTE) meat. *Food Microbiology* 46:507–514. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.09.013>
- Hygreeva, D., and M. C. Pandey. 2016. Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products through high pressure processing technology - A review. *Trends in Food Science & Technology* 54:175–185. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.002>

- IFST. 2015. The Use of Irradiation for Food Quality and Safety. Information statement. Institute of Food Science and Technology. <https://www.ifst.org/resources/information-statements/food-irradiation>
- Inguglia, E. S., B. K. Tiwari, J. P. Kerry, and C. M. Burgess. 2018. Effects of high intensity ultrasound on the inactivation profiles of *Escherichia coli* K12 and *Listeria innocua* with salt and salt replacers. *Ultrasonics Sonochemistry* 48:492–498. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.05.007>
- Jayasooriya, S. D., P. J. Torley, B. R. D'Arcy, and B. R. Bhandari. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Science* 75:628–639. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.09.010>
- Jones, R. J., H. M. Hussein, M. Zagorec, G. Brightwell, and J. R. Tagg. 2008. Isolation of lactic acid bacteria with inhibitory activity against pathogens and spoilage organisms associated with fresh meat. *Food Microbiology* 25:228–234. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.11.001>
- Kang, D. cheng, X. qin Gao, Q. feng Ge, G. hong Zhou, and W. gang Zhang. 2017. Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification. *Ultrasonics Sonochemistry* 38:317–325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.03.026>
- Kassem, A., J. Meade, K. McGill, C. Walsh, J. Gibbons, J. Lyng, and P. Whyte. 2018. An investigation of high intensity ultrasonication and chemical immersion treatments on *Campylobacter jejuni* and spoilage bacteria in chicken. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 45:298–305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.015>
- Keklik, N. M., Krishnamurthy, K., & Demirci, A. 2012. Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light. In *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications* (pp. 344–369). <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.344>
- Kerhervé, S. O., R. M. Guillermic, A. Strybulevych, D. W. Hatcher, M. G. Scanlon, and J. H. Page. 2019. Online non-contact quality control of noodle dough using ultrasound. *Food Control* 104:349–357. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.024>
- Khan, I., C. N. Tango, S. Miskeen, B. H. Lee, and D.-H. Oh. 2016. Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety-A review. *Food Control* 73:1426–1444. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.foodcont.2016.11.010>
- Kordowska-Wiater, M., and D. M. Stasiak. 2011. Effect of ultrasound on survival of gram-negative bacteria on chicken skin surface. *Bull Vet Inst Pulawy* 55:207–210. <https://bit.ly/3MzOSWV>
- Kundu, D., A. Gill, C. Lui, N. Goswami, and R. Holley. 2014. Use of low dose e-beam irradiation to reduce *E. coli* O157: H7, non-O157 (VTEC) *E. coli* and *Salmonella* viability on meat surfaces. *Meat Science* 96:413–418. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.034>
- Lemay, M. J., J. Choquette, P. J. Delaquis, C. Gariépy, N. Rodrigue, and L. Saucier. 2002. Antimicrobial effect of natural preservatives in a cooked and acidified chicken meat model. *International Journal of Food Microbiology* 78:217–226. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(02\)00014-4](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00014-4)
- Li, S., D. Kundu, and R. A. Holley. 2015. Use of lactic acid with electron beam irradiation for control of *Escherichia coli* O157:H7, non-O157 VTEC *E. coli*, and *Salmonella* serovars on fresh and frozen beef. *Food Microbiol.* 46:34–39. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.06.018>

- Li, J., Y. Suo, X. Liao, J. Ahn, D. Liu, S. Chen, X. Ye, and T. Ding. 2017. Analysis of *Staphylococcus aureus* cell viability, sublethal injury and death induced by synergistic combination of ultrasound and mild heat. *Ultrasonics Sonochemistry* 39:101–110. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.04.019>
- Liao, X., J. Li, Y. Suo, S. Chen, X. Ye, D. Liu, and T. Ding. 2018. Multiple action sites of ultrasound on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Food Science and Human Wellness* 7:102–109. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.01.002>
- Llull, P., S. Simal, A. Femenia, J. Benedito, and C. Rosselló. 2002. The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from Mallorca. *Journal of Food Engineering* 52:323–330. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00122-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00122-4)
- Loconsole, D., and P. Santamaria. 2021. UV lighting in horticulture: A sustainable tool for improving production quality and food safety. *Horticulturae*. 7:1–13. <http://doi.org/10.3390/horticulturae7010009>.
- McClements, D. J., and G. Sundaram. 1997. Ultrasonic Characterization of Foods and Drinks: Principles, Methods, and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 37–41. <https://doi.org/10.1080/10408399709527766>
- Morild, R. K., P. Christiansen, A. H. Sørensen, U. Nonboe, and S. Aabo. 2011. Inactivation of pathogens on pork by steam-ultrasound treatment. *Journal of Food Protection* 74:769–775. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-10-338>
- Modugno, C., C. Peltier, H. Simonin, L. Dujourdy, F. Capitani, C. Sandt, and J. M. Perrier-Cornet. 2020. Understanding the Effects of High Pressure on Bacterial Spores Using Synchrotron Infrared Spectroscopy. *Front. Microbiol.* 10:1–10. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03122>.
- Musavian, H. S., N. H. Krebs, U. Nonboe, J. E. L. Corry, and G. Purnell. 2014. Combined steam and ultrasound treatment of broilers at slaughter: A promising intervention to significantly reduce numbers of naturally occurring campylobacters on carcasses. *International Journal of Food Microbiology* 176:23–28. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.001>
- Nowak, A., A. Czyzowska, M. Efenberger, and L. Krala. 2016. Polyphenolic extracts of cherry (*Prunus cerasus* L.) and blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves as natural preservatives in meat products. *Food Microbiology* 59:142–149. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.004>
- Ozuna, C., A. Puig, J. V. García-Pérez, A. Mulet, and J. A. Cárcel. 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* 119:84–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016>
- Paskeviciute, E., I. Buchovec, and Z. Luksiene. 2011. High-Power Pulsed Light For Decontamination Of Chicken From Food Pathogens: A Study On Antimicrobial Efficiency And Organoleptic Properties. *Journal of Food Safety* 31:61–68. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4565.2010.00267.x>
- Peña-Gonzalez, E., A. D. Alarcon-Rojo, I. Garcia-Galicia, L. Carrillo-Lopez, and M. Huerta-Jimenez. 2019. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters. *Ultrasonics Sonochemistry* 53:134–141. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.045>

- Peña-González, E. M., A. D. Alarcón-Rojo, A. Rentería, I. García, E. Santellano, A. Quintero, and L. Luna. 2017. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef. *Italian Journal of Food Science* 29:463–475. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v604>
- Pinton, M. B., L. P. Correa, M. M. X. Facchi, R. T. Heck, Y. S. V. Leães, A. J. Cichoski, J. M. Lorenzo, M. dos Santos, M. A. R. Pollonio, and P. C. B. Campagnol. 2019. Ultrasound: A new approach to reduce phosphate content of meat emulsions. *Meat Science* 152:88–95. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.010>
- De Prados, M., J. V. Garcia-Perez, and J. Benedito. 2016. Ultrasonic characterization and online monitoring of pork meat dry salting process. *Food Control* 60:646–655. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.009>
- Reyes, J. E., G. Tabilo-Munizaga, M. Pérez-Won, D. Maluenda, and T. Roco. 2015. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) treatments on microbiological shelf-life of chilled Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 29:107–112. <https://bit.ly/3liEyXb>
- Ricciardi, E. F., V. Lacivita, A. Conte, E. Chiaravalle, A. V. Zambrini, and M. A. Del Nobile. 2019. X-ray irradiation as a valid technique to prolong food shelf life: The case of ricotta cheese. *International Dairy Journal* 99:104547. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104547>
- Roberts, R. T. T. 1991. Sound for processing food. *Nutrition & Food Science* 91:17–18.
- Salazar, F. A., S. Yildiz, D. Leyva, M. Soto-Caballero, J. Welte-Chanes, P. S. Anubhav, M. Lavilla, and Z. Escobedo-Avellaneda. 2021. HHP Influence on Food Quality and Bioactive Compounds: A Review of the Last Decade. *Innovative Food Processing Technologies* 87–111. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22984-3>
- Sikes, A. L., R. Mawson, J. Stark, and R. Warner. 2014. Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* 21:2138–2143. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.03.008>
- Silva, H. L. A., M. P. Costa, B. S. Frasao, E. F. M. Mesquita, S. C. R. P. Mello, C. A. Conte-Junior, R. M. Franco, and Z. B. Miranda. 2015. Efficacy of Ultraviolet-C Light to Eliminate *Staphylococcus Aureus* on Precooked Shredded Bullfrog Back Meat. *Journal of Food Safety* 35:318–323. <https://doi.org/10.1111/jfs.12178>
- Smaoui, S., A. Ben Hsouna, A. Lahmar, K. Ennouri, A. Mtibaa-Chakchouk, I. Sellem, S. Najah, M. Bouaziz, and L. Mellouli. 2016. Bio-preservative effect of the essential oil of the endemic *Mentha piperita* used alone and in combination with BacTN635 in stored minced beef meat. *Meat Science* 117:196–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.006>
- Sommers, C. H., J. J. Scullen J, and J. E. Sites. 2010. Inactivation of foodborne pathogens on frankfurters using ultraviolet light and gras antimicrobials. *Journal of Food Safety* 30:666–678. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2010.00232.x>
- Stadnik, J., and Z. J. Dolatowski. 2011. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (*m. semimembranosus*). *European Food Research and Technology* 233:553–559. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-011-1550-5>

- Subramanian, J. H., L. D. Kagliwal, and R. S. Singhal. 2014. Permitted Preservatives – Nitrites and Nitrates. In *Encyclopedia of Food Microbiology* (92–98 pp). Second Edition. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00267-6>.
- Suklim, K., G. J. Flick, and K. Vichitphan. 2014. Effects of gamma irradiation on the physical and sensory quality and inactivation of *Listeria monocytogenes* in blue swimming crab meat (*Portunas pelagicus*). *Radiation Physics and Chemistry* 103:22–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.05.009>
- Suwandy, V., A. Carne, R. van de Ven, A. E. D. A. Bekhit, and D. L. Hopkins. 2015. Effect of Repeated Pulsed Electric Field Treatment on the Quality of Cold-Boned Beef Loins and Topsides. *Food Bioprocess Technol.* 8:1218–1228. <http://doi.org/10.1007/s11947-015-1485-0>.
- Szerman, N., Y. Barrio, B. Schroeder, P. Martinez, A. M. Sancho, C. Sanow, and S. R. Vaudagna. 2011. Effect of high hydrostatic pressure treatments on physicochemical properties, microbial quality and sensory attributes of beef carpaccio. *Procedia Food Science* 1:854–861. <http://dx.doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.129>
- Tapp, W. N., J. W. S. Yancey, and J. K. Apple. 2011. How is the instrumental color of meat measured? *Meat Science* 89:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.021>
- Tremarin, A., T. R. S. Brandão, and C. L. M. Silva. 2017. Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores inactivation in apple juice. *LWT - Food Science and Technology* 78:138–142. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.039>
- Turantaş, F., G. B. Kılıç, and B. Kılıç. 2015. Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. *International Journal of Food Microbiology* 198:59–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.026>
- Vermeiren, L., F. Devlieghere, and J. Debevere. 2004. Evaluation of meat born lactic acid bacteria as protective cultures for the biopreservation of cooked meat products. *International Journal of Food Microbiology* 96:149–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.016>
- Visy, A., G. Jónás, D. Szakos, Z. Horváth-Mezófi, K. I. Hidas, A. Barkó, and L. Friedrich. 2021. Evaluation of ultrasound and microbubbles effect on pork meat during brining process. *Ultrasonics Sonochemistry* 75:105589. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105589>
- Wan, Y., H. Wang, W. Wang, L. Zan, and J. Zhu. 2018. Effect of Ultrasound and Calcium Chloride on the Ultrastructure and the Warner-Bratzler Shear Force Value of Beef Shank Muscle Fibers. *Food Biophysics* 13:396–403. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9545-4>
- Wang, A., D. Kang, W. Zhang, C. Zhang, Y. Zou, and G. Zhou. 2018. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound. *Food Chemistry* 245:724–730. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.003>
- Weiss, J., M. Loeffler, and N. Terjung. 2015. The antimicrobial paradox: why preservatives loose activity in foods. *Current Opinion in Food Science* 4:69–75. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.05.008>
- WHO. 2016. Ionizing radiation, health effects and protective measures. *Ioniz. radiation, Heal. Eff. Prot. Meas.* <https://bit.ly/3wuClwP>

- Woldemariam, H. W., and S. A. Emire. 2019. High Pressure Processing of Foods for Microbial and Mycotoxins Control: current trends and future prospects. *Cogent Food Agric.* 5. <http://doi.org/10.1080/23311932.2019.1622184>.
- Yépez, A., C. Luz, G. Meca, G. Vignolo, J. Mañes, and R. Aznar. 2017. Biopreservation potential of lactic acid bacteria from Andean fermented food of vegetal origin. *Food Control* 78:393–400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.009>
- Zhang, H., and G. S. Mittal. 2008. Effects of High-Pressure Processing (HPP) on Bacterial Spores: An Overview. *Food Rev. Int.* 24:330–351. <http://doi.org/10.1080/87559120802089290>.
- Zou, Y., W. Zhang, D. Kang, and G. Zhou. 2018. Improvement of tenderness and water holding capacity of spiced beef by the application of ultrasound during cooking. *International Journal of Food Science and Technology* 53:828–836. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13659>
- Zupanc, M., Ž. Pandur, T. Stepišnik Perdih, D. Stopar, M. Petkovšek, and M. Dular. 2019. Effects of cavitation on different microorganisms: The current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals for further research. *Ultrasonics Sonochemistry* 57:147–165. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.009>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>