



Nacameh

Vocablo náhuatl para “carnes”

Volumen 2, Número 2, Diciembre 2008

Difusión vía Red de Computo semestral sobre Avances
en Ciencia y Tecnología de la Carne

Derechos Reservados[©] MMVIII

ISSN: 2007-0373

<http://cbs.izt.uam.mx/nacameh/>



Nueva URL: <http://cbs.izt.uam.mx/nacameh/>

ISSN: 2007-0373

NACAMEH Vol. 2, No. 2, pp. 124-159, 2008

Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos

Armida Sánchez Escalante[✉], Gastón R. Torrescano Urrutia, Juan Pedro Camou Arriola, Natalia F. González Méndez y Georgina Hernández Watanabe

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a la Victoria Km. 0.5. Hermosillo, Sonora, 83000, México. [✉]Autor para correspondencia *armida-sanchez@ciad.mx*

Palabras claves: Sistemas combinados de conservación, calidad de carne, vida útil, antioxidantes

Resumen

La estabilidad, seguridad y calidad de la mayoría de los alimentos conservados se basan en la aplicación de los métodos o sistemas combinados de conservación. Los sistemas combinados de conservación de los tejidos animales no es un procedimiento nuevo, al igual que no lo es la adición de conservadores, por ello es necesario comprender al menos unos cuantos de estos métodos. En este artículo se presenta una revisión de algunos de los métodos de mayor actualidad involucrados en la conservación de la carne.

El envasado en atmósferas modificadas (EAM) ha significado un avance extraordinario como método para incrementar la conservación de todo tipo de alimentos. La razón hay que buscarla en su demostrada capacidad para asegurar el mantenimiento durante un periodo prolongado de tiempo, de las características de calidad deseadas por el consumidor, en especial en las vitrinas de exposición ubicadas en los puntos de venta. No es de extrañar pues que esta técnica de conservación esté sufriendo un espectacular desarrollo en los últimos años. En cuanto al uso de esta metodología de conservación, la carne no es una excepción, y no menos las carnes denominadas rojas, ya que éstas presentan características especiales que las diferencian claramente de los otros alimentos. La necesidad de incorporar oxígeno a la mezcla de gases de envasado es la más destacable

de ellas, necesidad determinada por la conveniencia de mantener el color rojo brillante, propio de la forma reducida y oxigenada de la mioglobina, que es característico de la carne fresca. Así, las mezclas de envasado para uso en carne contienen proporciones variables de anhídrido carbónico y oxígeno, y eventualmente, nitrógeno. Lo mismo es aplicable a los productos elaborados a base de carnes frescas picadas, tales como hamburguesas, albóndigas, etc.

La presencia de oxígeno, unida a los propios procesos bioquímicos endógenos y a los provocados por la contaminación microbiana, da lugar al deterioro de la calidad sensorial más rápido de lo que es deseable. En el caso de los productos elaborados, este deterioro se ve acelerado, puesto que la mayor manipulación a que se ven sometidos incrementa notablemente su población microbiana.

Entre los procesos deteriorativos asociados a la conservación de la carne fresca, aún haciendo uso del EAM, merecen citarse: 1) la transformación lenta del color rojo brillante de la carne fresca en un color pardo no deseable, a causa de mecanismos oxidativos; 2) el incremento del aroma de la carne, que se transforma paulatinamente en olor cada vez más desagradable, debido por una parte a la acción de enzimas, tanto endógenos como procedentes de microorganismos, y por otra a los procesos de oxidación de los lípidos; y 3) la formación de limo superficial, sólo en fases avanzadas de conservación, debido al crecimiento microbiano.

La investigación concerniente al EAM de la carne fresca ha sido intensa y ha dado sus frutos; en la actualidad es bien conocido el efecto de las mezclas de CO₂ y O₂ sobre el crecimiento de microorganismos y las características de calidad de la carne, así como en la extensión de su vida útil. Sin embargo, el progreso se ha hecho más lento en los últimos años, y las empresas del sector reclaman mayores tiempos de conservación, en particular para la carne fresca fileteada o picada expuesta al consumidor en vitrinas comerciales.

Las hamburguesas y otros productos elaborados a base de carne picada o molida, presentan los mismos problemas que la carne fresca entera, pero agravados, de modo que la vida útil de estos productos es considerablemente menor. La razón para ello es que la carne molida ha sufrido una mayor contaminación por manipulación, y que la superficie de

exposición a la atmósfera es mayor. Por otra parte, la sal utilizada en la formulación ejerce una acción antioxidante.

Con el fin de incrementar en lo posible el tiempo de conservación de diversos alimentos, o incluso con el propósito de mejorar sus características sensoriales, se han venido proponiendo en los últimos años algunos métodos que no han sido aún suficientemente contrastados en el caso de las hamburguesas y otros productos elaborados a base de carne fresca molida, conservados mediante EAM. Estos incluyen, entre otros, el tratamiento con antioxidantes naturales, tanto musculares como procedentes de plantas. En efecto, algunos de esos antioxidantes han sido utilizados con éxito en otros alimentos, mientras que existen aún muchos cuya demostrada actividad antioxidante no ha sido aplicada todavía a la extensión de la vida útil de la carne y sus productos.

Por otra parte, también es conocido el efecto catalizador de los procesos oxidativos que ejerce la luz, al menos de las radiaciones de determinadas longitudes de onda (ultravioleta), lo que resulta en un efecto deteriorativo de la carne. Estas radiaciones (UVA) forman parte del espectro de emisión de las lámparas habitualmente utilizadas en los puntos de venta. Por ello, resulta de interés conocer el efecto de la iluminación libre de tales radiaciones, o bien el uso de antioxidantes que sean capaces de contrarrestar el efecto pro-oxidante de tales radiaciones.

Introducción

La mayoría de los alimentos que consumimos, principalmente frescos, han sido manipulados o transformados antes de llegar a nuestra mesa, por lo que en general, si no se les aplica un sistema adecuado de conservación, la vida útil puede ser muy limitada. En este contexto, la carne ha de ser considerada como uno de los alimentos más perecederos. Las medidas de conservación han de aplicarse justo tras el sacrificio del animal del cual proviene, con el objetivo de retrasar o prevenir ciertos cambios que la hacen adecuada para el consumo o degradan alguna característica de calidad. Los modos de alteración son múltiples y pueden ser físicos, químicos o microbiológicos.

Las carnes curadas y procesadas son más estables que las carnes frescas respecto al deterioro microbiano, ya que aditivos tales como la sal o los nitritos, o la reducción de la actividad de agua (a_w), o una combinación de estos, tienden a inhibir su desarrollo.

La carne al igual que la mayoría de los alimentos, debe poseer una serie de características que la hagan apetecible al consumidor, por lo que deberá reunir una serie de requisitos enmarcados dentro del concepto de calidad. En el caso de la carne, el término calidad está estrechamente ligado a la conservación de su vida útil. Habitualmente se considera que la vida útil es el tiempo durante el cual el producto permanece en un estado “aceptable”. Para algunos, la vida útil es el tiempo que transcurre hasta que comienza a percibirse la alteración de un alimento, mientras que para otros, la vida útil significa simplemente que el producto es todavía consumible y no insalubre. Además, está muy relacionada con el mantenimiento de la calidad, por lo que deben considerarse los aspectos microbiológicos, fisicoquímicos y demás parámetros relacionados con las características sensoriales que detecta el consumidor cuando adquiere la carne o los productos cárnicos.

En este trabajo se revisarán algunas de las principales características relacionadas con el mantenimiento de la calidad y los factores que condicionan la vida útil de la carne.

Color de la carne

El color de la carne es una de sus características más importantes, ya que es el principal atributo que juzga el consumidor antes de comprar, tanto carnes frescas como curadas. Por ello parece conveniente hacer una revisión acerca del color de la carne y las bases bioquímicas involucradas en su decoloración.

La mioglobina es la proteína hemínica responsable del color de la carne. En una célula viva, tiene dos funciones: como almacén para la reserva de oxígeno y como responsable del suministro de oxígeno (Livingston y col., 1983). La longitud exacta de la cadena polipeptídica de mioglobina es dependiente de la especie, pero contiene aproximadamente 153 residuos en mamíferos y una estructura secundaria que es el 80% alfa-hélice (Antonini, 1965).

Los grupos prostéticos de la mioglobina están formados de un átomo de hierro y un anillo protoporfirínico, unido por cuatro de los seis sitios de coordinación de los átomos de hierro (Lehninger, 1982). El grupo hemo está unido a la apo-proteína en el quinto sitio de coordinación por una unión entre el átomo de hierro y un residuo de histidina, mientras que el sexto sitio está disponible para unir una gran variedad de ligandos (Faustman y Cassens, 1990).

El hierro hemo puede existir en forma de ión ferroso reducido (+ 2), o como férrico oxidado (+ 3). Cuando el hierro hemo ferroso carece de un sexto ligando es llamado desoximioglobina. En la literatura, el término mioglobina a menudo es usado para denotar a la desoximioglobina y puede ser causa de confusión. Una pieza de carne en la cual la forma desoximioglobina es el pigmento predominante tendrá un color rojo púrpura. Cuando el oxígeno ocupa el sexto sitio de unión del hierro hemo ferroso, se denomina oximioglobina, y ésta es la responsable del color rojo brillante deseable en la carne fresca. Estas dos formas reducidas de la mioglobina rápidamente se oxidan a la “indeseable” metamioglobina, de color pardo, en la que el hierro hemo es convertido al estado férrico y el agua ocupa el sexto sitio de coordinación. La metamioglobina es incapaz de unir oxígeno y así está fisiológicamente inactiva (Faustman y Cassens, 1990).

La metamioglobina puede ser convertida de nuevo a una forma fisiológicamente activa por el proceso llamado reducción (Giddings, 1974). Este proceso es facilitado por las enzimas conocidas como metamioglobina reductasas, algunas de las cuales fueron descritas por Levy y col. (1985).

La composición, la susceptibilidad oxidativa y el contenido de mioglobina en el músculo difieren entre las diferentes especies animales. La mioglobina de los mamíferos carece del residuo de cisteína contenido en la mioglobina de los peces, además, se ha encontrado que la mioglobina de los peces es 2.5 veces más susceptible a la oxidación que la de los mamíferos (Livingston y Brown, 1981). La mioglobina obtenida a partir de músculo de porcino pálido, suave y exudativo (PSE) es menos estable que la del músculo normal (Bembers y Satterlee, 1975); y el contenido de mioglobina en el músculo de animales para carne se incrementa con el aumento en el contenido de fibras rojas, y de la edad (Lawrie, 1985).

La formación de coloraciones verdes en la carne fresca fue descrita por Jensen (1945), y está asociada a una alteración en la estructura del grupo hemo (Lawrie, 1985). Existen dos posibles derivados de la mioglobina responsables de una apariencia verde. La coeglobina resulta de la interacción entre la mioglobina (hierro ferroso o férrico) y peróxido de hidrógeno (Lawrie, 1985) y su formación se favorece a valores de pH entre 4.5 y 6.0 (Fox y col., 1974). La fuente de peróxido de hidrógeno puede ser bacteriana (Jensen, 1945), resultado de la interacción del ácido ascórbico

con la molécula de oxígeno de la oximioglobina (Fox, 1966), o ser producido por el propio músculo (Harel y Kanner, 1985).

La sulfomioglobina es el segundo derivado de la mioglobina capaz de impartir color verde a la carne fresca. Este pigmento se forma por la acción del sulfuro de hidrógeno y el oxígeno sobre la mioglobina reducida (Lawrie, 1985). También la producción bacteriana de sulfuro de hidrógeno facilita el desarrollo de coloraciones verdes en la carne (Egan y col., 1980).

La mioglobina no es la única proteína hemo en la carne capaz de impartir color. Warriss y Rhodes (1977) estimaron que las piezas de carne fresca contenían un porcentaje de 0.3% de sangre residual. La hemoglobina básicamente es un tetrámero de la mioglobina, y es un componente de las células rojas de la sangre (Lehninger, 1982). La contribución de la hemoglobina al color de la carne ha sido estudiada por varios autores (Fleming y col., 1960; Rickansrud y Henrickson, 1967; Warriss y Rhodes, 1977). Estos estudios concuerdan en que la contribución de la hemoglobina al color de la carne fresca es menor al compararla con el de la mioglobina, pero difieren con respecto al porcentaje de contribución atribuido a la hemoglobina.

Los citocromos son proteínas hemo cuya función es la de formar parte de la cadena de transporte de electrones en las células vivas. Están presentes en las células, pero en tan pequeñas cantidades, que es muy poco probable que tengan influencia directa en el color de la carne (Ledward, 1984).

Estabilidad del color de la carne.

Existen muchos factores que afectan a la estabilidad del color de la carne; los de mayor importancia son: pH, temperatura, humedad relativa, iluminación, bacterias, oxidación de lípidos, presión parcial de oxígeno, estrés pre-sacrificio, tipo de músculo, etc. Es importante mencionar que en un alimento tan complejo como la carne ningún factor actúa de manera independiente. La interacción entre los factores, y en ocasiones la falta de conocimiento respecto a estas interacciones, han contribuido significativamente a la dificultad de encontrar un remedio para el problema de la decoloración de la carne fresca.

Para mantener la estabilidad del color es necesario que la mioglobina permanezca intacta, es decir, evitar la formación de metamioglobina, con lo cual se puede extender la vida útil de la carne fresca. Al respecto, se ha

reportado que la adición de un antioxidante como suplemento, como el caso de la vitamina E en la dieta de los animales (terneros), puede retardar la formación de este indeseable pigmento en la carne (Mitsumoto y col., 1991).

La industria de la carne ha reconocido la importancia de la estabilidad del color; las recientes innovaciones mediante la modificación de la atmósfera de envasado han surgido de la necesidad de extender la vida media de la carne. En este sentido, en los últimos años se han usado diferentes tecnologías para prolongar la vida media del color de la carne fresca, principalmente la de cerdo (Lefens, 1987; Ruzek, 1989).

Tras las primeras observaciones de Dean y Ball (1960), los mecanismos que controlan la estabilidad del color no quedaron claros. Actualmente se admite que la conservación del color rojo vivo de la carne depende de un triple equilibrio de los factores bioquímicos: las actividades respiratorias (tasa de consumo de O₂); la auto-oxidación de la mioglobina y la reducción enzimática de la metamioglobina (Ledward, 1984), que a su vez puede ser afectada por el tiempo y la temperatura; y la historia de la evolución del pH del músculo (Ledward, 1985).

No hay acuerdo en cuanto a la cinética de formación de la metamioglobina en la superficie de la carne; puede aparecer descrita como una curva lineal (Hood, 1980), cuadrática (O'Keefe y Hood, 1982) o esencialmente trifásica con una formación inicial rápida, continuando unos días a un ritmo lento o de pseudo-equilibrio, fase que se extiende durante un período variable, dependiendo del músculo, y una fase final rápida, cuando ocurre la conversión del 100% metamioglobina (Ledward, 1970; Ledward y col., 1977).

Oxidación de lípidos

Una de las principales causas de pérdida de la calidad de la carne es la oxidación de los lípidos y los cambios asociados a ella. La oxidación de los lípidos es considerada como un proceso bastante complejo, en el que los ácidos grasos insaturados reaccionan con el oxígeno molecular vía un mecanismo de radicales libres, que forma hidroperóxidos, generalmente llamados peróxidos o productos primarios de la oxidación (Gray y col., 1996). La auto-oxidación primaria es seguida de una serie de reacciones secundarias que conducen a la degradación del lípido y al desarrollo de la rancidez oxidativa. Los problemas asociados a la oxidación de los lípidos han ganado mucho interés; se les ha relacionado con deterioro del

sabor/olor, pérdida de valor nutricional, daño biológico, envejecimiento, cambios en las propiedades funcionales y contaminación ambiental (Frankel, 1984).

El mecanismo básico de la reacción de auto-oxidación de los lípidos ha sido bien establecido (Labuza, 1971), y puede diferenciarse en tres distintas etapas: iniciación, propagación y terminación, las cuales se esquematizan de manera general en la Figura 1.

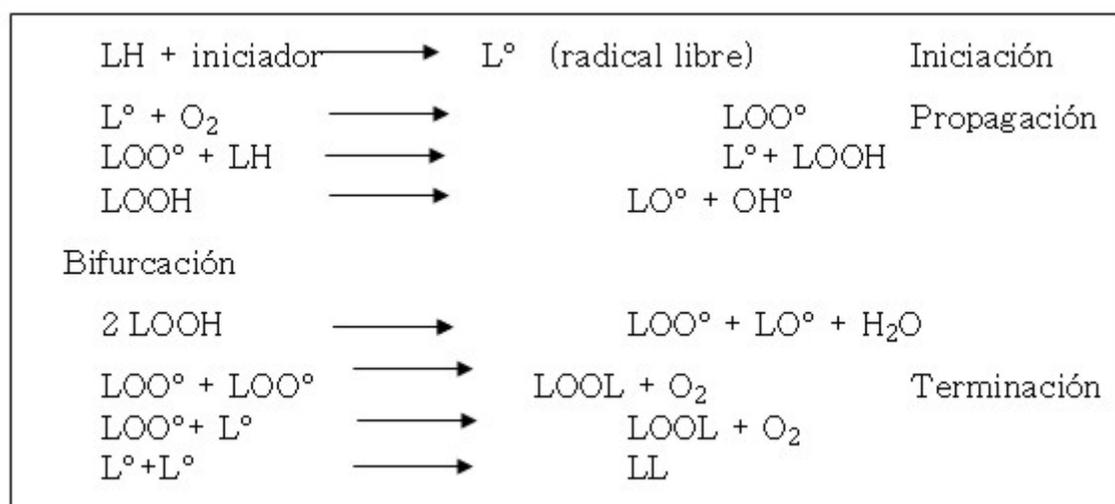


Figura 1. Reacciones del mecanismo de auto-oxidación de los lípidos (Monahan, 2000).

La oxidación de lípidos se inicia con la sustracción de un radical hidrógeno de un grupo metileno alílico de un ácido graso insaturado, o bien por la adición de un radical a un doble enlace que reacciona rápidamente con oxígeno para formar un peroxiradical. El peroxiradical sustrae un hidrógeno de otra cadena de hidrocarburos, produciendo un hidroperóxido y un nuevo radical libre que puede perpetuar la reacción en cadena (Pearson y col., 1977; Enser, 1987).

La descomposición de hidroperóxidos lleva consigo además, mecanismos de radicales libres y la formación de productos no-radicales. La homólisis de hidroperóxidos a radicales hidroxilo y alcoxi, seguida por la “rotura” de la cadena de ácidos grasos adyacente al radical alcoxi, produce compuestos

volátiles de bajo peso molecular, algunos de los cuales tienen distintos aromas y pueden afectar las propiedades de flavor a concentraciones tan bajas como 1 ppm. Estos productos de deterioro causantes de rancidez, incluyen mezclas complejas de aldehídos, cetonas, alcoholes, hidrocarburos, ésteres, furanos y lactonas (Frankel, 1984). Los hidroperóxidos pueden también condensarse en dímeros y polímeros que pueden, a su vez, oxidarse y descomponerse en productos volátiles de deterioro. Además, la oxidación puede ocurrir en los peróxidos originales o en los aldehídos insaturados, que luego llevará a posterior degradación para formar epóxidos, peróxidos cíclicos y endoperóxidos bicíclicos (Enser, 1987). Estos productos de oxidación secundarios pueden también descomponerse, para formar materiales volátiles y dialdehídos que contribuirán al deterioro del *flavor* (Ladikos y Lougovois, 1990).

Los principales ácidos grasos incluidos en los tejidos animales son oleico, linoleico, linolénico y araquidónico. Su auto-oxidación da lugar a un gran número de diferentes hidroperóxidos que, junto con las diferentes rutas de descomposición involucradas, llevan a la producción de un gran número de compuestos volátiles (Mottram, 1987).

Los factores promotores de la oxidación son muchos y muy variados; entre los principales se pueden considerar: la composición de los ácidos grasos, la presión parcial de oxígeno, la superficie en contacto con el oxígeno, las condiciones de almacenamiento (temperatura, luz, actividad de agua), presencia de enzimas (lipo-oxigenasa), presencia de metales, radiaciones, etc. Los factores medioambientales tales como la temperatura, oxígeno, iones metálicos, luz y radiaciones, provocan la oxidación de los lípidos, y también causan la destrucción de ciertas vitaminas (Jadhav y col., 1995).

Oxidación de pigmentos

La oxidación de lípidos da lugar a la formación de algunos productos, algunos de los cuales reaccionan con otros componentes de los alimentos tales como los pigmentos y aminoácidos, resultando en decoloración o producción de sabores y olores indeseables. El riesgo de daño por oxidación no está limitado a los alimentos con alto contenido de grasa; las proteínas y los pigmentos también pueden ser objeto de este proceso.

Se han realizado gran cantidad de estudios en los que se ha estudiado la relación existente entre la oxidación lipídica y la de la mioglobina (Faustman y col., 1989; Akamittath y col., 1990). Muchos estudios sobre la oxidación

de los lípidos y la mioglobina han sido realizados en soluciones relativamente puras de oximioglobina en combinación con lípidos microsomales o liposomales. Estos sistemas no contienen los componentes nativos del músculo de bovino: enzimas antioxidantes, pro-oxidantes, iones metálicos, componentes reductores y agentes secuestradores (O'Grady y col., 2001). A la fecha no se sabe cuál de las oxidaciones ocurre en primer lugar.

La presencia de sustancias generadas a partir de la oxidación lipídica, como los hidroperóxidos, trae como consecuencia la formación del complejo lípido-proteína. Las proteínas en el sistema biomembranar se hallan en una estrecha proximidad con los ácidos grasos poli-insaturados. Estas proteínas de la membrana pueden sufrir fácilmente daños causados por la oxidación lipídica. Ledward y MacFarlane (1971) sugirieron que la oxidación lipídica en vacuno no está directamente relacionada con la oxidación de los pigmentos. Sin embargo, Faustman y col. (1989) mostraron que en carne de vacuno, la formación de la metamioglobina y la acumulación de TBARS están positivamente correlacionados. Kanner y col. (1987) afirmaron también que la decoloración de la carne y el inicio del desarrollo de las reacciones de oxidación lipídica están relacionados. Govindarajan (1973) indicó que la oxidación de la mioglobina y la oxidación de los lípidos en carne picada están relacionados, aunque no es posible deducir de estos datos si la oxidación del pigmento fue la causa de la oxidación de los lípidos o viceversa. Greene (1971) afirmó que ambas oxidaciones, de lípidos y pigmentos, en carnes frescas están íntimamente correlacionadas; y el retraso en las reacciones de oxidación, implica un retraso en la decoloración de la carne. Otros estudios indican también que existe una relación importante entre la oxidación de los lípidos y la oxidación de la oximioglobina (Gatellier y col., 1992; Yin y Faustman, 1994).

Se han propuesto muchos mecanismos para explicar cómo la oxidación de los lípidos cataliza la oxidación de la oximioglobina. Al respecto, se ha establecido que los radicales libres generados durante la oxidación lipídica son los responsables del inicio de la oxidación de la oximioglobina (Yin y Faustman, 1994), y que los productos de la oxidación (TBARS) pueden contribuir a la oxidación de la oximioglobina (Chan y col., 1997).

Efecto del crecimiento microbiano sobre las propiedades de la carne

Se sabe que la carne puede transmitir a los consumidores los microorganismos causantes de toxi-infecciones alimentarias, entre los que figuran *Salmonella* spp., *Escherichia coli* enterohemorrágico (por ejemplo, serotipo O157), algunos serovares de *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum* y *Bacillus cereus*. Por otra parte, las carnes se alteran debido a una serie de microorganismos deteriorativos, como *Pseudomonas* spp., *Shewanella*, *Enterobacteriaceae*, *Brochothrix thermosphacta*, bacterias lácticas, levaduras y mohos (ICMSF, 2001).

El primer indicio de alteración en la carne fresca es la producción de olores desagradables, que son perceptibles cuando la cantidad de microorganismos presentes en la carne alcanza una cifra en torno a 10^7 ufc/cm². En este momento crítico, se cree que los microorganismos pasan de la utilización, como sustrato de crecimiento, de las concentraciones decrecientes de glucosa existentes en la carne, a la utilización de los aminoácidos. En la carne con concentraciones más bajas de glucosa residual, esta fase se alcanza antes (10^6 UFC/cm²), explicando esto el hecho de que en la carne de pH elevado la alteración aparezca antes (Brown, 1982).

El metabolismo bacteriano origina una mezcla compleja de ésteres volátiles, alcoholes, cetonas y compuestos sulfurados, que colectivamente producen los malos olores que se detectan. Tales mezclas pueden ser analizadas mediante una combinación de cromatografía de gases y de espectrometría de masas, por lo que se puede determinar el origen de los diferentes compuestos mediante estudios de cultivos puros. Estos estudios han confirmado el papel predominante de las *Pseudomonas* en la alteración de la carne refrigerada almacenada en aerobiosis; la especie *P. fragi* es la principal productora de los ésteres etílicos que aportan el componente dulce y afrutado del olor. El componente podrido y a azufre del olor, procede de compuestos sulfurados tales como el metanotiol, el dimetilsulfuro y el dimetildisulfuro que también son producidos por las *Pseudomonas* (Gill, 1982).

En las últimas fases de la alteración se observa un aumento del pH y son producidos amoníaco y varias aminas. Algunas de estas aminas tienen nombres altamente evocativos de putrefacción y de descomposición, como

por ejemplo la putrescina y la cadaverina. Cuando el número de microorganismos alcanza niveles en torno a 5×10^7 – 10^8 ufc/cm², en la carne aparece otro indicio de alteración en forma de un evidente limo superficial (Forrest y col., 1979; Gill, 1982).

El envasado de la carne al vacío y en atmósfera modificada modifica la microflora de la carne, y consiguientemente el plazo y tipo de alteración. En las carnes envasadas al vacío la acumulación de CO₂ y la ausencia de oxígeno limitan el crecimiento de las *Pseudomonas*, pero dan origen al desarrollo de una microflora dominada por microorganismos Gram positivos, integrada principalmente por bacterias lácticas de los géneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium* y *Leuconostoc* (Rosset, 1982).

La alteración de la carne envasada al vacío se caracteriza por la aparición de olores ácidos similares al vinagre, que son mucho menos desagradables que el olor que acompaña a la carne almacenada en aerobiosis. Los microorganismos alcanzan su máxima población alrededor de 10^7 UFC/cm² después de aproximadamente dos semanas de almacenamiento; pero una vez transcurrido este tiempo, el agriado se desarrolla lentamente. Los ácidos orgánicos pueden colaborar en la aparición de este olor, aunque las cantidades producidas son muy inferiores a las de lactato endógeno ya existente (Rosset, 1982). La prolongación de la vida comercial producida por el envasado al vacío no se observa en la carne de pH elevado (>6). En este caso, *Shewanella putrefaciens*, que no es capaz de crecer en la carne con pH normal, y los psicrotrofos *Enterobacteriaceae*, son capaces de crecer y producir grandes cantidades de sulfuro de hidrógeno, lo que comunica a la carne un olor desagradable (Rosset, 1982).

En las atmósferas modificadas que contienen elevadas concentraciones tanto de CO₂ como de O₂, el crecimiento de *Pseudomonas* está limitado por el CO₂, mientras que las concentraciones elevadas de O₂ mantienen el color rojo vivo de la mioglobina oxidada en la carne. Aquí la microflora depende del tipo de carne, de la temperatura de almacenamiento, y de si fue envasada al vacío o si anteriormente estuvo almacenada en aerobiosis. En términos generales, no obstante, la microflora y la alteración tienden a seguir una pauta parecida a la de la carne envasada al vacío. Las bacterias acidolácticas heterofermentativas pueden ser más numerosas debido al efecto estimulante del oxígeno sobre su crecimiento y, en determinadas

circunstancias, *Brochothrix thermosphacta*, las *Enterobacteriaceae* y las *Pseudomonas* pueden ser más importantes (Rosset, 1982).

Métodos de conservación

Para prolongar la vida útil de la carne y para el almacenamiento de todos los productos cárnicos frescos y de la mayoría de los procesados, es imprescindible conservarlos adecuadamente. El método más común para prolongar la vida útil de la carne es la refrigeración.

Refrigeración y congelación y otros

El término refrigeración se refiere al uso de temperaturas comprendidas entre -2 y 5 °C. La carne también se conserva mediante congelación, tratamiento térmico, utilización de agentes químicos, irradiación, deshidratación, etc. El efecto conservador de cada uno de los métodos mencionados se debe a que se restringen, y en ciertos casos inhiben totalmente la actividad microbiana, así como las reacciones enzimáticas, químicas y físicas que, en otro caso, darían lugar a cambios deteriorativos, e incluso a la alteración total.

La conservación de la carne y sus productos, bajo condiciones de refrigeración, se limita generalmente a períodos de tiempo cortos, debido a que los cambios alterantes continúan, y la velocidad de muchos de estos cambios se acelera con el tiempo. Los principales factores que influyen la vida útil de la carne almacenada bajo refrigeración son: la carga microbiana original, las condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento, la presencia o ausencia de envolturas protectoras, la especie animal y el tipo de producto que se almacene.

Para prolongar al máximo la vida en almacenamiento refrigerado, con una calidad aceptable en la carne, deberán optimizarse todas las variables que influyen la conservación en refrigeración; adicionalmente deberá complementarse con otras técnicas de conservación, lográndose de esta manera aumentar la vida útil y garantizar la calidad sanitaria de la carne fresca.

La congelación es un excelente método de conservación de la carne; determina muchos menos cambios perjudiciales en las propiedades cualitativas y organolépticas de la carne que ningún otro método. Además, durante la congelación, así como durante el período de almacenamiento en

estas condiciones, se conserva la mayor parte del valor nutritivo. Sólo puede haber pérdidas en el valor nutritivo si se realiza un método de descongelación inadecuado, que provoque una excesiva exudación. Cuando se emplean métodos de congelación y almacenamiento convenientes, son muy pocos los cambios que ocurren en el color, aroma, olor, o jugosidad de los productos cárnicos. Por lo tanto, las propiedades cualitativas de la carne congelada pueden ser muy similares a las de la carne fresca.

También se ha estudiado el efecto de la irradiación sobre la calidad de la carne, la cual es una técnica muy eficaz para la destrucción de parásitos y microorganismos. Este tratamiento es esencialmente beneficioso para carnes de cerdo y cordero envasadas al vacío, que de otra manera pueden tener una vida útil demasiado corta cuando son transportadas. Pero la irradiación puede causar cambios en el *flavor*, aroma y color. La irradiación llevada a cabo cuando la carne se encuentra congelada, y después de eliminar el oxígeno, puede ser ventajosa (Farkas, 1998).

Por otro lado, la combinación de las atmósferas modificadas y antioxidantes permite retrasar la formación de malos sabores u olores producidos por el uso de la irradiación (Erickson, 1998), aunque podría potenciar el crecimiento de patógenos y sus toxinas (Lee y col., 1996).

Sin embargo, a pesar de la seguridad que parece generar el uso de las radiaciones ionizantes, en Europa aún existe un notable rechazo hacia su utilización en alimentos.

Envasado

El envasado es la principal herramienta comercial para alcanzar al consumidor desde la planta de producción. Un envasado protector y un buen sistema de transporte son dos de las razones, entre otras, por las que el mundo occidental se halla mejor alimentado que el resto. Con un alimento perecedero como es la carne, el envasado favorece el mantenimiento de la frescura del producto durante largos periodos de tiempo (Lundquist, 1994).

Los envases y los sistemas de envasado se han desarrollado para cubrir necesidades específicas. El envasado de productos cárnicos para el consumo comenzó con el desarrollo de la industria de los supermercados. Primero, el producto era cortado y envasado en unidades en el propio supermercado; el tocino rebanado fue el primer producto envasado para el

consumo a gran escala y distribuido después en el supermercado (Lundquist, 1994).

El desarrollo de las películas flexibles y el envasado a vacío para conservar productos cárnicos, constituye uno de los mayores logros de la tecnología de los alimentos del siglo pasado. El envasado a vacío es la principal herramienta utilizada hoy para envasar productos cárnicos, tanto a nivel consumidor como para el distribuidor.

Actualmente existe gran variedad de materiales de envasado para su uso en productos cárnicos frescos, procesados y congelados. En la mayoría de los casos el material de envasado se elabora por combinación de varios de ellos, dando lugar a un material compuesto. Combinando materiales es posible producir una estructura que tenga propiedades que no se pueden obtener con un material único. Una excepción son las películas de cloruro de polivinilo altamente plastificado (PVC), y las de polietileno orientado, que se utilizan para envolver carne fresca para el consumo directo en el supermercado. En este caso las propiedades deseadas se obtienen con la adición de un plastificante al PVC, y de un grado alto de orientación al PVC o al polietileno. Generalmente se combinan estructuras multicapa, y la función de un material individual se dirige a proteger el producto (Lundquist, 1994).

La selección de los componentes específicos a utilizar en un sistema multilaminar depende de las propiedades que se desean en el producto final (Tabla 1). Sin embargo, se han de considerar criterios económicos a la hora de tomar una decisión; en la mayoría de los casos, la decisión es la de producir envases con el costo mínimo, pero salvaguardando la calidad del producto. La selección del sistema de envasado específico estará dictada por: (1) el volumen de producción requerido, (2) la naturaleza del producto, (3) la necesidad de un equipo versátil que sea capaz de envasar productos diferentes, (4) el tamaño y la forma del producto, (5) el costo y (6) las necesidades específicas del mercado, establecidas de acuerdo a la conveniencia y a la vida útil.

Los sistemas de envasado se clasifican según su forma o el tipo de material de envasado, el proceso de elaboración del envase y el proceso por el cual se elimina el O₂ del envase. Para propósitos prácticos de esta revisión sólo se describen aquellos sistemas de envasado que son de interés actual.

El recubrimiento con película plástica (“overwrap”) es un método de envasado utilizado para la venta de carne fresca en los supermercados. En este sistema la carne es colocada en una bandeja semirrígida que se envuelve con un plástico transparente y permeable a los gases. Este método tiene el inconveniente de que la vida útil de la carne se reduce a unos pocos días (Shay y Egan, 1990). La película (derivado de vinilo o polietileno) que se utiliza en este tipo de envasado tiene una baja permeabilidad a la humedad, una permeabilidad al O₂ tan alta como 10,000 cm³ /m² día¹ atm¹ (mínimo 5,000 para mantener el color rojo) y con un grosor tan fino como 15-25 µm. Estas características son suficientes para mantener el color atractivo de la carne (Taylor, 1985).

El envasado al vacío es el sistema más importante de envasado y mantenimiento de la calidad natural de los productos cárnicos. El vacío consiste en la eliminación del aire (y por tanto del O₂) del envase, inhibiendo consecuentemente el crecimiento de algunos microorganismos alterantes, y extendiendo la vida útil del producto. Sin embargo, por óptimas que sean las condiciones en las que se lleva a cabo el vacío, no es posible eliminarlo en su totalidad, y una pequeña proporción residual de aire (por debajo de 1%) queda en el interior del envase. Generalmente se utiliza en sistemas de envasado con bolsas plásticas, por lo que envasar al vacío significa eliminar el aire del envase, lo que produce una presión diferencial entre el interior y el exterior del envase en los envases con películas flexibles. Como resultado, la película entra en íntimo contacto y se adhiere al producto, y este contacto entre la película impermeable al O₂ y el producto, crea un ambiente anaerobio que favorece la conservación del producto. Las pruebas realizadas indican que es necesario un mínimo de 610 mm Hg de vacío en el envase para obtener la protección suficiente del producto (Lundquist, 1994).

Cuanto más baja sea la permeabilidad al O₂ de los materiales, más se prolongará el período de conservación de la carne. El oxígeno residual es consumido rápidamente debido a los propios procesos bioquímicos de la carne y de los microorganismos aeróbicos presentes. Se genera un microclima sin O₂ y en presencia de CO₂ (20-30%) (Waites, 1988; Dainty y Mackey, 1992) que permite la eliminación de los microorganismos aerobios psicotrofos responsables del deterioro de la carne, como *Pseudomonas*. A partir de este momento los microorganismos dominantes vienen a ser las bacterias lácticas (Taylor, 1985), que a diferencia de *Pseudomonas*, no producen olores relacionados con la putrefacción, y pueden llegar a alcanzar

valores de 108 UFC/cm² después de 5 semanas de almacenamiento a 1 °C, sin aparente descomposición (Dainty y col., 1983).

Tabla 1. Algunas propiedades de las películas de envasado (Lundquist, 1994).

Película	Principales funciones	Permeabilidad al O ₂ (cc/mil/m ² 20 °C- 0% HR)	Permeabilidad al agua (g/mil/m ² 38 °C-90% HR)
Saran	Barrera contra el O ₂ y el agua	8 ó 26	1,5 ó 5,0
Cloruro de Polivinilo (no plastificado)	Barrera contra el O ₂ ; rigidez	7.5-25	1.5-4.5
Cloruro de Polivinilo (altamente plastificado)	Alta permeabilidad al O ₂ ; termorretráctil; resistencia mecánica	7500-22000	60
Acrilonitrilo	Barrera contra el O ₂	1.5	7,5
Polipropileno	Agente de termosellado; barrera contra el O ₂	3750-12600	18
Surlyn	Agente de termosellado, resistencia mecánica; brillo	226-484	1.3-2.1

El efecto del envasado al vacío es que cuando existen bajas concentraciones de O₂, la oximioglobina está ausente en la superficie del músculo. La velocidad a la que el color del músculo se deteriora depende de la velocidad a la que la desoximioglobina de la carne se oxida y pasa a metamioglobina, o a la velocidad que la reacción sucede en sentido contrario, por efecto de la capacidad reductora del músculo (Gill y McGinnis, 1995). Por consiguiente, la carne envasada al vacío se caracteriza por adquirir un color púrpura, lo cual no representa ningún problema dado que una vez que se abre el envase y entra en contacto con el O₂

atmosférico, recupera el color rojo de la carne fresca, preferido por los consumidores (Taylor, 1985).

Otros beneficios del envasado al vacío considerados importantes son: (a) evita la pérdida de peso (merma 0%) por pérdida de líquidos o de grasas, (b) evita que los productos se humedezcan o pierdan humedad, (c) evita contaminaciones posteriores a la elaboración, conservando la higiene desde la elaboración hasta el consumidor final, (d) evita el “quemado” (daño por frío) por congelación, (e) permite un mejor manejo del stock de las materias primas y de los productos terminados, y (f) es ideal para el envasado y posterior control de porciones (Brody, 1996).

Por otro lado, uno de los métodos que actualmente ha ganado mucha aceptación es el envasado en atmósfera controlada, que consiste en modificar intencionalmente la atmósfera gaseosa natural y el mantenimiento de la misma en las condiciones determinadas durante el ciclo de distribución, independientemente de la temperatura y de otras variaciones ambientales. La atmósfera controlada comprende generalmente a la tecnología que se aplica en el almacenamiento durante el cual se asegura una atmósfera constante independientemente de las actividades respiratorias del producto, intercambio de gases a través de fugas, etc. (Brody, 1996). Aunque no se utiliza para conservación de la carne se menciona en esta revisión por ser otro de los métodos basados en la modificación de la atmósfera.

El envasado en atmósfera modificada (EAM), aunque relativamente nueva en la mayoría de los países, es una tecnología establecida desde 1930, cuando se transportaba carne de ternera bajo CO₂, desde Australia y Nueva Zelanda hasta el Reino Unido (Empey y col., 1934). Consiste en cambiar inicialmente la atmósfera gaseosa en el entorno del producto, permitiendo que las actividades del producto envasado ocasionen una variación del entorno gaseoso en el envase. Si se permite que el producto y el envase interaccionen normalmente, la atmósfera gaseosa se modificará en relación con la inicial y de aquí el término de atmósfera modificada (Brody, 1996).

Los gases que comúnmente se utilizan en el EAM son CO₂, O₂ y N₂ (Gill, 1995). Las atmósferas enriquecidas con CO₂ inhiben el crecimiento microbiano, especialmente bacterias Gram negativas (Faber, 1991). Una atmósfera rica en oxígeno ayuda a la conservación del color rojo en la superficie de la carne (Sebranek, 1986), y el nitrógeno, gas inerte para los

productos cárnicos, es usado como un relleno para reducir las concentraciones de los gases más activos (Sebranek, 1986; Farber, 1991).

El proceso consiste en hacer primeramente la operación de vacío y posteriormente rellenar con un gas o mezcla de gases que sustituya al aire, provocando una dilución del oxígeno residual en el envase. Cuando el envase se llena con CO₂, éste reacciona con la humedad de la superficie de la carne y da lugar a la formación de ácido carbónico; siendo este ácido el que inhibe el crecimiento de algunos microorganismos. Como el CO₂ se absorbe en el agua, el volumen del gas en el envase se ve reducido (Lundquist, 1994).

Antioxidantes

Una de las causas más importantes de deterioro, junto a los problemas producidos por la contaminación con microorganismos, tanto en los productos cárnicos, como en el resto de los alimentos que contienen una cantidad importante de lípidos, es la oxidación de éstos. Ya se ha mencionado que la oxidación genera cambios organolépticos (olores y sabores a rancio, colores anormales), se pierde valor nutritivo de los alimentos (vitaminas liposolubles como A y E, ácidos grasos esenciales linoleico y linolénico) y/o se producen sustancias tóxicas (Aruoma, 1994). Considerando todo lo anterior, la oxidación lipídica, puede definirse de manera general, como a aquél o aquellos fenómenos que alteran las cualidades organolépticas (color, olor, sabor, textura) de un producto alimenticio, como consecuencia del deterioro de sus lípidos, pudiendo a la vez aparecer metabolitos no saludables para el consumidor, y originando pérdidas de otros, necesarios para el mismo.

Para prevenir la oxidación de los lípidos se plantean algunas medidas, siendo la primera la reducción de los efectos físicos que aceleran la auto-oxidación, es decir, evitar la acción de la luz sobre los productos; disminuir la presión de oxígeno; reducir la temperatura (por cada 10°C de aumento de temperatura se calcula que la velocidad de reacción se duplica); evitar la presencia de trazas de metales catalizadores; etc.

Otra medida es evitar la contaminación y desarrollo de microorganismos capaces de producir peróxidos, como las bacterias lácticas heterofermentativas. Para ello, se deben emplear cultivos iniciadores que dirijan las fermentaciones, tales como *Pediococos* y *Lactobacillus*

homofermentativos. También pueden utilizarse cultivos capaces de producir la enzima catalasa, que descompone peróxidos; propiedad que tienen los Micrococcos, los cuales son muy usados en la industria cárnica.

La utilización de antioxidantes es otra alternativa para evitar la oxidación. El término antioxidante (llamado también anti-oxígeno) originalmente se refería a un químico que previene el consumo del oxígeno molecular. En el siglo XIX, los antioxidantes fueron tema de una extensa investigación en el proceso industrial (Mattik y Hirsch, 1947). Los investigadores dedicados a temas relacionados con los alimentos se enfocaron al uso de antioxidantes para prevenir la oxidación de grasas insaturadas, las cuales son las principales responsables de la rancidez (Halliwell, 1999).

Los posibles mecanismos para la acción de antioxidantes fueron primero explorados detalladamente por Moreau y Dufraisie (1926), quienes reconocieron que las sustancias con actividad antioxidante probablemente eran la solución para resolver el problema de la oxidación. Investigaciones realizadas recientemente han demostraron que la vitamina E previene el proceso de oxidación de lípidos; esto conduce a reconocer a los antioxidantes como agentes reductores de la oxidación, antes de que exista un daño contra las células (Wolf, 2005). Una vez examinadas las diferentes medidas que pueden utilizarse para prevenir la oxidación, que son necesarias pero no suficientes, se llega al punto de verse obligados al uso de sustancias antioxidantes para completar la acción de dichas medidas. Por ejemplo, la aplicación de atmósferas inertes en el envasado es una buena medida de prevención, pero es imposible evitar la presencia de restos de aire, y la reacción de radicales libres necesita una cantidad muy pequeña de oxígeno para iniciarse. Por otro lado, los procesos de fabricación de la industria cárnica requieren en muchos casos (embutidos en general), el picado de la carne, con lo cual se aumenta enormemente la superficie de contacto de la misma con el aire y, por consiguiente, se facilita la oxidación. Lo mismo puede decirse de los productos cocidos, al liberarse el hierro de los grupos hemo, se acelera la reacción de oxidación.

Por todas estas causas, es evidente la necesidad del empleo de sustancias antioxidantes, pero es muy importante tener en cuenta un conjunto de condiciones para aprovechar su eficacia sin sufrir los inconvenientes de su empleo.

La oxidación de los lípidos en el músculo empieza justo después del sacrificio, y los cambios bioquímicos en la conversión del músculo en carne son los primeros implicados en la reducción de la capacidad antioxidante endógena del músculo. Para prevenir las reacciones oxidativas durante esa fase, será esencial desarrollar tecnologías que mantengan o mejoren el equilibrio entre los factores antioxidantes y pro-oxidantes presentes en el músculo fresco. Mielche y Bertelsen (1994), Frankel (1993) y Stoick y col. (1989) mostraron el aumento del interés por los antioxidantes naturales de diferentes grupos de investigación en los últimos años, debido a su potencial aplicación en la industria alimentaria y en medicina.

Por otra parte, el uso de antioxidantes sintéticos es muy cuestionable. La utilización de antioxidantes sintéticos como butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), terbutilhidroquinona (TBHQ) y propil galato (PG) se contrapone a las nuevas tendencias de la alimentación, ya que actualmente se propone la producción de alimentos cada vez más seguros, además de duraderos (Bailey, 1988). Esto es así desde que se sospecha que tanto el BHA como el BHT tienen actividad carcinogénica (Nakatani, 1992). Los antioxidantes sintéticos ayudan al control de las reacciones oxidativas en los alimentos; sin embargo, son cada vez menos utilizados en los alimentos por el riesgo que se puede generar en la salud de los consumidores.

Los antioxidantes naturales están presentes en los alimentos como a) constituyentes endógenos, b) sustancias formadas durante el procesado, y c) moléculas de origen natural que son añadidas intencionadamente para preservar la calidad y evitar el desarrollo de sabores y olores desagradables.

Los antioxidantes que se encuentran de manera natural en los alimentos vegetales comprenden compuestos con grupos fenólicos, llamados ácidos fenólicos, fenilpropanoides, flavonoides e isoflavonas, incluyendo catequinas y antocianinas-antocianidinas, así como también fitatos, esteroides y carotenoides, entre otros. Además, las vitaminas C y E son fosfolípidos que pueden actuar como fuente de antioxidantes naturales en los alimentos (Shahidi, 2000). También se han utilizado enzimas antioxidantes para retardar la oxidación lipídica en carne cocinada (Lee y col., 1996).

Debido a que el número de antioxidantes que actualmente se estudian es muy elevado, en este apartado solo se mencionaran de manera general unos

cuantos de los que se han utilizando en carne y productos cárnicos. El orden en que se mencionan no representa de ninguna manera su orden de importancia.

La efectividad de los extractos de plantas utilizados como antioxidantes está directamente relacionada con la dosis administrada (Tabla 2). Aaby y col. (2001) y McCarthy y col. (2001a, b) concluyeron que la concentración óptima de extracto en hamburguesas de pavo y cerdo es de 0.1%; mientras que Formanek y col. (2001) fijaron la dosis óptima para carne de vacuno previamente suplementada con vitamina E en 0.25%.

Muchas plantas, especialmente las especies de la familia *Labiatae* muestran propiedades antioxidantes. Entre las especies, el orégano junto a la salvia han sido ampliamente estudiados por sus actividades antioxidantes, debido a sus componentes fenólicos. Algunos fenoles, entre los que se encuentra el ácido rosmarínico, pueden secuestrar radicales libres, por lo que este tipo de plantas pueden representar una alternativa saludable para la estabilización de grasas en aquellos alimentos que las contienen.

Un estudio reciente (Zheng y Wang, 2001) sobre la actividad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos en diferentes hierbas, identificó al orégano como la especia que tiene la actividad antioxidante más intensa. Fue más alta que la mostrada por el α -tocoferol y comparable a la del BHA frente a la oxidación del ácido linoléico (Nakatani, 1992). En carne y productos cárnicos el orégano ha sido adicionado con la finalidad de preservar la vida útil de la carne aprovechando las propiedades antimicrobianas que se le atribuyen a esta especia (Tassou y col., 1996; Tsigarida y col., 2000). Skandamis y Nychas (2001) estudiaron el efecto de la adición de aceite esencial de orégano (0.05, 0.5 y 1.0%) sobre las propiedades microbiológicas y los atributos fisicoquímicos de carne de ternera almacenada a 5 °C en aire y en dos atmósferas modificadas diferentes. Los resultados más importantes resaltan que la adición de orégano a 0.5 y 1.0% retrasó eficazmente el crecimiento microbiano.

Tabla 2. Efecto de distintas concentraciones de extractos de plantas sobre la reducción de los índices de oxidación en carnes picadas (Gil y col. 2001).

Extracto	Especie animal	Tratamiento	Concentración de extracto (%)	% Reducción de TBARS
Romero	Vacuno	Cocinado	0.03	62
	Pavo	En fresco	0.02	83
	Pavo	En fresco	0.10	95
	Cerdo	En fresco	0.10	78-88
	Cerdo	Cocinado	0.10	45-54
Salvia	Vacuno	Cocinado	0.03	53
	Cerdo	En fresco	0.05	55-81
	Cerdo	Cocinado	0.05	2,5
Té verde (catequinas)	Cerdo	En fresco	0.25	76-88
	Cerdo	Cocinado	0.25	67-78
	Cerdo	En fresco	0.30	68-71
	Cerdo	Cocinado	0.30	95-97

También se ha estudiado la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales y extractos de plantas. Hammer y col. (1999) han confirmado que muchos de estos componentes muestran actividad antimicrobiana y antifúngica. Existen evidencias del papel de los compuestos de romero en la inhibición del crecimiento microbiano. Ouattara y col. (1997) observaron que el aceite de romero tuvo un efecto inhibitor hacia los microorganismos comunes de alteración de la carne (Gram-positivos y Gram-negativos), y que este efecto antimicrobiano es debido a la presencia de la molécula denominada alcanfor. En general, se sabe que las bacterias Gram-positivas son más sensibles a los aceites esenciales de las plantas que las Gram-negativas (Smith-Palmer y col., 1998; Mangena y Muyima, 1999).

Sinergismo entre antioxidantes

En muchas ocasiones la acción de dos antioxidantes que se usan conjuntamente es mayor que la suma de la acción de esos mismos antioxidantes de forma individual. En algunos casos no se conoce muy bien la causa de este fenómeno, probablemente porque los mecanismos de acción

de los antioxidantes, aún del mismo tipo, difieren ligeramente entre ellos y esto permite su complementación; aunque otras veces sí se conoce la razón del sinergismo. Tomando como ejemplo el caso del ácido ascórbico y un derivado fenólico, como el ácido rosmarínico del extracto de romero: un ácido como el ascórbico puede ceder un radical hidrógeno ($H\bullet$) al radical libre antioxidante ($A\bullet$), formado durante la actuación del romero como antioxidante, regenerando la actividad de este último, y por tanto aumentando su capacidad antioxidante, que de otra forma se hubiera acabado.

Se conocen dos tipos de sinergismo: uno que implica la acción de aceptores de radicales libres combinados, y otro que implica la acción combinada de un aceptor de radical libre y un quelante de metales. Los antioxidantes fenólicos ocupan una situación privilegiada; son excelentes donadores de electrones o de hidrógeno y, además, sus radicales intermedios son relativamente estables debido a la deslocalización por resonancia y a la falta de posiciones apropiadas para ser atacados por el oxígeno molecular. El sinergismo mostrado por el romero ha sido muy estudiado; en muchos trabajos de investigación se cita la acción sinérgica que ejerce el romero cuando se combina con otros antioxidantes. Chang y col. (1977) y Basaga y col. (1997) observaron el efecto sinérgico del romero (200 ppm) con ácido ascórbico (500 ppm) en manteca de cerdo y con BHT en algunos aceites, respectivamente.

El uso combinado de algunas vitaminas también ha mostrado un importante efecto sinérgico. Castellini y col. (2000) observaron que la administración en vivo de vitaminas E y C en conejos, disminuye las pérdidas por exudado y la formación de TBARS durante el almacenamiento de la carne. Mitsumoto y col. (1991) observaron que la combinación entre las vitaminas E y C tuvo un efecto sinérgico cuando se añadieron a carne fresca picada de ternera y almacenada bajo condiciones de iluminación a 4 °C.

La carnosina en combinación con vitamina C es capaz de eliminar los radicales libres y secuestrar metales de transición (Lee y Hendricks, 1997; Lee y col., 1998) reduciendo la formación de TBARS. Lee y col. (1999), Djenane y col. (2004) y Sanchez-Escalante y col. (2001), también observaron el efecto sinérgico entre carnosina y vitamina C, cuando la añadieron a carne con la finalidad de retrasar la oxidación, además de potenciar un efecto positivo en la preservación del color de la carne picada

de ternera. En este caso, al igual que en otros, la vitamina C tiene como función promover la actividad antioxidante de los antioxidantes primarios (Elliott, 1999).

Uso de sistemas de iluminación

El color de los alimentos ha sido identificado como uno de los primeros indicadores de calidad, según el producto de que se trate y del uso que posteriormente se le dará; además sirve como uno de los indicadores instantáneos de buena o mala calidad.

Varios estudios han demostrado claramente que la apariencia de la carne en el punto de venta es el factor más importante entre los que determinan la selección (Kropf, 1980; Calkins y col., 1986; Van Oeckel y col., 1999). Mucho se ha insistido en la importancia que dan los consumidores al color de la carne y, se ha indicado que existen dos puntos importantes a los que se les deberá dar preferencia: el primer lugar lo ocupa la apariencia visual, que tendría que cumplir un requerimiento mínimo dependiendo del corte seleccionado; mientras que la palatabilidad es de importancia secundaria, y tiene influencia en las futuras decisiones de compra. Por lo tanto, en el sitio de compra de la carne, los consumidores basan su selección principalmente en la apariencia visual a la hora de realizarla (Naumann y col., 1957; Risvik, 1994).

La tiendas de alimentos asignan un espacio relativamente amplio para poner a disposición del cliente los cortes de carne con alto valor comercial (Kropf, 1980). Para atraer consumidores, utilizan carteles atractivos, vitrinas de exposición y luces brillantes. Las fuentes de iluminación varían ampliamente desde aquellas que se colocan en techos, que pueden ser luces fluorescentes (FL), incandescentes (INC) y de haluro metal (HM), hasta luces colocadas dentro de la vitrina de exposición. Estos últimos usualmente son del tipo FL, y son usados debido a que producen menos calor, comparados con los INC y HM. Las lámparas FL, que emiten mucho menos calor que las INC (Kropf, 1980), no producen tanto estrés sobre las unidades de refrigeración de la vitrina de exposición. Sin embargo, tanto las lámparas FL como las HM son ampliamente usadas debido a su alta eficacia, en comparación con las INC (Barbut, 2001). No obstante, ni la FL ni la HM se consideran como una fuente de iluminación de espectro completo. La lámpara FL "Cool White" es la menos cara y la más popular, pero tiene una

pobre emisión en la región del rojo. Este tipo de lámpara utilizada dentro o encima de las vitrinas de exposición, puede dar lugar a problemas con la apariencia del producto (Kropf, 1980).

La presentación inapropiada es una preocupación constante para los productores, y destinan substanciales recursos que permitan producir y mantener el color de la carne atractivo, como puede ser la adición de antioxidantes al producto, o de suplementos en dietas como la vitamina E que protejan el color de la oxidación, o bien la utilización de fuentes de iluminación con las que se intenta dañar lo menos posible la apariencia de la carne (Barbut, 2001). La utilización de lámparas FL puede favorecer el crecimiento de microorganismos y el desarrollo de los procesos de oxidación. MacDougall (1982) encontró que el mayor problema en la estabilidad del color de la carne conservada en vitrinas de exposición, es aquel relacionado con las reacciones foto-oxidativas que se llevan a cabo. Andersen y col. (1989) indicaron que existen varios factores que influyen en la velocidad con que se realizan este tipo de reacciones, como pueden ser: la longitud de onda, la intensidad de la iluminación, así como las propiedades de permeabilidad a la luz de la película que se utilice en el envasado. De acuerdo con estas observaciones, la estabilidad del color de la carne refrigerada se mejora por la utilización de material de envasado impermeable a los UV (Bertelsen y Boegh-Soerensen, 1986). La incorporación de un absorbente de radiaciones UV en el material de envasado puede resolver los problemas de optimización de las condiciones de envasado de carnes expuestas en las vitrinas de exposición (Andersen y col., 1989); sin embargo, por razones de marketing, se usa material transparente. El inconveniente que tienen estos materiales es que ofrecen una escasa barrera contra las radiaciones UV.

Existe una gran cantidad de estudios en los que se ha comprobado que la luz puede causar oxidación en grasas y aceites. La luz con longitudes de onda corta, tiene un efecto muy marcado sobre la oxidación de la grasa de los alimentos (Lennersten, 1995), y juega un papel muy importante en la degradación del color de la carne (Renerre y Labadie, 1993). Se ha encontrado que la luz favorece la oxidación de la oximioglobina, dando lugar a la formación de metamioglobina (Bekbölet, 1990). También, se ha concluido que estos efectos están directamente relacionados con la distribución de las longitudes de onda de la fuente de iluminación (incandescente, filamento de tungsteno, fluorescente, radiación UV) (Kropf,

1980), y hasta con posibles aumentos de temperatura (Hood, 1980). La luz fluorescente blanca generalmente no causa una apreciable decoloración de la carne, pero la exposición a la luz UV causa bastante desecación en la carne envasada aeróbicamente, así como oxidación de mioglobina y cambios de color a tonalidades marrón durante una corta exposición (Renerre, 1990). También la luz visible puede alterar ligeramente el color superficial de la carne (Spikes, 1981). En un estudio realizado por Bertelsen y Skibsted (1987) se mostró que la radiación de 254 nm es 4000 veces más eficiente que la de 546 nm en la oxidación de la mioglobina; y también se ha indicado que tanto la luz visible como la UV, contribuyen a provocar rancidez en los alimentos (Lennersten, 1998).

A pesar de que existen algunos estudios sobre los efectos de la luz en carnes que se encuentran expuestas en vitrinas para su comercialización, aún existe cierta controversia al respecto. Ramsbottom y col. (1951) y Kraft y Ayres (1954) no observaron diferencias debidas al hecho de almacenar carne en presencia o ausencia de luz. Sin embargo, años después, Marriott y col. (1967) indicaron que la carne fresca que se encuentra almacenada en presencia de luz si sufría cambios de color. Djenane y col. (2001) estudiaron los efectos de la utilización de tres diferentes tipos de iluminación (fluorescente, con filtro para UV y lámpara de baja radiación UV), sobre filetes de carne envasados en atmósfera modificada y mantenidos en vitrina de exposición; y concluyeron que el uso de la lámpara que emite radiación en el rango del UV cercano (360 nm) mostró los efectos más negativos respecto a la vida útil de la carne; sin embargo, la utilización de lámparas sin emisión de radiación UV, o bien el uso de un filtro UV (<400 nm), permitió alargar considerablemente el tiempo de vida útil de la carne, comparable a la carne que fue almacenada en la oscuridad

Además de la presencia de luz, la oxidación de la mioglobina a metamioglobina también puede ser acelerada por los incrementos de temperatura. Cuando las temperaturas son superiores a las de refrigeración tiene lugar una rápida oxidación. Las bajas temperaturas inhiben la oxidación de la mioglobina, lo cual da lugar a que sea la foto-oxidación la que adquiera mayor importancia (Bertelsen y Skibsted, 1987). Bertelsen y Boegh-Soerensen (1986) encontraron que cuando la temperatura fue de +5°C, la utilización de filtros contra la radiación UV no protegió significativamente la carne durante su exposición bajo iluminación.

Conclusión

En la elaboración de los alimentos estables y seguros se utilizan muchos métodos de conservación, tales como calentamiento, refrigeración, congelación, liofilización, curado, salado, adición de aditivos (naturales y sintéticos), así como eliminación de oxígeno o modificación de la atmósfera gaseosa en la que se conserva el alimento. Anteriormente se determinaron los valores críticos de los parámetros anteriores respecto a la inactivación, supervivencia y crecimiento de los microorganismos en los alimentos, y ahora constituyen la base de la conservación de alimentos. En muchas ocasiones el efecto simultáneo de diferentes factores de conservación puede ser aditivo e incluso sinérgico, por ello la importancia de utilizar una combinación de métodos de conservación. Es de esperar que el futuro se desarrollarán nuevas aplicaciones de la tecnología, tanto para optimizar los alimentos tradicionales, como para los alimentos de nueva creación.

Referencias

- AABY, K., SKRVTEN, A.G., SKREDE, G.; MIELNIK, M. 2001. Antioxidant effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis*), sage (*Salvia officinalis* L.) and oregano (*Origanum vulgare*) extracts during frozen storage of turkey meat. Paper 30C. IFT Annual Meeting Proceedings. New Orleans, LA, USA.
- AKAMITTATH, J.G., BREKKE, C.J., SCHANUS, E.G. 1990. Lipid peroxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. *Journal of Food Science*, 55:1513-1517.
- ANDERSEN, H.J., BERTELSEN, G., SKIBSTED, L.H. 1989. Colour stability of minced beef. Ultraviolet barrier in packaging material reduces light-induced discoloration of frozen products during display. *Meat Science*, 25:155-159.
- ANTONINI, E. 1965. Interrelationship between structure and function in hemoglobin and myoglobin. *Physiology Reviews*, 45:123.
- ARUOMA, O.I. 1994. Nutrition and health aspects of free radicals and antioxidants. *Food Chemistry and Toxicology*, 32:671-683.
- BAILEY, M.E. 1988. Inhibition of warmed-over flavor, with emphasis on Maillard reaction products. *Food Technol.*, 42(6): 123-126.
- BARBUT, S. 2001. Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts. *Meat Science*, 59:187-191.
- BASAGA, H., TEKKAYA, C., ACIKEL, F. 1997. Antioxidative and free radical scavenging properties of rosemary extract. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 30:105-108.

- BEKBÖLET, M. 1990. Light effects on food: Review. *Journal of Food Protection*, 53:430-440.
- BEMBERS, M., SATTERLEE, L.D. 1975. Physico-chemical characterization of normal and PSE porcine muscle myoglobins. *Journal of Food Science*, 40:40.
- BERTELSEN, G., BOEGH-SOERENSEN, L. 1986. The effect of lighting on color of beef. *Proc. I.I.R-Meeting. Bristol*, pp. 433-438.
- BERTELSEN, G., SKIBSTED, L.H. 1987. Photooxidation of oxymyoglobin. Wavelength dependence of quantum yields in relation to light discoloration of meat. *Meat Science*, 19:243-251.
- BRODY, A.L. 1996. *Envasado de Alimentos en Atmósferas Controladas, Modificadas y en Vacío*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A.
- BROWN, M.H. 1982. *Meat Microbiology*. London: Applied Science Publishers LTD.
- CALKINS, C.R., GOLL, S.J., MANDIGO, R.W. 1986. Retail display lighting type and fresh pork color. *Journal of Food Science*, 51:1141.
- CASTELLINI, C., DAL BOSCO, A., BERNARDINI, M. 2000. Improvement of lipid stability of rabbit meat by vitamin E and C administration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:46-53.
- CHAN, W.K.M., FAUSTMAN, C., DECKER, E.A. 1997. Oxymyoglobin oxidation as affected by oxidation products of phosphatidylcholine liposomes. *Journal of Food Science*, 62:709-712.
- CHANG, S.S., MATIJASEVIC, B.O., HSIEH, O.L., HUANG, C.L. 1977. Natural antioxidants from rosemary and sage. *Journal of Food Science*, 42:1102-1106.
- DAINTY, R.H., MACKAY, B.M. 1992. The relationship between the phenotypic properties of bacteria from chill-stored meat and spoilage processes. *Journal of Applied Bacteriology*, 73:103-114
- DAINTY, R.H., SHAW, B.G., ROBERTS, T.A. 1983. Microbial and chemical changes in chill-stored red meats. pp. 151-178. *En Food Microbiology: Advances and Prospects*. Roberts, T.A., Skinner, F.A. (ed.). London: Academic Press.
- DEAN, R. W., C. O. BALL. 1960. Analysis of the myoglobin fractions on the surface of beef cut. *Food Technol.* 14:271-285.
- DJENANE, D., SÁNCHEZ-ESCALANTE, A., BELTRÁN, J.A., RONCALÉS, P. 2001. Extension of the retail display life of fresh beef packaged in modified atmosphere by varying lighting conditions. *Journal of Food Science*, 66:181-186.
- DJENANE, D., MARTÍNEZ, L., SÁNCHEZ-ESCALANTE, A., BELTRÁN, J.A., RONCALÉS, P. 2004. Antioxidant effect of carnosine and carnitine in fresh beef steaks stored under modified atmosphere. *Food Chemistry*, 85(3): 453-459.

- EGAN, A.F., SHAY, B.J., STANLEY, G. 1980. Meat Res. In CSIRO (Ann. Rpt.), 30. Citado por: Ledward, D.A. 1984. Haemoproteins in meat and meat products. Ch. 2. In Developments in Food Proteins -3. (B.J.F. Hudson, ed.) pp. 33. Elsevier Appl. Sci. Publ. Co., New York.
- ELLIOTT, J.G. 1999. Application of antioxidant vitamins in foods and beverages. *Food Technology*, 53(2):46-48.
- EMPEY, W.A., SCOTT, W.J., VICKERY, J.R. 1934. The export of chilled beef: The preparation of the "Idomeneus" shipment at the Brisbane abattoir. *Australian Journal of the Council of Science and Industry Research*, 7:73-77.
- ENSER, M. 1987. What is lipid oxidation. *Food Science and Technology Today*, 1:172-173.
- ERICKSON, M.C. 1998. Lipid oxidation in muscle foods. En: *Food lipids*, C.C. Akoh and D.B. Min (eds). New York: Marcel Dekker. pp. 297-332.
- FARBER, J. M. 1991. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology - a review. *J. Food Prot.* 54:58-70.
- FARKAS, J. 1998. Irradiation as a method for decontaminating food: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 44(3):189-204.
- FAUSTMAN, C., CASSENS, R.G. 1990. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *Journal of Muscle Foods*, 1:217-243.
- FAUSTMAN, C., CASSENS, R.G., SCHEAFER, D.M., BUEGE, D.R., WILLIAMS, S.N., SHELLER, K.K. 1989. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementation on vitamin E. *Journal of Food Science*, 54:858-862.
- FLEMING, H.P., BLUMER, T.N., CRAIG, H.B. 1960. Quantitative estimations of myoglobin and hemoglobin in beef muscle extracts. *Journal of Animal Science*, 19:1164.
- FORMANECK, Z., KERRY, J.P., HIGGINS, F.M., BUCKLEY, D.J., MORRISSEY, P.A., FARKAS, J. 2001. Addition of synthetic and natural antioxidants to α -tocopheryl acetate supplemented beef patties: effects of antioxidants and packaging on lipid oxidation. *Meat Science*, 58:337-341.
- FORREST, C.J., ABERLE D.E., HEDRICK, B.H., JUDGE, D.M., MERKEL, A.R. 1979. *Fundamentos de Ciencia de la Carne*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pp. 21, 26, 30-32, 36-38; 59-66; 129-131.
- FOX, J.B. 1966. The Chemistry of meat pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 14:207-210.
- FOX, J.B., NICHOLAS, R.A., ACKERMAN, S.A., SWIFT, C.E. 1974. A multiple wavelength analysis of the reaction between hydrogen peroxide and metmyoglobin. *Biochem.*, 13:5178.

- FRANKEL, E.N. 1984. Lipid oxidation: mechanisms, products and biological significance. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 61:1908-1917.
- FRANKEL, E.N. 1993. In search of better methods to evaluate natural antioxidants and oxidative stability in food lipids. *Trends in Food Science and Technology*, 4:220-225.
- GATELLIER, P.H., ANTÓN, M., CHRAITI, F., RENERRE, M. 1992. Relationships between lipid oxidation, antioxidant enzyme activities and colour stability in raw beef during storage. *Proceedings 38th International Congress of Meat Science and Technology*. August 23th-28st. Clermont-Ferrand. France. Pp 495-498.
- GIDDINGS, G.G. 1974. Reduction of ferrymyoglobin in meat. *CRC Critical Reviews in Food Technology*, 5:143.
- GIL, M.D., BAÑÓN, S.J., CAYUELA, J.M., LAENCINA, J. Y GARRIDO, M.D. 2001. Utilización de extractos de plantas como antioxidantes naturales en carne y productos cárnicos: revisión. *Eurocarne*, 101:29-41.
- GILL, C.O. 1982. Microbial Interaction with meats. En: *Meat Microbiology*, Brown, M.H. (ed.). London: Applied Science Publishers LTD, pp. 225-264.
- GILL, C.O. 1995. MAP and CAP of fresh, red meats, poultry and offals. En: J.M. Farber, K.L., Dodds, ed. *Principles of Modified-Atmosphere and Sous Vide Product Packaging*. Lancaster, PA: Technomic Publishing, 1995, pp. 105-136.
- GILL, C.O., MCGINNIS, J.C. 1995. The effects of residual oxygen concentration and temperature on the degradation of the colour of beef packaged under oxygen-depleted atmospheres. *Meat Science*, 39:387-394.
- GOVINDARAJAN, S. 1973. Fresh meat color. *CRC. Critical Reviews of Food Science and Nutrition*, 1: 117-140.
- GRAY, J.I., GOMAA, E.A., BUCKLEY, D.J. 1996. Oxidative quality and shelf-life of meats. *Meat Science*, 43:S111-S123.
- GREENE, B.E. 1971. Interrelations between myoglobin, lipids, flavor, and color of meat. *Meat Industry Research Conference Proceedings*, 27-34.
- HALLIWELL B. 1999. Antioxidant defense mechanisms: from the beginning to the end (of the beginning). *Free Radical Research*, 31:261-72.
- HAMMER, K.A., CARSON, C.F., RILEY, T.V. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86:985-990.
- HAREL, S., KANNER, J. 1985. Hydrogen peroxide generation in ground muscle tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33:5178.
- HOOD, D.E. 1980. Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packaged beef. *Journal of Food Science*, 32:214.

- ICMSF. 2001. *Microorganismos de los Alimentos 6. Ecología microbiana de los productos alimentarios*. Editorial Acribia. Zaragoza
- JADHAV, S.J., NIMBALKAR, S.S., KULKANI, A.D., MADHAVI, D.L. 1995. Lipid Oxidation in Biological and Food Systems. En: *Food Antioxidants: Technological, Toxicological and Health Perspectives*. Madhavi, D.L., Deshpande, S.S. and Salunke, D.K. (eds.). New York: Marcel Dekker Inc. pp. 5-63.
- JENSEN, L.B. 1945. *Microbiology of Meats*. Champaign, Ill. USA: The Garrard Press.
- KANNER, J., GERMAN, J.B., KINSELLA, J.E. 1987. Initiation of lipid peroxidation in biological systems. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 25:317-364.
- KRAFT, A.A., AYRES, J.C. 1954. Effect of display case lighting on color and bacterial growth on packaged fresh beef. *Food Technology*, 8(6):290.
- KROPF, D.H. 1980. Effects of retail display conditions on meat color. *Proceedings of Reciprocal Meat Conference*, 33:15-32.
- LABUZA, T.P. 1971. Kinetics of lipid oxidation in foods. *CRC Critical Reviews in Food Technology*, 2:355.
- LADIKOS, D., LOUGOVOIS, V. 1990. Lipid oxidation in muscle foods: a review. *Food Chemistry*, 35:295-314.
- LAWRIE, R.A. 1985. The storage and preservation of meat. 1. Temperature control. En *Meat Science*. Oxford, United Kingdom: Pergamon Press. pp. 112-137.
- LEDWARD, D.A. 1970. Metmyoglobin formation in beef stored in carbon dioxide enriched and oxygen depleted atmospheres. *Journal of Food Science*, 35:33-37.
- LEDWARD, D.A., MACFARLANE, J.J. 1971. Some observations on myoglobin and lipid oxidation in frozen beef. *Journal of Food Science*, 36:987-989.
- LEDWARD, D.A., SMITH, C.G., CLARKE, H.M., NICHOLSON, M. 1977. Relative role of catalysts and reductants in the formation of metmyoglobin in aerobically stored beef. *Meat Sci.*, 1:149.
- LEDWARD, D.A. 1984. Haemoprotein in meat and meat products. Ch. 2. En *Developments in Food Proteins-3*, Hudson, B.J.F. (ed.). New York: Elsevier Appl. Sci. Publ. Co. pp. 33.
- LEDWARD, D.A. 1985. Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. *Meat Science*, 15:149.
- LEE, B.J., HENDRICKS, D.G. 1997. Antioxidant effects of L-carnosine on liposomes and beef homogenates. *Journal of Food Science*, 62:931-934, 1000.

- LEE, B.J., HENDRICKS, D.G., CORNFORTH, D.P. 1998. Antioxidant effects of carnosine and phytic acid in a model beef system. *Journal of Food Science*, 63:394-398.
- LEE, S.K., MEI, L., DECKER, E.A. 1996. Lipid oxidation in cooked turkey enzymes as affected by added antioxidant enzymes. *Journal of Food Science*, 61(4):726-728, 795.
- LEFENS, M. 1987. Wilson's tendercuts. One company's commitment to the future. *Meat Processing*, 26(6), 58.
- LEHNINGER, A.L. 1982. *Principles of Biochemistry*. Worth Publisher, New York.
- LENNERSTEN, M. 1995. The influence of light and packaging materials on oxidative deterioration in foods. A literature review. SIK-Rapport. N°620, 61pp.
- LENNERSTEN, M. 1998. Light induced lipid oxidation and colour changes in foods influence of wavelength and packaging material. SIK-Report N°635.
- LEVY, M.J., LIVINGSTON, D.J., CRIDDLE, R.S., BROWN, W.D. 1985. Isolation and characterization of metmyoglobin reductase from yellow-fin tuna (*Thunnus albacares*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 81: 809.
- LIVINGSTON, D.J., BROWN, W.D. 1981. The chemistry of myoglobin and its reactions. *Food Technology*, 35(5), 244.
- LIVINGSTON, D.J., LAMAR, G.N., BROWN, W.D. 1983. Myoglobin diffusion in bovine heart muscle. *Science*, 220:71.
- LUNDQUIST, B.R. 1994. El envasado de la carne y los productos cárnicos. En *Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos*, Price, J.F. y Schweigert, B.S. (eds). Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A. pp. 441-455.
- MACDOUGALL, D.B. 1982. Changes in the colour and opacity of meat during processing and storage. *Food Chemistry*, 9:75-88.
- MANGENA, T., MUYIMA, N.Y.O. 1999. Comparative evaluation of the antimicrobial activities of essential oils of *artemisia afra*, *pteronia incana* and *rosmarinus officinalis* on selected bacteria and yeast strains. *Letters in Applied Microbiology*, 28:291-296.
- MARRIOTT, N.G., NAUMANN, H.D., STRINGER, W.C., HEDRICK, H.B. 1967. Color stability of prepackaged fresh beef as influenced by pre-display environments. *Food Technology*, 21(11):104.
- MATTICK, A.T.R., HIRSCH, A. 1947. Further observation on an inhibitor (nisin) from lactic streptococci. *Lancet*, 2:5-7.
- MCCARTHY, T.L., KERRY, J.P., KERRY, J.F., LYNCH, P.B., BUCKLEY, D.J. 2001a. Evaluation of the antioxidant potential of natural food/plant extracts as compared with synthetic antioxidants and vitamin E in raw and cooked pork patties. *Meat Science*, 57:45-52.

- MCCARTHY, T.L., KERRY, J.P., KERRY, J.F., LYNCH, P.B. & BUCKLEY, D.J. 2001b. Assessment of the antioxidant potential of natural food and plant extracts in fresh and previously frozen pork patties. *Meat Science*, 57:177-184.
- MIELCHE, M.M., BERTELSEN, G. 1994. Approaches to the prevention of warmed-over flavour. *Trends in Food Science and Technology*, 5:322-327.
- MITSUMOTO, M., C. FAUSTMAN, R. G. CASSENS, R. N. ARNOLD, D. M. SCHAEFER, K. K. SCHELLER. 1991. Vitamin E and C improve pigment and lipid stability in ground beef. *Journal of Food Science*, 56(1):194-197.
- MONAHAN, F. J. 2000. Oxidation of Lipids in Muscle Foods: Fundamental and Applied Concerns. In: E. Decker, C. Faustman, and C. J. Lopez-Bote. (ed.) *Antioxidants in Muscle Foods, Nutritional Strategies to Improve Quality*. p 229. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- MOREAU, C., DUFRAISSE, C. 1926. Anti-oxygenic and pro-oxygenic activity. *Chem. Rev.* 3: 113-165
- MOTTRAM, D.S. 1987. Lipid oxidation and flavour in meat and meat products. *Food Science and Technology Today*, 1:159-162.
- NAKATANI, N. 1992. Natural antioxidants from spices. In *Phenolic Compounds in Food and their Effects on Health. II. Antioxidants and Cancer Prevention*. Huang, M.T., Ho, C.T. y Lee, C.Y. (eds). Washington, DC: ACS Symposium Series 507, American Chemical Society. pp. 72-86.
- NAUMANN, H.D., MCBEE, J.L.JR., BRADY, D.E. 1957. Color stability of frozen beef as influenced by illumination, temperature and storage. *Food Technology*, 11, 31 (Abstract 127).
- O'GRADY, M.N., MONAHAN, F.J., BRUNTON, N.P. 2001. Oxymyoglobin oxidation and lipid oxidation in bovine muscle: Mechanistic studies. *Journal of Food Science*, 66:386-392.
- O'KEEFE, M., HOOD, D.E. 1982. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef from muscles of differing colour stability. *Meat Science*, 7:209.
- OUATTARA, B., SIMARD, R.E., HOLLEY, R.A., PIETTE, G.J.P., BÉGIN, A. 1997. Antibacterial activity of selected fatty acids and essential oils against six meat spoilage organisms. *International Journal of Food Microbiology*, 37:155-162.
- PEARSON, A.M., LOVE, J.D., SHORLAND, F.B. 1977. Warmed-over flavour in meat, poultry and fish. *Advances in Food Research*, 23:1-74.
- RAMSBOTTOM, J.M., GOESER, P.A. and Schultz, H.W. 1951. How light discolors meat. What to do about it. *Food Industry*, 23:120.

- RENERRE, M. 1990. Review: Factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 25:613-630.
- RENERRE, M., LABADIE, J. 1993. Fresh meat packaging and meat quality. *Proceedings of the 39th International Congress of Meat Science and Technology*, Calgary, Canada, pp. 361-387.
- RICKANSRUD, D.A., HENRICKSON, R.L. 1967. Total pigments and myoglobin concentration in four bovine muscles. *Journal of Food Science*, 32:57.
- RISVIK, E. 1994. Sensory properties and preferences. *Meat Science*, 36:67-77.
- ROSSET, R. 1982. Chilling, freezing and thawing. En *Meat Microbiology*, Brown, M.H. London: Applied Science Publishers LTD, pp. 265-318.
- RUZEK, D.C. 1989. Process for vacuum packaging fresh meat products. U.S. patent 4,812,320, Mar. 14.
- SÁNCHEZ-ESCALANTE, A., DJENANE, D., TORRESCANO, G., BELTRÁN, J.A., RONCALÉS, P. 2001. The effects of ascorbic acid, taurine, carnosine and rosemary powder on colour and lipid stability of beef patties packaged in modified atmosphere. *Meat Science*, 58:421-429.
- SEBRANEK, J.G. 1986. Meat is dynamic-factors in controlled atmosphere packs. *The National Provisioner*, 194 (9): 107-112.
- SHAHIDI, F. 2000. Natural phenolic antioxidants and their food applications. *Lipid Technology*, July:80-84.
- SHAY, B.J., EGAN, A.F. 1990. Extending retail storage life of beef and lamb by modified atmosphere packaging. *Food Australia*, 42:399-404.
- SKANDAMIS, P.N., NYCHAS, G.J.E. 2001. Effect of oregano essential oil on microbiological and physico-chemical attributes of minced meat stored in air and modified atmospheres. *Journal of Applied Microbiology*, 91:1011-1022.
- SMITH-PALMER, A., STEWART, J., FYFE, L. 1998. Antimicrobial properties of plant essential Oil and essences against five important food-borne pathogens. *Letters in Applied Microbiology*, 26:118-122.
- SPIKES, J.D. 1981. Photodegradation of foods and beverages. *Photochemical and Photobiological Reviews*. 6:39-85.
- STOICK, S.M., LAI, S., GRAY, J.I., CRACKEL, R.L., BOOREN, A.M., SMITH, D.M., BUCKLEY, D.J. 1989. Antioxidative effects of an oleoresin rosemary in restructured meat products. *Proceeding of 35th International Congress of Meat Science and Technology*. Copenhagen, Denmark., August 20th-25th. pp 425-430.
- TASSOU, C.C., DROSINOS, E.H., NYCHAS, G.J.E. 1996. Inhibition of resident microbial flora and pathogen inocula on cold fresh fillets in olive oil, oregano, and lemon juice under modified atmosphere or air. *Journal of Food Protection*, 58:31-34.

- TAYLOR, A.A. 1985. Packaging fresh meat. En Developments in meat science 3. Chapter 4. Lawrie, R. (ed.). London: Elsevier Applied Science Publishers. pp. 89-113.
- TSIGARIDA, E., SKANDAMIS, P., NYCHAS, G.J.E. 2000. Behaviour of *Listeria monocytogenes* and autochthonous flora on meat stored under aerobic, vacuum and modified atmosphere packaging conditions with or without the presence of oregano essential oil at 5 °C. Journal of Applied Microbiology, 89:901-909.
- VAN OECKEL, M.J., WARNANTS, N., BOUCQUÉ, Ch. V. 1999. Measurement and prediction of pork colour. Meat Science, 52:347-354.
- WAITES, W.M. 1988. Meat microbiology: a reassessment. En Developments in Meat Science-4. Lawrie, R. (ed.). London: Elsevier Applied Science. pp. 317-333.
- WARRISS, P.D., RHODES, D.N. 1977. Haemoglobin concentrations in beef. Journal of the Science of Food and Agriculture, 28:931.
- WOLF, G. 2005. The discovery of the antioxidant function of vitamin E: the contribution of Henry A. Mattill. Journal of Nutrition, 135(3): 363-366.
- YIN, M.C., FAUSTMAN, C. 1994. The influence of microsomal and cytosolic components on the oxidation of myoglobin and lipid in vitro. Food Chemistry, 51:159-164.
- ZHENG, W., WANG, S.Y. 2001. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49:5165-5170.