

Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre el establecimiento de fecha de consumo preferente en carne congelada en establecimientos de comercio al por menor

Número de referencia: AESAN-2022-009

Informe aprobado por el Comité Científico en su sesión plenaria de 20 de septiembre de 2022

Grupo de trabajo

Antonio Valero Díaz (Coordinador), Carlos Alonso Calleja, Pablo Fernández Escámez, Carlos Manuel Franco Abuín, Sonia Marín Sillué y Gloria Sánchez Moragas

Comité Científico

Carlos Alonso Calleja Universidad de León	Carlos M. Franco Abuín Universidade de Santiago de Compostela	Sonia Marín Sillué Universitat de Lleida	Magdalena Rafecas Martínez Universitat de Barcelona
Houda Berrada Ramdani Universitat de València	Ángel Gil Izquierdo Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Francisco J. Morales Navas Consejo Superior de Investigaciones Científicas	María del Carmen Recio Iglesias Universitat de València
Irene Bretón Lesmes Hospital Gregorio Marañón de Madrid	María José González Muñoz Universidad de Alcalá de Henares	Victoria Moreno Arribas Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Ana María Rivas Velasco Universidad de Granada
Araceli Díaz Perales Universidad Politécnica de Madrid	Isabel Hernando Hernando Universitat Politècnica de València	Silvia Pichardo Sánchez Universidad de Sevilla	Gloria Sánchez Moragas Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Pablo Fernández Escámez Universidad Politécnica de Cartagena	Esther López García Universidad Autónoma de Madrid	María del Puy Portillo Baquedano Universidad del País Vasco	Antonio Valero Díaz Universidad de Córdoba

Secretario técnico

Vicente Calderón Pascual

Gestión técnica del informe AESAN: Paula Arrabal Durán

Resumen

El Reglamento Delegado (UE) 2021/1374, que modifica el Reglamento (CE) N° 853/2004 sobre requisitos específicos de higiene de los alimentos de origen animal, introduce la posibilidad de que los operadores de empresa alimentaria que lleven a cabo una actividad de venta al por menor puedan congelar carne con destino a la donación de alimentos. Por otra parte, actualmente en España el Real Decreto 1376/2003 prohíbe la descongelación, la recongelación y la congelación de las carnes y derivados cárnicos en los establecimientos de venta al por menor. Sin embargo, se está tramitando un proyecto de Real Decreto por el que se regulan determinados requisitos en materia de

higiene de la producción y comercialización de los productos alimenticios en establecimientos de comercio al por menor, que va a derogar esta norma y va a establecer las condiciones en las que se va a poder congelar carne.

A la hora de poder permitirse la congelación de la carne con fines diferentes a la donación (inmediatamente tras su recepción o inmediatamente tras el periodo de maduración), los operadores de dichos establecimientos deberán establecer un periodo de vida útil. La realización de estudios de vida útil puede resultar compleja y costosa, por lo que, para facilitar esta tarea a los operadores, y además orientar a las autoridades competentes encargadas del control oficial, el Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) ha proporcionado unas orientaciones acerca del periodo vida útil para la carne, con el objetivo de poder establecer una fecha de consumo preferente.

Los procesos de congelación y descongelación de la carne producen modificaciones de los parámetros de naturaleza microbiológica, fisicoquímica y sensorial, afectando directamente a su vida útil. Tras la revisión de la literatura científica existente y de las recomendaciones de diferentes instituciones, se proponen una serie de orientaciones sobre posibles fechas de consumo preferente para carne congelada según la especie:

- Vacuno: 12 meses a -18 °C, congelando inmediatamente tras la recepción. Los tratamientos de maduración recomendados son 14 días a <2 °C, seguido de una congelación de 9 meses a -18 °C.
- Ovino: 12 meses a -18 °C, congelando inmediatamente tras la recepción. Los tratamientos de maduración recomendados son 14 días a -1,5 °C, seguido de una congelación de 9 meses a -18 °C.
- Caprino: el almacenamiento en refrigeración recomendado puede ser de entre 3-5 días a 4,44 °C, o bien en congelación durante 12 meses a -18 °C.
- Porcino: 6 meses a -18 °C, congelando inmediatamente tras la recepción. No se han encontrado estudios concluyentes sobre el periodo de maduración previo a la congelación.
- Ave: 12 y 9 meses a -18 °C para productos enteros y despiezados, respectivamente, congelando inmediatamente tras la recepción. El periodo de maduración previo recomendado es de 9 días a < -1 °C.
- Conejo: dada la escasa información al respecto, no es posible establecer una recomendación a nivel global que pueda ser aplicable a este tipo de carne.

En cuanto a la descongelación, se recomienda hacerlo en refrigeración, tras lo cual la carne debe guardarse refrigerada y consumirse en el menor tiempo posible. Si no es posible, se puede descongelar en un microondas, o bien pasándola por agua fría, en cuyo caso debe ser cocinada inmediatamente después.

Por último, hay que tener en cuenta que, en el suministro y venta de carne congelada por parte de los establecimientos minoristas, es imprescindible cumplir con unas buenas prácticas de higiene y manipulación.

Palabras clave

Carne congelada, congelación, vida útil, fecha de consumo preferente, establecimiento de comercio al por menor, maduración.

Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the determination of the date of minimum durability for frozen meat in retail establishments

Abstract

Delegated Regulation (EU) 2021/1374, which amends Regulation (EC) No. 853/2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin, introduces the possibility for food business operators carrying out a retail activity to freeze meat for food donation purposes. Furthermore, Royal Decree 1376/2003 currently prohibits thawing, refreezing and freezing of meat and meat derivatives in retail establishments in Spain. However, a draft Royal Decree is currently being processed to regulate certain hygiene requirements for the production and marketing of food products in retail establishments, which will repeal this regulation and establish the conditions under which meat can be frozen.

In order to allow meat to be frozen for purposes other than donation (immediately upon receipt or immediately after a maturation period), operators of such establishments must establish its shelf-life. Carrying out shelf-life studies can be complex and costly, so, in order to facilitate this task for operators, as well as to guide the competent authorities in charge of official control, the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) has provided guidelines on the shelf-life period for meat, with the aim of being able to establish a date of minimum durability.

Meat freezing and thawing processes produce changes in microbiological, physicochemical and sensory parameters, directly affecting its shelf-life. Following the review of existing scientific literature and recommendations of different institutions, a series of guidelines are proposed on possible date of minimum durability for frozen meat depending on the species:

- Beef: 12 months at -18 °C, freezing immediately upon receipt. Recommended maturation treatments are 14 days at <2 °C, followed by a 9-month freeze at -18 °C.
- Sheep: 12 months at -18 °C, freezing immediately upon receipt. The recommended maturation treatments are 14 days at -1.5 °C, followed by a 9-month freeze at -18 °C.
- Goat: the recommended refrigeration storage can be between 3-5 days at 4.44 °C, or frozen for 12 months at -18 °C.
- Porcine: 6 months at -18 °C, freezing immediately upon receipt. No conclusive studies on the maturation period prior to freezing have been found.
- Poultry: 12 and 9 months at -18 °C for whole and cut products, respectively, freezing immediately upon receipt. The recommended prior maturation period is 9 days at < -1 °C.
- Rabbit: given the limited information available, it is not possible to establish a global recommendation applicable to this type of meat.

As for thawing, it is recommended to do it under refrigeration, after which the meat must be kept refrigerated and consumed in the shortest possible time. If this is not possible, it can be defrosted in a microwave or by passing it through cold water, in which case it must be cooked immediately afterwards.

Finally, it should be kept in mind that, in the supply and sale of frozen meat by retail establishments, it is essential to comply with good hygiene and handling practices.

Key words

Frozen meat, freezing, shelf-life, date of minimum durability, retail establishment, maturation.

Cita sugerida

Comité Científico AESAN. (Grupo de Trabajo) Valero, A., Alonso, C., Fernández, P., Franco, C.M., Marín, S. y Sánchez, G. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre el establecimiento de fecha de consumo preferente en carne congelada en establecimientos de comercio al por menor. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 2022, 36, pp: 209-236.

1. Introducción

El Reglamento Delegado (UE) 2021/1374 de la Comisión de 12 de abril de 2021 que modifica el anexo III del Reglamento (CE) N° 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requisitos específicos de higiene de los alimentos de origen animal (UE, 2021), introduce la posibilidad de que los operadores de empresa alimentaria que lleven a cabo una actividad de venta al por menor puedan congelar carne con destino a la donación de alimentos. Para ello deben cumplir las condiciones siguientes:

- a) en el caso de la carne a la que se aplique una fecha de caducidad de conformidad con el artículo 24 del Reglamento (UE) N° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo (UE, 2011), antes del vencimiento de dicha fecha,
- b) sin demora injustificada, a una temperatura igual o inferior a -18 °C,
- c) asegurándose de que la fecha de congelación esté documentada y se indique en la etiqueta o por otros medios,
- d) exceptuando la carne que haya sido congelada previamente (carne descongelada), y
- e) respetando cualquier condición establecida por las autoridades competentes para la congelación y el uso ulterior como alimento.

Por otra parte, actualmente en España el Real Decreto 1376/2003, de 7 de noviembre, por el que se establecen las condiciones sanitarias de producción, almacenamiento y comercialización de las carnes frescas y sus derivados en los establecimientos de comercio al por menor, prohíbe la descongelación, la recongelación y la congelación de las carnes y derivados cárnicos en los establecimientos de venta al por menor (BOE, 2003). Sin embargo, se está tramitando un proyecto de Real Decreto por el que se regulan determinados requisitos en materia de higiene de la producción y comercialización de los productos alimenticios en establecimientos de comercio al por menor, que va a derogar esta norma y va a establecer las condiciones en las que los establecimientos de comercio al por menor van a poder congelar carne. En concreto, está previsto que disponga que, en el caso de la carne fresca, se deberá congelar inmediatamente tras su recepción o inmediatamente tras finalizar el periodo de maduración, salvo que vaya a destinarse a la donación, en cuyo caso se registrará por lo establecido en el punto 4 del capítulo VII de la sección I y en el punto 5 del capítulo V de la sección II del anexo III del Reglamento (CE) N° 853/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004 (UE, 2004). No podrá venderse descongelada. Hay que tener en cuenta que, una vez se congele la carne, el operador del establecimiento de comercio al por menor deberá establecer la vida útil de la misma.

La realización de estudios de vida útil puede resultar compleja y costosa para establecimientos de comercio al por menor, que a menudo son de muy pequeña dimensión y no pueden afrontar su realización. Para facilitarles esta tarea a los operadores, de manera que cuenten con una orientación sobre la vida útil de los productos congelados, se favorezca la donación de carne congelada y se reduzca el desperdicio, se solicita el presente informe. De manera paralela servirá de orientación a las autoridades competentes encargadas del control oficial de estos establecimientos, para valorar si la vida útil establecida para la carne congelada es adecuada.

Con el fin de establecer una fecha de consumo preferente, se solicita, por tanto, al Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) un informe en el que se proporcione una orientación acerca de la vida útil para la carne de vacuno, ovino, caprino, porcino, aves de corral y lagomorfos congelada en establecimientos de comercio al por menor, teniendo en cuenta, si se considera relevante, que el momento de congelación puede ser inmediatamente tras su recepción, inmediatamente tras finalizar el periodo de maduración o más adelante en el caso de las donaciones.

2. Sistemas de Gestión de la Seguridad Alimentaria en establecimientos de comercio al por menor

Actualmente, la legislación europea en materia de seguridad alimentaria obliga a los explotadores de las empresas alimentarias a desarrollar e implementar los conocidos Sistemas de Gestión de la Seguridad Alimentaria (SGSA), los cuales incluyen los Planes y Programas de Prerrequisitos (PPR) y el Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC). En el caso de los establecimientos minoristas, supermercados, restaurantes o centros de donación de alimentos, se ha reportado la dificultad que puede suponer el seguimiento de este tipo de sistemas. Por ello, la Comisión Europea solicitó inicialmente a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) que formulase recomendaciones sobre enfoques de análisis de peligros para los establecimientos minoristas. La EFSA aprobó dos dictámenes, por un lado, centrado en las carnicerías, tiendas de comestibles, panaderías, pescaderías y heladerías (EFSA, 2017a), y por otro, en centros de distribución, supermercados y restaurantes y en centros de donación de alimentos (EFSA, 2018). A través de las Opiniones publicadas por EFSA, se propuso un enfoque simplificado de gestión basado en la descripción de los diagramas de flujo de los procesos de elaboración y en la evolución de los potenciales peligros de naturaleza física, química o biológica a lo largo de la vida útil.

A nivel nacional, en relación con el sector cárnico, una de las principales disposiciones legislativas es el Real Decreto 1376/2003 (BOE, 2003). Dentro del capítulo II acerca de las condiciones de manipulación, almacenamiento, conservación, transporte y venta de carnes y derivados cárnicos, se prohíbe la descongelación, recongelación y congelación de carnes en los establecimientos regulados a tal efecto. En dicha normativa, solo se permite congelar aquellos derivados cárnicos elaborados que lo precisen, a una temperatura inferior a -18 °C.

En la última disposición publicada, el Reglamento Delegado (UE) 2021/1374 (UE, 2021), se reconoce que la congelación de alimentos puede ser un medio importante para la reducción del desperdicio alimentario y para garantizar una redistribución segura por los bancos de alimentos y otras organizaciones benéficas. Por ello, se permite la congelación de la carne con un fin destinado a donación, bajo los requerimientos especificados en el apartado de la introducción.

A la hora de poder permitirse la congelación de la carne por parte de los establecimientos minoristas con fines diferentes a la donación (inmediatamente tras su recepción o inmediatamente tras el periodo de maduración), los operadores de dichos establecimientos deberán establecer un periodo de vida útil en base a la determinación de una serie de parámetros de calidad y seguridad alimentaria, y unas condiciones razonablemente previsibles de distribución y consumo. Los nuevos

Programas de Prerrequisitos (PPR) establecidos por EFSA (2018) en establecimientos minoristas incluyeron entre otros, el control de la vida útil, definida como el periodo de tiempo durante el cual un alimento mantiene sus características aceptables o deseables en el marco de unas condiciones de almacenamiento y manipulación específicas.

Específicamente, en el anexo III, punto 6 del Reglamento (UE) N° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor (UE, 2011), se establece que la carne o preparados cárnicos congelados deben presentar una fecha de congelación y una fecha de consumo preferente. Para los alimentos frescos, en caso de congelarlos antes de su fecha de caducidad para su posterior redistribución, las directrices de algunos Estados miembros recomiendan re-etiquetar el alimento congelado con una fecha de consumo preferente de acuerdo con los procedimientos relativos al sistema de autocontrol.

La intensidad de la aplicación de los tratamientos de congelación, y el tipo de matriz cárnica se antojan como los factores más importantes a la hora de determinar la aptitud del producto final previa al consumo. En el caso de las donaciones de alimentos, la influencia de dichos factores es aún más crítica, al aplicarse sobre productos cercanos al final del periodo de vida útil, lo cual puede comprometer su seguridad. En el presente informe se pretende dar respuesta al establecimiento de las fechas de consumo preferente de carne sometidos a congelación en establecimientos minoristas en condiciones previsibles de almacenamiento, distribución, venta y consumo.

3. Relevancia de la cadena de frío para la conservación de la carne

La carne y los productos cárnicos forman parte esencial de la dieta humana debido a su rica y variada composición nutricional tanto en macro (proteínas, lípidos), como en micronutrientes (vitaminas y minerales tales como hierro, cinc, selenio, etc.). Sin embargo, las características físico-químicas de la carne no procesada (pH, contenido de humedad, nutrientes), así como la actividad enzimática durante la maduración, hacen que sea un medio susceptible para el crecimiento de microorganismos alterantes y patógenos durante su almacenamiento. Por otro lado, el contenido en lípidos de algunos tipos de carnes hace que sean igualmente susceptibles a la oxidación produciéndose un deterioro de sus características sensoriales. Por ello, la conservación de la carne por medio de la refrigeración y congelación es uno de los métodos tradicionales para el aseguramiento de la calidad y extensión de la vida útil (Hammad et al., 2019).

El mantenimiento de la cadena de frío es uno de los principios esenciales en materia de higiene y seguridad alimentaria en la Unión Europea, tal y como se establece en el Reglamento (CE) N° 853/2004 (UE, 2004). Estos requisitos deben cumplirse para todos aquellos alimentos o productos intermedios que toleren el crecimiento microbiano, con objeto de preservar la salud y seguridad de los consumidores. También cabe destacar que, según la EFSA, la cadena de frío no debe interrumpirse a lo largo de toda la cadena de distribución de carne (EFSA, 2014). Actualmente, la legislación europea establece que las temperaturas máximas de conservación de la carne refrigerada son de 4 °C para carne de ave, 3 °C para los despojos y de 7 °C para el resto de las carnes.

A pesar de ello, en los distintos eslabones de la cadena de distribución, pueden producirse desviaciones de temperaturas que pueden tener un impacto significativo sobre la calidad y seguridad

de la carne. Asimismo, otros factores como las condiciones higiénicas en las operaciones de transformación en matadero, o los regímenes de tiempo y temperatura de transporte y distribución hasta el punto de venta influyen sobre el grado de contaminación microbiana y calidad de la carne (Wang et al., 2020). Es por ello por lo que el mantenimiento de una temperatura constante es fundamental para preservar la calidad y seguridad de la carne a través de unas buenas prácticas higiénicas o la utilización de tecnologías de conservación por frío que minimicen el deterioro del alimento.

La congelación de la carne con objeto de aumentar la vida útil ha sido una de las prácticas más habituales a nivel industrial y doméstico, aunque los mayores avances en las nuevas tecnologías de congelación se han llevado a cabo en los últimos años. La conservación de la carne a través de la congelación conlleva una serie de modificaciones en la fracción de agua de la carne. Dado que el agua está contenida en el interior de las fibras musculares, así como en el espacio intersticial, a medida que el agua se congela, se crean diferencias en la presión osmótica debido al aumento en la concentración de solutos, rompiendo pues el equilibrio homeostático del sistema cárnico (Lawrie, 1998). La posterior descongelación de la carne conlleva una serie de cambios que repercuten sobre la vida útil y que varían en función de la pieza cárnica, el tipo de sistema utilizado, o las combinaciones de tiempo y temperatura. La atmósfera de envasado, especialmente el envasado al vacío ayuda a minimizar el deterioro de la carne producido por la oxidación, deshidratación y quemaduras en la superficie de la carne (Muela et al., 2010). La mayor parte de los estudios se han centrado en los efectos de congelación y descongelación de la carne sobre la pérdida de agua que repercute en los parámetros de calidad, aunque otros cambios tales como la desnaturalización proteica, textura, color o modificaciones en la composición lipídica pueden verse afectados, tal y como se describirá en la siguiente sección.

4. Efecto de los tratamientos de congelación y descongelación sobre la vida útil de la carne

La vida útil de la carne está determinada normalmente por una serie de parámetros como la contaminación microbiana, pH, contenido de humedad, color, sabor/olor, textura, o valor nutricional (McMillin, 2008) (Hammad et al., 2017). Según la literatura existente, parece difícil establecer un tiempo de vida útil que sea equivalente para todas las especies debido a la gran cantidad de factores involucrados, por lo que se va a proceder a describir las principales modificaciones de los parámetros de naturaleza microbiológica, fisicoquímica y sensorial que acontecen durante los procesos de congelación y descongelación de la carne.

4.1 Modificaciones en los parámetros microbiológicos

La contaminación microbiana presente en la carne fresca se presenta en la mayoría de los casos en zonas superficiales de la carne, o tejidos adyacentes como piel o partes del animal sacrificado que hayan estado contaminadas y entrado en contacto con la carne durante las operaciones de transformación. Las fuentes de transmisión de microorganismos a la carne fresca son diversas, incluyendo el ambiente de producción, manipuladores, superficies y/o utensilios, etc. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento y distribución, en ciertas ocasiones los microorganismos pueden migrar

desde la superficie hacia zonas interiores, pudiendo sobrevivir durante periodos de tiempo relativamente prolongados (Tozzo et al., 2018). Uno de los factores fundamentales para el control de la contaminación microbiana reside en el conocimiento de la tasa o velocidad de congelación ya que, si la bajada de temperatura sucede en un tiempo lo suficientemente corto, puede evitarse en gran medida la proliferación microbiana, tal y como apuntan algunos estudios (Lu et al., 2022).

La congelación produce una serie de daños a nivel mecánico por la formación de cristales de hielo, así como una desecación de la superficie de la carne debida a una reducción de la actividad de agua (a_w), y un deterioro oxidativo que inhibe en gran parte el desarrollo microbiano. A pesar de ello, como es sabido, los métodos tradicionales de congelación y descongelación no permiten la inactivación total de las formas viables de los microorganismos. En el caso de las esporas, la congelación suele ser menos eficiente, ya que el daño causado por la reducción de temperatura es menor. No obstante, el proceso de congelación permite mantener a los microorganismos en estado latente, ya que su actividad metabólica se ve reducida. Este hecho supone que la alteración de la carne sucede de forma más tardía, por lo que la vida útil de la carne congelada puede ser más prolongada que en el caso de la carne refrigerada. Sin embargo, durante el proceso de descongelación los microorganismos pueden reactivarse y proliferar en el alimento, especialmente si dicho proceso transcurre de forma lenta y poco uniforme, lo que hace que ciertas partes estén más expuestas al crecimiento microbiano (Löndahl y Nilaaon, 1993). De forma adicional, durante la descongelación existe una mayor disponibilidad de humedad y nutrientes producidos por la formación de exudados y que favorecen el desarrollo microbiano. Por este motivo, se hace imprescindible el mantenimiento de unas buenas prácticas higiénicas y de manipulación de la carne que va a someterse a congelación con objeto de evitar la contaminación microbiana (Pham, 2004). En virtud de lo mencionado, se puede concluir que la vida útil de la carne congelada puede verse limitada por la acción de microorganismos alterantes, y por la presencia o crecimiento de patógenos de transmisión alimentaria que pueden comprometer la seguridad de los consumidores.

4.1.1 Microorganismos alterantes

A pesar de que, como se ha comentado anteriormente, la congelación se entiende como un proceso bacteriostático, algunos estudios apuntan a que el 60 % de la carga microbiana alterante presente en la carne fresca se inactiva a temperaturas por debajo de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Rahman y Velez-Ruiz, 2007). La tolerancia de los microorganismos a las bajas temperaturas es variable, dependiendo del tipo, estado fisiológico y nivel poblacional. La alteración de la carne congelada se atribuye fundamentalmente a los microorganismos psicrotrofos y psicrófilos, capaces de sobrevivir y crecer a temperaturas por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el caso de las bacterias, la superficie exterior de la célula proporciona diferentes niveles de protección contra la penetración de cristales de hielo. En el caso de las bacterias grampositivas, con una pared celular compuesta por 80 % de peptidoglicano, son más resistentes a la congelación que los microorganismos gramnegativos.

No obstante, los microorganismos supervivientes pueden proliferar más fácilmente durante la descongelación pudiendo alcanzar niveles similares a la carne antes de congelarse, aunque los estudios disponibles señalan resultados contradictorios. Uno de los factores más importantes es la

etapa de maduración de la carne en condiciones de refrigeración previa a la congelación de la misma. A este respecto, Vieira et al. (2009) encontraron que la carne de ternera congelada durante 90 días y previamente sometida a una maduración de entre 3-10 días, no presentó ningún tipo de alteración de tipo microbiológico. Sin embargo, sí apreciaron un crecimiento de psicrotrofos atribuido a que fueron el grupo predominante en la carne durante la descongelación (48 horas a 4 °C). De forma similar, Greer y Murray (1991) reportaron que la fase de adaptación para el crecimiento microbiano en carne de cerdo congelada y descongelada fue inferior a la de la carne fresca, aunque en ambos casos no se apreciaron alteraciones de tipo sensorial.

En otros casos, la temperatura y tiempo de congelación no influyen significativamente en la contaminación microbiana de la carne, como así demostraron Teuteberg et al. (2021) en muestras de carne de cerdo congeladas a -18 °C y -80 °C, ensayando tiempos de 12 y 24 semanas. En este caso, la concentración de *Enterobacteriaceae* y aerobios mesófilos fue similar, aunque inferior a la encontrada en la carne fresca. Los mismos autores sí obtuvieron recuentos inferiores de *Enterobacteriaceae* de cerca de 1 log UFC/g en carne congelada de ave con respecto a la carne sin congelar (Kluth et al., 2021). Parece ser que otros factores ajenos a las combinaciones de tiempo y temperatura de congelación repercuten sobre la viabilidad de ciertos grupos de microorganismos alterantes en la carne, aunque si se lleva a cabo de forma correcta, sí otorga una estabilidad al producto durante un tiempo más o menos prolongado.

4.1.2 Patógenos de transmisión alimentaria

Es bien sabido que la carne constituye un medio favorable para la posible presencia y crecimiento de patógenos de transmisión alimentaria. Dependiendo del tipo de matriz, aunque microorganismos patógenos como *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes* y virus de la hepatitis E (VHE), entre otros, puedan sobrevivir a los tratamientos de congelación, en la mayoría de las ocasiones, la microbiota alterante inhibe su crecimiento. Por tanto, durante los tratamientos de congelación y descongelación la temperatura favorece el crecimiento de los microorganismos psicrófilos, siendo la mayoría de estas especies, alterantes. Es por ello por lo que la contaminación microbiana causada por patógenos de transmisión alimentaria sucede como consecuencia de unas inadecuadas prácticas higiénicas durante el procesado de la carne.

En el caso de la contaminación de origen vírico, recientemente se ha demostrado un aumento de la incidencia de casos de hepatitis E asociados al consumo de carne cruda o poco cocinada de cerdo y jabalí procedente de animales infectados (Kupferschmidt, 2016). No obstante, si los tratamientos tecnológicos son poco eficientes, especialmente la descongelación de la carne, puede conllevar un crecimiento microbiano o viabilidad de virus que pueda comprometer la salud pública. Para el virus de la hepatitis E, se desconoce en gran medida la eficacia de los métodos de inactivación durante el procesamiento de la carne. La falta de métodos eficientes y fáciles de usar para la determinación de la infectividad de este virus ha impedido realizar estudios de inactivación amplios. A pesar de esto, en los últimos años se han logrado avances que han conseguido mejorar la propagación del virus en cultivos celulares, aunque todavía son escasos los estudios de inacti-

vación realizados directamente en productos cárnicos. Al igual que otros virus entéricos, el virus de la hepatitis E es relativamente resistente a la congelación (EFSA, 2017b).

Los tratamientos de congelación parecen ser efectivos en la reducción de la contaminación por *Campylobacter* spp. en carne de ave y, de hecho, es una de las medidas consideradas por parte de algunos países como Islandia, y también por la EFSA (2011) para reducir la incidencia de este patógeno. Sin embargo, el impacto de la aplicación de esta medida no está del todo claro. Se conoce que un tratamiento a -20°C puede reducir bruscamente la concentración inicial de *Campylobacter* spp., seguido de un decrecimiento progresivo de la población durante el almacenamiento (Maziero y Oliveira, 2010).

En el caso de *L. monocytogenes*, un factor importante en la incidencia de listeriosis transmitida por alimentos es que puede crecer significativamente a temperaturas de refrigeración en comparación con otros patógenos. Se ha registrado crecimiento a temperaturas tan bajas como $-1,5^{\circ}\text{C}$, aunque a un ritmo muy lento (BFFF, 2015). En el período de refrigeración previo a la congelación, Pradhan et al. (2012) ensayaron el crecimiento de *Listeria innocua* en pechugas de pollo mantenidas a 4 y 8°C durante 21 días, donde se observó un aumento de la población de $2,1$ log UFC/g en la primera semana a 4°C , y después disminuyó. La tendencia fue similar a 8°C , donde la población aumentó $3,7$ log UFC/g en 7 días, y después disminuyó. En consecuencia, para la gestión de la presencia de *L. monocytogenes* en carne congelada, será importante reducir el período en refrigeración previo a la congelación, realizar una descongelación en condiciones de máxima higiene y controlar cualquier vida útil después de la descongelación, así como el correcto cocinado. En cuanto al efecto de la congelación, *L. monocytogenes* no es capaz de crecer en carne congelada, pero sí que puede sobrevivir (Palumbo y Williams, 1991) (Chan y Wiedmann, 2009), a diferencia de lo observado en especies microbianas como *E. coli* en las que la población se reduce a lo largo de un almacenamiento prolongado en congelación (Foschino, 2002). Una vez descongelada la carne, *L. monocytogenes* puede reiniciar el crecimiento. Se ha observado que el aumento del tiempo de almacenamiento en congelación conduce a un retraso de unas pocas horas en el inicio del crecimiento posterior, posiblemente debido a un daño celular, pero la tasa de crecimiento de *L. monocytogenes* no parece verse afectada (Humblot et al., 2015). Sin embargo, Kataoka et al. (2017) encontraron que el crecimiento ocurrió sin una fase de retraso significativa tras la descongelación, por lo que el efecto de la congelación sobre el crecimiento posterior del patógeno parece estar influenciado por otros factores inherentes a la matriz cárnica.

En *Salmonella* spp. se ha descrito crecimiento a temperaturas a partir de $3,5^{\circ}\text{C}$, por lo que no prolifera a temperaturas de congelación (Matches y Liston, 2006). Existen numerosos estudios que indican que sobrevive a la congelación durante tiempos prolongados en sustratos cárnicos, como por ejemplo en pollo congelado (Domínguez y Schaffner, 2009). De hecho, se han descrito numerosos brotes de toxoinfección alimentaria en Canadá asociados a productos de ave congelados (incluidos productos empanados de pollo) entre 2015 y 2019 (Morton et al., 2019). Por tanto, no se puede considerar que la congelación contribuya al control de *Salmonella*, tan solo evita su proliferación y prolonga la vida útil del producto. Se debe controlar la temperatura previa a la congelación y durante la descongelación para evitar la proliferación de *Salmonella* y se deben aplicar adecuadas prácticas higiénicas para minimizar su presencia en las carnes que se vayan a congelar.

Otros peligros de naturaleza biológica los constituyen ciertos grupos de parásitos como *Toxoplasma*, *Trichinella*, etc., cuya presencia en la carne fresca ha sido previamente reportada (Johnes et al., 2021) (Marín-García et al., 2022). En este caso, la mayor parte de los estudios hechos sobre carne congelada demuestran que su viabilidad se ve notablemente reducida a temperaturas inferiores a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Kotula et al., 1991), aunque en muchas ocasiones debe acompañarse de un tratamiento térmico posterior para conseguir una inactivación completa de estos microorganismos.

4.2 Modificaciones en los parámetros fisicoquímicos

Los avances en las nuevas tecnologías de congelación han hecho disminuir en gran medida las pérdidas de calidad de la carne, aunque los tratamientos de congelación y descongelación siguen produciendo una serie de cambios en los parámetros fisicoquímicos que pueden afectar a la vida útil del producto. La carne presenta agua como constituyente principal, por lo que las mayores modificaciones se producen en el contenido de humedad y capacidad de retención de agua de la carne tras la descongelación. El agua se encuentra en diversas estructuras y compartimentos de las fibras musculares. Al congelarse el agua, existe un incremento de la concentración de solutos (proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas y minerales) que producen una disrupción en el balance bioquímico del sistema cárnico. Esta serie de cambios producen daños a nivel metabólico y celular que afectan en última instancia a la calidad de la carne. A continuación, se describen las modificaciones de los principales parámetros fisicoquímicos de la carne como consecuencia de los tratamientos de congelación y descongelación.

4.2.1 Humedad

La congelación y descongelación de la carne afecta tanto al contenido como a la distribución de la humedad en el tejido cárnico. La humedad se evalúa en función de varias medidas como la pérdida por goteo, merma de peso del producto descongelado, pérdidas por cocinado, o capacidad de retención de agua (Leygonie et al., 2012a). Durante la congelación, dado que la cristalización del agua la convierte en no disponible para reacciones, es innecesario determinar la actividad de agua, pues no depende de las sustancias disueltas sino de la temperatura solamente (Schnewberger et al., 1978).

La disminución del contenido de humedad de la carne sucede de forma irremediable tras el sacrificio del animal, debido a una bajada de pH, agotamiento de las reservas de glucógeno y ATP, así como a una desnaturalización proteica. Los tiempos de congelación y descongelación influyen sobre la cantidad de exudado por el tamaño y distribución de los cristales de hielo (Añón y Cavello, 1980). Parece que no existe una correlación directa entre la velocidad de descongelación y la cantidad de exudado formada, aunque sí se encuentran algunas recomendaciones en la literatura científica para minimizar las pérdidas de exudado y sobre la actividad de agua (a_w) del producto descongelado. De hecho, Leygonie et al. (2012b) y Vieira et al. (2009) no encontraron diferencias significativas entre muestras de carne fresca y carne congelada sometidas a distintos tratamientos de descongelación. González-Sanguinetti et al. (1985) concluyeron que un tratamiento de descongelación de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en menos de 50 minutos podía producir una reabsorción de agua por parte

de las fibras musculares, lo que repercute en una menor pérdida de humedad. No se ha visto variación en la a_w durante el almacenamiento en congelación (Sayas-Barberá et al., 2021). Por tanto, una mayor velocidad de descongelación ayuda a minimizar las pérdidas por goteo (Ambrosiadis et al., 1994). En general, la a_w es muy elevada al finalizar la descongelación, por lo que se debe realizar correctamente para evitar la proliferación microbiológica.

4.2.2 Oxidación de lípidos y proteínas

La temperatura final a la que se congela y almacena la carne determina la cantidad de agua descongelada disponible para participar en reacciones químicas. Esta fracción es importante en términos de oxidación, ya que pueden ocurrir reacciones químicas durante el almacenamiento en congelación que inicien la oxidación primaria de lípidos (peroxidación) en la carne. Esto puede conducir a una oxidación secundaria de los lípidos tras la descongelación que están relacionados con modificaciones en los atributos sensoriales de la carne. Este fenómeno ha sido demostrado por Akamittath et al. (1990) y Hansen et al. (2004), quienes reportaron una oxidación acelerada de lípidos en carne congelada y descongelada sometida a un estudio de vida útil refrigerada.

El grado de oxidación lipídica se mide habitualmente a través de la presencia de sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico (*thiobarbituric acid reactive substances*, TBARS). Estos metabolitos secundarios causan defectos en el perfil sensorial de la carne tales como rancidez, sabor graso, picante y otros sabores desagradables. Vieira et al. (2009), afirmaron que la concentración de TBARS en carne fresca fue significativamente menor que en la carne almacenada durante 90 días a -20 °C. Benjakul y Bauer (2001) también encontraron que la congelación y descongelación del tejido muscular resultó en la acumulación acelerada de TBARS, y atribuyeron este hallazgo al daño en las membranas celulares producido por cristales de hielo y la posterior liberación de sustancias prooxidantes, especialmente el hierro hemo.

Por otro lado, la oxidación de las proteínas puede estar ligada a cualquiera de los factores prooxidantes, tales como radicales libres, pigmentos hemo o malonaldehído, que es uno de los sustratos que reacciona con las proteínas para formar carbonilos (cetonas y aldehídos) (Xiong, 2000). Por lo tanto, la oxidación de proteínas y lípidos está indudablemente interrelacionada.

La oxidación de proteínas en la carne puede conducir a una disminución de la calidad del consumo debido a la reducción de la terneza y jugosidad, deterioro del sabor y decoloración (Rowe et al., 2004). Los cambios oxidativos en las proteínas también repercuten en una menor capacidad de retención de agua y formación de exudados (Liu et al., 2010), así como en una pérdida de solubilidad.

4.2.3 Color

Los tratamientos de congelación y descongelación de la carne producen alteraciones en la estabilidad del color, dado que la mioglobina forma parte del exudado. Asimismo, está demostrado que la mioglobina sufre un proceso de desnaturalización durante la congelación y descongelación de la carne (Calvelo, 1981), lo cual incrementa la probabilidad de que sufra autooxidación que, a su vez, se manifieste en una pérdida de color de la carne. De hecho, otros estudios avalan que en carnes congeladas o maduradas sucede una mayor acumulación de metamioglobina en la superficie (Abdallah et al., 1999).

Los fenómenos de oxidación de la carne están relacionados entre sí, de forma que cuando se inicia la oxidación lipídica, se forman compuestos prooxidantes capaces de reaccionar con la oximioglobina para formar metamioglobina. Por tanto, si las reacciones de oxidación de los lípidos se ven aceleradas durante la congelación de la carne, aumentará la cantidad de radicales libres presentes que puedan producir la oxidación de la mioglobina y el deterioro del color.

4.2.4 Parámetros de textura

La textura de la carne sufre modificaciones como consecuencia de los tratamientos de congelación y descongelación. En cuanto a la terneza, se ha demostrado que está correlacionada positivamente con el tiempo de maduración de la carne previo a la congelación (Vieira et al., 2009). El mecanismo implicado en el aumento de la terneza reside en una rotura de las fibras musculares por acción enzimática, y una pérdida de integridad estructural de los tejidos causada por la formación de cristales de hielo. Hay que señalar que la textura de la carne puede diferir en función de si es medida de forma instrumental o evaluada a través de un panel sensorial (Lagersted et al., 2008). Puede ocurrir que la terneza de una carne descongelada percibida por un panel sensorial sea inferior a la medida instrumentalmente, debido a la pérdida de humedad, lo que ocasiona una menor tensión de cizallamiento (fuerza de corte) para romper la estructura de la carne (Lui et al., 2010).

4.3 Aptitud culinaria y perfil sensorial

La calidad de la carne en términos de aptitud culinaria se suele medir a través de parámetros como el color, capacidad de retención de agua, textura y palatabilidad (Miller, 2002). Según se ha descrito anteriormente, la congelación y descongelación de la carne puede conducir a una pérdida de ciertos atributos de calidad que pueden manifestarse en una menor aptitud culinaria y perfil sensorial. Las pérdidas de agua debidas al cocinado de la carne tras la descongelación se consideran en muchos estudios como un parámetro que ayuda a definir los tratamientos óptimos, y habitualmente se correlaciona una mayor pérdida de agua con un mayor tiempo de congelación y descongelación (Cho et al., 2017). Sin embargo, en otros estudios se señala que no existen unas diferencias sustanciales en las pérdidas de humedad durante el cocinado de la carne fresca en comparación con la carne congelada (Vieira et al., 2009) (Leygonie et al., 2012b). El factor asociado a las pérdidas de humedad viene dado por la región muscular presente en la carne a partir de la cual se origina dicha pérdida de humedad. Durante el cocinado, además de la humedad, tiene lugar una fusión de las grasas, así como una desnaturalización proteica, que también contribuyen a una liberación de jugos procedente del agua ligada (Vieira et al., 2009).

Por otro lado, la terneza de la carne, evaluada mediante la fuerza de corte, también se ve influenciada por los tratamientos de congelación y descongelación. En este sentido, en muchos estudios se reportan resultados contradictorios, aunque la mayoría de ellos postulan que la fuerza de corte disminuye en aquellas carnes sometidas a un tratamiento de congelación y descongelación. Los principales factores asociados se relacionan con la pérdida de agua, así como la rotura de las membranas celulares producida por los cristales de hielo durante la congelación (Lui et al., 2010).

Además de las propiedades físicas, el perfil sensorial de la carne congelada puede verse afectado por la interacción de sus componentes a través de reacciones de óxido-reducción. En la carne existen compuestos que actúan como catalizadores de estas reacciones, como el hierro o la mio-globina, así como los lípidos. La aparición de compuestos como el malonaldehído, cetonas, grupos carbonilo o radicales libres pueden alterar el perfil sensorial y la aptitud culinaria de la carne.

A pesar de que la congelación de la carne puede estar relacionada con un incremento de la oxidación lipídica, proteica y alteración sensorial de la carne, algunos estudios indican que el perfil aromático de la carne puede mejorar debido a una mayor concentración de compuestos volátiles como consecuencia de un almacenamiento en congelación durante un periodo corto de tiempo (Qi et al., 2021). En otros casos, los resultados no son suficientemente concluyentes cuando se compara con el cocinado de la carne fresca debido a que otros factores pueden ejercer una mayor influencia como el tipo de tratamiento culinario, o calidad de la materia prima, entre otros.

En la Tabla 1 se recogen algunos estudios donde se evalúan parámetros relativos al cocinado de la carne y perfil sensorial, siendo en su mayoría la pérdida de humedad, capacidad antioxidante, compuestos volátiles y textura. Estos estudios analizan tratamientos de maduración, congelación y descongelación de la carne y se reportan aquellos considerados como óptimos para la mejora de la calidad y seguridad alimentaria.

Tipo de carne	Tratamientos			Descongelación	Parámetros			Referencia
	Enfriamiento	Congelación	Fisicoquímicos		Microbiológicos		Sensoriales	
					Microbiológicos	Sensoriales		
Vacuno (ternera)	10 días a 4 °C	90 días a -20 °C y a -80 °C	48 horas a 4 °C	Color, TBARS*, CRA*	Psicrotrofos, <i>Enterobacteriaceae</i> , BAL*	Textura, ternera, jugosidad, olor, flavor	Vieira et al. (2009)	
	0-14 días a 2 °C	0-9 meses a -18 °C	-	Color, CRA, TBARS, NBV*, Hccocinado*	-	Textura	Cho et al. (2017)	
	0-5 semanas <1 °C	0-13 meses a -12 °C y -18 °C	-	Henfriamiento*, Hccocinado, color, Hdescongelación*, pH, humedad, grasa, a _w , glucógeno	<i>Brochothrix thermosphacta</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , BAL	Textura	Holman et al. (2017)	
Ovino	-	12 meses a -18 °C	-	Hccocinado, color, pH, TBARS	Psicrotrofos, <i>Salmonella</i> spp., <i>Staphylococcus aureus</i> , coliformes	Aroma, textura, jugosidad, flavor	Fernandes et al. (2013)	
	2-3 semanas a -1,5 °C	7 semanas a -18 °C	12 horas a -1,5 °C	pH, color, Henfriamiento, Hccocinado	-	Apariencia, textura	Kim et al. (2013)	
	-	1-21 meses a -18 °C	-	pH, color, TBARS, CRA	-	Textura	Muela et al. (2015)	
	0-60 días a <2 °C	0-13 meses a -12 °C y -18 °C	-	Color, Hdescongelación, Hccocinado, pH, a _w , humedad, glucógeno	<i>Brochothrix thermosphacta</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , BAL	Textura	Coombs et al. (2017)	

Tipo de carne	Tratamientos			Parámetros			Referencia
	Enfriamiento	Congelación	Descongelación	Microbiológicos		Sensoriales	
				Fisicoquímicos			
Caprino	24 horas a 4 °C	16 semanas a -10 °C	-	pH, CRA, TBARS, proteína	AEM*	-	24 horas a 4 °C + 8 semanas a -10 °C Ahmad et al. (2017)
Porcino	16 días a 5 °C	6 meses a -18 °C	-	pH, NBV, TBARS, aminas biógenas	AEM, coliformes, psicrotrofos	-	8 días a 5 °C o 90 días a -18 °C Custódio et al. (2018)
Porcino	-	12-24 semanas a -18 °C y a -80 °C	24 horas a 4 °C	Color, Hdescongelación, pH, TBARS, humedad, Hcocinado	<i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Pseudomonas</i> spp., AEM	Textura	24 semanas a -18 °C (previa congelación rápida a -80 °C) Teuteberg et al. (2021)
Ave (pollo)	9 días a -1,3 °C o 28 días a 2-4 °C	30 días a -20 °C	-	pH, Hcongelación*, color, humedad, TBARS	AEM, BAL	Textura	30 días a -20 °C (el almacenamiento previo a -1,3 °C extiende la vida útil) Kaewthong et al. (2019)
Ave (pavo)	-	12-24 semanas a -18 °C y a -80 °C	24 horas a 4 °C	Hdescongelación, Hcocinado, color, pH, a _w , TBARS	<i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Pseudomonas</i> spp., AEM	Textura	24 semanas a -18 °C o -80 °C Klueth et al. (2021)
Ave (pollo)	-	2-8 semanas a -18 °C	12 horas a 10-15 °C	Hcocinado, aminoácidos libres, nucleótidos	-	Compuestos volátiles, compuestos generadores del sabor	6 semanas a -18 °C Qi et al. (2021)
Conejo	36 días a -2,5 °C o 36 días a -4 °C o 10 días a 4 °C	36 días a -18 °C	12 horas a 4 °C	pH, NBV, proteínas solubles, Hdescongelación, Hcocinado	AEM	Textura, color	20 días a -2,5 °C o 36 días a -4 °C o 6 días a 4 °C + 36 días a -18 °C Lan et al. (2016)

a_w: actividad de agua; AEM: aerobios mesófilos; BAL: Bacterias Ácido-Lácticas; CRA: Capacidad de Retención de Agua; Hcocinado: pérdida de humedad tras el cocinado; Hcongelación: pérdida de humedad tras la congelación; Hdescongelación: pérdida de humedad tras la descongelación; Henfriamiento: pérdida de humedad tras el enfriamiento; Hrefrigeración: pérdida de humedad tras la refrigeración; NBV: Nitrógeno Básico Volátil; TBARS: sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico.

5. Orientación sobre el establecimiento de fechas de consumo preferente de la carne congelada destinada a consumo

En las secciones anteriores se han descrito los principales factores atribuidos a los tratamientos de maduración, congelación y descongelación de la carne y su impacto sobre la alteración y seguridad del producto final.

La disposición legal de directa aplicación a tener en cuenta para el comercio minorista es el Real Decreto 1376/2003 (BOE, 2003). En este Real Decreto se habla de algunos requisitos higiénicos, así como de rangos de temperaturas de almacenamiento, conservación, transporte y venta de carnes, que debe ser ≤ -12 °C. Asimismo, el marcado de la fecha de consumo preferente es una mención obligatoria conforme al Reglamento (UE) N° 1169/2011 (UE, 2011). El operador alimentario responsable de esta información ha de garantizar la exactitud de la misma.

Para poder dar una orientación sobre la estimación de la vida útil en congelación de la carne en los establecimientos minoristas es necesario contemplar la posibilidad de que se congele inmediatamente tras la recepción o tras un tratamiento de maduración previo.

En la literatura científica se pueden encontrar una gran cantidad de trabajos relacionados con la evaluación del impacto de tratamientos de maduración, congelación y descongelación de la carne sobre la calidad y seguridad alimentaria. En otros casos, los estudios están más dirigidos hacia la determinación de la vida útil en términos de aptitud de la carne congelada para el consumo (Tabla 1). Se conoce que la maduración de la carne produce una mejora de la terneza y capacidad de retención de agua, y su combinación con un tratamiento de congelación posterior puede ayudar a la extensión de la vida útil. En base a la información disponible, se puede concluir que existe una variabilidad en los tiempos y temperaturas de los tratamientos reportados en los diferentes estudios en función del objetivo de los mismos, tipo de carne y parámetros evaluados, así como criterios utilizados para la determinación de la aptitud de la carne. Es por ello por lo que la estimación de la vida útil a nivel global debe considerar todas estas limitaciones.

En la Tabla 2 se resumen algunas recomendaciones de tratamientos de congelación de la carne proporcionadas por diferentes instituciones a nivel nacional y mundial. Para poder responder adecuadamente al objeto del presente informe, se procederá a realizar una comparativa de toda la información disponible para poder proporcionar una orientación acerca de las fechas de consumo preferente de la carne congelada para su venta en establecimientos minoristas.

Tabla 2. Recomendaciones sobre las condiciones de almacenamiento en congelación de la carne proporcionadas por diferentes organismos a nivel mundial

Tipo de carne	Descripción	Vida útil	Organismo
Vacuno, ovino y porcino	Filetes	6-12 meses a -18 °C	HHS-FDA (2018)
	Chuletas	4-6 meses a -18 °C	
	Otras	3-4 meses a -18 °C	
Ave	Pollo, pavo (entero)	12 meses a -18 °C	HHS-FDA (2018)
	Pollo, pavo (piezas)	9 meses a -18 °C	
	Menudencias	3-4 meses a -18 °C	
Vacuno	Carne picada	2-3 meses a -12 °C o -18 °C	PrimeSafe (2022)
Ovino		2-3 meses a -12 °C o -18 °C	
Porcino		2-3 meses a -12 °C o -18 °C	
Ave		2-3 meses a -12 °C o -18 °C	
Vacuno	Piezas cárnicas	8 meses a -12 °C o 18 meses a -18 °C	PrimeSafe (2022)
Ovino		12 meses a -12 °C o 18 meses a -18 °C	
Porcino		6 meses a -12 °C o 10 meses a -18 °C	
Ave		9 meses a -12 °C o 18 meses a -18 °C	
Vacuno	Piezas cárnicas	12 meses a -18 °C o 18 meses a -25 °C o 24 meses a -30 °C	FAO (1991)
Ovino		9 meses a -18 °C o 12 meses a -25 °C o 24 meses a -30 °C	
Porcino		6 meses a -18 °C o 12 meses a -25 °C o 15 meses a -30 °C	
Ave		12 meses a -18 °C o 24 meses a -25 °C o 24 meses a -30 °C	

En el caso de la carne de vacuno, Cho et al. (2017) consideraron que un tiempo de maduración de 14 días a 2 °C supone una mejora de la calidad de la carne, y recomiendan un tiempo de congelación inferior a 9 meses a -18 °C. En cambio, Holman et al. (2017) reportaron tiempos superiores, de hasta 12 meses a -12 °C o -18 °C tras un periodo de maduración a <1 °C durante 5 semanas. El tipo y tamaño de las piezas cárnicas evaluadas puede ser la causa de estas diferencias. En cuanto a las recomendaciones de vida útil presentadas en la Tabla 2, cabe destacar que la HHS-FDA (*United States Department of Health and Human Services-Food and Drug Administration*) divide en distintas

categorías de piezas cárnicas a las carnes de vacuno, ovino y porcino, mientras que *PrimeSafe* considera una distinción entre la carne picada y las piezas cárnicas. Tomando como referencia un almacenamiento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, los tiempos de almacenamiento en congelación oscilan entre los 6 y los 18 meses para las piezas cárnicas. En base a la información disponible, se puede considerar un tiempo de almacenamiento en congelación de 12 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en caso de que la carne se congele inmediatamente tras su recepción. Los tratamientos de maduración recomendados son 14 días a $<2\text{ }^{\circ}\text{C}$ seguido de una congelación de 9 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, según el estudio de Cho et al. (2017).

Para la carne de ovino existe una mayor discrepancia en los tiempos de almacenamiento en congelación reportados en los estudios. Fernandes et al. (2013) recomendaron un tiempo de 12 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que Muela et al. (2015) argumentaron que la carne de ovino es aceptable para el consumo tras un tiempo de almacenamiento de 21 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las recomendaciones proporcionadas en la Tabla 2 oscilan entre 4 y 18 meses de almacenamiento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para las piezas de carne de ovino. Tomando estos valores recopilados, se puede recomendar un tiempo 12 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en caso de que la carne se congele inmediatamente tras su recepción. En caso de que se lleve a cabo un periodo de maduración previo, Kim et al. (2013) reportaron unos valores de 14 días a $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que puede considerarse como referencia seguido de un tratamiento de congelación de 9 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, en base a las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1991) (Tabla 2).

En cuanto a la carne de caprino, existe poca información al respecto en la literatura científica. Ahmad et al. (2017) estudiaron el efecto de la refrigeración previa a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y posterior congelación a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 4 meses de diversas piezas de carne de cabra bajo condiciones de envasado en polipropileno. En su estudio se concluyó que la calidad organoléptica de la carne se mantuvo adecuadamente durante 8 semanas. A pesar de esto, existen recomendaciones proporcionadas por la USDA-FSIS (*United States Department of Agriculture-Food Safety Inspection Service*) donde estipulan unos tiempos de almacenamiento en refrigeración y congelación, así como la forma en que debe llevarse a cabo la descongelación de la carne de caprino (USDA-FSIS, 2013). El almacenamiento en refrigeración recomendado puede ser de entre 3-5 días a $4,44\text{ }^{\circ}\text{C}$, o bien en congelación durante 12 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En el caso de la carne de porcino, Custódio et al. (2018) estudiaron el efecto de la refrigeración frente a la congelación de la carne y recomiendan una vida útil de 8 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 3 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estos valores son inferiores a los reportados por Teuteberg et al. (2021) quienes estimaron un tiempo de vida útil en congelación de 6 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque la calidad de la carne mejoró tras una congelación rápida previa a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las recomendaciones proporcionadas en la Tabla 2 oscilan entre 4 y 10 meses de almacenamiento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para las piezas de carne de porcino. Así pues, se puede recomendar un periodo de almacenamiento en congelación de 6 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ inmediatamente tras la recepción de la carne en el establecimiento minorista. En la literatura no se han encontrado estudios concluyentes sobre el periodo de maduración de la carne de porcino previo a la congelación.

En cuanto a la carne de ave, Kluth et al. (2021) evaluaron una serie de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sobre la calidad y seguridad de la carne de pavo, recomendando un periodo de

almacenamiento de 6 meses a -18°C . Qi et al. (2021) demostraron que un almacenamiento a -18°C durante 6 semanas conseguía una mejora de la calidad de la carne de pollo, mientras que Kaewthong et al. (2019) sugirieron un almacenamiento de 30 días a -20°C para la carne de pollo tras un periodo de maduración de 9 días a $-1,3^{\circ}\text{C}$. En función de las recomendaciones de la HHS-FDA, se distingue entre producto entero y despiezado, siendo la vida útil de 12 y 9 meses a -18°C , respectivamente. Dicha recomendación de 12 meses coincide con la proporcionada por FAO y es inferior a la reportada por *PrimeSafe* (18 meses). Según la información disponible se puede establecer un tiempo de almacenamiento en congelación de 12 y 9 meses a -18°C para productos enteros y despiezados, respectivamente (en caso de que se lleve a cabo una congelación inmediatamente después de la recepción), así como un periodo de maduración previo de 9 días a -1°C .

Para el caso de la carne de conejo existen menos estudios disponibles, aunque algunos trabajos se han centrado en la evaluación de tratamientos de super-enfriamiento y su comparación con tratamientos tradicionales de maduración y congelación de la carne. A este respecto, Lan et al. (2016) investigaron el efecto de dos tratamientos de maduración a $-2,5^{\circ}\text{C}$ y -4°C durante 36 días sobre la calidad de la carne de conejo. En dicho estudio, se recomendaron unos periodos de maduración de 20 días a $-2,5^{\circ}\text{C}$ y hasta de 36 días a -4°C seguido en ambos casos de un almacenamiento en congelación de 36 días a -18°C . Sin embargo, dada la escasa información al respecto, no es posible establecer una recomendación a nivel global que pueda ser aplicable a este tipo de carne.

6. Requisitos higiénicos de los establecimientos de comercio al por menor para la congelación de la carne

La Comisión Mixta FAO/OMS del *Codex Alimentarius*, entre sus diversos Códigos de Prácticas de Higiene, presenta uno relativo al sector cárnico. Se trata del Código de Prácticas de Higiene para la Carne (CXC 58-2005-CAC/RCP 58-2005), elaborado por el Comité del *Codex* sobre Higiene de las Carnes (Codex Alimentarius, 2005). Se trata de un código vertical, que abarca desde el sacrificio y matanza. En el Capítulo 9 "Control de Proceso", artículo 151, se detallan algunas pautas interesantes y fundamentales en relación con el envasado de la carne, así como la congelación de la misma.

En el suministro y venta de carne congelada por parte de los establecimientos minoristas, es imprescindible cumplir con unas buenas prácticas de higiene y manipulación. Indudablemente, algunos de los puntos indicados en el Real Decreto 1376/2003 (BOE, 2003), pueden seguirse aplicando a aquellos establecimientos de comercio al por menor que suministren carne congelada, tal y como se refleja a continuación:

- En relación con los mostradores, vitrinas y otros elementos donde se exponga la carne congelada para la venta al público, se recomienda que estén diseñados de forma que se evite cualquier tipo de contaminación.
- Por otro lado, las instalaciones frigoríficas para la conservación, en régimen de refrigeración o congelación de carne deberían contar con aparatos para la lectura y comprobación de las temperaturas de forma que se cumplan los requisitos de verificación de vida útil reflejados en el presente informe.

- Con objeto de evitar contaminaciones cruzadas, es recomendable que no se conserven en el mismo compartimento frigorífico carnes refrigeradas y congeladas, y deberá observarse en todo momento la no simultaneidad de conservación o almacenamiento de carnes frescas con otras materias primas o productos que determinen las normas sanitarias.

Además de lo señalado anteriormente, diferentes entidades y organizaciones del sector cárnico presentan guías sectoriales muy útiles como base para la implantación de un Sistema de Gestión de la Seguridad Alimentaria (SGSA, Planes y Programas de Prerrequisitos, PPR, y Plan de Seguridad o Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico, APPCC) en establecimientos cárnicos de venta al por menor, como por ejemplo la guía elaborada por la Federación Empresarial de Agroalimentación de la Comunidad Valenciana (FEDACOVA, 2012).

7. Recomendaciones generales para la descongelación de la carne

Además de lo indicado en el apartado anterior, es recomendable que los establecimientos minoristas proporcionen información suficiente, clara y precisa sobre las condiciones de almacenamiento, manipulación y cocinado de la carne. Las guías y recomendaciones de organismos internacionales indican que, tras el periodo de congelación, se debe descongelar antes de cocinar los alimentos congelados, ya que, de lo contrario, la cocción llevará más tiempo y puede no ser suficiente para garantizar que los alimentos hayan alcanzado la temperatura interna necesaria para eliminar los patógenos (FSA, 2020). Una vez descongelados los alimentos, deben guardarse refrigerados y consumirse dentro de las 24 horas posteriores a la descongelación. Si bien la descongelación en refrigeración lleva más tiempo que la descongelación en un horno de microondas o a temperatura ambiente, se garantiza que los alimentos descongelados permanezcan a temperaturas microbiológicamente seguras durante todo el proceso de descongelación y que el crecimiento de patógenos sea mínimo. Si no es posible, se puede descongelar en un microondas en una configuración de descongelación. Este método es más rápido y se puede realizar poco antes de cocinar los alimentos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los alimentos se descongelan de manera desigual en el microondas y pueden alcanzar temperaturas superiores a los 8 °C, lo que favorece el crecimiento microbiano. Por lo tanto, una vez descongelados en microondas, los alimentos deben cocinarse inmediatamente después. Ciertos alimentos se pueden descongelar pasándolos por agua fría, lo cual es más rápido que descongelarlos en refrigeración y no permitirá que los alimentos se calienten demasiado, aunque no debe ser la práctica más habitual.

De acuerdo con las recomendaciones del USDA-FSIS (2005), la vida útil del producto descongelado bajo refrigeración se fija en 3-5 días, mientras que los productos descongelados en agua fría o descongelados por microondas deben cocinarse inmediatamente después de la descongelación y antes del consumo.

Conclusiones del Comité Científico

En el presente informe se ha procedido al estudio de los principales factores que afectan a la calidad y seguridad de la carne teniendo en cuenta los distintos estadios de refrigeración previa o maduración, congelación, y descongelación, con objeto de establecer un periodo orientativo de vida útil para su comercialización en establecimientos de venta al por menor.

Las principales conclusiones que se desprenden del informe residen en la variabilidad existente entre las distintas especies animales, tratamientos aplicados y factores involucrados, con lo que se antoja complicado establecer una fecha de consumo preferente que sea válida para todos los tipos de carnes.

Siendo el objeto del informe la evaluación de la carne fresca no procesada sometida a congelación, a la hora de establecer la vida útil se ha demostrado que los periodos de refrigeración cortos, seguidos de una inmediata congelación posterior pueden ayudar a mantener o incluso mejorar el perfil organoléptico de la carne, aunque es importante que el operador del establecimiento tenga en cuenta el tipo de pieza cárnica, y el uso previsto de la misma.

A pesar de que los microorganismos patógenos pueden sobrevivir en condiciones de congelación en la carne, siempre que en el establecimiento se lleven a cabo unas buenas prácticas higiénicas basadas en los principios del Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC), se puede concluir que la seguridad microbiológica no se ve comprometida, tal y como indican las recomendaciones proporcionadas por la USDA, por lo que la evaluación de la vida útil debería tener en cuenta principalmente parámetros de calidad. No obstante, dado que la congelación *per se* no consigue una inactivación total de los microorganismos es importante que en el establecimiento de comercio al por menor se sigan unas normas higiénicas basadas en la aplicación de buenas prácticas de higiene y APPCC de forma que se evite la contaminación de la carne durante el periodo de almacenamiento y manipulación de la misma.

Las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la carne durante el periodo de congelación pueden sufrir importantes variaciones debidas a los fenómenos de oxidación lipídica y proteica, así como a la generación de compuestos volátiles que pueden afectar a su aptitud sensorial y culinaria. Por ello, es importante que el establecimiento indique una serie de recomendaciones hacia los consumidores acerca de la descongelación de la carne, así como los tratamientos de cocinado de la misma con objeto de preservar sus características organolépticas.

Por último, las fechas de consumo preferente proporcionadas en el informe tienen un carácter meramente orientativo, siendo responsabilidad del operador del establecimiento de comercio al por menor el fijar un periodo de vida útil para cada tipo de pieza cárnica en función de las condiciones de conservación y uso previsto por parte del consumidor.

Dichas fechas de consumo preferente se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Orientaciones sobre fechas de consumo preferente para la carne congelada			
Especie animal	Congelación tras recepción	Maduración	Congelación tras maduración
Vacuno	12 meses a -18 °C	14 días a <2 °C	9 meses a -18 °C
Ovino	12 meses a -18 °C	14 días a -1,5 °C	9 meses a -18 °C
Caprino	12 meses a -18 °C	3-5 días a 4,44 °C	N. D.*
Porcino	6 meses a -18 °C	N. D.	N. D.
Ave	12 y 9 meses a -18 °C para productos enteros y despiezados	9 días a < -1 °C	N. D.
Conejo	N. D.	N. D.	N. D.

*N. D.: no es posible establecer recomendaciones generales.

Referencias

- Abdallah, M.B., Marchello, J.A. y Ahmad, H.A. (1999). Effect of freezing and microbial growth on myoglobin derivatives of beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, pp: 4093-4099.
- Ahmad, T., Kumar, Y. y Singh, J.N. (2017). Effect of frozen storage of goat meat on quality parameters stored in the form of chunk and mince in two packaging materials. *Indian Journal of Animal Research*, 52 (5), pp: 780-785.
- Akamittath, J.G., Brekke, C.J. y Schanus, E.G. (1990). Lipid oxidation and colour stability in restructured meat systems during frozen storage. *Journal of Food Science*, 55, pp: 1513-1517.
- Ambrosiadis, I., Theodorakakos, N., Georgakis, S. y Lekas, S. (1994). Influence of thawing methods on the quality of frozen meat and drip loss. *Fleischwirtschaft*, 74, pp: 284-286.
- Añón, M.C. y Cavelo, A. (1980). Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Science*, 4, pp: 1-14.
- Benjakul, S. y Bauer, F. (2001). Biochemical and physicochemical changes in catfish (*Silurus glanis Linne*) muscle as influenced by different freeze/thaw cycles. *Food Chemistry*, 72, pp: 207-217.
- BFFF (2015). British Frozen Food Federation. Guide to the Management of Listeria in Food Processing. Disponible en: <https://bfff.co.uk/wp-content/uploads/2015/11/Listeria-Guidance.pdf> [acceso: 13-09-22].
- BOE (2003). Real Decreto 1376/2003, de 7 de noviembre, por el que se establecen las condiciones sanitarias de producción, almacenamiento y comercialización de las carnes frescas y sus derivados en los establecimientos de comercio al por menor. BOE N° 273 de 14 de noviembre de 2003, pp: 40094-40101.
- Calvelo, R.J. (1981). Recent studies on meat freezing. En libro: *Developments in meat science-2*. Lawrie, R. editor. Londres. Elsevier Applied Science Publishers, pp: 125-158.
- Chan, Y.C. y Wiedmann, M. (2009). Physiology and genetics of *Listeria monocytogenes* survival and growth at cold temperatures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49, pp: 237-253.
- Cho, S., Kang, S.M., Seong, P., Kang, G., Kim, Y., Kim, J., Chang, S. y Park, B. (2017). Effect of Aging and Freezing Conditions on Meat Quality and Storage Stability of 1++ Grade Hanwoo Steer Beef: Implications for Shelf Life. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37 (3), pp: 440-448.
- Codex Alimentarius (2005). Code of Hygienic Practice for Meat. CAC/RCP 58-2005. Disponible en: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%-252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B58-2005%252FCXP_058e.pdf [acceso: 13-09-22].
- Coombs, C.E.O., Holman, B.W.B., Collins, D., Friend, M.A. y Hopkins, D.L. (2017). Effects of chilled-then-frozen storage (up to 52 weeks) on lamb *M. longissimus lumborum* quality and safety parameters. *Meat Science*, 134, pp: 86-97.
- Custódio, F.B., Vasconcelos-Neto, M.C., Theodoro, K.H., Chisté, R.C. y Gloria, M.B.A. (2018). Assessment of the quality of refrigerated and frozen pork by multivariate exploratory techniques. *Meat Science*, 139, pp: 7-14.

- Domínguez, S. y Schaffner, D. (2009). Survival of *Salmonella* in Processed Chicken Products during Frozen Storage. *Journal of Food Protection*, 72 (10), pp: 2088-2092.
- EFSA (2011). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Scientific Opinion on *Campylobacter* in broiler meat production: control options and performance objectives and/or targets at different stages of the food chain. *EFSA Journal*, 9 (4): 2105, pp: 1-141.
- EFSA (2014). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Scientific Opinion on the public health risks related to the maintenance of the cold chain during storage and transport of meat. Part 1 (meat of domestic ungulates). *EFSA Journal*, 12 (3): 3601, pp: 1-81.
- EFSA (2017a). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Scientific opinion on hazard analysis approaches for certain small retail establishments in view of the application of their food safety management systems. *EFSA Journal*, 15 (3): 4697, pp: 1-52.
- EFSA (2017b). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Public health risks associated with hepatitis E virus (HEV) as a food-borne pathogen. *EFSA Journal*, 15 (7): 4886, pp: 1-89.
- EFSA (2018). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Scientific Opinion on the hazard analysis approaches for certain small retail establishments and food donations: second scientific opinion. *EFSA Journal*, 16 (11): 5432, pp: 1-52.
- FAO (1991). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Cold preservation of meat products. Manual on meat cold store operation and management. FAO animal production and health paper 92. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0098e/T0098E02.htm> [acceso: 13-09-22].
- FEDACOVA (2012). Federación Empresarial de Agroalimentación de la Comunidad Valenciana. Guía de Prácticas Correctas de Higiene del Sector Cárnico. Disponible en: https://www.fedacova.org/wp-content/uploads/2017/03/GUIA-CARNE_julio16.pdf [acceso: 13-09-22].
- Fernandes, R., Freire, M.T., Carrer, C. y Trindade, M.A. (2013). Evaluation of Physicochemical, Microbiological and Sensory Stability of Frozen Stored Vacuum-Packed Lamb Meat. *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (11), pp: 1946-1952.
- Foschino, R. (2002). Freezing injury of *Escherichia coli* during the production of ice cream. *Annals of microbiology*, 52, pp: 39-46.
- FSA (2020). Food Standards Agency. Chilling. Disponible en: <https://www.food.gov.uk/safety-hygiene/chilling> [acceso: 13-09-22].
- González-Sanguinetti, S., Añón, M.C. y Cavelo, A. (1985). Effect of thawing rate on the exudate production of frozen beef. *Journal of Food Science*, 50, pp: 697-700.
- Greer, G.G. y Murray, A.C. (1991). Freezing effects on quality, bacteriology, and retail case life of pork. *Journal of Food Science*, 56, pp: 891-894.
- Hammad, H.H.M., Meihu, M., Guofeng, J. y Lichao, H. (2017). Nitroso-hemoglobin preparation and meat product colorant development. *Journal of Food Processing and Technology*, 8 (2), pp: 1-8.
- Hammad, H.H.M., Ma, M., Damaka, A.W.H.Y., Elkhedir, A. y Jin, G. (2019). Effect of freeze and re-freeze on chemical composition of beef and poultry meat at storage period 4.5 months. *Journal of Food Processing and Technology*, 10, pp: 1-6.
- Hansen, E., Juncher, D., Henckel, P., Karlsson, A., Bertelsen, G. y Skibsted, L.H. (2004). Oxidative stability of chilled pork chops following long term frozen storage. *Meat Science*, 68, pp: 479-484.
- HHS-FDA (2018). United States Department of Health and Human Services-Food and Drug Administration. Refrigerator and freezer storage chart. Disponible en: <https://www.fda.gov/media/74435/download> [acceso: 13-09-22].
- Holman, B.W.B., Coombs, C.E.O., Morris, S., Kerr, M.J. y Hopkins, D.L. (2017). Effect of long term chilled (up to 5 weeks) then frozen (up to 12 months) storage at two different sub-zero holding temperatures on beef: 1. Meat quality and microbial loads. *Meat Science*, 133, pp: 133-142.
- Humblot, M.J.P.O., Carter, L., Mytilianos, I. y Lambert, R.J.W. (2015). Assessing the survival of *Listeria monocytogenes* in as domestic freezer by analyzing subsequent growth at 30 °C using a novel reference method. *Journal of Food Protection*, 78, pp: 349-354.

- Johne, A., Filter, M., Gayda, J., Buschulte, A., Bandick, N., Nöckler, K. y Mayer-Scholl, A. (2021). Reprint of: Survival of *Trichinella spiralis* in cured meat products. *Veterinary Parasitology*, 297: 109544.
- Kaewthong, P., Pomponio, L., Carrascal, J.R., Knochel, S., Wattanachant, S. y Karlsson, A.H. (2019). Changes in the Quality of Chicken Breast Meat due to Superchilling and Temperature Fluctuations during Storage. *Journal of Poultry Science*, 56 (4), pp: 308-317.
- Kataoka, A., Wang, H., Elliott, P.H., Whiting, R.C. y Hayman, M.M. (2017). Growth of *Listeria monocytogenes* in Thawed Frozen Foods. *Journal of Food Protection*, 80, pp: 447-453.
- Kim, Y.H.B., Luc, G. y Rosenvold, K. (2013). Pre rigor processing, ageing and freezing on tenderness and colour stability of lamb loins. *Meat Science*, 95, pp: 412-418.
- Kluth, I., Teuteberg, V., Ploetz, M. y Krischek, C. (2021). Effects of freezing temperatures and storage times on the quality and safety of raw turkey meat and sausage products. *Poultry Science*, 100: 101305.
- Kotula, A.W., Dubey, J.P., Sharar, A.K., Andrews, C.D., Shen, S.K. y Lindsay, D.S. (1991). Effect of Freezing on Infectivity of *Toxoplasma Gondii* Tissue Cysts in Pork. *Journal of Food Protection*, 54 (9), pp: 687-690.
- Kupferschmidt, K. (2016). Europe's new hepatitis problem. *Science*, 353 (6302), pp: 862-863.
- Lagerstedt, A., Einfalt, L., Johansson, L. y Lundstrom, K. (2008). Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*. *Meat Science*, 80, pp: 457-461.
- Lan, Y., Shang, Y., Song, Y. y Dong, Q. (2016). Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures. *Meat Science*, 117, pp: 173-181.
- Lawrie, R.A. (1998). *Lawrie's meat science*. 6ª edición. Lancaster. PA: Technomic Publishing Inc.
- Leygonie, C., Britz, T.J. y Hoffman, L.C. (2012a). Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science*, 91, pp: 93-98.
- Leygonie, C., Britz, T.J. y Hoffman, L.C. (2012b). Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich *M. iliofibularis*. *Meat Science*, 91, pp: 364-368.
- Liu, G., Xiong, Y.L. y Butterfield, D.A. (2000). Chemical, physical, and gel-forming properties of oxidized myofibrils and whey- and soy-protein isolates. *Journal of Food Science*, 65, pp: 811-818.
- Löndahl, G. y Nilaaon, T. (1993). Storage of frozen foods. En libro: *Encyclopaedia of food science and nutrition*. Caballero, B., editor. 2ª edición. Oxford. Academic Press, pp: 2732-2735.
- Lu, N., Ma, J. y Sun, D. (2022). Enhancing physical and chemical quality attributes of frozen meat and meat products: Mechanisms, techniques, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 124, pp: 63-85.
- Lui, Z., Xiong, Y. y Chen, J. (2010). Protein oxidation enhances hydration but suppresses water-holding capacity in porcine longissimus muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, pp: 10697-10704.
- Marín-García, P., Planas, N. y Llobat, L. (2022). *Toxoplasma gondii* in Foods: Prevalence, Control, and Safety. *Foods*, 11: 2542, pp: 1-29.
- Matches J.R. y Liston, J. (2006). Low Temperature Growth of *Salmonella*. *Journal of Food Science*, 33 (6), pp: 641-645.
- Maziero, M.T. y Oliveira, T.C.R.M. (2010). Effect of refrigeration and frozen storage on the *Campylobacter jejuni* recovery from naturally contaminated broiler carcasses. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41 (2), pp: 501-505.
- McMillin, K.W. (2008). Where is map going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80, pp: 43-65.
- Miller, R.K. (2002). Factors affecting the quality of raw meat. En libro: *Meat Processing Improving Quality*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, pp: 27-63.
- Morton, V.K., Kearney, A., Coleman, S., Viswanathan, M., Chau, K., Orr, A. y Hexemer, A. (2019). Outbreaks of *Salmonella* illness associated with frozen raw breaded chicken products in Canada, 2015-2019. *Epidemiology & Infection*, 147: 254, pp: 1-3.
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M.M., Medel, I. y Beltrán, J.A. (2010). Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. *Meat Science*, 84, pp: 662-669.

- Muela, E., Monge, P., Sañudo, C., Campo, M.M. y Beltrán, J.A. (2015). Meat quality of lamb frozen stored up to 21 months: Instrumental analyses on thawed meat during display. *Meat Science*, 102, pp: 35-40.
- Palumbo, S.A. y Williams, A.C. (1991). Resistance of *Listeria monocytogenes* to freezing in foods. *Food Microbiology*, 8, pp: 63-68.
- Pham, Q.T. (2004). Thawing. En libro: *Encyclopaedia of meat science*, vol. 3. Jensen, editor. Oxford. Elsevier Academic Press, pp: 1150-1156.
- Pradhan, A.K., Li, M., Li, Y., Kelso, L.C., Costello, T.A. y Johnson, M.G. (2012). A modified weibull model for growth and survival of *Listeria innocua* and *Salmonella Typhimurium* in chicken breasts during refrigerated and frozen storage. *Poultry Science*, 91, pp: 1482-1488.
- PrimeSafe (2022). Shelf Life and Labelling Requirements for Meat Products. Disponible en: <https://www.prime-safe.vic.gov.au/standards-and-guidelines/primenotes/shelf-life-and-labelling-requirements-for-meat-products/> [acceso: 13-09-22].
- Qi, J., Xu, Y., Zhang, W., Xie, X., Xiong, G. y Xu, X. (2021). Short-term frozen storage of raw chicken meat improves its flavor traits upon stewing. *LWT - Food Science and Technology*, 142: 111029.
- Rahman, M.S. y Velez-Ruiz, J.F. (2007). Food Preservation by Freezing. En libro: *Handbook of Food Preservation*. 2ª edición. Boca Raton. CRC Press, pp: 636-657.
- Rowe, L.J., Maddock, K.R., O'Lonegan, S.M. y Huff-Lonergan, E. (2004). Influence of early post-mortem protein oxidation on beef quality. *Journal of Animal Science*, 82, pp: 785-793.
- Sayas-Barberá, E., Valero-Asencio, M.M., Navarro Rodríguez-Vera, C., Fernández-López, J., Haros, C.M., Pérez-Alvarez, J.A. y Viuda-Martos, M. (2021). Effect of different Black Quinoa fractions (seed, flour and wet-milling coproducts) upon quality of meat patties during freezing storage. *Foods*, 10 (12): 3080.
- Schnewberger, R., Voilley, A. y Weisser, H. (1978). Activity of water in frozen systems. *International Journal of Refrigeration*, 1 (4), pp: 201-206.
- Teuteberg, V., Kluth, I., Ploetz, M. y Krischek, C. (2021). Effects of duration and temperature of frozen storage on the quality and food safety characteristics of pork after thawing and after storage under modified atmosphere. *Meat Science*, 174: 108419.
- Tozzo, K., Neto, A.F.G., Spencoski, K.M., Ronnau, M., Soares, V.M. y Bersot, L.S. (2018). Migration of *Salmonella* serotypes Heidelberg and Enteritidis in previously frozen chicken breast meat. *Food Microbiology*, 69, pp: 204-211.
- UE (2004). Reglamento (CE) N° 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal. DO L 139 de 30 de abril de 2004, pp: 55-205.
- UE (2011). Reglamento (UE) N° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor y por el que se modifican los Reglamentos (CE) N° 1924/2006 y (CE) N° 1925/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan la Directiva 87/250/CEE de la Comisión, la Directiva 90/496/CEE del Consejo, la Directiva 1999/10/CE de la Comisión, la Directiva 2000/13/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2002/67/CE, y 2008/5/CE de la Comisión, y el Reglamento (CE) N° 608/2004 de la Comisión. DO L 304 de 22 de noviembre de 2011, pp: 18-63.
- UE (2021). Reglamento Delegado (UE) 2021/1374 de la Comisión, de 12 de abril de 2021, que modifica el anexo III del Reglamento (CE) N° 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requisitos específicos de higiene de los alimentos de origen animal. DO L 297 de 20 de agosto de 2021, pp: 1-15.
- USDA-FSIS (2005). United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service. Big thaw – safe defrosting methods for consumers. Disponible en: http://www.fsis.usda.gov/Fact_Sheets/Big_Thaw/index.asp [acceso: 13-09-22].
- USDA-FSIS (2013). United States Department of Agriculture-Food Safety and Inspection Service. Goat From Farm to Table. Disponible en: <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/meat/goat-farm-table> [acceso: 13-09-22].

- Vieira, C., Díaz, M.T., Martínez, B. y García-Cachán, M.D. (2009). Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. *Meat Science*, 83, pp: 398-404.
- Wang, Y., Liang, H., Xu, R., Lu, B., Song, X. y Liu, B. (2020). Effects of temperature fluctuations on the meat quality and muscle microstructure of frozen beef. *International Journal of Refrigeration*, 116 (2020), pp: 1-8.
- Xiong, Y.L. (2000). Protein oxidation and implications for muscle food quality. En libro: *Antioxidants in muscle foods*. Decker, E. y Faustman, C., editores. Chichester. John Wiley & Sons, pp: 3-23, 85-111, 113-127.