

Nacameh

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

NACAMEH Vol. 8, Sup. 1, pp. S20-S42, 2014

Productos cárnicos: principales patógenos y estrategias no térmicas de control

Meat products: main pathogens and non-thermal control strategies

Norma Heredia[✉], Jorge Esteban Dávila-Aviña, Luisa Solís Soto, Santos García

*Departamento de Microbiología e Inmunología, Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León, Apdo. Postal 124-F, San Nicolás de los Garza,
Nuevo León, México C.P. 66455. ✉ Autor de correspondencia: norma@microbiosymas.com.*

RESUMEN

La carne es una matriz rica en nutrientes que proporciona un entorno adecuado para la proliferación de diversos microorganismos, deteriorantes y patógenos. Dentro de estos últimos se encuentra *E. coli* O157 y no-O157, *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes*. Por otro lado, la creciente demanda de productos “similares a los frescos” con calidad sanitaria, organoléptica y nutrimental ha impulsado el desarrollo de tecnologías alternativas con el objetivo de suplir a las tradicionales o térmicas y garantizar de esta forma lo que el consumidor solicita. Es por tal razón que en las últimas décadas se ha trabajado intensamente para desarrollar nuevas técnicas de preservación alimentaria que no modifiquen las características sensoriales y nutricionales, además, que mantengan o mejoren la estabilidad y calidad microbiológica. En el presente escrito se revisan los microorganismos patógenos más comunes presentes en carnes y sus productos, así como tecnologías emergentes tales como altas presiones hidrostáticas, radiación, empaques activos e inteligentes y uso de compuestos naturales para su control.

Palabras Clave: carne, productos cárnicos, microorganismos patógenos, control no térmico.

Abstract

Meat is a rich nutrient matrix that allows the proper environment for diverse microorganisms' proliferation, deteriorative and pathogen. *E. coli* O157 and non-O157, *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* are among the pathogen ones. On other hand, the growing demand for “fresh-like” products with high sanitary, organoleptic and nutritional quality had drive the development of alternative technologies to traditional or thermal, to satisfy consumers' demand. In the last decades new food preservation techniques with no effect on nutritional or organoleptic characteristics had been developed, maintaining or improving microbiological stability and quality. This work is review of the most common pathogen microorganisms in meat and meat products, and the emerging technologies like high hydrostatic pressure, radiation, intelligent and active packages, and the use of natutal compounds for their control.

Keywords: meat, meat products, pathogen microorganisms, non-thermal control.

INTRODUCCIÓN

La carne (principalmente la cruda) además de ser altamente susceptible a deterioro, también puede constituir un vehículo para la propagación de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) (Bhandare y col., 2007; Podpečan y col., 2007). Durante el sacrificio y procesamiento, todos los tejidos potencialmente comestibles pueden estar sujetos a contaminación por diversas fuentes, ya sea interna o externa al animal. En animales vivos, las superficies en contacto con el medio ambiente albergan una variedad de microorganismos, por lo que en muchas ocasiones los contaminantes se derivan de la piel del animal, o bien, de aquellos presentes en heces. Sin embargo, se ha determinado que las carnes procesadas son más susceptibles a contaminarse con microorganismos patógenos durante las diferentes etapas de su procesamiento (Datta y col., 2012). La presencia de patógenos en la cadena de producción de un alimento, aún en bajos números, es indeseable y se considera como la mayor causa de enfermedades gastrointestinales alrededor del mundo (McDonald y Sun, 1999).

Para tratar de determinar la calidad microbiológica de la carne en los rastros, frecuentemente se utiliza la búsqueda y cuantificación de microorganismos indicadores, los cuales, aunque pueden no ser patógenos, su presencia indica la probabilidad de que también pueden estar presentes microorganismos patógenos (Wolffs y Radstrom, 2006). Estas determinaciones incluyen la cuenta de bacterias mesofílicas viables totales (TVC por sus siglas en inglés, total viable count), coliformes totales, bacterias del grupo Enterobacteriaceae, *Escherichia coli*, estreptococos fecales y *Aeromonas* (Algino y col., 2009); aunque también se ha sugerido incluir en este rubro de indicadores a bacterias como *Listeria* spp., enterococos y bifidobacterias (Delcenserie y col., 2008; Gill y Jones, 1995).

Los microorganismos patógenos que históricamente se han asociado a brotes por el consumo de carne, incluyen *Salmonella*, *E. coli* O157:H7 y no-O157 productoras de toxina shiga (STEC), *Listeria*, *Campylobacter*, *Clostridium perfringens* y *Yersinia*, aunque los primeros tres se ha reportado que actualmente son los más importantes como patógenos en carne de res (Koochmaraie y col., 2005). Se ha establecido que para algunos microorganismos tales como *L. monocytogenes*, *S. aureus* y *Clostridium* spp, las principales medidas para lograr su control se enfocan en intervenciones durante las últimas etapas de la producción de la carne (Nørrung y col., 2009).

Se ha encontrado que algunos de los patógenos presentes en carne (por ejemplo *Campylobacter* spp y *Salmonella* spp) pueden ser más eficientemente controlados por los principales procesos de intervención aplicados en la producción primaria combinados con la optimización de la higiene durante el sacrificio del animal (Nørrung y col., 2009). Es de suma importancia, para lograr un control adecuado de microorganismos, deteriorantes y patógenos, la higiene, así como el conocimiento de aquellos factores que pudieran

permitir el establecimiento o desarrollo de los microorganismos. Se han desarrollado métodos no térmicos de control o preservación que han sido efectivos, tales como altas presiones hidrostáticas, radiación, uso de compuestos naturales, empaques activos e inteligentes, pulsos eléctricos de alta intensidad, campos magnéticos oscilantes, ultrasonido, entre otros (Chen y col., 2012).

En este escrito nos enfocaremos en revisar los principales microorganismos patógenos en carne y productos cárnicos así como su control por métodos no térmicos.

***E. coli* O157:H7**

Escherichia coli es un bacilo Gram negativo, anaerobio facultativo de la familia *Enterobacteriaceae* que fermentan la glucosa y la lactosa. Generalmente las cepas de *E. coli* son móviles, sin embargo existen cepas inmóviles. La mayoría de las cepas pueden ser móviles e inmóviles. Presentan fimbrias o pili, que son de gran importancia para la adherencia a las superficies mucosas del hospedero, y pueden ser móviles o inmóviles (Croxen y col., 2013).

Aunque *E. coli* es una bacteria presente en la microflora de humanos y animales, existen grupos patogénicos causantes de diarrea y se les conoce como *E. coli* diaerrogénicas (DEC, por sus siglas en ingles). Basados en sus factores de virulencia y características fenotípicas se han clasificado en seis grupos patogénicos: *E. coli* enteropatogénica (EPEC), enteroagregativa (EAEC), enterotoxigénica (ETEC), de adherencia difusa (DAEC), enteroinvasiva (EIEC) y productoras de toxinas Shiga (STEC). Estas últimas incluyen el subgrupo enterohemorrágico (EHEC) (Kaper y col., 2004).

E. coli O157:H7 se reconoció desde 1982 como un patógeno transmitido a través de alimentos y agua contaminada (Abong'o y col.,2008). Según el Centro para el Control de Enfermedades y Prevención de EUA (CDC, por sus siglas en inglés) se estima que en Estados Unidos este microorganismo causa 73000 casos y 61 muertes al año (CDC, 2013).

La dosis infectiva (es decir, aquella capaz de ocasionar manifestaciones clínicas) se ha reportado que es de 10 a 100 bacterias por g de alimento dependiendo de la susceptibilidad del hospedero (Scheutz y Strockbine, 2005). La sintomatología se manifiesta como una diarrea común, que puede agravarse hasta colitis hemorrágica y en casos graves se pueden presentar complicaciones tales como infección urinaria, septicemia, meningitis, y el síndrome urémico hemolítico (SUH) entre otros (Croxen y Finlay, 2009). Este último es un desorden multi-sistémico caracterizado por presentar insuficiencia renal aguda, anemia hemolítica microangiopática y trombocitopenia (Delaquis y col., 2007). Esta alta virulencia se debe en parte a algunos factores que el microorganismo produce, siendo uno de los principales la secreción de toxinas tipo Shiga (Stx) que son responsables del daño al endotelio vascular (Croxen y Finlay, 2009).

El Servicio de Inspección y Seguridad Alimentaria (FSIS, por sus siglas en inglés) de la Agencia de Drogas y Alimentos (FDA) de los Estados Unidos, en 1994 clasificó a *E. coli* O157:H7 como un microorganismo adulterante en la carne de res molida, iniciando a raíz de esto, programas de verificación de dicho patógeno en respuesta a un gran brote asociado con el consumo de este tipo de carne mal cocida. Recientemente se ha hecho evidente que las *E. coli* no-O157 productoras de toxina shiga (STEC), particularmente los serogrupos O26, O45, O103, O111, O121, y O145 (conocidas como “los seis grandes” o “big six”) causan enfermedades similares a la causada por el serotipo O157:H7 (Gould y col., 2013). Asimismo, el FSIS declaró que estos seis serotipos de *E. coli* no-O157 son también adulterantes en la carne de res troceada; de modo que la verificación en Estados Unidos de estos patógenos inició en Junio del 2012 en cortes de carne importados y domésticos (Almanza, 2011).

El ganado bovino es un importante reservorio para *E. coli* O157 y no-O157 productoras de toxinas shiga (STEC), formando parte de su flora nativa intestinal, por lo que se pueden contaminar las canales con heces y el contacto con la piel si no se cuentan con cuidados adecuados (Bell, 1997; Gun y col., 2003).

Scallan y col. (2011), reportaron un estimado de 63,153 casos de ETAs por año en Estados Unidos debido a STEC O157, donde además se mostró la emergencia de cepas no-O157 relacionándolas con 112,752 casos de enfermedades. Son estos altos números de casos lo que hace que sea reconocido como de alto impacto en la seguridad e inocuidad alimentaria, principalmente en la industria de la carne de bovino (Callaway y col., 2003). Recientemente (2014) la FSIS confirmó la presencia de O157:H7 en el 0.72% de las muestras de carne molida cruda que era utilizada en la fabricación de productos cárnicos, en tanto que la presencia de las no-O157 fue del 2.56%. Por todo lo anterior, *E. coli* O157:H7 ha sido catalogado como el patógeno contaminante de alimentos más peligroso para la salud humana, debido a las complicaciones severas que puede provocar.

Salmonella

Salmonella es una bacteria Gram negativa, perteneciente a la familia *Enterobacteriaceae*. Tiene forma bacilar, no es formadora de esporas, es anaerobia facultativa con flagelos móviles, aunque hay algunas cepas que son inmóviles. Gracias a sus antígenos O (lipopolisacárido), Vi (polisacárido capsular) y H (flagelar) pueden serotipificarse más de 2,300 serovariedades (Jurado Jiménez y col., 2010).

Los serotipos de *Salmonella* difieren en sus reservorios y en su capacidad de causar infección en humanos (Jones y col., 2008; Kingsley y Bäumlér, 2000). En el año 2009 se encontró que 20 serotipos comprendían más del 82% de 36,000 aislados de *Salmonella* en Estados Unidos que fueron reportados al CDC (CDC, 2009). *Salmonella* posee diferentes factores de virulencia, tales como adhesión, invasión y los genes relacionados a la producción de toxinas, y todos ellos se agrupan en ciertas áreas del cromosoma conocidas

como islas de patogenicidad (IP). Dichas islas pueden estar localizadas en el cromosoma bacteriano o en plásmidos y se han encontrado 15 IP en *S. typhi*. En las diferentes IP se encuentran codificados estos genes, por ejemplo en la IP-1 se encuentran genes para la invasión bacteriana a la célula hospedera, mientras que los genes relacionados a la patogénesis intracelular se encuentran en la IP-2, en tanto que el sistema de secreción tipo III (el cual es conocido como inyectosoma que permite el paso de factores de virulencia a la célula hospedera), se encuentra codificado en ambas islas (Kaur y Jain, 2012).

Para la adhesión bacteriana, *Salmonella* emplea fimbrias de diferentes tipos durante el proceso de infección, las cuales se encuentran codificadas en operones, además de poseer un plásmido de virulencia que contiene genes que ayudan a la multiplicación bacteriana dentro del sistema reticuloendotelial (Rotger y Casadesus, 2010). Las infecciones por *Salmonella* (salmonelosis y fiebre tifoidea) son frecuentes por el consumo de carne molida de res contaminada con la bacteria. Se ha reportado que este microorganismo es el segundo lugar en frecuencia de infección en humanos, solo detrás de norovirus, y se reconoce que en general una de cada seis personas que se enferman por patógenos transmitidos por alimentos es debido a *Salmonella* (Scallan y col., 2011). Además, se han reportado otras formas clínicas provocadas por *Salmonella*, aunque en menos frecuencia, tales como infecciones asintomáticas agudas, e incluso encontrarse como portador crónico asintomático (Harvey y col., 2007).

Los alimentos tales como carne, aves de corral, huevo, pescado y productos frescos son fuentes comunes de salmonelosis. La carne molida de res es un medio ideal para el crecimiento de *Salmonella* ya que es rica en nutrientes y no contiene agentes inhibidores, Es por ello que estos alimentos se han identificado comúnmente como responsables de brotes por este patógeno (CDC, 2006; McLaughlin y col., 2006), reportándose que causa 1.4 millones de incidentes por año en EUA (Bertrand y col., 2010).

Con respecto a la incidencia de este patógeno, Bosilevac y col. (2009) reportaron la presencia de *Salmonella* en el 4.2% de las muestras de carne molida, colectada de 18 productores quienes proporcionaban la carne para diversos productos como hamburguesas o alimentos listos para consumo en restaurantes o supermercados de Estados Unidos. Posteriormente, el FSIS estimó una prevalencia de *Salmonella* del 2.4% en carne molida en establecimientos (USDA, 2011). Esta disminución de la frecuencia del patógeno fue atribuida a la implementación de los sistemas HACCP para su control.

Con respecto a la presencia de *Salmonella* en cárnicos en el mundo, se ha reportado en Canadá en el 1.3% de 1002 muestras de carne molida comprada en tiendas de autoservicio (Sorensen y col., 2002), en el 21.3% de las muestras de carne molida en venta al por menor en Turquía (Arslan y Eyi, 2010); en el 3.5% de las muestras analizadas de carne molida en Bélgica (Ghafir y col., 2005). Sin embargo, también se han reportado

cuentas altas de este patógeno, tal es el caso en Senegal donde se obtuvo un 87.4% de presencia en muestras de carne de res cruda en punto de venta (Stevens y col., 2006).

Entre los reportes que existen en nuestro país sobre la presencia de *Salmonella* en carne molida pueden citarse el caso de Heredia y col. (2001) en el que se reportó el 11.4% de presencia en ese producto en Monterrey, N.L. y más recientemente, en el 2013, Cabrera-Díaz y col., reportaron la presencia de *Salmonella* en el 56.7% de las muestras de carne molida adquirida en carnicerías. Todo lo anterior, hace imperiosa la necesidad de buscar y encontrar formas efectivas de lograr un buen control de este patógeno.

Listeria monocytogenes

L. monocytogenes es un patógeno transmitido por alimentos causante de una enfermedad oportunista llamada listeriosis. Es un bacilo Gram positivo, no formador de esporas que tiene la capacidad de sobrevivir a temperaturas de refrigeración. Este microorganismo se ha clasificado en 13 serovariedades, en donde más del 95% de los patógenos aislados de pacientes con listeriosis correspondieron a los serotipos 1/2a, 1/2b, y 4b, mientras que los serotipos 1/2a y 1/2c se aíslan frecuentemente de alimentos y muestras ambientales industriales (Kathariou, 2002, Vázquez-Boland y col., 2001).

Este microorganismo tiene la capacidad de penetrar y sobrevivir en muchas células debido a sus múltiples estrategias para utilizar los mecanismos moleculares del hospedero. Está distribuido ampliamente en la naturaleza y puede contaminar productos crudos o alimentos listos para consumo que han sido preparados sin tratamientos de inactivación bacteriana como el calor, o bien contaminar al alimento después de este proceso, pudiendo sobrevivir e incluso proliferar en el alimentos almacenados en cuartos fríos o bien en condiciones desfavorables como ambientes con altos contenidos de sal (Cressy y col., 2003). La patogenicidad de este organismo es relativamente baja ya que la listeriosis invasiva es una enfermedad rara con una incidencia anual en la mayoría de los países de <1/100,000 habitantes (De Valk y col., 2005). Sin embargo, cuando *L. monocytogenes* causa la enfermedad invasiva la tasa de mortalidad es muy alta alcanzando entre el 20 al 50% (Schlech y Acheson, 2000).

Las manifestaciones clínicas de la listeriosis incluyen infección neurológica asociada con encefalitis, meningitis, septicemia y aborto, principalmente en personas inmunocomprometidas. Los brotes por este patógeno se han documentado en Estados Unidos y Europa desde 1980 (Swaminathan y Gerner-Smidt, 2007). *L. monocytogenes* se ha reportado como un microorganismo persistente en las plantas procesadoras de alimentos, siendo esto la mayor fuente de contaminación para el producto (Norton y col., 2001; Sauders y col., 2004). Este patógeno a menudo se encuentra en cortes frescos de carnes de res y aves. También puede crecer en productos cárnicos cocidos embutidos tales como las salchichas para “hot dog”. Resulta de suma importancia asegurarse que las carnes rojas contaminadas no contaminen productos listos para consumo.

En cuanto a la presencia de este patógeno en alimentos de diversos países se ha reportado ser de 3.5, 9.5, 12.2, y 16.4% en muestras de carne molida de res procedentes de Estados Unidos, Italia, Japón y Marruecos respectivamente (Comi y col., 1992; Inoue y col., 2000; Kriem y col., 1998). Más recientemente, entre el 2007-2009 se reportó a *L. monocytogenes* en el 29% de las muestras de carne molida en niveles de 100-200 UFC/g, en Irlanda, afortunadamente no se detectó al microorganismo en productos listos para consumo (Khen y col., 2014).

En nuestro país, en un reporte se buscó la presencia de *L. monocytogenes*, mediante una técnica molecular en carne de res, mexicana e importada, adquirida en supermercados en tres ciudades de México, encontrándose al patógeno en el 27.78%. Las muestras de origen mexicano presentaron mayor frecuencia de *Listeria* que las muestras de carne importada, lo que indica un posible riesgo de salud para los consumidores que adquieren este tipo de producto (Rubio Lozano y col., 2013).

TECNOLOGÍAS PARA PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN.

La importancia de determinar la presencia de estos patógenos en alimentos incluyendo la carne, radica en poder establecer su presencia y como consecuencia tener la capacidad de minimizar o eliminar cualquier riesgo para la salud del consumidor. En este sentido, el calor o en general el uso de tratamientos térmicos tiene como objetivo principal la inactivación de microorganismos patógenos y en muchas ocasiones de sus esporas, para proporcionar a los consumidores un producto microbiológicamente seguro. Sin embargo, a pesar de los beneficios del tratamiento térmico, regularmente el producto final sometido a estas condiciones presenta alteraciones en una o varias variables de calidad tales como sabor, color, y/o textura. Por lo que el uso de tecnologías no térmicas como alternativa a la inactivación de microorganismos, conservando calidad organoléptica del producto es un área de investigación que ha crecido rápidamente (Hildrum y col., 2006). En productos cárnicos las más estudiadas incluyen: irradiación, altas presiones hidrostáticas, empaques activos e inteligentes y uso de compuestos naturales, entre otras. Estas pueden ser utilizadas solas o en combinación, incluyendo con las tradicionales (térmicas), para optimizar al máximo los tratamientos, manteniendo la calidad total de los alimentos.

IRRADIACIÓN

La tecnología de irradiación es uno de los métodos más eficaces para la inactivación de los patógenos contaminantes de productos cárnicos. Esta implica la exposición de los productos a irradiación ionizante, como rayos gamma o electrones de alta energía que pueden matar agentes patógenos, así como la microflora nativa extendiendo de esta manera, su vida de anaquel (Lee y Ahn, 2009). En comparación con otros métodos de conservación de la carne, como la inactivación térmica y uso de conservadores, la irradiación ofrece algunas ventajas: 1) se pueden evitar los productos químicos

potencialmente tóxicos que se producen durante el calentamiento o la interacción de compuestos químicos; 2) no es una tecnología residual; 3) es eficaz en lograr la inactivación de diferentes especies patógenas; 4) requiere bajo consumo de energía; 5) en el caso de los productos cárnicos, estos pueden ser tratados después del envasado final evitando contaminaciones cruzadas durante la manipulación; y 6) es una tecnología que puede ser combinada con otros métodos (Kundu y col., 2014; Zhou y col., 2010). Las moléculas de ADN microbiano son el principal objetivo de la irradiación, aunque la síntesis de ADN y ARN, la desnaturalización de las enzimas y las alteraciones de la membrana celular también pueden ser afectadas (Huq y col., 2015).

Existen tres fuentes de irradiación aprobadas para su uso en alimentos, los rayos gamma emitidos desde formas radioactivas del elemento cobalto-60 y cesio-137, rayos X y haz de electrones (e-beam, flujo de electrones impulsados por un acelerador hacia el alimento) (Lee y Ahn, 2009).

La irradiación en dosis de hasta 10 kGray (kGy) es aceptado como procedimiento seguro para uso en las principales categorías de alimentos (WHO, 1981). Esta dosis representa una cantidad de energía baja (equivalente a la necesaria para elevar la temperatura de 1 g de agua en 2.4°C), por lo que la tecnología es considerada no térmica, preservando así la frescura y la calidad nutricional de la carne y productos de carne cuando se compara con los métodos térmicos (Aymerich y col., 2008).

En el 2003 esta tecnología fue promovida por la FAO (Food and Agriculture Organization) y plasmada en el Codex Alimentarius y a partir de entonces ha sido bien aceptada en 50 países, sobre todo en los E.U.A., Egipto, China y en toda América Latina (Aymerich y col., 2008). Y por citar un ejemplo en EUA, el uso de la radiación ionizante en productos cárnicos esta aprobada a una dosis máxima de 3.0 kGy para aves de corral, 4.5 kGy para la carne refrigerada y 7.0 kGy para la carne congelada (FDA, 2014).

La eficiencia de la irradiación en carne fresca y productos cárnicos listos para comer se ha probado y reportado en diversos artículos científicos, Park y col. (2010), reportaron que dosis de 5 kGy aplicada a carne procesada redujo significativamente el recuento total de aerobios en placa, sin tener efecto adverso en calidad ni afectar características organolépticas como color y sabor. Ramamoorthi y col. (2009), evaluaron el efecto de la irradiación y uso de una atmósfera modificada (monóxido de carbono) en carne cruda almacenada durante 28 días a 4°C, encontrando que durante ese tiempo no se detectaron coliformes en carne irradiada a dosis de 1.5 o 2.0 kGy independientemente del empaque utilizado. Aun cuando la dosis depende del producto a tratar, en general se encuentra en rango de 2-5 kGy con eficacia para eliminar células de *E. coli* O157:H7 (Schilling y col., 2009) y coliformes en pollo fresco (Javanmard y col., 2006). En tanto que hay reportes que a dosis menores a 2 kGy se elimina a *B. cereus*, *Enterobacter cloacae*, y *Alcaligenes faecalis* presente en pechuga y muslo de pollo crudo (Min y col., 2007) y dosis de 3 a 4.7 kGy

eliminan a *L. monocytogenes* y *S. Enteritidis* en carne molida y fresca de puerco respectivamente (Bari y col., 2006; Wilkinson y col., 2006).

Aun cuando existen reportes de que los efectos adversos de la irradiación de productos cárnicos son muy bajos en comparación con otros métodos de conservación, existen algunos cambios de calidad durante el proceso que han limitado la adopción de esta tecnología por la industria de la carne, por ejemplo se ha reportado formación de olores desagradables descritos como “metálico” o “quemado” que se sospecha es causada principalmente por una degradación radiolítica de cadenas laterales de aminoácidos (Ahn y Lee, 2002); cambios de color, aunque estos pueden variar dependiendo de factores tales como la dosis, especie animal, tipo de músculo y el tipo de empaque (Lee y Ahn, 2009). También se ha reportado la pérdida de agua y cambios en textura que podrían ser debidos a destrucción en la membrana de las fibras musculares y desnaturalización de proteínas del músculo, así como, pérdida de nutrientes como algunas vitaminas sensibles a la irradiación como la B1 y C (Ahn y col., 2006). Además, se ha reportado que la irradiación puede generar sustancias químicas oxidativas, como radicales hidroxilo capaces de oxidar lípidos de la carne, especialmente en sistemas líquidos y dado que en la carne existe un 75% o más de agua, la oxidación inducida por la irradiación no es despreciable (Chen y col., 2012). Es importante señalar que todos los alimentos irradiados deben contar con una etiqueta que indique que han recibido este tratamiento, a fin de que el consumidor esté enterado a los tratamientos a que se sometió el producto (Zhou y col., 2010).

ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

La tecnología de alta presión hidrostática (APH) o tratamiento de procesamiento por alta presión, es un proceso donde el producto previamente envasado, se coloca en contenedores de alta presión y por medio de bombas intensificadores y un medio presurizante, que generalmente es agua purificada, se logra someter el producto a rangos de presión de 100 a 800 MPa (Aymerich y col., 2008).

El procesado por APH permite la inactivación de microorganismos patógenos y deterioradores de alimentos, la preservación de la calidad y las propiedades organolépticas (Buzrul 2014), ya que al transmitir presión de forma constante a los alimentos, se logra obtener productos con características más homogéneas. Esta tecnología está sustentada en la ley de Pascal y principio de Le Chatelier, siendo un proceso isostático (Chawla y col., 2011), es decir, la presión se transmite de manera uniforme y al mismo tiempo, de una manera adiabática (sin importar la forma o el tamaño). Se ha visto que con el aumento de la presión, hay poca variación en la temperatura, por lo que es considerado un proceso no térmico debido a que la temperatura del producto aumenta alrededor de 3°C por cada 100 MPa, dependiendo de la composición del alimento (Rendueles y col., 2011).

Actualmente, algunas empresas, sobre todo en los Estados Unidos y Japón, están comercializando productos tratados con esta tecnología aunque también ha sido bien aceptada en Europa. En forma comercial se utilizan presiones que van de 100 a 600 MPa con o sin calor para inactivación de microorganismos y a diferencia de los productos irradiados estos no necesitan etiqueta específica (Garriga y Aymerich, 2009). Se ha demostrado que a temperatura ambiente la aplicación de una presión de 400 a 600 MPa durante 2-10 min es eficaz para lograr la inactivación de los microorganismos más importantes causantes de ETAs (Simonin y col., 2012). Sin embargo, una desventaja de esta tecnología es que las esporas no son sensibles a estas presiones y sólo pueden ser inactivadas cuando la presión se combina con el calor u otro sistema tal como adición de lactoperoxidasa o tratamiento con lisozima (Peleg y col., 2012; Zhou y col., 2010).

El estudio de la aplicación de APH en la carne y los productos cárnicos se ha centrado principalmente en su efecto sobre los microorganismos como tratamiento para mejorar la seguridad microbiológica del producto final. Sin embargo, también se puede utilizar para desarrollar nuevos productos cárnicos. Esta tecnología se puede aplicar en los alimentos envasados, evitando la posible re-contaminación después del tratamiento y prologando de esta manera la vida de anaquel durante el almacenamiento en refrigeración (Bajovic y col., 2012). Esto, junto con la posibilidad de tratar productos que no pueden ser sometidos a calor para su preservación, tales como carnes frescas y productos curados, hace de la APH una herramienta útil para preservar jamones, mortadelas, tocino, salami, salchichas y algunas comidas pre-cocidas (Campus, 2010). Se ha demostrado que la vida útil del jamón cocido, jamón curado, y los lomos de carne marinados tratados por APH podría aumentarse hasta 120 días (Hugas y col., 2002). Sin embargo, existen reportes de que esta tecnología tiene algunos inconvenientes como son la modificación en coloración y atributos sensoriales en productos cárnicos por ejemplo aumento de textura, brillo, olor y salinidad (Clariana y col., 2011; Clariana y col., 2012; Giménez y col., 2015). Esto puede deberse a diferencias en las condiciones de procesamiento y la naturaleza intrínseca de los productos.

El efecto antimicrobiano de la APH se debe a que se inducen cambios en la membrana y pared celular de los microorganismos, incluyendo la contracción y separación de la membrana de la pared celular, alargamiento celular y la liberación de material intracelular (Baptista y col., 2015; Wang y col., 2013). Además, la desnaturalización de proteínas por la presión parece permitir la desestabilización de interacciones no covalentes en la estructura terciaria y aunque se conserve gran parte de su estructura secundaria, el pequeño grado de despliegue que expone regiones hidrófobas de la proteína podría ser la causa de la agregación de las mismas (Garriga y Aymerich, 2009). Sin embargo, no se afectan los compuestos presentes en el alimento que brindan características nutricionales o funcionales como pueden ser vitaminas, polifenoles, minerales o compuestos responsables del aroma (Huang y col., 2013).

En general, los niveles de inactivación microbiana en los alimentos por APH dependen del tipo de microorganismo (las bacterias Gram-negativas son más sensibles a la presión que las Gram-positivas), su fase de crecimiento (las células en la fase de crecimiento exponencial son más sensibles que las de la fase estacionaria), niveles de presión, tiempo y la temperatura, composición del alimento, pH y actividad acuosa (Hwang y Fan, 2015).

EMPAQUE ACTIVO E INTELIGENTE

Los dos principales mecanismos de deterioro que afectan la vida útil de la carne roja cruda son el crecimiento microbiano y los cambios de color (oxidación del pigmento rojo oximioglobina). Cuando la carne roja se mantiene en las debidas condiciones de frío, la vida útil del producto dependerá de la velocidad de oxidación del pigmento rojo oximioglobina a su forma color marrón oxidado, metamioglobina (James y James, 2002). Por lo que para retardar este cambio, el oxígeno debe estar presente en altas concentraciones a fin de mantener el color rojo brillante y modificaciones en el sistema de envasado que permitan mantener altas concentraciones de oxígeno dando como resultado una disminución de la oxidación lipídica (Sivertsvik y col., 2002). En este contexto, la composición natural del aire puede ser modificada alrededor de un alimento mediante el uso de tecnologías como atmósferas modificadas o controladas para reducir el crecimiento de microorganismos y retardar las alteraciones enzimáticas; con lo cual se consigue alargar la vida útil del producto, si se combina con temperaturas adecuadas de refrigeración (González Aguilar y col., 2013). Cuando la modificación de las atmósferas se realiza bajo condiciones controladas de temperatura y composición de los gases, la tecnología recibe el nombre de atmósfera controlada (AC, Mauer y Ozen, 2004). Y si la modificación de la atmósfera no es controlada activamente, sino que utiliza una mezcla de gases resultante del intercambio gaseoso del envase en equilibrio con la respiración del alimento, la técnica se denomina atmósfera modificada (AM, Mauer y Ozen, 2004); incluyendo en este último grupo a cubiertas comestibles que también pueden ser transportadoras de nutrientes y aditivos como agentes antimicrobianos (Olivas y col., 2008).

El concepto innovador de envase activo puede ser definido como aquel sistema de envasado donde el paquete, el producto y las condiciones del medio ambiente interactúan modificando el estado de los alimentos envasados y provocando como resultado una ampliación de su vida útil, mejorando la seguridad de los alimentos o las propiedades sensoriales del producto preservando así su calidad (De Jong y col., 2005). Los sistemas de envasado activo más aplicados son aquellos en donde ocurre eliminación de oxígeno y/o generación de CO₂ que se utilizan para controlar la oxidación de los alimentos, empaques activos antimicrobianos, así como removedores de humedad para evitar el deterioro del alimento por bacterias aerobias y hongos (Kerry y col., 2006; Wani y col., 2015).

En estos envases activos la sustancia antimicrobiana podría migrar gradualmente desde el empaque (recipiente) al producto por diferentes formas tales como difusión, partición o liberación del compuesto por evaporación en el espacio de cabeza durante el almacenamiento y su distribución, siendo así capaz de reducir la posibilidad de contaminación post-proceso (Dávila-Aviña y col., 2015). Además, la concentración del antimicrobiano en los alimentos podría ser más baja que cuando hay una adición directa a la mezcla inicial de la carne y la interacción/inhibición con constituyentes de los alimentos podría evitarse (Aymerich y col., 2008).

En general, hay dos tipos de envases inteligentes: 1) aquellos que miden la condición del empaque en el exterior y 2) los que realizan la medición de la calidad de producto alimenticio directamente en el interior del empaque (Dávila-Aviña y col., 2015). Las características de este envase permiten informar al fabricante, minorista y/o consumidor del estado de los productos en cuestión (Kuswandi y col., 2013).

Los indicadores de frescura están diseñados para la detección de metabolitos microbianos (tales como ácidos orgánicos, etanol y aminos biogénicos) que se producen durante el almacenamiento del producto (Dávila-Aviña y col., 2015). Aunado a esto, en algunos productos como pescado y carne se utiliza un sensor químico no invasivo que indica la frescura basado en cambios de pH. Los indicadores de integridad, frescura, tiempo-temperatura, etc. han demostrado tener un futuro potencial para ser usados en productos cárnicos (O'Grady y Kerry, 2008).

BIO PRESERVACIÓN (ANTIMICROBIANOS NATURALES)

La creciente demanda de alimentos “naturales”, libre de aditivos y conservadores químicos ha desencadenado nuevos desafíos en la evolución de la tecnología de alimentos. En este contexto, otra tecnología emergente se basa en la utilización de conservadores naturales con actividad antimicrobiana (González Aguilar y col., 2012). Sin embargo, en la actualidad muchos de estos compuestos no son atractivos comercialmente debido a su capacidad para reaccionar con otros ingredientes presentes, mostrar baja solubilidad en agua, provocar cambio de propiedades organolépticas de los productos tratados y muchas veces tener un espectro antimicrobiano limitado (Zhou y col., 2010).

Y aun cuando existe suficiente sustento científico sobre el efecto bactericida o bacteriostático de compuestos activos a base de plantas, animales y orígenes bacterianos, son pocos los estudios del efecto en la calidad de la carne después del tratamiento con estos aditivos (Juneja y col., 2012). Existen varios estudios que demuestran la efectividad en la reducción de patógenos en cárnicos al adicionarse extractos de plantas o compuestos aislados de estos (Valtierra-Rodríguez y col., 2010).

Estos compuestos se caracterizan por presentar distintas propiedades como antibacterianos e incluso algunos autores han presentado modelos de su posible mecanismo de acción a nivel planctónico (Severino y col., 2015), mencionando que su

efecto principal radica en provocar daño a la membrana celular microbiana causando como consecuencia poros y permitiendo el paso de algunos de estos compuestos al citoplasma donde pueden interactuar con proteínas e inhibir la síntesis de compuestos necesarios para el mantenimiento y reproducción de la bacterias, y/o bien, por su carácter ácido pueden afectar la homeostasis en el interior (Sánchez y col., 2013; Gyawali y Ibrahim, 2014).

Los aceites esenciales derivados de plantas (AE) han demostrado un notable potencial contra el crecimiento de microorganismos causantes de deterioro y patógenos presentes en carne y otros productos cárnicos (Bajpai y col., 2012), ya que han mostrado poseer actividad antimicrobiana contra *E. coli*, *L. monocytogenes*, *Pseudomonas* spp., *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, etc. (Hygreeva y col., 2014). Los AE incluyen compuestos aromáticos y volátiles obtenidos a partir de materiales de plantas como flores, brotes, raíces, corteza y hojas y se clasifican en 2 grupos, el grupo principal contiene terpenos y terpenoides, mientras que el otro consiste en compuestos aromáticos (fenilpropanoides, Jayasena y Jo, 2013).

En carne y productos cárnicos, se han realizado diversos estudios para examinar el potencial antimicrobiano de los aceites esenciales obtenidos a partir de orégano, romero, tomillo, albahaca, cilantro, ajo, clavo de olor, canela entre otros (solos o en combinación) encontrando actividad antimicrobiana en diferentes grados, la cual se han relacionado a la presencia de compuestos como carvacrol, eugenol, timol, α -pineno, α -citral, β -citral, citronelol, citronelal, linalool, geraniol, limoneno, cinamaldehído, etc. (Jayasena y Jo, 2013).

Aunque estos compuestos han mostrado muy buena actividad antimicrobiana, su uso y aplicación en la industria de alimentos se ha visto limitado debido a su intenso aroma, además que al aplicarlo directamente sobre los productos cárnicos produce una reducción de la actividad antimicrobiana; lo cual puede ser atribuido a la presencia de grasas, hidratos de carbono, proteínas y sales en tales sistemas. Sin embargo, la utilización de esta tecnología pudiera hacerse más eficiente si se usa en combinación con otras tecnologías a fin de mejorar la estabilidad microbiana y la calidad sensorial (Huq y col., 2015). No obstante, se espera que el uso de estos compuestos naturales aumente dramáticamente en un futuro en el procesamiento de carnes debido a las restricciones sobre el uso masivo de conservadores químicos (Aymerich y col., 2008).

CONCLUSIÓN

Los nuevos hábitos de alimentación llevan al consumidor a ser más exigente con la calidad de los productos que compra, planteándose adquirirlos lo más libre de aditivos posible y que presenten una mayor calidad microbiológica, nutritiva y sensorial. Esto representa un reto para los productores al enfrentarse continuamente al riesgo de contaminación con microorganismos deteriorantes y/o patógenos. Es por esto que se ha trabajado

intensamente en la búsqueda de métodos para lograr un control efectivo y accesible. El método tradicional mayormente utilizado es el tratamiento térmico, una tecnología efectiva, económica y de fácil disponibilidad, sin embargo, en muchas ocasiones producen pérdidas importantes en la calidad sensorial y nutricional de los alimentos, razón por la cual, las tecnologías emergentes no térmicas parecen brindar alternativas viables. Sin embargo se requiere el aumento del conocimiento sobre la aplicabilidad de estos procesos no térmicos, así como su efecto en la fisiología de los microorganismos que pueden presentarse. Estos retos incrementan el interés de realizar investigaciones multidisciplinarias en estos temas.

REFERENCIAS

- ABONG'O B, M. MOMBA, J. MWAMBAKANA (2008). Prevalence and antimicrobial susceptibility of *Escherichia coli* O157: H7 in vegetables sold in the Amathole District, Eastern Cape Province of South Africa. *Journal of Food Protection* 71: 816-819.
- AHN D., E. LEE (2002). Production of Off-Odor Volatiles from Liposome-Containing Amino Acid Homopolymers by Irradiation. *Journal of Food Science* 67: 2659-2665.
- AHN D., E. LEE, A. MENDONCA (2006). Meat Decontamination by Irradiation. Capítulo 7, En: *Advanced Technologies for Meat Processing*, L.M.L. Nollet y F. Toldrá, Ed., Food Science and Technology-New York-Marcel Dekker, pp. 155-191.
- ALGINO R., G. BADTRAM, B. INGHAM, S. INGHAM (2009). Factors associated with *Salmonella* prevalence on pork carcasses in very small abattoirs in Wisconsin. *Journal of Food Protection* 72: 714-721.
- ALMANZA A. (2011). Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in certain raw beef products. pp. 58157-58165. Fed. Regist.
- ARSLAN S., A. EYI (2010). Occurrence and antimicrobial resistance profiles of *Salmonella* species in retail meat products. *Journal of Food Protection* 73: 1613-1617.
- AYMERICH T., P. PICOQUET, J. MONFORT (2008). Decontamination technologies for meat products. *Meat Science* 78: 114-129.
- 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.
- BAJPAI V.K., K.H. BAEK, S.C. KANG (2012). Control of *Salmonella* in foods by using essential oils: A review. *Food Research International* 45: 722-734.
- BAPTISTA I., R.P. QUEIRÓS, Â. CUNHA, S.M. ROCHA, J.A. SARAIVA, A. ALMEIDA (2015). Evaluation of resistance development and viability recovery by toxigenic and non-toxigenic *Staphylococcus aureus* strains after repeated cycles of high hydrostatic pressure. *Food Microbiology* 46: 515-520.

- BARI M., S. TODORIKI, C. SOMMERS, F. HAYAKAWA, S. KAWAMOTO (2006). Irradiation inactivation of *Listeria monocytogenes* in low-fat ground pork at freezing and refrigeration temperatures. *Journal of Food Protection* 69: 2955-2960.
- BELL R. (1997). Distribution and sources of microbial contamination on beef carcasses. *Journal of Applied Microbiology* 82: 292-300.
- BERTRAND S., K. DIERICK, K. HEYLEN, T. DE BAERE, B. POCHET, E. ROBESYN, S. LOKIETEK, E. VAN MEERVENNE, H. IMBERECHTS, L. DE ZUTTER (2010). Lessons learned from the management of a national outbreak of *Salmonella* Ohio linked to pork meat processing and distribution. *Journal of Food Protection*® 73: 529-534.
- BHANDARE S.G., A. SHERIKAR, A. PATURKAR, V. WASKAR, R. ZENDE (2007). A comparison of microbial contamination on sheep/goat carcasses in a modern Indian abattoir and traditional meat shops. *Food Control* 18: 854-858.
- BOSILEVAC J.M., M.N. GUERINI, N. KALCHAYANAND, M. KOOHMARAIE (2009). Prevalence and characterization of *Salmonella* in commercial ground beef in the United States. *Applied and environmental microbiology* 75: 1892-1900.
- BUZRUL S. (2014). Multi-pulsed high hydrostatic pressure inactivation of microorganisms: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. In Press, Corrected Proof. DOI:10.1016/j.ifset.2014.07.004.
- CABRERA-DIAZ E, C.M. BARBOSA-CARDENAS, J.A. PEREZ-MONTAÑO, D. GONZALEZ-AGUILAR, C. PACHECO-GALLARDO, J. BARB (2013). Occurrence, Serotype Diversity, and Antimicrobial Resistance of *Salmonella* in Ground Beef at Retail Stores in Jalisco State, Mexico. *Journal of Food Protection*® 76: 2004-2010.
- CALLAWAY T., R. ELDER, J. KEEN, R. ANDERSON, D. NISBET (2003). Forage feeding to reduce preharvest *Escherichia coli* populations in cattle, a review. *Journal of dairy science* 86: 852-860.
- CAMPUS M. (2010). High pressure processing of meat, meat products and seafood. *Food Engineering Reviews* 2: 256-273.
- CDC, Centers for Disease Control and Prevention (2006). Multistate outbreak of *Salmonella* Typhimurium infections associated with eating ground beef- United State, 2004. URL: <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5507a4.htm>. fecha de modificación: 23/02/2006. Fecha de acceso: 31/10/2014.
- CDC, Centers for Disease Control and Prevention (2009). National *Salmonella* surveillance annual summary, 2009. URL: <http://www.cdc.gov/ncezid/dfwed/PDFs/salmonella-annual-summary-2009-508c.pdf> Fecha de modificación: 12/2011. Fecha de acceso: 31/10/2014.

- CDC, Centers for Disease Control and Prevention (2013). *E. coli* O157:H7 and other Shiga toxin-producing *E. coli*. URL. <http://www.cdc.gov/pulsenet/pathogens/ecoli.html> Fecha de modificación: 05/08/2013. Fecha de acceso: 30/10/2014.
- CLARIANA M., L. GUERRERO, C. SÁRRAGA, I. DÍAZ, Á. VALERO, J.A. GARCÍA-REGUEIRO (2011). Influence of high pressure application on the nutritional, sensory and microbiological characteristics of sliced skin vacuum packed dry-cured ham. Effects along the storage period. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12: 456-465.
- CLARIANA M., L. GUERRERO, C. SÁRRAGA, J.A. GARCIA-REGUEIRO (2012). Effects of high pressure application (400 and 900 MPa) and refrigerated storage time on the oxidative stability of sliced skin vacuum packed dry-cured ham. *Meat Science* 90: 323-329.
- COMI G., R. FRIGERIO, C. CANTONI (1992). *Listeria monocytogenes* serotypes in Italian meat products. *Letters in Applied Microbiology* 15: 168-171
- CRESSY H.K., A.R. JERRETT, C.M OSBORNE, P.J. BREMER (2003). A novel method for the reduction of numbers of *Listeria monocytogenes* cells by freezing in combination with an essential oil in bacteriological media. *Journal of Food Protection*® 66: 390-395.
- CROXEN M.A., B.B. FINLAY (2009). Molecular mechanisms of *Escherichia coli* pathogenicity. *Nature Reviews Microbiology* 8: 26-38.
- CROXEN, M. A., R.J. LAW, R. SCHOLZ, K.M. KEENEY, M. WLODARSKA, B.B. FINLAY (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical microbiology reviews*, 26(4), 822-880.
- CHAWLA R., G.R. PATIL, A.K. SINGH (2011). High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review. *Journal of Food Science and Technology* 48: 260-268
- CHEN J., Y. REN, J. SEOW, T. LIU, W. BANG, H. YUK (2012). Intervention technologies for ensuring microbiological safety of meat: current and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11: 119-132.
- DATTA S., A. AKTER, I SHAH, K. FATEMA, T. ISLAM, A. BANDYOPADHYAY, Z. KHAN, D. BISWAS (2012). Microbiological quality Assessment of raw meat and meat products, and antibiotic susceptibility of isolated *Staphylococcus aureus*. *Agriculture, Food and Analytical Bacteriology* 2: 187-194.
- DÁVILA-AVIÑA J.E., L.Y. SOLÍS-SOTO, G. ROJAS-VERDE, N.A. SALAS. (2015). Sustainability and Challenges of Minimally Processed Foods. En: *Minimally Processed Foods*, ed. M.W. Siddiqui, M.S. Rahman, pp. 279-295: Springer International Publishing. DE JONG A., H. BOUMANS, T. SLAGHEK, J. VAN VEEN, R. RIJK, M. VAN ZANDVOORT (2005). Active and intelligent packaging for food: Is it the future? *Food additives and contaminants* 22: 975-979.

- DE VALK H., C. JACQUET, V. GOULET, V. VAILLANT, A. PERRA, F. Simon, J. Desenclos, P. Martin (2005). Surveillance of *Listeria* infections in Europe. Euro surveillance: bulletin europeen sur les maladies transmissibles. European Communicable Disease Bulletin 10: 251-255.
- DELAQUIS P., S. BACH, L.D. DINU (2007). Behavior of *Escherichia coli* O157: H7 in leafy vegetables. Journal of Food Protection 70: 1966-1974.
- DELCSERIE V, D. LONCARIC, C BONAPARTE, M. UPMANN, B. CHINA, G. Daube, F. Gavini (2008). Bifidobacteria as indicators of faecal contamination along a sheep meat production chain. Journal of Applied Microbiology. 104: 276-284.
- FDA, 2014. IRRADIATION IN THE PRODUCTION, PROCESSING AND HANDLING OF FOOD (21 CFR 179.26). Code of Federal Regulations Title 21 <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=179.26> Accesado. 30/10/2014
- GARRIGA M, T. AYMERICH (2009). Advanced decontamination technologies: high hydrostatic pressure on meat products. En: Safety of meat and processed meat, pp. 183-208: Springer.
- GHAFIR Y, B. CHINA, N. KORSAK, K. DIERICK, J.M. COLLARD, C. Godard, L. De Zutter, G. Daube (2005). Belgian surveillance plans to assess changes in *Salmonella* prevalence in meat at different production stages. Journal of Food Protection 68: 2269-2277
- GILL C, T. JONES (1995). The presence of *Aeromonas*, *Listeria* and *Yersinia* in carcass processing equipment at two pig slaughtering plants. Food Microbiology 12: 135-141.
- GIMÉNEZ B., N. GRAIVER, A. CALIFANO, N. ZARITZKY (2015). Physicochemical characteristics and quality parameters of a beef product subjected to chemical preservatives and high hydrostatic pressure. Meat Science 100: 179-188.
- GONZÁLEZ AGUILAR G, C. ROSAS DOMÍNGUEZ, V. VEGA VEGA, J. VILLA RODRÍGUEZ, H. PALAFOX CARLOS, J.E. DÁVILA-AVIÑA, F. AYALA ZAVALA (2012). Compuestos naturales como aditivos antimicrobianos y antioxidantes en alimentos. En: Nuevas Tendencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Tópicos Selectos, ed. GAGA et.al., pp. 82-102: TRILLAS, S.A. DE C.V.
- GONZÁLEZ AGUILAR G.A., J.F. AYALA ZAVALA, J.E.J. DÁVILA AVIÑA, V. VEGA VEGA, J.A. VILLA RODRÍGUEZ, H. PALAFOX CARLOS (2013). Antioxidantes en la industria de los alimentos. En: Antioxidantes en Alimentos y Salud, ed. E Álvarez Parrilla, González Aguilar, G.A, De la Rosa, L.A., Ayala Zavala, F., pp. 307-406: Clave Editorial
- GOULD L.H., R.K. MODY, K.L. ONG, P. CLOGHER, A.B. CRONQUIST, K.N. GARMAN, S. LATHROP, C. MEDUS, N.L. SPINA, T.H. WEBB (2013). Increased recognition of non-O157 Shiga toxin-producing *Escherichia coli* infections in the United States during 2000-

- 2010: Epidemiologic features and comparison with *E. coli* O157 Infections. *Foodborne Pathogens and Disease* 10: 453-460.
- GUN H., A. YILMAZ, S. TURKER, A. TANLASI, H. YILMAZ (2003). Contamination of bovine carcasses and abattoir environment by *Escherichia coli* O157: H7 in Istanbul. *International Journal of Food Microbiology*. 84: 339-344
- GYAWALI R., S.A. IBRAHIM (2014). Natural products as antimicrobial agents. *Food Control*. 46: 412-429.
- HARVEY R. A., P. C. CHAMPE, B. D. FISHER. (2007). Bacilos entéricos gramnegativos. Capítulo 12. En: *Microbiología*. R. A. Harvey y P. C. Champe. Wolters Kluwer, Lippincott Williams and Wilkins. pp 111-128.
- HEREDIA N, S. GARCÍA, G. ROJAS, L. SALAZAR (2001). Microbiological condition of ground meat retailed in Monterrey, Mexico. *Journal of Food Protection*. 64: 1249-1251.
- HILDRUM K.I., J.P. WOLD, V.H. SEGTAN, J. RENOU, E. DUFOUR, L. NOLLET, F. TOLDRA. (2006). New spectroscopic techniques for online monitoring of meat quality. Capítulo 5, En: *Advanced Technologies for Meat Processing*, L.M.L. Nollet y F. Toldrá, Ed., *Food Science and Technology*-New York-Marcel Dekker, pp. 87-|129.
- HUANG W., X. BI, X. ZHANG, X. LIAO, X. HU, J. WU (2013). Comparative study of enzymes, phenolics, carotenoids and color of apricot nectars treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 18: 74-82.
- HUGAS M., M. GARRIGA, J. MONFORT (2002). New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. *Meat science* 62: 359-371
- HUQ T., K.D VU, B. RIEDL, J. BOUCHARD, M. LACROIX (2015). Synergistic effect of gamma (γ)-irradiation and microencapsulated antimicrobials against *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat (RTE) meat. *Food Microbiology*. 46: 507-514.
- HWANG C.A., X. FAN (2015). Processing, quality and safety of irradiated and high pressure-processed meat and seafood products. En: *Minimally Processed Foods*, ed. M.W. Siddiqui, M.S. Rahman, pp. 251-278: Springer International Publishing.
- HYGREEVA D., M.C. PANDEY, K. RADHAKRISHNA (2014). Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. *Meat Science*. 98: 47-57.
- INOUE S., A. NAKAMA, Y. ARAI, Y. KOKUBO, T. MARUYAMA, A. SAITO, T. YOSHIDA, M. TERAO, S. YAMAMOTO, S. KUMAGAI (2000). Prevalence and contamination levels of *Listeria monocytogenes* in retail foods in Japan. *International Journal of Food Microbiology* 59: 73-77.

- JAMES S.J., C. JAMES 2002. Colour changes in chilling, freezing and storage of meat. En: Meat refrigeration, ed. S.J. James, C. James, pp. Chapter 5. Boca Raton FL: CRC Press
- JAVANMARD M., N. ROKNI, S. BOKAIE, G. SHAHHOSSEINI (2006). Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. *Food Control*. 17: 469-473.
- JAYASENA D.D., C. JO (2013). Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 34: 96-108.
- JONES T.F., L.A. INGRAM, P.R. CIESLAK, D.J. VUGIA, M. TOBIN-D'ANGELO, S. HURD, C. MEDUS, A. CRONQUIST, F.J. ANGULO (2008). Salmonellosis outcomes differ substantially by serotype. *Journal of Infectious Diseases*. 198: 109-114.
- JUNEJA V.K., H.P. DWIVEDI, X. YAN (2012). Novel natural food antimicrobials. *Annual review of food science and technology*. 3: 381-403.
- JURADO JIMÉNEZ R., C. ARENAS MUÑOZ, A. DOBLAS DELGADO, A. RIVERO, J. TORRE-CISNEROS (2010). Fiebre tifoidea y otras infecciones por salmonellas. *Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*. 10: 3497-3501.
- KAPER, J. B., J.P. NATARO, H.L. MOBLEY (2004). Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 123-140.
- KATHARIOU S. (2002). *Listeria monocytogenes* virulence and pathogenicity, a food safety perspective. *Journal of Food Protection*. 65: 1811-1829.
- KAUR, J., S.K. JAIN (2012) Role of antigens and virulence factors of *Salmonella enterica* serovar Typhi in its pathogenesis. *Microbiological Research*, 167(4): p. 199-210.
- KERRY J., M. O'GRADY, S. HOGAN (2006). Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*. 74: 113-130.
- KHEN B., O. LYNCH, J. CARROLL, D. MCDOWELL, G. DUFFY (2014). Occurrence, antibiotic resistance and molecular characterization of *Listeria monocytogenes* in the beef chain in the Republic of Ireland. *Zoonoses and Public Health*. 1-7. DOI: 10.1111/zph.12106.
- KINGSLEY R.A., A.J. BÄUMLER (2000). Host adaptation and the emergence of infectious disease: the *Salmonella* paradigm. *Molecular Microbiology* 36: 1006-1014.
- KOOHMARAIE M., T. ARTHUR, J. BOSILEVAC, M. GUERINI, S. SHACKELFORD, T. WHEELER (2005). Post-harvest interventions to reduce/eliminate pathogens in beef. *Meat Science* 71: 79-91
- KRIEM M., A. EL MARRAKCHI, A. HAMAMA (1998). Prevalence of *Listeria* spp. on a variety of meat products in Morocco. *MAN Microbiologie, Aliments, Nutrition* 16: 179-187.

- KUNDU D., A. GILL, C. LUI, N. GOSWAMI, R. HOLLEY (2014). Use of low dose e-beam irradiation to reduce *E. coli* O157: H7, non-O157 (VTEC) *E. coli* and *Salmonella* viability on meat surfaces. *Meat Science* 96: 413-418.
- KUSWANDI B., C. MARYSKA, JAYUS, A. ABDULLAH, L. HENG (2013). Real time on-package freshness indicator for guavas packaging. *Food Measure* 7: 29-39.
- LEE E.J., D.U. AHN (2009). Advanced decontamination technologies: irradiation in safety of meat and processed meat, pp. 209-228: Springer
- MAUER L.J., B.F. OZEN (2004). Food packaging. En: *Food Processing, Principles and Applications*, ed. JS Scott Smith, YH Hui, pp. 101-32. Ames, Iowa 50014, USA: Blackwell Publishing
- MCDONALD K., D.W. SUN (1999). Predictive food microbiology for the meat industry: a review. *International Journal of Food Microbiology* 52: 1-27
- MCLAUGHLIN J.B., L.J. CASTRODALE, M.J. GARDNER, R. AHMED, B.D. GESSNER (2006). Outbreak of multidrug-resistant *Salmonella* Typhimurium associated with ground beef served at a school potluck. *Journal of Food Protection* 69: 666-670.
- MIN J, S. LEE, A. JANG, JO C, M. LEE (2007). Control of microorganisms and reduction of biogenic amines in chicken breast and thigh by irradiation and organic acids. *Poultry science* 86: 2034-2041
- NØRRUNG B., J.K. ANDERSEN, S. BUNCIC (2009). Main concerns of pathogenic microorganisms in meat. En: *Safety of meat and processed meat*, pp. 3-29: Springer.
- NORTON D.M., M.A. MCCAMEY, K.L. GALL, J.M. SCARLETT, K.J. BOOR, M. WIEDMANN (2001). Molecular studies on the ecology of *Listeria monocytogenes* in the smoked fish processing industry. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 198-205.
- O'GRADY M.N., J.P. KERRY (2008). Smart packaging technologies and their application in conventional meat packaging systems. En: *Meat Biotechnology*, pp. 425-451: Springer.
- OLIVAS G, DÁVILA-AVIÑA J, SALAS-SALAZAR N, MOLINA F. (2008). Use of edible coatings to preserve the quality of fruits and vegetables during storage. *Stewart Postharvest Review* 4: 1-10.
- PARK J., Y. YOON, J. PARK, I. HAN, B. SONG, J. KIM, W. KIM, H. HWANG, S. HAN, J. LEE (2010). Effects of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory, and bacterial populations in beef sausage patties. *Meat Science* 85: 368-372.
- PELEG M., M.G. CORRADINI, M.D. NORMAND (2012). On quantifying nonthermal effects on the lethality of pressure-assisted heat preservation processes. *Journal of Food Science*. 77: R47-R56.

- PODPEČAN B., A. PENGOV, S. VADNJAL (2007). The source of contamination of ground meat for production of meat products with bacteria *Staphylococcus aureus*. *Slovenian Veterinary Research*. 44: 25-30.
- RAMAMOORTHY L., S. TOSHKOV, M. BREWER (2009). Effects of carbon monoxide-modified atmosphere packaging and irradiation on *E. coli* K12 survival and raw beef quality. *Meat Science*. 83: 358-365.
- RENDUELES E., M. 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: 1251-1260.
- ROTGER, R., J. CASADESÚS (2010). The virulence plasmids of *Salmonella*. *International Microbiology*, 2: 177-184.
- RUBIO LOZANO M.S., M. BRUNO, J. FERNANDO, R. HERNÁNDEZ CASTRO, C. BONILLA CONTRERAS, R.D. MÉNDEZ MEDINA, J.F. NÚÑEZ ESPINOSA, A. ECHEVERRY, M.M. BRASHEARS (2013). Detección de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* y *Yersinia enterocolitica* en carne de res en puntos de venta en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 4: 107-115.
- SÁNCHEZ E., N. HEREDIA, M.D.R. CAMACHO-CORONA, S. GARCÍA (2013). Isolation, characterization and mode of antimicrobial action against *Vibrio cholerae* of methyl gallate isolated from *Acacia farnesiana*. *Journal of Applied Microbiology* 115: 1307-1316.
- SAUDERS B.D., K. MANGIONE, C. VINCENT, J. SCHERMERHORN, C.M. FARCHIONE, N.B. DUMAS, D. BOPP, L. KORNSTEIN, E.D. FORTES, K. WINDHAM (2004). Distribution of *Listeria monocytogenes* molecular subtypes among human and food isolates from New York State shows persistence of human disease-associated *Listeria monocytogenes* strains in retail environments. *Journal of Food Protection* 67: 1417-1428.
- SCALLAN E., R.M. HOEKSTRA, F.J. ANGULO, R.V. TAUXE, M.A. WIDDOWSON, S.L. ROY, J.L. JONES, P.M. GRIFFIN (2011). Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*. 17:1338-1340.
- SCHEUTZ F., N. STROCKBINE (2005). Genus I. *Escherichia*. *Bergey's manual of systematic bacteriology* 2: 607-623
- SCHILLING M.W., Y. YOON, O. TOKARSKYY, A.J. PHAM, R.C. WILLIAMS, D.L. MARSHALL (2009). Effects of ionizing irradiation and hydrostatic pressure on *Escherichia coli* O157:H7 inactivation, chemical composition, and sensory acceptability of ground beef patties. *Meat Science*. 81: 705-710.
- SCHLECH W.F., D. ACHESON (2000). Foodborne listeriosis. *Clinical Infectious Diseases*. 31: 770-775.

- SEVERINO R., G. FERRARI, K.D. VU, F. DONSI, S. SALMIERI, M. LACROIX (2015). Antimicrobial effects of modified chitosan based coating containing nanoemulsion of essential oils, modified atmosphere packaging and gamma irradiation against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on green beans. *Food Control*. 50: 215-222
- SIMONIN H., F. DURANTON, M. DE LAMBALLERIE (2012). New insights into the high-pressure processing of meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 11: 285-306.
- SIVERTSVIK M., J.T. ROSNES, H. BERGSLIEN (2002). Modified atmosphere packaging. En: *Minimal processing technologies in the food industry*, ed. T. Ohlsson, N. Bengtsson, pp. 61-82. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited
- SORENSEN O., J. VAN DONKERSGOED, M. MCFALL, K. MANNINEN, G. GENSLER, G. OLLIS (2002). *Salmonella* spp. shedding by Alberta beef cattle and the detection of *Salmonella* spp. in ground beef. *Journal of Food Protection*. 65: 484-491.
- STEVENS A, Y. KABORÉ, J.D. PERRIER-GROS-CLAUDE, Y. MILLEMANN, A. BRISABOIS, M. CATTEAU, J.F. CAVIN, B. DUFOUR (2006). Prevalence and antibiotic-resistance of *Salmonella* isolated from beef sampled from the slaughterhouse and from retailers in Dakar (Senegal). *International Journal of Food Microbiology*. 110: 178-186.
- SWAMINATHAN B., P. GERNER-SMIDT (2007). The epidemiology of human listeriosis. *Microbes and Infection*. 9: 1236-1243.
- SYED Q.A., K. REINEKE, J. SALDO, M. BUFFA, B. GUAMIS, D. KNORR (2012). Effect of compression and decompression rates during high hydrostatic pressure processing on inactivation kinetics of bacterial spores at different temperatures. *Food Control*. 25: 361-367.
- USDA US. 2011. Progress report on *Salmonella* testing of raw meat and poultry products, 1998-2011. Executive summary. Food Safety and Inspection Service. En: *Food Safety and Inspection Service*, ed. Do Agriculture.
- VALTIERRA-RODRÍGUEZ, D., N.L. HEREDIA, S. GARCÍA, E. SÁNCHEZ (2010). Reduction of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* in poultry skin by fruit extracts. *Journal of Food Protection*. 73:477-482.
- VÁZQUEZ-BOLAND J.A., M. KUHN, P. BERCHE, T. CHAKRABORTY, G. DOMÍNGUEZ-BERNAL, W. GOEBEL, B. GONZÁLEZ-ZORN, J. WEHLAND, J. KREFT, (2001). *Listeria* pathogenesis and molecular virulence determinants. *Clinical Microbiology Reviews* 14: 584-640

- WANG C.Y., C.P. HSU, H.W. HUANG, B.B. YANG (2013). The relationship between inactivation and morphological damage of *Salmonella* enterica treated by high hydrostatic pressure. Food Research International 54: 1482-1487
- WANI A., P. SINGH, A. PANT, H.C. LANGOWSKI (2015). Packaging Methods for Minimally Processed Foods. En: Minimally Processed Foods, ed. M.W. Siddiqui, M.S. Rahman, pp. 35-55: Springer International Publishing
- WHO, (1981). Wholesomeness of irradiated foods. Technical Report Serie. whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_659.pdf Accesado 30/10/2014
- WILKINSON B., J. JANZ, P. MOREL, R. PURCHAS, W. HENDRIKS (2006). The effect of modified atmosphere packaging with carbon monoxide on the storage quality of master-packaged fresh pork. Meat Science. 73: 605-610
- WOLFFS P., P. RADSTROM (2006). Real-time PCR for the detection of pathogens in meat. Capítulo 6, En: Advanced Technologies for Meat Processing, L.M.L. Nollet y F. Toldrá, Ed., Food Science and Technology-New York-Marcel Dekker, pp. 131- 154.
- ZHOU G., X. XU,Y. LIU (2010). Preservation technologies for fresh meat–A review. Meat Science. 86: 119-128