

Nacameh

Publicación electrónica arbitrada en Ciencia y Tecnología de la Carne
cbs.izt.uam.mx/nacameh
ISSN 2007-0373

NACAMEH Vol. 9, No. 1, pp. 19-53, 2015

Innovación en el desarrollo y mejora de productos cárnicos a través del uso de altas presiones hidrostáticas

Innovation in the development and improvement of meat products: High hydrostatic pressures

Claudia Gallardo, Rebeca García-García, Jorge Welti-Chanes✉

Centro de Biotecnología FEMSA, Escuela de Ingeniería y Ciencias. Tecnológico de Monterrey. Eugenio Garza Sada No. 2501. Col Tecnológico 64849. Monterrey NL México.

✉ *Autor de correspondencia: jwelti@itesm.mx.*

Resumen

Uno de los enfoques de mayor interés en el desarrollo de productos y procesos de la industria de alimentos está relacionado con la reducción en el uso de aditivos que puedan tener efectos negativos en la salud del consumidor. Este punto de vista denominado limpieza de etiqueta nutrimental, está orientado a la sustitución total o parcial de aditivos por otros factores de conservación que no tengan los efectos negativos mencionados y que mantengan la inocuidad y calidad de los productos procesados. Las Altas Presiones Hidrostáticas (APH) es uno de los nuevos factores de conservación empleados para reducir el contenido de cloruro de sodio y nitritos en productos cárnicos. La tecnología de APH está siendo aplicada de manera creciente para producir alimentos seguros y de alta calidad con efectos mínimos en las características sensoriales y nutricionales. En este contexto la presente revisión describe el estado actual en la formulación de productos cárnicos procesados, específicamente el jamón cocido, así como las alternativas del uso de altas presiones en dicho producto y sus perspectivas de desarrollo a futuro.

Palabras claves: altas presiones hidrostáticas, productos cárnicos, limpieza de etiqueta nutrimental.

Abstract

One focus of interest in the development of products and processes of the food industry is related to the reduction in the use of additives that could have negative effects on consumer health. This view called cleaning nutritional label is aimed at the partial or total substitution of additives by other factors that do not have these negative effects and maintain the safety and quality of the products processed. The high hydrostatic pressure (HHP) is one of the new conservation factors used to reduce the content of sodium chloride and nitrites in meat products. HHP technology is increasingly being applied to produce safe with high quality and minimal effects on food sensory and nutritional characteristics. In this context the present review describes the current status in the development of processed meat products, specifically ham, as well as alternative use of high pressure in the product and its future development prospects.

Key Words: high hydrostatic pressure, meat products, cleaning nutrimental label.

INTRODUCTION

La demanda de productos cada vez más frescos y saludables ha creado nuevos mercados dirigidos hacia la reformulación de alimentos, mediante la reducción o sustitución de ingredientes claves (sal, azúcar, agentes antimicrobianos, grasas) que son un factor de riesgo para la salud. En México el consumo de sal (NaCl) excede un 120% el valor recomendado (5g/día) lo que produce problemas de hipertensión en 5 de cada 10 mexicanos, las estimaciones en el consumo sugieren que entre 20 a 30% de la ingesta de sal proviene de la carne y los derivados cárnicos (Wirth, 1991). La producción nacional de productos cárnicos se distribuye de la siguiente forma: jamón de todo tipo (42%), mortadela (2.48%), salchicha (51%), chorizo y longaniza (3%) (INEGI, 2014; SAGARPA, 2008). Los ingredientes comunes que se encuentran en la etiqueta de este tipo de productos son: carne (pavo, cerdo), sal, nitritos, nitratos, emulsificantes, estabilizadores, antioxidantes y acentuadores de sabor. Entre estos ingredientes destacan la sal y los nitritos, compuestos que además de actuar como agentes antimicrobianos, confieren características de color, aroma, textura y sabor únicos y distintivos de los productos cárnicos a los que son incorporados. Su función en el alimento e interacción con los demás ingredientes depende de la matriz cárnica, las condiciones del proceso de elaboración y la flora microbiana presente (Tarté, 2009).

La industria cárnica ha utilizado en exceso sal y nitritos como agentes antimicrobianos con el afán de asegurar la inocuidad de sus productos, a pesar de que son precursores de enfermedades como la hipertensión arterial, obesidad, diabetes tipo 2 y diversos tipos de cáncer. Esta situación, ha orientado el trabajo de investigación y desarrollo de productos cárnicos hacia la limpieza de su etiqueta nutrimental, buscando mantener la inocuidad y la calidad mediante la reducción del contenido de ingredientes que puedan tener efectos negativos en la salud del consumidor. Este es el caso de los productos cárnicos, en los que

se utilizan tratamientos térmicos tradicionales que son efectivos para propósitos de limpieza de etiqueta, pero generalmente causan efectos adversos en la calidad sensorial y nutricional de los productos finales. Una alternativa para resolver este problema, es la combinación de las estrategias de reformulación y el uso de nuevas tecnologías no térmicas, como es el caso de las altas presiones hidrostáticas, tecnología que ha demostrado que puede ayudar a reducir el contenido de sal y otros ingredientes, manteniendo o mejorando notablemente la calidad microbiológica y sensorial de los productos procesados (Considine y col., 2008). Considerando lo anterior, la presente revisión describe el estado actual de la formulación de productos cárnicos diversos, el papel de los ingredientes empleados, las alternativas de sustitución de varios aditivos, así como las opciones de uso de altas presiones hidrostáticas en productos cárnicos y sus perspectivas de desarrollo a futuro, con un enfoque particular en la limpieza de etiqueta nutrimental en el jamón cocido.

Procesamiento de productos cárnicos

La finalidad del proceso de conservación de un alimento es prolongar su vida de anaquel, lo que ocurre en ocasiones con efectos adversos en el alimento, como la destrucción de nutrientes, la pérdida de color y daño a los atributos sensoriales. Para reducir estas consecuencias se han utilizado en forma combinada los factores de conservación como la actividad de agua (a_w), pH y flora microbiana competitiva, así como el uso de métodos tradicionales de conservación como refrigeración/congelación, esterilización, pasteurización, secado y curado. Particularmente, la industria de la carne utiliza la pasteurización (65°C a 75°C) como método de conservación con la finalidad de inhibir enzimas y eliminar los microorganismos vegetativos, sin embargo su efecto es limitado en la inhibición de esporas bacterianas. En el proceso de elaboración de estos alimentos, representado en la Fig. 1 para el caso del jamón cocido, la calidad del producto final está ligada a diversos factores, tales como: materia prima (edad, tipo de corte), composición de la salmuera (15-24%), porcentaje de inyección de la salmuera (10%-40%), tecnología de elaboración y modalidades de cocción (temperatura constante, escalonada, gradientes de temperatura). La intensidad del tratamiento térmico, se establece de acuerdo al pH (> 4.5) y los microorganismos más resistentes, y su magnitud tendrá influencia sobre la inocuidad del producto, rendimiento y calidad sensorial; el rendimiento además es dependiente de la función de los compuestos retenedores de agua (fosfatos y glutamato monosódico) y del tiempo de cocción. Adicionalmente la calidad microbiológica de estos alimentos depende de los diversos puntos de probable contaminación, los cuales corresponden a la adición de la salmuera, y la etapa de rebanado-empacado que tiene un impacto en el periodo que comprende la vida de anaquel (Holdsworth y Simpson, 1997; Tornberg, 2005; Comaposada y col., 2010; Hernández, Aquino y Ríos, 2013; Aguilar y col., 2013; FAO, 2014).

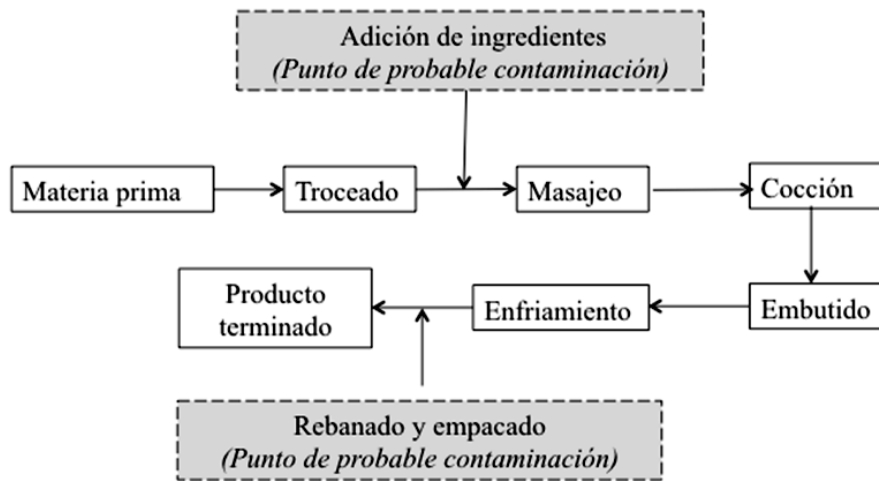


Fig. 1 Proceso de elaboración de jamón curado cocido.

La clasificación comercial del jamón depende de su contenido de proteína, grasa, humedad, proteína adicionada, carragenina y fécula. La concentración de los ingredientes y calidad del producto final se determina a través de las características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas del jamón especificadas en las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-158-SCFI-2003, NOM-122-SSA1-1994, NOM-115-SSAI-1994, NOM-113-SSAI-1994, NOM-111-SSAI-1994, NOM-110-SSAI-1994, NOM-109-SSAI-1994, NOM-092-SSAI-1994 (DOF, 2014).

Función de los ingredientes en la elaboración de jamón cocido

En el caso particular del jamón cocido la adecuada función de los ingredientes depende de diversos factores asociados con su concentración en la formulación, características físicas de la carne y propiedades de los ingredientes (tamaño de partícula, viscosidad). La etapa de fabricación donde se incorporan y las condiciones de proceso.

Sal

La sal o cloruro de sodio (NaCl) es un ingrediente usado con frecuencia en el procesamiento de productos cárnicos. La sal imparte sabor y aroma, así como diversas propiedades funcionales debido a su participación en interacciones: proteína-agua (retenedor de agua), proteína-proteína (emulsifica proteínas) y proteína-grasa (emulsifica la grasa). El efecto antimicrobiano del NaCl se debe esencialmente a su capacidad para reducir la a_w , lo que permite inhibir microorganismos y prolongar la vida de anaquel. La sal también puede causar como efecto indeseable rancidez en el músculo, debido a su influencia en la acción de la enzima lipoxidasa, sin embargo dicho compuesto puede tenderizar la carne cuando es usado en niveles entre 3-9%. El NaCl generalmente es aplicado en combinación con nitritos para inhibir la bacteria *Clostridium botulinum*, que

puede sobrevivir al tratamiento térmico utilizado en la elaboración de los productos curados cocidos. La sal es considerada un compuesto GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro) cuya concentración está regulada por las buenas prácticas de elaboración citadas en reglamentaciones internacionales como el Codex-Stan 96-1981 (Codex Alimentarius, 1981; Terrell, 1983; Ruusunen y Puolanne, 2005; Kilcast y Angus, 2007).

Agentes curantes

Los agentes curantes, nitritos y nitratos son ingredientes que confieren a los productos cárnicos curados cualidades distintivas de sabor y color. Adicionalmente aportan protección contra la oxidación de las grasas y previenen el desarrollo de microorganismos deteriorativos y patógenos. Las propiedades antimicrobianas de los nitritos dependen principalmente del pH; se ha reportado que el efecto bacteriostático (pH 5-6) del nitrito se incrementa diez veces cuando el pH decrece en una unidad (Paelinck y Szczepaniak, 2005). Los nitritos y nitratos participan en la síntesis de óxido nítrico mediante un esquema de reacciones que contribuyen al proceso de curado, donde el nitrato puede ser convertido a nitrito por el metabolismo bacteriano. Aún existen desacuerdos acerca del papel inhibitorio del nitrito (adicionado/residual presente en el producto final) en microorganismos como *Clostridium botulinum*. A pesar de esto, la inocuidad de los productos cárnicos curados (refrigerados), se determina de acuerdo al nivel de nitritos residual, que es de 120 ppm en Estados Unidos según lo establecido por el Servicio de Inocuidad e Inspección de los Alimentos (FSIS por sus siglas en inglés) regulado en México a través de la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002 (156 ppm) (Cassens, 1997) y el Codex-Stan 96-1981 (125 ppm). De acuerdo con Wirth (1989), la concentración mínima inhibitoria de nitrito utilizada en patógenos como *Clostridium spp*, *Staphylococcus spp.* y *Salmonella spp.* es de 80-150 ppm. Otros investigadores reportaron que 50 ppm de nitrito inhibe enterobacterias, mientras las bacterias lácticas (BAL) pueden crecer sin problema con 150 ppm (González y Diez, 2002). Sin embargo, Verluyten y col. (2003) muestran que una concentración de nitritos de 10 ppm inhibe a *Lactobacillus curvatus*, un lactobacilo capaz de producir una bacteriocina antilisterial. En productos curados refrigerados, la velocidad de consumo de nitrito residual muestra una relación exponencial con el pH y la temperatura, su magnitud puede duplicarse con un incremento de temperatura de 12 °C y un descenso de 0.86 unidades de pH. Generalmente el 80% de nitrito se pierde entre el proceso de producción y su venta, por lo que se estima que la concentración media de nitrito al tiempo de consumo es de 7 ppm. En ocasiones el tiempo del curado se reduce usando agentes antioxidantes (ascorbato de sodio, tocoferol y eritorbato ácido) y aceleradores del curado (ácido fumárico, glucono-delta-lactona) que causan como efecto indeseable pérdida de color en el producto refrigerado. En algunos estudios el desarrollo de aromas inadecuados y el grado de rancidez es controlado (87-91%) cuando la concentración de nitritos (200 ppm) excede los límites establecidos por las normas oficiales (Nordin, 1969; Buchanan y Solberg, 1978; Sofos, Busta y Allen, 1979a; Benedict,

1980; Fox, Fiddler y Wasserman, 1981; Woods, Wood y Gibss, 1981; Morrissey y Tichivangana, 1985; Buchanan, Stahl y Whiting, 1989; Tompkin, 1983; Hill, Chem y Path, 1996; Romans y col., 2001; Møller y Skibsted, 2002; Shahidi, 2004).

Emulsificantes

Los fosfatos y sus derivados (pirofosfatos, ortofosfatos y tripolifosfatos) mejoran el rendimiento del producto cocido, la textura y la jugosidad, ya que facilitan la interacción entre las proteínas y la retención de agua en la emulsión. Su adecuada función depende de la concentración, composición, y condiciones de mezclado. Cuando se utilizan solos o en combinación con hidróxido de sodio (1:4) elevan el pH y reducen la velocidad de formación de óxido nítrico, lo que permite un desarrollo adecuado del color durante la vida de anaquel. Algunos reportes indican que los fosfatos pueden actuar como agentes antimicrobianos, en los productos curados la Norma oficial Mexicana NOM-145-SSA1-1995 estipula que el límite máximo permitido de fosfatos es de 5000 ppm, debido a que los niveles mayores a los propuestos pueden causar problemas de descalcificación ósea. Otros emulsificantes, como el caseinato de calcio y proteína de soya incrementan el contenido proteico, mejoran la capacidad de enlace de las proteínas con el agua y promueven la formación de geles. Su contenido máximo permitido es del 2% (DOF, 2014) según lo indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-122-SSA1-1994 (Molins, 1991; Xiong, 2005; Tarté, 2009).

Acentuadores de sabor

El papel de los compuestos acentuadores (glucosa, cebolla, pimienta blanca, clavo, canela entre otros) es aportar aroma, apariencia y funcionalidad al producto, cuando se incorporan en el proceso de elaboración como una mezcla adicional a los agentes curantes. La eficacia de los acentuadores se relaciona con el tamaño de partícula y el tipo de molienda de la carne, en compuestos como el glutamato monosódico, proteína vegetal hidrolizada e inosinato disódico (0.05-2%) su concentración límite es establecida por la Norma Oficial Mexicana NOM-122-SSA1-1994 (Tarté, 2009).

Estabilizantes

En formulaciones cárnicas, los agentes estabilizantes clásicos, almidón y carragenina, tienen la función de impartir textura y cohesión. La carragenina facilita la formación de la salmuera, impartándole propiedades pseudoplásticas y/o tixotrópicas, que favorecen la incorporación de los ingredientes a la emulsión cárnica, reduce la sinéresis en combinación con otros compuestos de función similar y mejora el cortado del producto cocido. El uso combinado del almidón y carragenina incrementa el volumen de la emulsión hasta un 40%, dependiendo de factores como el mezclado durante el masajeo, la composición del almidón (proporción de amilosa y amilopectina) y la temperatura de cocción entre otros. La concentración máxima permitida para el uso de la carragenina

(Buenas Prácticas de Fabricación, BPF) y el almidón (5-10%) es determinada según la Norma Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003 (Molina, Alonso y López, 2010).

Microbiología del jamón cocido

Los productos cárnicos generalmente adquieren estabilidad microbiana modificando los factores de conservación con base en la reducción de actividad de agua (a_w) y pH, el uso de la temperatura de refrigeración, adición de microorganismos competitivos y agentes antimicrobianos (sal, nitritos, ascorbato, lactato). En jamón cocido los valores típicos para algunos de estos factores son: ~2% NaCl, pH 6-7, a_w 0.96-0.99 y 100 $\mu\text{g/g}$ de nitrito residual (Borch y col., 1996). Con estas características, se favorece el desarrollo de bacterias mesófilas aerobias, bacterias lácticas (BAL) y levaduras, que usualmente se encuentran con una cuenta microbiana típica de 10^1 - 10^2 UFC/g en los productos comerciales refrigerados. Las bacterias patógenas y toxigénicas (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium* spp) son un grupo menor, pero todas ellas pueden causar enfermedades entéricas y sistémicas. La matriz cárnica está expuesta a diversas fuentes de contaminación (microbiana) entre las que destaca el rebanado y empaçado, la tierra y el tracto intestinal del animal, las manos y ropa de trabajadores así como utensilios. Estos productos difieren en composición y calidad, pero la flora microbiana es característica debido a la similitud en los niveles de los factores que controlan su crecimiento (pH, temperatura, oxígeno disuelto). Se ha reportado que el crecimiento de bacterias se favorece en un rango de pH óptimo entre 4-8, y el de levaduras y hongos en un intervalo de pH entre 2-11. En los productos cárnicos refrigerados el pH puede disminuir de 7 a 5.3 debido a la actividad de las BAL (Dykes, Cloete y van Holy, 1991). Las sales de lactato disminuyen la a_w del alimento, lo que permite reducir el contenido de cloruro de sodio e inhibir microorganismos como *Listeria monocytogenes*, *Clostridium*, *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, y BAL. El lactato es eficaz prolongando la vida de anaquel, cuando se usa en combinación con otros aditivos como sal, nitritos, y (di) acetato de sodio, (Mass, Glass y Doyle, 1989; Blom y col., 1997; Paelinck y Szczepaniak, 2005; McClure y col., 2011). En particular, la combinación de ingredientes como cloruro de sodio y nitritos han permitido el control de microorganismos deteriorativos y patógenos. *Listeria monocytogenes* ha sido ampliamente estudiada debido su tolerancia a la sal, la habilidad para crecer en diversas superficies y su desarrollo en condiciones de almacenamiento refrigerado. Buchanan, Stahl y Whiting (1989) reportaron que el contenido de NaCl entre 0.5%-4.5% y 100 ppm de nitritos inhibe *Listeria monocytogenes* y *Shigella flexneri* causando un efecto bacteriostático en la población de *L. monocytogenes*. Otras investigaciones muestran el efecto inhibitorio en *Salmonella* y *Yersinia enterocolitica* en un rango de concentración más amplio para el cloruro de sodio (1-6%) y nitritos (0-400 ppm), dentro del cual ocurre crecimiento de *Bacillus cereus* con 1.5% NaCl y 50 ppm para los nitritos (Kilcast y Angust, 2007). Por otra parte, se sabe que la inhibición de *Clostridium botulinum* es influenciada por el nivel de sal (NaCl) pero el uso de

nitrito (50-150 ppm) es indispensable para el control de su crecimiento. Hill, Chem y Path (1996) subrayan que la inhibición de *C. botulinum* además depende del pH inicial del producto, temperatura de almacenamiento, uso de otros aditivos, proceso de calor y nivel de contaminación inicial (Kilic, 2000). El nitrito tiene una acción inhibitoria en el crecimiento de microorganismos como *Enterobacteriaceae* y *B. thermosphacta*, pero no sobre BAL (Nielsen, 1983). Su uso en un nivel de 200 ppm puede ejercer un efecto bacteriostático en *Staphylococcus aureus*. Por otra parte, Portocarrero, Newman y Mikel (2002) demuestran la influencia del contenido elevado de sal (4.45%/3.37%) y a_w (0.94/0.91) en la reducción del crecimiento de *S. aureus* ($<2 \log_{10}$) en jamón curado preservado a 28 °C (234 días). En productos curados (cocidos) generalmente ocurre crecimiento microbiano competitivo entre *Listeria monocytogenes* y BAL, Alves y col. (2006) reportaron este comportamiento en jamón cocido refrigerado (8 °C) previamente inoculado con las cepas. Sus resultados evidencian el predominio del efecto inhibitorio de BAL sobre *L. monocytogenes*, debido a la síntesis de ácidos orgánicos (ácido láctico, ácido acético y ácido fórmico) cuyos niveles de concentración dependen del género, especie y condiciones de crecimiento (Borch y Molin, 1988).

Las alteraciones comunes en los productos cárnicos cocidos están asociadas con el crecimiento de bacterias, *Pseudomona* spp. y *Acchromobacter* (10^7 UFC/g) que son responsables del aroma indeseable. La decoloración verde es característica de bacterias productoras de peróxido que oxidan compuestos como nitrosohemocromo y colemioglobina. *W. viridescens* es una bacteria representativa de este grupo resistente al calor (> 40 Min a 68 °C) (Niven y col., 1954). La producción de gas (CO_2) está asociada con el crecimiento de *Leuconostoc* spp. y otras especies como *Ln. mesenteroides*, *Ln. carnosan* y *Ln. amelibiosum* (Yan y Ray, 1994). Bacterias homofermentativas como *Lactobacillus* spp., *Lactobacillus sakei* y *Leuconostoc* spp., forman biopelículas microbianas y frecuentemente se observa antes de la fecha de caducidad (Borch y Molin, 1988; Nortjé y col., 1989; Buchanan, Stahl y Whiting, 1989; Farber y Peterkin, 1991; Li y Torres, 1993; Dykes, Cloete y von Holy, 1994; Hill, Chem y Path, 1996; Marechal y col., 1999; Budka y col., 2003; Alves y col., 2006; Montville y Mathews, 2008; Kreyenschmidt y col., 2009).

Limpieza de etiqueta nutrimental

La limpieza de la etiqueta nutrimental tiene la finalidad de mejorar la calidad de los productos alimenticios, mediante estrategias de reformulación que consisten en reducir o sustituir ingredientes, que pueden ser un factor de riesgo o aporten mejoras a la calidad nutricional. En los productos cárnicos, algunos de los compuestos químicos sujetos a reducción son el cloruro de sodio y nitritos, los cuales realizan una diversidad de funciones que han sido mencionadas previamente. Otros compuestos como el lactato, sorbato y propianato, actúan como antioxidantes y son reducidos en su contenido evitando efectos sensoriales indeseables. Los aspectos considerados para una adecuada reformulación son diversos, pero los nuevos productos deben ser seguros y elaborados con tecnologías de

proceso apropiadas (Kilcast y Angus, 2007; Tarté, 2009). Algunos ejemplos de las estrategias de reformulación se describen en la siguiente sección.

Reducción del contenido de sal.

Las estrategias para reducir el contenido de sodio en los productos cárnicos procesados, se han centrado en disminuir el nivel de sodio adicionado o remplazar (parcial o totalmente) la cantidad de sal por otras sales que contengan cloro (KCl, CaCl₂, MgCl₂). El nivel reducido de NaCl puede ocasionar daños en la textura y sabor, pero generalmente limita el efecto inhibitorio (Kilcast y Angus, 2007). Las estrategias antes mencionadas también incluyen el uso de sales que no contienen cloro, como es el caso de los fosfatos y nitritos. El efecto inhibitorio de los nitritos, se asegura en productos cárnicos formulados con niveles reducidos de sal, cuando su concentración está entre 50-150 ppm (Budka y col., 2003)

La percepción sensorial de la salinidad varía de acuerdo al tipo de producto (salchicha, jamón curado), aún si el nivel de concentración para NaCl es semejante (1.7%-2.3%). Olsson (1982) reportaron que la reducción del 25% de cloruro de sodio en los productos cárnicos, quizá es el mayor nivel que puede utilizarse sin afectar el aroma, la textura y la vida de anaquel. En jamón cocido, las evaluaciones de la salinidad indican que es posible reducir el contenido de sal 1.7%, otros estudios en salchichas cocidas tipo Boloña con un nivel de NaCl menor (1.35 %) acreditan la aceptación del consumidor (Ruusunen y col., 1999). Los resultados de Bingol y Bostan (2007) indican que la adición de lactato de sodio en salchichas reduce la población de bacterias anaerobias reductoras de sulfito (1.79 log₁₀) hasta un límite no detectable, cuando se incrementa su concentración de 0%-1.8%. Este compuesto (1.8%) prolonga la vida de anaquel hasta 60 días, exhibiendo un mayor efecto antimicrobiano que el nitrito de sodio (0.125%). En productos como el jamón cocido, el remplazo de 50% cloruro de sodio por cloruro de potasio (KCl), mostró una evaluación sensorial admisible y la sustitución de 15-18% de NaCl (2%) por dicho compuesto mejora la capacidad de retención (Frye y col., 1986; Lin, Mittal y Barbut, 1991). El uso de ingredientes sustitutos (cloruro de potasio, cloruro de calcio o magnesio) es particularmente útil en los alimentos reestructurados y aquellos que necesiten formularse con niveles reducidos de sal y fosfatos, pero en ocasiones se ha reportado que aportan a la carne un sabor amargo y astringente, que puede enmascararse utilizando ácidos orgánicos (citrato, ascorbato o sulfato) y compuestos como especias, cebolla, ajo, potenciadores de sabor, proteína deshidratada de leche y extracto de levadura.

Algunos estudios han determinado la cantidad mínima de cloruro de sodio, atendiendo las cualidades gelificantes de la emulsión y la adecuada incorporación de grasa. Aunado a otros factores como pH, uso de inhibidores y tratamiento térmico. Para mantener la textura en los productos con niveles reducidos de sal, a veces se incrementa el nivel de fosfatos, debido a la similitud en la capacidad de retener agua y grasa (Bertino,

Beauchamp y Engelm, 1982; Sofos, 1983; Pszczola, 1999; Ruusunen y Puolanne, 2005; Kilcast y Angus, 2007; Tarté, 2009; Aliño y col., 2009; Armenteros y col., 2009a b).

Reducción del contenido de nitritos

La reducción del contenido de nitritos en los productos cárnicos pasteurizados se ha fundamentado en el estudio de los factores de crecimiento microbiano de *Clostridium botulinum* (Roberts y Ingrain, 1973; Sofos, Busta y Allen, 1979a, b; Gibson, Roberts y Robinson, 1982). Su acción inhibitoria incluye aspectos como el nivel de sal, pH inicial del producto, temperatura de refrigeración, presencia de inhibidores y nivel de contaminación inicial (Tanaka y col., 1985). Se ha reportado que el efecto antimicrobiano de los nitritos en estos alimentos, se logra con una cantidad mínima en un rango de 80-100 ppm (Toldrá, Aristoy y Flores, 2009). La inherente reactividad del nitrito con grupos -SH, -NH₂, y -OH presentes en la mayoría de las moléculas biológicas, sugiere la ocurrencia de diversos mecanismos de inhibición.

Las estrategias básicas para modificar la concentración de nitritos, incluyen la reducción o eliminación de nitrito residual (post-proceso) y el uso de inhibidores de N-nitrosaminas (Sebranek, 1979; Tompkin, 1983; Hill, Chem y Path, 1996). El nitrito residual en estos productos puede ser precursor de nitrosaminas carcinogénicas, sin embargo tal y como se ha mencionado previamente su papel como inhibidor ha sido destacado en el control de *Clostridium botulinum* y otros organismos (*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, hongos y levaduras) (Hill, Chem y Path, 1996). El nivel de nitrito residual en productos como jamón y salchichas se encuentra entre 6.8–44.4 ppm, generalmente su consumo y acción antibotulinal en la etapa de refrigeración, son afectados por el uso de elevadas temperaturas en el proceso de elaboración (Tompkin, 2005; Sebranek y Bacus, 2007).

En productos cárnicos cocidos (curados) el nivel de nitrito residual se reduce con el uso de aceleradores del curado (ascorbato), incluso puede realizarse con el descenso de pH de 0.2 unidades, ocasionando el aumento de la velocidad de formación del color previo a la cocción. En productos como el jamón seco-curado la diferencia del valor de pH (>6) con el pKa del ácido nitroso (pK_a 3.36), explica el bajo nivel de nitrosaminas reportado en este tipo de producto (Demeyer y col., 2000). Rywotycki (2002) menciona que la reducción efectiva de nitrosaminas también ocurre con el uso de aceleradores del curado (ascorbato de sodio) y el tratamiento térmico, aún y cuando algunas veces la formación de estos carcinógenos continua debido a la acción de la flora microbiana presente. Por esta última razón, FSIS sugiere evitar la adición de nitratos y establecer un límite máximo de 120 ppm para los nitritos en los productos cárnicos. Sin embargo, en salchichas curadas-secas la reducción bacteriana de nitrato a nitrito es requerida para mantener un reservorio de nitrito que permita el desarrollo del aroma en un periodo ~30 días (Olesen, Meyer y Stahnke, 2004).

La industria cárnica ha aplicado la reducción gradual del contenido de ingredientes, considerando su contenido típico en la dieta de la población, para determinar la aceptabilidad de la reducción en los productos (Ruusunen y col., 2005). Algunas técnicas usadas que evalúan la seguridad y calidad de los alimentos, incluyen estudios de reto microbiano que involucran patógenos identificados en las diversas fuentes de contaminación (cocción/post-proceso) (Kilcast y Angust, 2007). Una alternativa que se ha estudiado durante los últimos años, para reducir el contenido de cloruro de sodio y nitritos, es el tratamiento de productos procesados (cortados y empacados) con altas presiones hidrostáticas (APH) lo que permite la limpieza de etiqueta, al lograr reducir sobre todo las concentraciones de dichos compuestos (Jiménez-Colmenero y col., 1998; Mor-Mor y Yuste, 2003; Ferrini y col., 2012; Durantón y col., 2012; Lowder y Mireles, 2014; Speroni, Swerman y Vaudagna, 2014).

Principios generales del tratamiento de altas presiones hidrostáticas (APH)

El sistema de alta presión hidrostática consiste de una cámara de presurización, el medio transmisor de presión (generalmente agua) y un sistema de bombas para generar la presión (Fig. 2). APH son procesos por lote que a nivel comercial procesan entre 250 kg/h a 1300 kg/h. En las cámaras de presión con capacidad de 55 a 300L el producto (empacado o no empacado) es colocado en contenedores (diámetro interno 200-380 mm) y se pone en contacto con el fluido (agua o una solución acuosa diluida) que ocupa el interior de la cámara; la presión es transmitida por el fluido a la superficie del alimento de manera uniforme e instantánea de acuerdo al Principio Isostático, y dicha transmisión es independientemente de su tamaño o geometría. En el tratamiento se altera el equilibrio químico del alimento, lo que provoca cambios en volumen de acuerdo al Principio Le Chatelier, y el desarrollo de reacciones diversas como sustitución nucleofílica, adición de dobles enlaces e hidrólisis de monosacáridos, que modifican las estructuras biológicas y su configuración molecular. Aunque APH es un proceso no-térmico, la rápida presurización (~6s) causa un incremento de temperatura en condiciones adiabáticas que depende de los constituyentes del alimento y el grado de compresión. En productos con elevada humedad se ha reportado un aumento de 3 a 4 °C/100 MPa, pero en aquellos con un cierto contenido de grasa alcanza un valor de 9 °C/100 MPa.

Los equipos de APH han evolucionado en la capacidad de los intensificadores de presión y el mecanismo de apertura-cerrado, con algunas modificaciones en el tamaño y orientación de la cámara de presurización; los costos de operación varían según las condiciones de proceso (presión de operación, temperatura), tiempo total del ciclo, producción y costos de energía (Hyperbaric, 2015; Picouet y col., 2012; Donna y Feeherry, 2007; Thomas y Nils, 2000; Knorr, 1993).

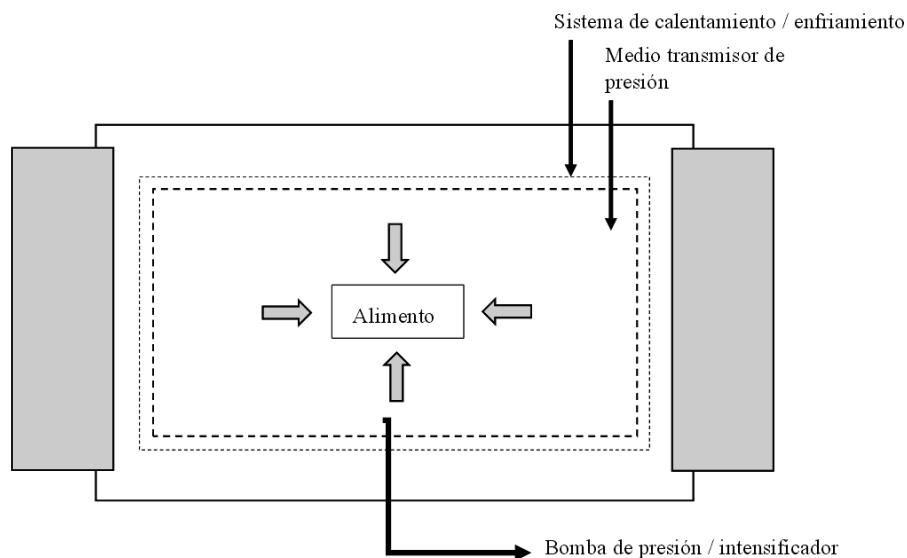


Fig. 2 Diagrama esquemático del proceso de alta presión hidrostática (APH)

Los procesos con APH se han aceptado como un tratamiento de pasteurización no térmica por el organismo FSIS. Es una tecnología que aplicada en alimentos mantiene las características nutricionales y sensoriales con efectos secundarios mínimos en la frescura y calidad. Las APH modifican proteínas, macromoléculas y otros compuestos, debido a la ruptura de los enlaces iónicos, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas que constituyen las estructuras secundarias a niveles de presión iguales o superiores a 200 MPa y terciarias a niveles mayores a ≥ 700 MPa, conservando intacta la estructura primaria debido a la reducida compresibilidad de los enlaces covalentes. APH afecta la actividad biológica y la funcionalidad de proteínas como las enzimas debido a modificaciones en el sitio alostérico y su conformación, pero en algunos casos puede estimular la actividad de otras. En ocasiones APH puede inhibir enzimas vitales como la ATPasa que es indispensable en la fisiología de la célula. Adicionalmente la alta presión afecta el mecanismo genético que es responsable de la transcripción y interrupción de funciones celulares asociadas con la sobrevivencia y reproducción de microorganismos, también produce lesiones a la membrana bacteriana causando migración del material celular, pérdida de control en el consumo de nutrientes y disposición de residuos celular. Los cambios en la permeabilidad de la membrana, han sido atribuidos a la compresión y reducción de la bicapa fosfolipídica, cambios morfológicos y elongación celular (Penniston, 1971; Ledward, Earnshaw y Hastting, 1995; Hendrickx y col., 1998; Farkas y Hoover, 2000; Trejo-Ayara y col., 2007; Aymerich, Picouet y Monfort, 2008; Clariana, 2011; Bajovic, Bolumar y Heinz, 2012; Abedi y col., 2014).

Las altas presiones hidrostáticas prolongan la vida anaquel e imparten seguridad al producto debido al efecto inhibitorio que ejerce en la población microbiana y en diversos tipos de enzimas. La inocuidad del producto tratado con APH depende de factores asociados con el microorganismo en sí mismo (tamaño y estructura celular), fase de crecimiento microbiano, la naturaleza de la matriz alimentaria (sal/pH/nutrientes) y las condiciones de presurización tales como presión (100-800 MPa), tiempo de presurización (orden de segundos a minutos) y temperatura (0-90 °C). La fase de crecimiento microbiano juega un papel determinante en la resistencia y sensibilidad a la presión en el siguiente orden: bacterias < levaduras y hongos < virus < esporas. Las bacterias Gram positivas muestran mayor resistencia a la presión que las Gram negativas, para inactivar la población (*Listeria monocytogenes*) se utilizan más de 400 MPa. Bacterias Gram positivas como *Staphylococcus aureus* requieren presiones mayores a 450 MPa para lograr dicho efecto. Se ha reportado que las células vegetativas son más susceptibles que las esporas, las cuales se inactivan aplicando 600 MPa en ciclos (6 ciclos de 600 MPa/70 °C) (Kilcast y August, 2007). En particular las células en fase estacionaria soportan la alta presión, debido a la síntesis de proteínas que las protegen de cambios adversos como concentración de sal, elevada temperatura y estrés oxidativo. La sensibilidad de algunos patógenos a las APH en alimentos se muestran en la Tabla 1, ahí se puede observar que la mayor parte de microorganismos patógenos viables pueden ser completamente inhibidos a niveles de presión del orden 500 MPa o mayores, no siendo así con las esporas microbianas (Shimada y col., 1993; Knorr, 1993; Butz y col., 1996; Polydera, Stoforos y Taoukis, 2003; Mañas y Mackey, 2004; Patterson, 2005; Mañas y Pagan, 2005; Ritz y col., 2006; Goh y col., 2007; Considine y col., 2008; Baert, Debevere y Uyttendaele, 2009; Rivalain, Roquain y Demazeau, 2010; Nguyen y col., 2010; Rendueles y col., 2011; Heredia y col., 2014).

Aplicaciones generales de APH en alimentos

Los primeros estudios formales con APH se realizaron en 1990 procesando alimentos como jugos y frutas. En México la empresa Avomex aplicó el tratamiento en guacamole con cambios significativos en la capacidad instalada de 25L a 215L en un periodo de 1996 a 1999. La tecnología de APH se ha diversificado para el procesamiento de alimentos tales como, vegetales diversos, productos cárnicos, jugos y bebidas. En frutas y verduras las APH logran inactivar la flora microbiana presente, e inhiben enzimas como la pectinmetilesterasa (400-600 MPa a 50 °C). En productos lácteos APH favorece la maduración de quesos, puede retardar o acelerar la fermentación en yogurt y garantiza la supervivencia de la cepa probiótica preseleccionada prolongando la vida de anaquel. Los rellenos de bocadillos de queso y mayonesa son un ejemplo de innovación, en los que se mantiene el sabor y la calidad semejante al producto fresco. Por otra parte, el efecto de APH (200-350 MPa/3 min) es único en el tratamiento de ostras ya que se logra generar productos inocuos y además permite la apertura de la concha por desnaturalización del

músculo abductor, lo que favorece el remplazo del procedimiento manual utilizado por más de 100 años. Otros productos como almejas, mejillones, camarón, langosta, cangrejos, langostinos, salmón, bacalao y productos listos para servirse (RTE) también han sido tratados por APH y comercializados como productos microbiológicamente seguros y de alta calidad (Hyperbaric, 2015).

Tabla 1. Sensibilidad de algunos patógenos a altas presiones hidrostáticas (Adaptada de Patterson, 2005; Norton y Sun, 2008).

Microorganismo	Sustrato	Condiciones de tratamiento	Inactivación (log ₁₀ unidades de reducción)	Referencias
Esporas de <i>C. botulinum</i> tipo E (Alaska)	Amortiguador de fosfatos (0.067 M, pH7)	827 MPa/50°C/ 5min	5	Reddy y col. (1999)
Esporas de <i>C. sporogenes</i>	Pechuga de pollo	680 MPa/80°C/ 20 min	2	Crawford y col. (1996)
<i>B. stearothermophilus</i>	Agua	600 MPa/5°C/ 70 min x 6 ciclos	5	Hayakawa y col. (1994)
<i>C. sporogenes</i> <i>B. subtilis</i> Esporas de <i>B. stearothermophilus</i>	Emulsión de carne	621MPa/98°C/5min	>5 (<i>C. sporogenes</i>) >9 (<i>B. subtilis</i>) >10 (<i>B. stearothermophilus</i>)	Wilson y Baker (2001)
HIV-1	Medio de cultivo	550 MPa/25°C/ 10 min	Infectividad reducida por >4 log ₁₀	Otake y col. (1997)
Calicivirus felino	Cultivo de tejido	275 MPa/21°C/ 5 min	50% de los cultivos con una dosis infecciosa de 7 log ₁₀ fueron inactivados completamente	Kingsley y col. (2002)
Hepatitis A	Cultivo de tejido	450 MPa/21°C/ 5 min	>6 log ₁₀ reducción en unidades formadoras de plaquetas	Kingsley y col. (2002)
<i>Salmonella Senftenberg</i> 775W	Alimento	340 MPa/23°C/ 10 min	< 2	Metrick, Hoover y Farkas (1989)
<i>Escherichia coli</i> O157: H7 NCTC 12079	UHT leche Y Carne de ave	600 MPa/20°C/ 15 min	< 2 Y 3	Patterson y col. (1995)
<i>Campylobacter jejuni</i>	Pudin de puerco	300 MPa/25°C/ 10 min	6	Shigehisa y col. (1991)
<i>Staphylococcus aureus</i>	UTH leche	600 MPa/20°C/ 15 min	2	Patterson y col. (1995)
	Carne de ave		3	
<i>Listeria monocytogenes</i>	UTH leche	375 MPa/20°C/ 15 min	<1	Patterson y col. (1995)
	Carne de ave		2	
<i>Listeria innocua</i>	Jamón cocido cerdo	550MPa/40°C/4min	4	Resultados inéditos
		550 MPa/55°C/10min	3.1	
<i>Vibrio parahaemolyticus</i> O3:K6	Ostras	300 MPa/10°C/ 3min	5	Cook (2003)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Pudin de puerco	300 MPa/20°C/ 10 min	2	Shigehisa y col. (1991)

Algunas áreas de oportunidad para las altas presiones en alimentos se encuentran en la modificación de los fenómenos y procesos que causan cambios en la textura por la gelatinización de polímeros y coagulación de proteínas a temperatura ambiente; otras aplicaciones comerciales se muestran en la Tabla 2, entre las que destaca a nivel mundial el tratamiento de productos cárnicos (34% del total de productos tratados por esta tecnología). La Fig. 3 muestra una tendencia a la alza del número de equipos instalados para el procesamiento de alimentos (Hyperbaric, 2015; Serment-Moreno y col., 2015;

Norton y Sun, 2008; Torres y Velasquez, 2005; Sandra, Stanford y Meunier, 2004; Lakshmanan, Piggott y Paterson, 2003; Lambadarios y Zabetakis, 2002; Nienaber y Shellhammer, 2001; Préstamo y Arroyo 1998; Knorr, 1993).

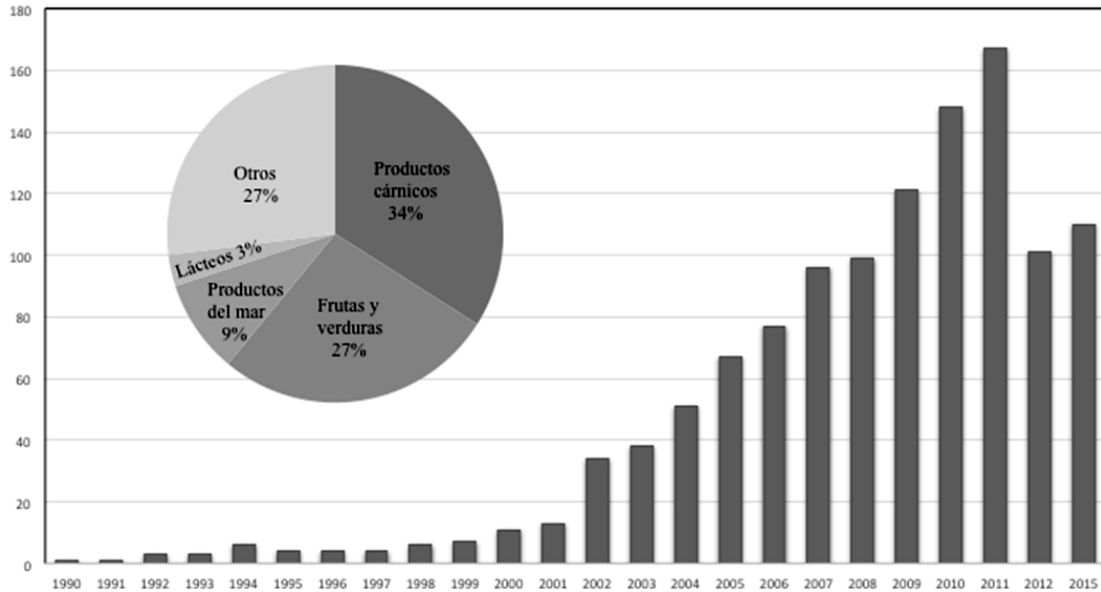


Fig 3. Evolución del número de equipos APH que procesan a nivel mundial alimentos cuya distribución por tipo corresponde al 2015 (Fuente: Hiperbaric, 2015)

Aplicaciones de APH en productos cárnicos

En productos cárnicos se ha estudiado el efecto de las APH con el propósito de mejorar la seguridad microbiológica. Las investigaciones incluyen la inhibición de microorganismos deteriorativos (Enterobacterias y BAL), psicrófilos (principalmente *Pseudomonas*) y patógenos (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytoges*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*) que están asociados con el deterioro del alimento o pueden causar problemas de salud. La alta presión afecta substancialmente la membrana celular de los microorganismos, provocando alteraciones en la permeabilidad, sistema de respuesta osmótica, disrupción de organelos y dificultad para mantener el pH intracelular (Hayashi y Balny, 1996; Kato y col., 2002; Patterson, 2005; Simonin, Durantón y Lamballerie-Anton, 2012). La barosensibilidad celular es característica del tipo de microorganismo y sus condiciones de crecimiento, sin embargo la pasteurización con alta presión tiene retos sustanciales, debido a la protección microbiana que aportan las matrices alimentarias ricas en nutrientes (proteínas, lípidos y carbohidratos, vitaminas) como es el caso de los productos cárnicos.

Tabla. 2 Algunas características de los alimentos tratados con APH (Adaptada de Norton y Sun, 2008)

Tipo de producto	Tratamiento (MPa /°C /min)	Efecto del uso de APH	Referencia
Jugo de naranja	500/35/5	Mejora la vida media, consistencia, y disminuye la acidez	Polydera, Staforos y Taoukis (2003)
Salchichas	500/65/5 500/65/15	Mejora la textura y el sabor, aumenta la jugosidad, disminuye la firmeza, mantiene el color.	Mor-Mor y Yuste (2003)
Ejotes	500/25/1 1000/105/1.3	Retiene la firmeza y prolonga la vida de anaquel, se detecta actividad residual de la peroxidasa.	Krebbers y col. (2003)
Carne de res	150/60/30	Estimula la proteólisis y cambios ultra- estructurales, disminuye la jugosidad, se observa rigidez en la carne.	Bertram y col. (2004)
Salmón	200/20/10	Color brillante, incrementa firmeza y prolonga la vida de anaquel.	Lakshmanan, Piggott y Paterson (2003)
Queso	400/20/20	Mayor rendimiento, contenido microbiano reducido, no se observa pérdida de color.	Sandra, Stanford y Meunier (2004)

La respuesta microbiana en alimentos tratados con APH, habitualmente se estudia a través del comportamiento de organismos inoculados, en dicha matriz los microorganismos son más resistentes a la presión que los desarrollados en solución amortiguadora. Por esta razón, es común validar los parámetros de tratamiento (APH) en los productos de interés (Tassou y col., 2007; Martin y col., 2004). Una gran variedad de derivados cárnicos como productos frescos, cocidos, curados y fermentados han sido tratados con APH, para prolongar su vida de anaquel (Garriga y Arymerich, 2009; Norton y Sun, 2008). Algunos estudios en productos post-tratados (600 MPa/16 °C/6 min) como, jamón cocido ($2.65 \log_{10}$ bacterias lácticas), jamón seco-curado ($\sim 3 \log_{10}$ bacterias mesófilas aerobias) y lomo de res ($<10^2$ psicrófilos aerobios y bacterias lácticas) relacionan la resistencia microbiana a APH con el contenido de carbohidratos, lípidos, proteínas, y contenido de humedad (Garriga y col., 2004). Otros trabajos señalan el efecto inhibitorio de ingredientes específicos, como ácido linoleico y oleico, sobre levaduras, hongos, bacterias anaerobias y psicrófilas presentes en muestras de salchichón español tratado (500 MPa/5 min/6 °C) y refrigerado (6 °C) (Rubio y col., 2007b). Adicionalmente

Jofré, Arymerich y Garriga (2009a), muestran el efecto del nivel bajo de $a_w \leq 0.92$ en la protección microbiana contra la alta presión (600 MPa/31 °C/6 min) aplicada en jamón seco (previamente inoculado). Hecho que se contrarresta por la subsecuente inhibición en almacenamiento refrigerado (4 °C) (Jofré, Arymerich y Garriga, 2009b). En algunos microorganismos la habilidad para adaptarse a los cambios de osmolalidad es de fundamental importancia para la sobrevivencia y tolerancia al ambiente externo. La barotolerancia a niveles de osmolaridad de 3% a >10% de cloruro de sodio, se debe a la participación de acarreadores como betaina y carnitina, los cuales transportan solutos (iones Na, Cl, carbohidratos) para mantener el balance osmótico interno y el funcionamiento enzimático en la membrana celular (Beumer y col., 1994; Sleator y Hill, 2001; Hill y col., 2002; Considine y col., 2008). El pH es otro factor que produce inhibición microbiana con un efecto similar al que ocasiona la presión (>400 MPa) y contribuye a la recuperación celular en los productos cárnicos refrigerados. En el caso de muestras de jamón cocido procesadas a 400 o 600 MPa/22 °C/10 min, la recuperación celular se observa en el periodo de refrigeración (30-90 días) con el descenso de pH en un rango de 5.3-5.5. Este efecto, favorece la sobrevivencia de *Weissella viridescens* y *Leuconostoc mesenteroides* que son responsables del deterioro al término del almacenamiento (Delgado-Adamez y col., 2013; Han y col., 2011; Garriga y col., 2004).

Las estrategias para incrementar la letalidad microbiana en productos cárnicos pasteurizados con APH, comúnmente involucran la temperatura de proceso (45 a 65 °C), debido a su efecto en la sensibilidad microbiana (Patterson y Kilpatrick, 1998; Yuste y col., 2000; Tassou y col., 2008). Se ha observado que las bacterias muestran mayor resistencia a la presión cuando la temperatura se encuentra entre 20 y 30 °C. En estudios con carne de ave la mayor reducción de *Escherichia coli* (6 \log_{10}) se alcanzó aplicando el tratamiento APH (400 MPa/20-50 °C/15 min) combinado con la mayor temperatura de proceso utilizada (50 °C). Otras pruebas usando la misma matriz y una temperatura de tratamiento menor (20 °C), reducen la población (1 \log_{10}) en un nivel similar al obtenido con un tratamiento térmico (50 °C). López-Caballero, Carballo y Jiménez-Colmenero (2002) procesan jamón cocido y pastel de carne con tratamientos a 300 MPa/5-50 °C/15 min. En estos experimentos, la alta presión mostró un marcado efecto bactericida, aunque su magnitud fue condicionada por la temperatura de proceso, el tipo de microorganismo y la clase de producto cárnico. Por otra parte el comportamiento de *Staphylococcus aureus* fue evaluado en un sistema modelo de jamón, en este producto los autores determinaron una reducción de la población similar (5-6 \log_{10} /mL) aplicando los niveles de presión y temperatura de 400 MPa/55 °C y 600 MPa/25°C (Tassou y col., 2008). Otros investigadores encontraron que el tratamiento APH (500 MPa/5-15 min) con una temperatura de 65 °C, puede remplazar el tratamiento térmico (80-85 °C/40 min) aplicado en salchicha, inhibir patógenos como *Staphylococcus aureus* y *Listeria spp*, y reducir la población de psicrótofos y BAL (4 \log_{10}) (Yuste y col., 2000).

La letalidad microbiana ha mostrado incremento con el uso de niveles para la temperatura de proceso $APH \leq 10$ °C. Vercammen y col. (2011) sugieren que el tratamiento (600 MPa/10 min) con una temperatura de 10 °C, disminuye la flora deteriorativa en jamón cocido e inhibe completamente el crecimiento en el producto (que contiene ácido caprílico y purasal) refrigerado a 7 °C. Es bien sabido que la aplicación de APH con temperaturas entre 5 y 10 °C induce cambios en el color rojo del músculo (de puerco y res) incrementa la luminosidad y confiere un aspecto semejante al producto cocido. En algunas pruebas con jamón cocido (no presurizado) los valores para los parámetros de color, L^* (58.5 a 61.2), a^* (7.1 a 9.1) y b^* (6.2 a 8.3) fueron similares a los que presentaron las muestras presurizadas (300 MPa), probablemente por la presencia de nitritos en los productos sometidos a tratamiento térmico (Carlez, Veciana-Noigues y Cheftel, 1995; Cheftel y Culioli, 1997; López-Caballero, Carballo y Jiménez-Colmenero, 2002).

Algunos autores han utilizado un rango de presión entre 50-600 MPa con la finalidad de obtener beneficios en la calidad sensorial de los productos cárnicos (Macfarlane, 1985; Cheah y Ledward, 1996; Jofré, Arymerich y Garriga, 2009b; Escriu y Mor-Mur, 2009; Campus, 2010). Bouton y col. (1977) reportaron mejoras en la tenderización del músculo post-rigor, cuando el tratamiento es aplicado con un nivel de presión de 100 MPa/2.5 min/40-60 °C. La presión causa desnaturalización de proteínas miofibrilares y afecta las propiedades formadoras de gel, dependiendo de la fuente del músculo y otros parámetros tales como concentración de proteínas, pH, fuerza iónica y temperatura (Campus, 2010). Pruebas en pastel de carne (de cerdo) utilizando 200 y 400 MPa/10-70 °C, evitan la desnaturalización térmica de la proteína cuando la temperatura de proceso es < 40 °C (Fernández-Martin y col., 1997). En productos como jamón español el proceso a 600 MPa/6 min, mantiene los microorganismos sobrevivientes en un nivel que preserva la frescura y las propiedades organolépticas durante la vida de anaquel (120 días) (Campus, 2010). El efecto de APH en el color es particularmente relevante en productos cárnicos crudos tal y como se ha mencionado previamente. Las investigaciones en carne cruda, en el rango de presión 50-600 MPa/0.33-5 min/10 °C, demuestran que los niveles bajos de presión (130 MPa) favorecen la estabilidad del color rojo de muestras refrigeradas a 4 °C, mientras el efecto inhibitorio de la flora total se promueve usando un mayor nivel para la presión 520 MPa/260 s. Las diferencias de color generadas por dichos efectos, desaparecen después de la cocción a 65 °C durante 1h (Jung, De Lamballerie-Anton y Ghoul, 2003). En un rango de presión de 400 a 450 MPa el cambio de color más notable (gris-café), ocurre con un incremento en el contenido de metamioglobina. En productos como el jamón ibérico el deterioro del color se asocia con la reducción del 50% de sal, la pérdida de peso durante el secado (20%) y el nivel de presión (600 MPa/13 °C/5 min). Los autores sugieren que la pérdida de color está relacionada con el papel del agua en los mecanismos de deterioro inducidos por la presión (Carlez, Veciana-Noigues y Cheftel, 1995; Cheftel y Culioli, 1997; Jung, De lamballerie y Ghoul, 2000; Simonin, Durantón y Lamballerie-Anton, 2012; Bajovic, Bolumar y Heinz, 2012; Bak y col., 2012; Ferrini y col.,

2012; Sanchez, 2012; Lowder y Mireles, 2014). Otra causa de deterioro en los productos cárnicos se debe al efecto de la alta presión en la formación de peróxidos (Cheftel y Culioli, 1997), los estudios en un rango de presión de 200 a 600 MPa señalan que el incremento de la oxidación de lípidos depende del nivel de presurización utilizado, la matriz tratada y las condiciones de refrigeración post-tratamiento (Fuentes y col., 2010). En salchichas fermentadas el tratamiento APH (400 MPa/17 °C/10 min) no afecta la calidad sensorial del producto, lo que sugiere que el proceso de oxidación de lípidos ocurre en la etapa de maduración previa (Marcos y col., 2008a). Sin embargo, otros trabajos en un rango de presión de 400 a 600 MPa exhiben una relación proporcional entre la oxidación de lípidos y el nivel de presión. Generalmente la rancidez oxidativa de los productos es controlada con el uso de antioxidantes o quelantes de metales (como citrato o EDTA). En otros casos, la exposición de atmósferas modificadas ha beneficiado los productos refrigerados protegidos con empaques de baja permeabilidad al oxígeno (Gray y col., 1981; Chead y Ledward, 1996; Andrés y col., 2004; Rubio y col., 2007a; Considine y col., 2008; Cava y col., 2009; Bajovic, Bolumar y Heinz, 2012).

Por otra parte, la combinación de factores de preservación ha sido ampliamente utilizada con el objeto de proporcionar seguridad y estabilidad a los productos cárnicos (Ruusunen y col., 2005). En este contexto APH ha sido aplicado en productos cárnicos reformulados, ya que se ha probado que puede ayudar a reducir los niveles de concentración de ingredientes como, cloruro de sodio, nitritos y nitratos, cuya naturaleza tiene una consecuencia significativa en la sobrevivencia e inhibición microbiana (Clariana, 2011; Toldrá y Reig, 2011; Kerry, Kerry y Ledward, 2002). Pese a este propósito, la disminución del nivel de estos ingredientes provoca efectos indeseables en la textura, color y sabor, por lo que es un reto para la industria determinar las condiciones de proceso (APH) adecuadas que permitan optimizar la inactivación microbiana y mantener la calidad de estos productos (Lowder y Mireles, 2014; Bak y col., 2012; Simonin, Durantón y Lamballerie-Anton, 2012; Stollewerk y col., 2012; Toldrá y Reig, 2011). Garriga y col. (2004) determinaron la influencia del contenido de NaCl (1-4.6 %) y nitritos (0-0.02 %) en productos tratados (600 MPa/6 min) como jamón cocido, jamón seco curado y carne de res marinada, refrigerados a 4 °C. Los autores reportan una efectiva reducción ($> 4 \log_{10}$) de todos los grupos microbianos (mesófilos aerobios, psicrófilos, BAL, levaduras, *Enterobacteriaceae*, *Escherichia coli*), que muestran la pérdida de la capacidad de reactivarse. Además en carne de res marinada (1% NaCl) logran un efectivo control de *Salmonella* y *Listeria monocytogenes* por un periodo de 120 días. Myers y col. (2013) analizaron el efecto de distintos contenidos de nitritos (0, 100, 200 ppm) en jamón cocido en un intervalo de presión de 200-600 MPa/3 min. Estos estudios puntualizan la efectividad de la alta presión (600 MPa) en la reducción de la población de *Listeria monocytogenes* ($3 \log_{10}$) que se mantiene durante un periodo de refrigeración (4.4 °C) por 182 días. Con 400 MPa se observa una pobre interacción entre la concentración de nitrito y el nivel de presión (reducción $1 \log_{10}$), y en tratamientos utilizando 600 MPa la ausencia

de nitrito causa un incremento en la población de *L. monocytogenes* al final del periodo de almacenamiento. Estos resultados evidencian la contribución del nitrito en la supresión del crecimiento microbiano. Recientes investigaciones en nuestro laboratorio, se realizaron en jamón cocido de cerdo formulado con niveles de NaCl (1%) y nitritos (0.037%) menores a los empleados en jamones comerciales. La matriz cárnica se inóculo con *Listeria innocua* previo al proceso APH (550 MPa/10-20 min) combinado con diferentes temperaturas de tratamiento (Temperatura ambiente, 40 y 55 °C). Los resultados presentados en la Fig. 4 enfatizan la influencia de dicha temperatura, en el tiempo requerido para lograr la inactivación, que precede a la reducción microbiana de 4-5 log₁₀. En este estudio, la inactivación se alcanza en menor tiempo (1 min) cuando la temperatura de proceso es de 40 y 55 °C, efecto que ha sido reportado previamente por López-Caballero, Carballo y Jiménez-Colmenero (2002) en otros productos cárnicos. Speroni y col. (2014) redujeron el contenido de cloruro de sodio al 1% en pastel de carne procesado con alta presión (200 o 300 MPa/5 min), causando cambios en la conformación de las proteínas miofibrilares (miosina y actina) que involucran la formación de agregados solubles e insolubles que afectan la dispersión de las proteínas en la emulsión (Messens, Van Camp y Huyghebaert, 1997). Esta idea es soportada con otras investigaciones (300-700 MPa/40-60 °C) que reportan mejoras en la solubilización de las proteínas miofibrilares y la capacidad emulsionante de los geles (Macfarlane, Mckenzie y Turner, 1986; Cheftel y Culioli, 1997; Jun, Ghoul y Lamballerie-Anton, 2003). Fulladosa y col. (2012) determinaron la influencia de la reducción de sal (al 50%) en las cualidades sensoriales (color rosa, luminosidad, dureza y salinidad) del jamón seco presurizado (600 MPa/10 °C/6 min). En esta matriz el aumento de la luminosidad podría explicarse, debido a modificaciones en las proteínas miofibrilares que aumentan la reflexión de la luz. La preservación del color rojo en las muestras se relaciona con la acción protectora del óxido nítrico sobre la mioglobina.

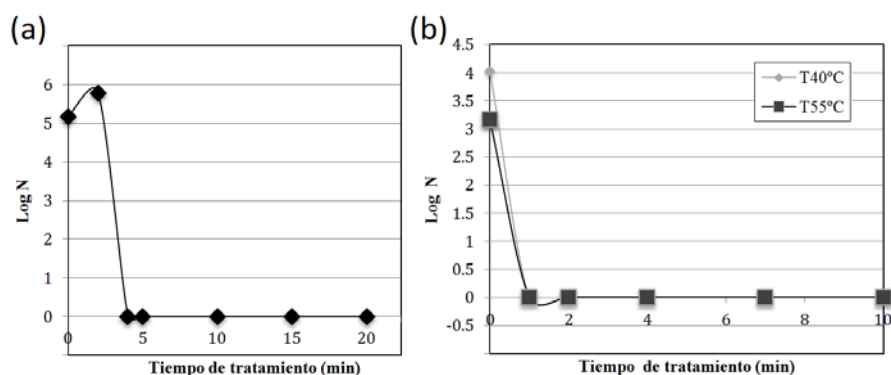


Fig 4. Inactivación de *Listeria innocua* ATCC 33090 inoculada en jamón de cerdo (formulado con 1% NaCl, 0.037% nitritos) utilizando un tratamiento combinado 550 MPa: (a) temperatura ambiente como temperatura de tratamiento, y (b) dos niveles de temperatura de proceso a 40 °C y 55 °C.

En diversos derivados cárnicos ha sido reportado el sinergismo entre bacteriocinas y la alta presión (Aymerich y col., 2005; Marcos y col., 2008b; Hereu y col., 2012). Hereu y col. (2012) observaron un efecto antilisterial por el uso de nisina en el jamón cocido tratado con APH (600 MPa/5 min) y refrigerado a 8 °C (60 días). A pesar de los resultados, los autores creen que el control de *Listeria monocytogenes* se encuentra dentro de un margen reducido, donde se detectó un sabor indeseable en el producto. Marcos y col. (2008a) controlaron el crecimiento de *L. monocytogenes* (<100 UFC/g) en jamón cocido refrigerado (1 °C, 60 días) usando enterocinas, y alginato en el empaque, previo a la presurización con 400 MPa/17 °C/10 Min. Otros estudios similares en jamón cocido usando lactato-diacetato, evidencian un efecto bacteriostático en la población de *Listeria monocytogenes* (2.7 log₁₀) en todo el periodo de almacenamiento refrigerado (3 meses) con temperaturas de 1 °C y 6 °C, aún después de romper la cadena de frío (Marcos y col., 2008b).

Las condiciones de almacenamiento influyen en la recuperación de la célula, algunos autores han señalado que en el rango de presión de 400 MPa a 900 MPa/15-30°C, mejora la vida de anaquel y permite obtener una calidad similar a los productos pasteurizados con tratamiento térmico. Estudios en un rango de presión más reducido (400 a 600 MPa), destacan la versatilidad del desarrollo de *L. monocytogenes* en función de la temperatura de refrigeración, ya que de acuerdo al nivel de este parámetro (1 y 6 °C), puede mostrar sobrevivencia o inhibición en productos refrigerados (Aymerich, Picouet y Monfort, 2008). Stollewerk y col. (2012) reportan mejoras en la estabilidad microbiana (*Salmonella* y *L. monocytogenes*) de jamón seco ahumado (2.4% NaCl), refrigerado a 4 °C después de la presurización con 600 MPa/5 min. Pruebas en jamón curado seco (acidificado y ahumado) han destacado por la inhibición completa de *L. monocytogenes* en el producto refrigerado (4 °C y 8 °C, 112 días) independientemente de la presencia de NaCl en las muestras tratadas previamente con 600 MPa (Stollewerk y col., 2014).

Las investigaciones descritas evidencian oportunidades para el desarrollo de estudios orientados a entender completamente las implicaciones que APH tiene en la sobrevivencia microbiana y calidad de los alimentos.

Perspectivas de APH en el procesamiento de productos cárnicos

APH es una tecnología industrialmente probada que prolonga la vida de anaquel y conserva la calidad sensorial y nutricional en productos cárnicos curados y cocidos. El uso de la tecnología APH ha promovido una nueva generación de alimentos más saludables, que aporta mejoras a la calidad integral del alimento. En este sentido, el tratamiento APH aplicado a productos reformulados ha permitido la limpieza de etiqueta nutrimental mediante la reducción del contenido de ingredientes como cloruro de sodio, nitritos y nitratos, que tienen efectos negativos en la salud del consumidor. APH no reemplaza métodos tradicionales de conservación, sin embargo su efecto en la inactivación de

microorganismos y enzimas ofrece la posibilidad de explorar nuevos campos de estudio, impulsando el desarrollo de un nicho de aplicaciones.

Referencias

- ABEDI K.R., W.Z. LIM, M. BASRI, M.B. ABDUL RAHMAN (2014). Molecular dynamics of thermoenzymes at high temperature and pressure: a review. *The Protein Journal* 33(4): 369-76.
- AGUILAR C., V. VALENCIA, O. OCHOA, B. KLOTZ (2013). Improving Food Thermal Processing: a Death-time Study on Processed Meat Products. *Journal of Food Processing and Preservation* 37(3): 189-197.
- ALIÑO M., J.M. BARAT, R. GRAU, F. TOLDRÁ, E. BLESÁ, M.J. PAGÁN (2009). Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry cured loin. *Meat Science* 83: 423-430.
- ALVES V.F., R.C.R. MARTINEZ, M.A.S. LAVRADOR, E.C.P. DE MARTINIS (2006). Antilisterial activity of lactic acid bacteria inoculated on cooked ham. *Meat Science* 74: 623-627.
- ANDRÉS A.I., J.K.S. MÖLLER, C.E. ADAMSEN, J. RUIZ, L.H. SKIBSTED (2004). Efecto de la aplicación de alta presión hidrostática (APH) sobre el color y estabilidad oxidativa de jamón ibérico loncheado y envasado en atmósfera modificada. *Eurocarne* 131: 47-53.
- ARMENTEROS M., M.C. ARISTOY, J.M. BARAT, A.F. TOLDRÁ (2009a). Biochemical changes in dry-cured loins salted with partial replacements of NaCl y KCl. *Food Chemistry* 117: 627-633.
- ARMENTEROS M., M.C. ARISTOY, J.M. BARAT, A.F. TOLDRÁ (2009b). Biochemical and sensory properties of dry-cured loins as affected by partial replacement of sodium by potassium, calcium and magnesium. *Journal of Agricultural & Food Chemistry* 57: 9699-9705.
- AYMERICH T., A. JOFRÉ, M. GARRIGA, M. HUGAS (2005). Inhibition of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* by natural antimicrobials and high hydrostatic pressure in sliced cooked ham. *Journal of Food Protection* 68: 173-177.
- AYMERICH T., P.A. PICOUET, J.M. MONFORT (2008). Decontamination technologies for meat products. *Meat Science* 78(1-2): 114-129.
- BAERT L., J. DEBEVERE, M. UYTENDAELE (2009). The efficacy of preservation methods to inactivate foodborne viruses. *International Journal of Food Microbiology* 131: 83-94.
- BAJOVIC B., T. BOLUMAR, V. HEINZ (2012). Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. *Meat Science* 92: 280-289.
- BAK K.H., G. LINDHAL, A.H. KARLSONN, E. LLORET, G. FERRINI, J. ARNAU, V. ORLIEN (2012). High pressure effect on the color of minced cured restructured ham at different levels of drying, pH and NaCl. *Meat Science* 90: 690-696.
- BENEDICT R.C (1980). Biochemical basis for nitrite-inhibition of *Clostridium botulinum* in cured meat. *Journal Food Protection* 43: 877-891.

- BERTINO M., G.K. BEAUCHAMP, K. ENGELMN (1982). Long-term reduction in dietary sodium alters the taste of salt. *American Journal of Clinical Nutrition* 36: 1134-1144.
- BERTRAM H.C., A.K. WHITTAKER, W.R. SHORTHOSE, H.J. ANDERSEN, A.H. KARLSSON (2004). Water characteristics in cooked beef as influenced by ageing and high-pressure treatment an NMR microimaging study. *Meat Science* 66: 301-306.
- BEUMER R.R., M.C. TE GIFFTEL, L.J. COX, F.M. ROMBOUTS, T. ABEE (1994). Effect of exogenous proline, betaine and carnitine on growth of *Listeria monocytogenes* in a minimal medium. *Applied and environmental Microbiology* 60: 1359-1363.
- BINGÖL E.B., K. BOSTAN (2007). Effect of Sodium Lactate on the Microbiological Quality and Shelf Life of Sausages. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 31(5): 333-339.
- BLOM H., H. NISSEN, T. NESBAKKEN (1997). *Listeria monocytogenes* in vacuum-packed, sensory-acceptable cervelat sausage and cooked ham stored at 4 °C. *International Journal of Food Microbiology* 38: 71-76.
- BORCH E., G. MOLIN (1988). Numerical taxonomy of psychrotropic lactic acid bacteria from prepacked meat and meat products. *Antonie van Leeuwenhoek* 54: 301-23.
- BORCH E., M.L. KANT-MUERMANS, Y. BLIXT (1996). Bacterial spoilage meat and cured meat products. *Food Microbiology* 33: 103-120.
- BOUTON P.E., A.E. FORD, P.V. HARRIS, J.J. MACFARLANE, J.M. O'SHEA (1977). Pressure-heat treatment of post-rigor muscle: Objective-subjective measurements. *Journal of Food Science* 42: 857-859.
- BUCHANAN R.L., H.G. STAHL, R.C. WHITING (1989). Effects and interactions of temperature, pH, atmosphere, sodium chloride and sodium nitrite on the growth of *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection* 52 (12): 844-851.
- BUCHANAN R.L., M. SOLBERG (1978). Influence of sodium nitrite on the aerobic catabolism of glucose by *Staphylococcus aureus*. *Journal Food Safety* 1: 189-200.
- BUDKA H., S. BUNCIC, C.P. COLIN, J. COLLINS, C. DUCROT, J. HOPE, Mc JOHNSTON, G. KLEIN, H. KRUSE, E. LÜCKER, S. MAGNINO, A. MARTINEZ-LÓPEZ, R.L. MAIJALA, C. NGUYEN-THÉ, B. NOERRUNG, S. NOTERMANS, G. NYCHAS, M. PENSAERT, T. ROBERTS, I. VÅGSHOLM, E. VANOPDENBOSH (2003). The effects of nitrites and nitrates on the microbiological safety of meat products: opinion of the scientific panel on biological hazards on the request from the commission related to the effects of nitrites and nitrates on the microbiological safety of meat products. *The European Food Safety Authority Journal* 14: 1-31.
- BUTZ P., S. FUNTENBERGER, T. HABERDITZL, B. TAUSCHER (1995). High pressure inactivation of *Byssoschlamys nivea* ascospores and other heat resistant moulds. *LWT-Food Science and Technology* 29: 404-410.
- CAMPUS M (2010). High Pressure Processing of Meat, Meat Products and Seafood. *Food Engineering Reviews* 2: 256-273.

- CARLEZ A., T. VECIANA-NOIGUES, J.C. CHEFTEL (1995). Changes in color and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *LWT-Food Science and Technology* 28: 528-538.
- CASSENS R.G (1997). Composition and safety of cured meats in the USA. *Food Chemistry* 59: 561-566.
- CAVA R., L. LADERO, S. GONZÁLEZ, A. CARRASCO, M.R. RAMÍREZ (2009). Effect of pressure and holding time on colour, protein and lipid oxidation of sliced dry-cured Iberian ham and loin during refrigerated storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10: 76-81.
- CHEAD P.B., D.A. LEDWARD (1996). High Pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Science* 43(2): 123-134.
- CHEFTEL J.C., J. CULIOLI (1997). Effect of high pressure on meat: A review. *Meat Science* 46: 211-236.
- CLARIANA ORDUÑA M (2011). Efecto de la aplicación de las altas presiones hidrostáticas en un producto de origen animal, el jamón curado y un producto vegetal, el nabo. Tesis Doctoral, Universitat de Girona, España. Disponible en: URL: <http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/4711/tmco.pdf?sequence=1>. Fecha de acceso: 15/12/2014
- CRAWFORD Y.J., E.A. MURANO, D.G. OLSEN, K. SHENOY (1996). Use of high hydrostatic pressure and irradiation to eliminate *Clostridium sporogenes* in chicken breast. *Journal Food Protection* 59: 711-715.
- CODEX ALIMENTARIUS (1981). Normas Internacionales de los alimentos. URL: <http://www.codexalimentarius.org/normas-oficiales/lista-de-las-normas/es/>. Fecha de modificación: 2/02/15, fecha de acceso: 05/02/15.
- COOK D (2003). Sensitivity of *Vibrio* species in phosphate buffered saline and in oysters to high pressure processing. *Journal Food Protection* 66: 2276-2282.
- COMAPOSADA J., J. ARNAU, M. GARRIGA, P. GOU, J.M. MONFORT, M. COROMINAS, M. XARGAYÓ, L. FREIXANET, J. LANGARES (2010). Secado rápido de productos cárnicos crudos curados. *Tecnología Quick-Dry-Slice. Metalquímica*: 209-215.
- CONSIDINE K.M., A.L. KELLY, G.F. FITZGERALD, C. HILL, R.D. SLEATOR (2008). High pressure processing effects on microbial food safety and food quality. *Federation of European Microbiological Societies. Microbiology Letter* 281(1): 1-9.
- DELGADO-ADAMEZ J., M.N. FRANCO, J. SANCHEZ, C. DE MIGUEL, M.R. RAMIREZ, D. MARTÍN-VERTEDOR (2013). Comparative effect of high pressure processing and traditional thermal treatment on the physicochemical, microbiology, and sensory analysis of olive jam. *Grasas y Aceites* 64(4): 432-441.
- DEMEYER DI., M. RAEMAKERS, A. RIZZO, A. HOLCK, A. DE SMEDT, B. TEN BRINK, B. HAGEN, C. MONTEL, E. ZANARDI, E. MURBREK, F. LEROY, F. VANDERDRIESSCHE, K. LORENTSEN, K.

- VENEMA, L. SUNESEN, L. STAHNKE, L. DE VUYST, R. TALON, R. CHIZZOLINI, S. EEROLA (2000). Control of bioflavor and safety in fermented sausages: first results of a European project. *Food Research International* 33: 171-180.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION (DOF) (2014). Normas Oficiales Mexicanas. URL: <http://www.diariooficial.gob.mx>. Fecha de modificación: 1/01/14, fecha de acceso: 12/12/14.
- DONNA C.J., F.E. FEEHERRY (2007). Compression heating and temperature control in high pressure processing. Capítulo 11 En: *High Pressure Processing of foods*, E. Ting (Editor). USA: Blackwell Publishing, pp. 227-233.
- DURANTON F., H. SIMONIN, R. CHERÉT, S. GUILLÓN, M. LAMBALLERIE (2012). Effect of High Pressure and Salt on Pork Meat Quality and Microstructure. *Journal of Food Science* 77(8): 188-194.
- DYKES G.A., T.E. CLOETE, A. VAN HOLY (1991). Quantification of microbial populations associated with the manufacture of vacuum-package, smoked Vienna sausages. *International Journal Food Microbiology* 13: 239-248.
- ESCRIU R., M. MOR-MUR (2009). Role of quantity and quality of fat in meat models inoculated with *Listeria innocua* or *Salmonella Typhimurium* treated by high pressure and refrigerated stored. *Food Microbiology* 26(8): 834-840.
- FARBER J.M., P.I. PETERKIN (1991). *Listeria monocytogenes* a foodborne pathogen. *Microbiological Reviews* 55(3): 476-511.
- FARKAS D., D.G. HOOVER (2000). High pressure processing. *Journal of Food Science-Supplement* 65: 47-64.
- FERNÁNDEZ-MARTÍN F., P. FERNÁNDEZ, J. CARBALLO, F. JIMENEZ-COLMENERO (1997). Pressure/heat combinations on pork meat batters: Protein thermal behavior and product rheological properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 665: 4440-4445.
- FERRINI G., J. COMAPOSADA, J. ARNAU, P. GOU (2012). Colour modification in a cured meat model dried by quick-dry-slice process and high pressure processed as a function of NaCl, KCl, K-lactate and water contents. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 13: 69-74.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) (2014). Almacenamiento no refrigerado o refrigerado de la carne fresca y los subproductos comestibles. URL: <http://www.fao.org/about/en/>. Fecha de modificación: 11/06/2014, fecha de acceso: 6/06/2014.
- FOX J., R. FIDDLER, A. WASSERMAN (1981). Initial reaction intermediates in the oxidation of ascorbic acid by nitrous acid. *Journal Food Protection* 44: 28-32.

- FUENTES V., J. VENTANAS, D. MORCUENDE, M. ESTEVES, S. VENTANAS (2010) Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum-packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure. *Meat Science* 85: 506-514.
- FULLADOSA E., X. SERRA, P. GOU, J. ARNAU (2012). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat science* 82: 213-218.
- FRYE C.B., L.W. HAND, C.R. CALKINS, R.W. MANDIGO (1986). Reduction or replacement of sodium chloride in a tumbled ham product. *Journal of Food Science* 51: 836-837.
- GARRIGA M., M.T. ARYMERICH (2009). *Safety of meat and processed meat*. New York: Springer, pp. 183-208.
- GARRIGA M., N. GRÈBOL, M.T. AYMERICH, J.M. MONFORT, M. HUGAS (2004). Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 451-457.
- GIBSON A.M., T.A. ROBERTS, A. ROBINSON (1982). Factors controlling the growth of *Clostridium botulinum* types A and B in pasteurized cured meats. VI. The effect of pig breed, cut and batch of pork. *Journal Food Technology* 17: 471-482.
- GOH L.C.E., A.D. HOCKING, C.M. STEWART, K.A. BUCKLE, G.H. FLEET (2007). Baroprotective effect of increased solute concentrations on yeast and moulds during high pressure processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8(4): 535-542.
- GONZALEZ B., V. DIEZ (2002). The effect nitrite and starter culture on microbiological quality of chorizo-a Spanish dry cured sausage. *Meat Science* 60: 295-298.
- GRAY J.I., B. MCDONALD, A.M. PEARSON, I.D. MORTON (1981). Role of nitrite in cured meat flavor: a review. *Journal Food Protection* 44: 302-312.
- HAN Y., Y. JIANG, X. XU, X. SUN, B. XU, G. ZHOU (2011). Effect of high pressure treatment on microbial populations of sliced vacuum-packed cooked ham. *Meat Science* 88(4): 682-688.
- HAYAKAWA K., T. KANNA, K. YOSHIYAMA, Y. FUJIO (1994). Oscillatory compared to continuous high pressure sterilization of *Bacillus stearothermophilus* spores. *Journal Food Science* 59: 164-167.
- HAYASHI R., B. BALNY (1996). *High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology*. Netherlands: Elsevier, pp. 237-273.
- HENDRICKX M., L. LUDIKHUYZE, I. VAN DEN BROECK, C. WEEMAES (1998). Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science and Technology* 9: 197-203.
- HEREDIA N., J.E. DÁVILA-AVIÑA, L. SOLÍS SOTO, S. GARCÍA (2014). Productos cárnicos: principales patógenos y estrategias no térmicas de control. *Nacameh* 8: 20-42.

- HERNÁNDEZ BAUTISTA J., J.L. AQUINO LÓPEZ, F.G. RÍOS RINCÓN (2013). Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Nacameh* 7(2): 41-64.
- HEREU A., S. BOVER-CID, M. GARRIGA, 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(3): 107-112.
- HILL M., C. CHEM, F. PATH (1996). Nitrite and Nitrate as food additive: rationale and mode of action. Capítulo 6 En: *Nitrates and nitrites in food and water*, T.A. Roberts, R.H. Dainty (Editores). Cambridge: Wood head Publishing Limited, pp. 113-130.
- HILL C., P.D. COTTER, R.D. SLEATOR, C.G.M. GAHAN (2002). Bacterial stress response in *Listeria monocytogenes*: Jumping the hurdles imposed by minimal processing. *International Dairy Journal* 12: 273-283.
- HOLDSWORTH S.D., R. SIMPSON (1997). *Thermal processing of packaged foods*. New York: Springer, pp. 123-130.
- HYPERBARIC (2015). *Procesado por altas presiones para alimentos y bebidas*. URL: <http://www.hiperbaric.com/es/>. Fecha de modificación: 04/03/15, fecha de acceso: 25/09/15.
- INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI) (2014). *Boletín informativo oportuno del sector alimentario SAGARPA México*. URL: <http://www.inegi.org.mx/>. Fecha de modificación: 1/10/2014, fecha de acceso: 6/10/14.
- JIMÉNEZ-COLMENERO F., P. FERNÁNDEZ, J. CARBALLO, F. FERNÁNDEZ-MARTÍN (1998). High-pressure-cooked low-fat pork and chicken batters as affected by salt level and cooking temperature. *Journal of Food Science* 63: 656-659.
- JOFRÉ A., T. AYMERICH, M. GARRIGA (2009a). Improvement of the food safety of low-acid fermented sausages by enterocins A and B and high pressure. *Food Control* 20(2): 179-184.
- JOFRÉ A., T. AYMERICH, M. GARRIGA (2009b). Efficiency of high hydrostatic pressure at 600 MPa against food-borne microorganisms by challenge tests on convenience meat products. *LWT-Food Science and Technology* 42(5): 924-928.
- JUNG S., M. DE LAMBALLERIE-ANTON, M. GHOU (2000). Textural changes in bovine meat treated with high pressure. *High Pressure Research* 19(1-6): 459-464.
- JUNG S., M. GHOU, M. DE LAMBALLERIE-ANTON (2003). Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *LWT-Food Science and Technology* 36: 625-631.
- KATO M., R. HAYASHI, T. TSUDA, K. TANIGUCHI (2002). High pressure-induced changes of biological membrane. Study on the membrane bound Na⁺/K⁺- ATPase as a model system. *European Journal of Biochemistry* 269: 110-118.
- KERRY J.P., J.F. KERRY, D.A. LEDWARD (2002). *Meat processing: Improving quality*. Cambridge: CRC press, pp. 272-313.

- KILCAST D., F. ANGUS (2007). Reducing salt in foods. Practical strategies. Washington: CRC press, pp. 157-217.
- KILIC B (2000). Controlling residual nitrate in cured meat products. Tesis Doctoral, University of Wisconsin-Madison. Madison. Disponible en URL: <http://search.proquest.com.etchconricyt.idm.oclc.org/pqdtglobal/docview/304536367?pq-origsite=summon>. Fecha de acceso: 22/04/2014.
- KINGSLEY D.H., D.G. HOOVER, E. PAPAFAHKOU, G.P. RICHARDS (2002). Inactivation of hepatitis A virus and a calicivirus by high hydrostatic pressure. *Journal Food Protection* 65: 1605-1609.
- KNORR D (1993). Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technology* 47(6): 158-161.
- KREBBERS B., A.M. MASTER, S.W. HOOGERERF, R. MOEZELAAR, M. TOMASSEN, R.W. VAN DER BERG (2003). Combined high-pressure and thermal treatments for processing of tomato puree: Evaluation of microbial inactivation and quality parameters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 4(4): 377-385.
- KREYENSCHMIDT J., A. HÜBNER, E. BEIERLE, L. CHONSCH, A. SCHERER. B. PETERSEN (2009). Determination of the shelf life of sliced cooked ham based on the growth of lactic acid bacteria in different steps of the chain. *Journal Applied Microbiology* 108: 510-520.
- LAKSHMANAN R., J.R. PIGGOTT, A. PATERSON (2003). Potential applications of high pressure for improvement in salmon quality. *Trends in Food Science & Technology* 14: 354-363.
- LAMBADARIOS E., I. ZABETAKIS (2002). Does high hydrostatic pressure affect fruit esters? *LWT-Food Science and Technology* 35(4): 362-366.
- LEDWARD D.A., D.E. EARNSHAW, A.P.M. HASTTING (1995). High pressure processing of foods. Reino Unido: Nottingham University Press, pp. 305-307.
- LI K.Y., J.A. TORRES (1993). Effects of temperature and solute on the minimum water activity for grow and temperature characteristic of selected mesophiles and psychrotrophs. *Journal of Food Processing and Preservation* 17: 305-318.
- LIN G.C., G.S. MITTAL, S. BARBUT (1991). Optimization of tumbling and KCl substitution in low sodium restructured hams. *Journal of Muscle Foods* 2: 71-91.
- LÓPEZ-CABALLERO M.E., J. CARBALLO, E. JIMÉNEZ-COLMENERO (2002). Microbial Inactivation in Meat Products by Pressure/Temperature Processing. *Food Microbiology and Safety* 67: 797-801.
- LOWDER A.C., C. MIRELES DEWITT (2014). Impact of high pressure processing on the functional aspects of beef muscle injected with salt and/or sodium phosphates. *Journal of Food Processing and Preservation* 38(4): 1840-1848.

- MACFARLANE J.J., I.J. MCKENZIE, R.H. TURNER (1986). Pressure-heat treatment of meat: Changes in myofibrillar proteins and ultra-structure. *Meat Science* 17: 161-176.
- MACFARLANE, J.J (1985). *Developments in meat science*. London: Elsevier Applied Science, pp. 155-184.
- MAÑAS P., B.M. MACKEY (2004). Morphological and physiological changes induced by high hydrostatic pressure in exponential and stationary-phase cells of *Escherichia coli*: relationship with cell death. *Applied Environmental Microbiology* 70: 1545-1554.
- MAÑAS P., R. PAGAN (2005). Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology* 98(6): 1387-1399.
- MARCOS B., T. AYMERICH, J.M. MONFORT, M. GARRIGA (2008a). High pressure processing and antimicrobial biodegradable packaging to control *Listeria monocytogenes* during storage of cooked ham. *Food Microbiology* 25(1): 177-182.
- MARCOS B., A. JOFRÉ, T. AYMERICH, J.M. MONFORT, M. GARRIGA (2008b). Combined effect of natural antimicrobials and high pressure processing to prevent *Listeria monocytogenes* growth after a cold chain break during storage of cooked ham. *Food Control* 19: 76-81.
- MARECHAL P.A., I. MARTINEZ DE MARTANOT, I. POIRIER, P. GERVAIS (1999). The importance of the kinetics of application of physical stresses on the viability of microorganisms: significance for minimal food processing. *Trends Food Science Technology* 10: 15-20.
- MARTIN M.F.S., G.V. BARBOSA-CANOVAS, B.G. SWANSON (2004). Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42(6): 627-645.
- MASS M.R., K.A. GLASS, M.P. DOYLE (1989). Sodium lactate delays toxin production by *Clostridium botulinum* in cook-in-bag turkey products. *Applied and Environmental Microbiology* 55(9): 2226-2229.
- McCLURE B.N., J.G. SEBRANEK, Y.H. KIM, G.A. SUVILLAN (2011). The effects of lactate on nitrosylmyoglobin formation from nitrite and metmyoglobin in a cured meat system. *Food Chemistry* 129(3): 1072-1079.
- METRICK C., D.G. HOOVER, D.F. FARKAS (1989) Effects of high hydrostatic pressure on heat-sensitive strains of *Salmonella*. *Journal Food Science* 54: 1547-1564.
- MESENS W., J. VAN CAMP, A. HUYGHEBAERT (1997). The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends in Food Science and Technology* 8: 107-112.
- MOLINA COTE F., D. ALONSO MOLINA, J. LÓPEZ VARGAS (2010). Estudio preliminar sobre la influencia de la carragenina Kappa I, Kappa II y goma Tara en la viscosidad tixotropía de las salmueras de inyección para jamones cocidos picados de cerdo. *Revista Facultad de Agronomía Colombia* 63: 5707-5715.
- MOLINS R.A (1991). *Phosphates in Food*. Boca Raton: CRC Press, pp. 1-85.

- MØLLER J.K.S., L.H. SKIBSTED (2002). Nitric oxide and myoglobins. *Chemical Reviews* 102: 1167-178.
- MONTVILLE T.J., K.R. MATHEWS (2008). *Food Microbiology and introduction*. USA: American Society for microbiology, pp. 11-36.
- MOR-MOR M., J. YUSTE (2003). High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: Physical properties and sensory analysis. *Meat Science* 65(3): 1187-1191.
- MORRISSEY P.A., J.Z. TICHIVANGANA (1985). The antioxidant activities of nitrite and nitrosylmyoglobin in cooked meats. *Meat Science* 14: 175-190.
- MYERS K., J. CANNON, D. MONTOYA, J.S. DICKSON, S.M. LONERGAN (2013). High Hydrostatic Pressure Processing for Improving the Control of *Listeria monocytogenes* on Ready-to-Eat (RTE) Sliced Ham with Variable Nitrite Concentrations. URL: http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1798&context=ans_air. Fecha de actualización: 1/03/15, fecha de acceso: 1/03/15.
- NGUYEN T., V.M. ABDULLATIF TAY, V.M. BALASUBRAMANIAM (2010) Evaluating the impact of thermal and pressure treatment in preserving textural quality of selected foods. *LWT-Food Science and Technology* 43: 525-534.
- NIENABER U., T.H. SHELLHAMMER (2001). High-pressure processing of orange juice: Kinetics of pectinmethylesterase inactivation. *Journal of Food Science* 66(2): 328-331.
- NIELSEN H.J.S (1983). Influence on temperature and gas permeability of packaging film on development and composition of microbial flora in vacuum-packed Bologna-type sausage. *Journal Food protection* 46: 693-698.
- NIVEN C.F., L.G. BUETTNER, J.B. EVANS (1954). Thermal tolerance studies on the heterofermentative *lactobacilli* that sausage greening of cured meat products. *Applied Microbiology* 2: 26-29.
- NORDIN H.R (1969). The depletion of added sodium nitrite in ham. *Canadian Institute of Food Technology Journal* 2: 79-85.
- NORTJÉ G.L., L. NEL, E. JORDAN, R.T. NAUDÉ, W.H. HOLZAPFEL, R.J. GRIMBEEK (1989). A microbiological survey of fresh meat in the supermarket trade. Part 2: Beef retail cuts. *Meat Science* 25: 99-112.
- NORTON T., D.W. SUN (2008). Recent Advances in the Use of High Pressure as an Effective Processing Technique in the Food Industry. *Food and Bioprocess Technology* 1(1): 2-34.
- OLESEN P.T., A.S. MEYER, L.H. STAHNKE (2004). Generation of flavor compounds in fermented sausages-the influence of curing ingredients, *Staphylococcus* starter culture and ripening time. *Meat Science* 66: 675-687.
- OLSSON D.G (1982). Salt for processing probable can be cut by only one quarter. *The National Provisioner* 17: 7-10.

- OTAKE T., T. MORI, Y. KAWAHATA, H. IZUMOTO, I. NISHIMURA, T. OISHI, H. SHIGEHISA, OHNO (1997) High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology. Leuven: University press, pp. 233-236.
- PAELINCK H., S. SZCZEPANIAK (2005). New Strategies for the Preservation of Cooked Ham. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences 14: 37-40.
- PATTERSON M.F. (2005). A Review Microbiology of pressure-treated foods. Journal of Applied Microbiology 98: 1400-1409.
- PATTERSON M.F., D.J. KILPATRICK (1998). The combined effect of high hydrostatic pressure and mild heat on inactivation of pathogens in milk and poultry. Journal Food Protection 61: 432-436.
- PATTERSON M.F., M. QUINN, R. SIMPSON, A. GILMOUR (1995). Sensitivity of vegetative pathogens to high hydrostatic pressure treatment in phosphate-buffered saline and foods. Journal Food Protection 58: 524-529.
- PENNISTON J.T (1971). High hydrostatic pressure and enzymatic activity: inhibition of multimeric enzymes by dissociation. Archives of Biochemistry and Biophysics 142: 322-332.
- PICOUET P.A., X. SALA, N. GARCIA-GIL, P. NOLIS, M. COLLEO, T. PARELLA, J. ARNAU (2012). High pressure processing of dry-cured ham: Ultrastructural and molecular changes affecting sodium and water dynamics. Innovative Food Science & Emerging Technologies 16: 335-340.
- POLYDERA A.C., N.G. STOFOROS, P.S. TAOUKIS (2003). Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurized and high pressure processed reconstituted orange. Journal of Food Engineering 60: 21-29.
- PORTOCARRERO S.M., M. NEWMAN, B. MIKEL (2002). *Staphylococcus aureus* survival, staphylococcal enterotoxin production and shelf stability of country-cured hams manufactured under different processing procedures. Meat Science 62: 267-273.
- PRÉSTAMO G., G. ARROYO (1998). High hydrostatic pressure effect on vegetable structure. Journal of Food Science 63: 878-881.
- PSZCZOLA D.E (1999). Ingredients that get to meat to matter. Food Technology 53(4): 62-74.
- REDDY N.R., H.M. SOLOMON, G.A. FINGERHUT, E.J. RHODEHAMEL, V.M. BALASUBRAMANIAM, S. PALANIAPPAN (1999). Inactivation of *Clostridium botulinum* type E spores by high pressure processing. Journal Food Safety 19: 277-288.
- RENDUELES E., M.K. OMER, O. ALVSEIKE, C. ALONSO-CALLEJA, R. CAPITA, M. PRIETO (2011). Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. LWT-Food Science and Technology 44(5): 1251-1260.

- RITZ M., M.F. PILET, F. JUGIATE, F. RAMA, M. FEDERIGHI (2006). Inactivation of *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes* using high pressure treatments: destruct or sublethal stress? Letters in Applied Microbiology 42: 357-362.
- RIVALAIN N., J. ROQUAIN, G. DEMAZEAU (2010). Development of high hydrostatic pressure in biosciences: pressure effect on biological structures and potential applications in biotechnologies. Biotechnology Advances 28(6): 659-672.
- ROBERTS T.A., M. INGRAIN (1973). Inhibition of growth of *Clostridium botulinum* at different pH values by sodium chloride and sodium nitrite. Journal Food Technology 8: 467- 475.
- ROMANS J.R., W.J. COSTELLO, C.W. CARLSON, M.L. GREASER, K.W. JONES (2001). The meat we eat. Danville: Interstate Publishers, pp. 174.
- RUBIO B., B. MARTÍNEZ, M.D. GARCÍA-CACHÁN, J. ROVIRA, I. JAIME (2007a). The Effects of High Pressure Treatment and of Storage Periods on the Quality of Vacuum-Packed 'Salchichón' Made of Raw Material Enriched in Monounsaturated and Polyunsaturated Fatty Acids. Innovative Food Science and Emerging Technologies 8: 180-87.
- RUBIO B., B. MARTÍNEZ, M.D. GARCÍA-CACHÁN, J. ROVIRA, I. JAIME (2007b). Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef "Cecina de Leon". Innovative Food Science & Emerging Technologies 8(1): 102-110.
- RUUSUNEN M., E. PUOLANNE (2005). Reducing sodium intake from meat products. Meat Science 70: 531-541.
- RUUSUNEN M., M. SÄRKKÄ, M. TIRKKONEN, E. PUOLANNE (2005). The effect of salt reduction on taste pleasantness in cooked bologna type sausages. Journal of Sensory Studies 14: 263-270.
- RYWOTYCKI R (2002). The effect of selected functional additives and heat treatment on nitrosamine content in pasteurized pork ham. Meat Science 60: 335-339.
- SANCHEZ BASURTO B.E (2012). Aplicación de altas presiones isostáticas para la conservación de cortes de carne vacuno. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de México, Disponible en URL: <http://anatomiaayplastinacion.wikispaces.com/file/view/Aplicaciones+de+altas.pdf>. Fecha de acceso: 11/11/2014.
- SANDRA S., M.A. STANFORD, L. MEUNIER GODDIK (2004). The use of high-pressure processing in the production of cheese. Journal of Food Science 69(4): 153-158.
- SEBRANEK J.G., J.N. BACUS (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues?. Meat Science 77: 136-147.
- SEBRANEK J.G (1979). Advances in the technology of nitrite use and consideration of alternatives. Food Technology 33(7): 58-62.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA GANADERÍA DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA) (2008). Producción nacional de carnes frías. URL: <http://www.sagarpa.gob.mx/>

- ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacin%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/27/sitpor09a.pdf. Fecha de modificación: 15/10/2009, fecha de acceso: 16/09/2014.
- SERMENT-MORENO V., K. DENG, X. WU, Y. SU, C. FUENTES, J.A. TORRES, J. WELTI-CHANES (2015). Monte Carlo analysis of the product handling and high-pressure treatment effects on the *Vibrio vulnificus* risk to raw oysters consumers. *Journal of Food Engineering* 144: 86-92.
- SHAHIDI F., A.G.P. SAMARANAYAKA (2004). *Encyclopedia of Meat Sciences*. Oxford: Elsevier, pp. 366-374.
- SHIGEHISA T., T. OHMORI, A. SAITO, S. TAJI, R. HAYASHI (1991). Effects of high pressure on the characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products. *International Journal of Food Microbiology* 12: 207-216.
- SHIMADA S., M. ANDOU, N.Y. NAITO, N. AMADA, M. OSUMI, R. HAYASHI (1993). Effects of hydrostatic pressure on the ultrastructure and leakage of internal substances in the yeast *Saccharomyces*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 40: 123-131.
- SIMONIN H., F. DURANTON, M. LAMBALLERIE-ANTON (2012). New insights into the high pressure processing of meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11: 1575-1579.
- SLEATOR R.D., C. Hill (2001). Bacterial osmoadaptation: The role of osmolytes in bacterial stress and virulence. *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Reviews* 26: 49-71.
- SOFOS J.N., F.F. BUSTA, C.E. ALLEN (1979a). Botulism control by nitrite and sorbate in cured meats: a review. *Journal Food Protection* 42: 739-770.
- SOFOS J.N., F.F. BUSTA, C.E. ALLEN (1979b). Effect of sodium nitrite on *Clostridium botulinum* toxin production in frankfurter emulsions formulated with meat and soy proteins. *Journal Food Science* 44: 1267-1271.
- SOFOS J.N. (1983). Effects of reduced salt levels on sensory and instrumental evaluation of frankfurters. *Journal of Food Science* 48: 1683-1691.
- SPERONI H., N. SWERMAN, S.R. VAUDAGNA (2014). High hydrostatic pressure of beef patties: Effects of pressure level sodium tripolyphosphate and sodium chloride concentrations on thermal and aggregative properties of proteins. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 23: 10-17.
- STOLLEWERK K., A. JOFRÉ, J. COMAPOSADA, J. ARNAU, M. GARRIGA (2012). The effect of NaCl-free processing and high pressure on the fate of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* on sliced smoked dry-cured ham. *Meat science* 90(2): 472-477.
- STOLLEWERK K., A. JOFRÉ, J. COMAPOSADA, J. ARNAU, M. GARRIGA (2014). NaCl-free processing, acidification, smoking and high pressure: Effects on growth of *Listeria*

- monocytogenes* and *Salmonella enterica* in QDS processed® dry-cured ham. Food Control 35(1): 56-64.
- TANAKA N., L. MESKE, M.P. DOYLE, E. TRAISMAN, D.W. THAYER, R.W. JOHNSTON (1985). Plant trials of bacon made with lactic acid bacteria, sucrose and lowered sodium nitrite. Journal Food Protection 48: 679-686.
- TARTÉ R (2009). Ingredients in Meat Products. USA: Springer, pp. 1-24.
- TASSOU C.C., E.Z. PANAGOY, F.J. SAMARAS, P. GALIATSATOU, C.G. MALLIDIS (2008). Temperature-assisted high hydrostatic pressure inactivation of *Staphylococcus aureus* in a ham model system: Evaluation in selective and nonselective medium. Journal of Applied Microbiology 104: 1764-1773.
- TASSOU C.C., P. GALIATSATON, F.J. SAMARAS, C.G. MALLIDIS (2007). Inactivation kinetics of a piezotolerant *Staphylococcus aureus* isolated from high pressure treated sliced ham by high pressure in buffer and in ham model systems: Evaluation in selective and non-selective medium. Innovative Food Science and Emerging Technologies 8(4): 478-484.
- TERRELL R.N (1983). Reducing the sodium content of processed meats. Food Technology 37(7): 66-71.
- THOMAS O., B. NILS (2000). Minimal processing of foods with non-thermal methods. Capítulo 3 En: Minimal Processing Technology, T. Ohlsson, Gothenburg, N. Bengtsson (Editores). Cambridge: CRC press, pp. 34-57.
- TOLDRÁ F., M. REIG (2011). Innovations for Healthier Processed Meats. Trends in Food Science & Technology 22(9): 517-522.
- TOLDRÁ F., M.C. ARISTOY, M. FLORES (2009). Relevance of nitrate and nitrite in dry cured ham and their effects on aroma development. Grasas y Aceites 60(3): 291-296.
- TOMPKIN R.B (2005). Antimicrobials in food. Boca Raton: CRC press, pp. 169-236.
- TOMPKIN R.B (1983). Reducing Salt in Food. New York: Marcel Dekker, pp. 205-256.
- TORRES J.A., G. VELAZQUEZ (2005). Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. Journal of Food Engineering 67(1-2): 95-112.
- TORNBERG E (2005). Effects of heat on meat proteins-Implications on structure and quality of meat products. Meat Science 70(3): 493-508.
- TREJO-AYARA X.I., M. HENDRICKX, B.E. VERLINDEN, S. VAN BUGGENHOUT, N.J. SMALE, C. STEWART (2007). Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: A micro-structural and biochemical approach. Journal of Food Engineering 80(3): 873-884.
- VERCAMMEN A., G.A. VANOIRBEER, I. LURQUIN, L. STEEN, O. GOEMAERE, S. SZCZEPANIAK, H. PAELINCK, E.G. HENDRICKX, C.W. MICHIEL (2011). Shelf-life extension of cooked ham model product by high hydrostatic pressure and natural preservatives. Innovate Food & Emerging Technologies 12: 407-405.

- VERLUYTEN J., W. MESSENS, L. DE VUYST (2003). The curing agent sodium nitrite, used in the production of fermented sausages, is less inhibition to the bacteriocin-producing meat starter culture *Lactobacillus curvatus* LTH 1174 under anaerobic condition. Applied Environmental Microbiology 69: 3833-3839.
- WILSON M.J., R. BAKER (2001). High Temperature/Ultra High Pressure Sterilization of Foods. US Patent No: 6207215 B1. URL: <https://www.google.com/patents/US6207215>. Fecha de actualización: 27/03/2001, fecha de acceso: 2/11/14.
- WIRTH F (1989). Salting and Curing of Kochwurst and cooked cured products. Fleischwirtschaft 69: 1568-1572.
- WIRTH F (1991). Reducing the fat and sodium content of meat products. What possibilities are there?. Fleischwirtschaft 71(3): 294-297.
- WOODS L.F.J., J.M. WOOD, P.A. GIBBS (1981). The involvement of nitric oxide in the inhibition of the phosphoroclastic system in *Clostridium sporogenes* by sodium nitrite. Journal General Microbiology 125: 399-406.
- XIONG Y (2005). Role of myofibrillar proteins in water-binding in brine-enhanced meats. Food Research International 38: 281-287.
- YUSTE J., R. PLA, M. CAPELLAS, E. PONCE, M. MOR-MUR (2000). High pressure processing applied to cooked sausages: Bacterial populations during chilled storage. Journal of Food Protection 8: 1015-1153.