



Principales problemas sensoriales en la elaboración de derivados cárnicos tratados por el calor (actualización 2025)

Jacint Arnau Arboix
IRTA - Programa de Tecnología Alimentaria
Finca Camps i Armet, s/n. 17121 Monells (Girona)
jacint.arnau@irta.cat
ciarar@outlook.com



NUEVO



SISTEMA AUTOMATIZADO Y CONTINUO PARA LA COEXTRUSIÓN Y COCCIÓN ACELERADAS DE SALCHICHAS

- Fabricación de salchichas con **un sabor y una textura inmejorables**
- **Producción de salchichas firmes y estables** gracias al gel de tripa de alginato de HYBRICOL
- **Producción horizontal, sin dejar marcas de cinta** en el producto final
- **Alto volumen de producción**, de hasta 1200 piezas por minuto
- **Consumo energético muy bajo:** y reducción de Huella de Carbono.



*from tradition —
to disruption*

LOS derivados cárnicos tratados por el calor constituyen una forma de conservar la carne mediante un tratamiento térmico que logra la coagulación de las proteínas en su interior y reduce o elimina los microorganismos alterantes y/o patógenos. Además, algunos de ellos, se someten a procesos de ahumado o secado. Son derivados con valor añadido, cómodos, nutritivos y que son apreciados por sus características sensoriales. A pesar de que se conocen en profundidad los procesos implicados en su elaboración, los productos finales no siempre presentan las características sensoriales deseadas. Las causas de ello hay que buscarlas en las materias primas, en los ingredientes y aditivos utilizados, en los procesos de elaboración y en la comercialización del producto.

Este documento recoge información científico-técnica publicada, la experiencia acumulada de generaciones de profesionales y la personal del autor adquirida durante cuatro décadas de estudio de las causas y soluciones de los problemas sensoriales de los derivados cárnicos tratados por el calor.

Quiero expresar mi agradecimiento al IRTA y a su dirección por la confianza que en su momento depositaron en mí para abordar la I+D+i de los derivados cárnicos. También quiero agradecer al INIA, CDTI, Unión Europea, FECIC y a la Generalitat de Catalunya por la financiación de los proyectos de I+D+i relacionados con los derivados cárnicos tratados por el calor. Finalmente, agradecer al equipo de profesionales del IRTA-Monells por el esfuerzo y dedicación en la mejora del conocimiento de los derivados cárnicos, a la Dra. M^a Dolors Guàrdia y al Dr. Xavier Serra por las sugerencias en la redacción del documento, y a mi familia por el estímulo y comprensión en la realización de este trabajo.

Esta obra pretende ser de ayuda en la formación de los profesionales del sector cárnico, en la propuesta de soluciones a los problemas sensoriales y en la mejora del conocimiento para todos aquellos que aprecien los derivados cárnicos tratados por el calor y deseen conocerlos en profundidad. Espero que sirva también para identificar retos de investigación y anime a los estudiantes universitarios, profesionales, investigadores y empresas a profundizar en ellos teniendo en cuenta la gran diversidad que pueden encontrarse a nivel mundial.

Deseo que su lectura sea útil y contribuya a mejorar la calidad de los derivados cárnicos tratados por el calor en sus distintas formas de consumo.

Sumario

Presentación	1	1.3.4. Oxigenación de la hemoglobina en embutidos de sangre cocidos	29
Sumario	2	1.3.5. Decoloración verdosa interna en los embutidos de sangre	30
Introducción	4	1.4. Manchas de sangre	30
1. Aspecto	4	1.5. Irisaciones	30
1.1. Problemas relacionados con la calidad de la carne	4	1.6. Pardeamiento	31
1.1.1. Carnes PSE y desestructuradas	4	1.6.1. Reacción de Maillard	31
1.1.2. Carne con dos tonalidades	5	1.6.2. <i>Carnimonas nigrificans</i>	32
1.1.3. Carnes DFD	7	1.7. Precipitados	34
1.1.4. Carne tipo espagueti	8	1.7.1. Fosfatos	34
1.1.5. Estrías blancas	9	1.7.2. Lactatos de magnesio y de calcio	35
1.1.6. Pechugas tipo madera	9	1.7.3. Tirosina	36
1.1.7. Miopatía del pectoral profundo: músculo verde	10	1.7.4. Puntos blancos de grasa	36
1.1.8. Capacidad reductora de la carne	11	1.8. Puntos blancos en productos tratados por alta presión	36
1.1.9. Decoloración de la médula ósea de los cortes (<i>bone marrow discoloration</i>)	12	1.9. Desprendimiento de agua y gelatina	37
1.1.10. Quemadura de congelación	13	1.9.1. Factores de materia prima e ingredientes	37
1.1.11. Falta de cohesividad de la grasa subcutánea e intermuscular con el magro	14	1.9.2. Factores de proceso	39
1.1.12. Petequias y equimosis	15	1.9.3. Envasado	40
1.2. Problemas de color relacionados con la adición de nitrificantes	16	1.10. Desprendimiento de grasa	41
1.2.1. Zonas sin nitrificar en productos nitrificados	16	1.10.1. En el interior del producto	41
1.2.2. Quemadura de nitrito	16	1.10.2. En la periferia	42
1.2.3. Heterogeneidad del color en jamón cocido	17	1.10.3. Pérdida de grasa durante el tratamiento térmico del producto reenvasado	43
1.2.4. Oxidación del color en productos nitrificados	18	1.10.4. Mal ligado de los dados	43
1.2.4.1. Oxidación durante el tratamiento térmico	18	1.11. Deformación	44
1.2.4.2. Oxidación de productos loncheados envasados en atmósfera modificada (MAP)	20	1.11.1. Del producto	44
1.2.4.3. Oxidación del color del corte en piezas destinadas a lonchar	23	1.11.1.1. <i>Cupping</i>	44
1.3. Problemas de color en productos no nitrificados	23	1.11.1.2. Encogimiento de la tripa durante la cocción	45
1.3.1. Color rojo en productos no nitrificados	23	1.11.1.3. Estallido de la tripa al cocer	45
1.3.1.1. Debido a la estabilidad de los pigmentos no nitrificados	23	1.11.1.4. Pelado de salchichas	46
1.3.1.2. Debido a crecimiento microbiano	25	1.11.1.5. Incremento de altura (<i>doming</i>)	47
1.3.1.3. Debido a la presencia no deseada de nitrificantes	26	1.11.1.6. Contracción lateral	48
1.3.2. Oscurecimiento prematuro al cocer	28	1.11.1.7. Grietas	48
1.3.3. Huesos de muslos de pollo marrones	28	1.11.1.8. Agujeros/huecos	51
		1.11.1.9. Puntas secas	52
		1.11.1.10. Arrugado de la piel en loncheados	53
		1.11.1.11. Arrugado de salchichas	53
		1.11.1.12. Marcas de torsión, pelado y contacto en salchichas tipo frankfurt	53
		1.11.1.13. Distorsión de salchichas esterilizadas en salmuera	54

<ul style="list-style-type: none"> 1.11.1.14. Distorsión del bacon al cocinar .. 54 1.11.2. De los envases 56 <ul style="list-style-type: none"> 1.11.2.1. Arrugado del envase 56 1.11.2.2. Colapso del envase 56 1.11.2.3. Hinchazón del envase 57 1.11.2.4. Rotura de soldaduras 57 1.12. Adhesión de la carne <ul style="list-style-type: none"> a la tripa/bolsa (“cling”) 58 1.13. Distribución heterogénea <ul style="list-style-type: none"> de los ingredientes 59 <ul style="list-style-type: none"> 1.13.1. Ingredientes disueltos/dispersados en agua 59 1.13.2. Ingredientes sólidos 60 1.13.3. Ingredientes líquidos 62 1.14. Coloraciones verde-gris marrón <ul style="list-style-type: none"> producidas por especias 62 1.15. Pelos, cabellos y fibras 63 1.16. Defectos de ahumado 63 1.17. Problemas tecnológicos diversos 64 <ul style="list-style-type: none"> 1.17.1. Preparación de las salmueras 64 1.17.2. Proceso de inyección 64 1.17.3. Proceso de tenderización 65 1.17.4. Masaje 65 1.17.5. Cocción/enfriamiento 65 1.17.6. Formación de espuma al cocinar 66 1.17.7. Envasado 67 1.18. Problemas de aspecto de origen <ul style="list-style-type: none"> microbiológico 67 <ul style="list-style-type: none"> 1.18.1. Limo, gas, decoloración gris-verde y acidificación 67 1.18.2. Manchas azules 73 1.18.3. Manchas rosadas 74 1.18.4. Manchas amarillas 74 1.18.5. Manchas negras 74 1.18.6. Coloración rosa de las tripas saladas 74 1.18.7. Remelo 74 1.18.8. Crecimiento de moho 74 	<ul style="list-style-type: none"> 2. Textura 75 <ul style="list-style-type: none"> 2.1. Ligado 76 <ul style="list-style-type: none"> 2.1.1. Desligado del magro 76 2.1.2. Desligado de la grasa 77 2.1.3. Cohesión de la loncha: loncheabilidad 77 2.1.4. Desgranado/desfibrado de la carne 78 2.1.5. Adhesividad entre lonchas 78 2.2. Mordiente cárnico 79 2.3. Crujencia 79 2.4. Plasticidad/gomosidad 80 2.5. Acortezado 80 2.6. Textura reseca, estropajosa, falta de ternura 80 2.7. Jugosidad 80 2.8. Untabilidad 81 2.9. Residuo de conectivo 81 2.10. Harinosidad 82 2.11. Presencia de huesos en carne MDM 82 2.12. Sensación astringente 82 3. Flavor 82 <ul style="list-style-type: none"> 3.1. Problemas de flavor/sabor producidos por ingredientes y procesos 84 <ul style="list-style-type: none"> 3.1.1. Olor y sabor ácidos 84 3.1.2. Sabor salado 85 3.1.3. Sabor amargo 86 3.1.4. Recalentado (<i>warmed-over flavour</i>) 86 3.1.5. Rancio 87 3.1.6. Oxidación del aroma por falta de nitrito . 88 3.1.7. Olor a grasa cocida oxidada 88 3.1.8. Orina de gato 88 3.1.9. Olor a tripa 88 3.1.10. Defectos de ahumado 89 3.1.11. Olor a confinado 89 3.1.12. Tostado 89 3.1.13. Olor sexual 89 3.1.14. Olor a cuadra de cerdos 90 3.1.15. Falta de sabor/aroma 90 3.1.16. Evolución del sabor/aroma 90 3.1.17. Otros olores extraños 91 4. Conclusión 91 5. Bibliografía 91
--	---

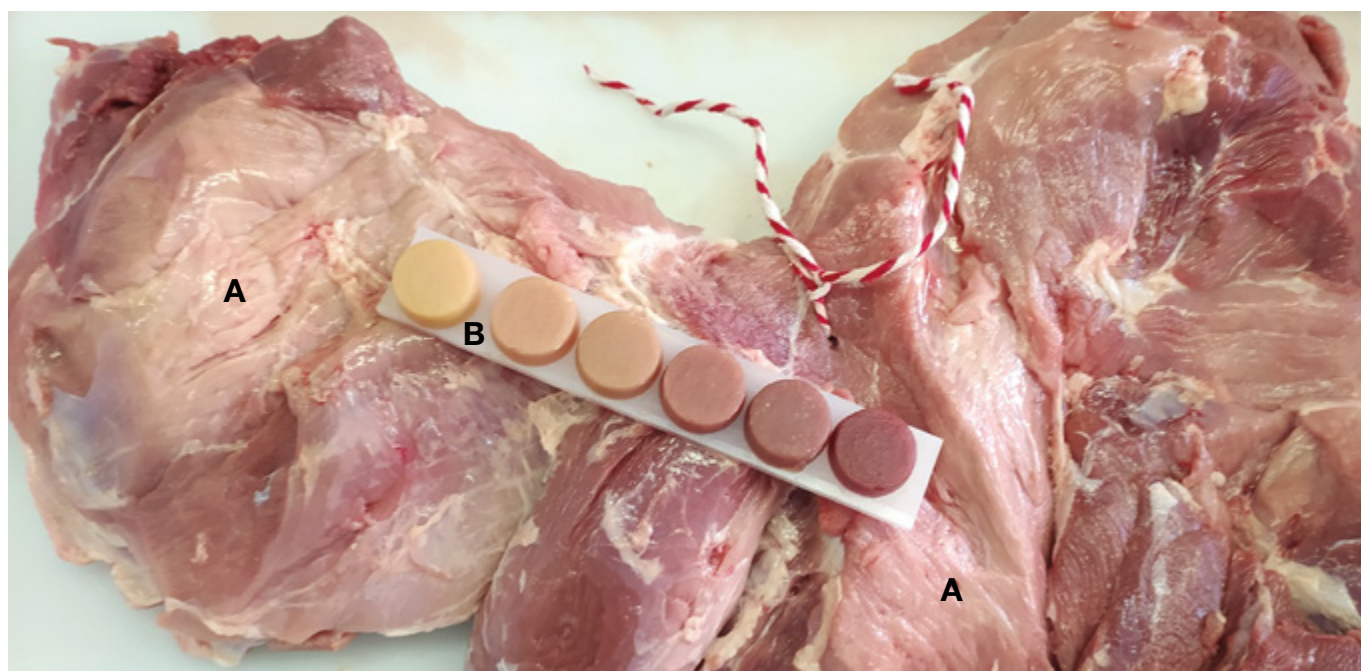


Imagen 1a. Jamón con características PSE en algunas zonas internas (A). Escala japonesa (B).

Introducción

Según el Real Decreto 474/2014, se entiende por derivados cárnicos tratados por el calor aquellos que, son elaborados con carne, a la que se le puede añadir sangre, grasa o menudencias, que se han sometido en su fabricación a un tratamiento térmico suficiente para alcanzar, en su parte interna, una coagulación parcial o total de sus proteínas. Adicionalmente, pueden ser sometidos a tratamientos de ahumado y maduración. Podrán pertenecer a este grupo aquellos productos elaborados mediante nuevas técnicas de tratamiento, surgidas de la innovación tecnológica, que ofrezcan efectos científicamente demostrados equivalentes, al menos, a los tratamientos tradicionales de esterilización y pasteurización, sin perjuicio de la normativa vigente. Según el tratamiento térmico utilizado en su elaboración, los derivados cárnicos tratados por el calor pueden ser: i) derivados cárnicos esterilizados, ii) derivados cárnicos pasteurizados o iii) derivados cárnicos con tratamiento térmico incompleto.

Uno de los objetivos fundamentales de la elaboración de los derivados cárnicos tratados por el calor es que tengan la máxima calidad sensorial. Sin embargo, esta no siempre se alcanza debido a distintas causas cuyo origen puede estar en las materias primas, en los ingredientes y aditivos utilizados, en los

procesos de elaboración y en la comercialización del producto. Estas problemáticas disminuyen la calidad del derivado e incluso pueden hacerlo inaceptable.

A continuación, se detallan algunos de los problemas de aspecto, textura y flavor que se pueden encontrar en derivados cárnicos tratados por el calor durante el proceso de elaboración.

1. Aspecto

1.1. Problemas relacionados con la calidad de la carne

1.1.1. Carnes PSE y desestructuradas

Una de las causas más comunes de desestructuración de las zonas musculares en los derivados cárnicos tratados por el calor, obtenidos a partir de piezas, son las carnes pálidas blandas y exudativas (PSE), del inglés (*pale*: pálida, *soft*: blanda, *exudative*: exudativa), (imágenes 1a, b). Dicha problemática puede darse en carne de cualquier especie animal, pero es más común en carne de cerdo. Los músculos más afectados son los músculos blancos como por ejemplo, el músculo semimembranoso, aunque el músculo aductor, con frecuencia también está afectado en su interior. Este problema se produce cuando tiene lugar una disminución rápida del

pH mientras la temperatura de la canal/carne es aún elevada. La presencia de carnes PSE viene afectada por: i) la genética (incidencia más elevada en animales sensibles al estrés o con el gen del halotano), ii) el bienestar animal (incidencia más elevada cuando el animal se estresa en el período previo o durante el sacrificio, si aún tiene reservas de glucógeno importantes en los músculos), y iii) una temperatura elevada durante el proceso de transformación del músculo en carne. Si la caída del pH es muy rápida, dado que la glucólisis genera calor, se produce un incremento importante de temperatura. Así, por ejemplo, Briskey & Wismer-Pedersen (1961) observaron un incremento de temperatura de unos 2-3 °C en canales PSE respecto a canales normales poco tiempo después del sacrificio; y Stabursvik *et al.* (1984) encontraron, a los 15 minutos *post mortem*, en músculos en los que la glucólisis se produjo rápidamente, una temperatura media de 42,6 °C, frente a 40,3 °C de los músculos normales. La combinación de un pH bajo y una temperatura elevada genera una desnaturalización parcial de las proteínas sarcoplasmáticas y de la parte menos termoestable de la miosina (Stabursvik *et al.*, 1984; Offer, 1991) lo cual afecta negativamente a la estructura del producto cocido. Para facilitar la disminución de temperatura interna es muy efectivo abrir la maza (músculo semimembranoso) inmediatamente después de dividir la canal en dos partes (Voutila *et al.*, 2006), lo cual elimina prácticamente el problema de jamones cocidos desestructurados (Scheeder & Hugenschmidt, 2011). El despique e inyección de la carne en prerigor disminuye el problema de las carnes PSE (Serra *et al.*, 2019).

Según Minvielle *et al.* (2001) la incidencia de jamones desestructurados es mucho más elevada en jamones de pH < 5,5, se ve incrementada por la conformación y el peso al sacrificio, está afectada por el día de sacrificio y no está afectada por la edad del animal.

Los problemas derivados del uso de carnes PSE son menos importantes en derivados cárnicos tratados por el calor a los que se les añadan ingredientes (i.e. fosfatos, almidones, hidrocoloides, proteínas no cárnicas funcionales) que puedan compensar la pérdida de propiedades funcionales de la carne (Barbut, 2009; Petracci *et al.*, 2013). Sin embargo, la presencia de carnes PSE puede contribuir a aumentar el aspecto troceado del corte, que



Imagen 1b. Carne de vacuno con características PSE en la zona interna, debido a una disminución lenta de la temperatura después del sacrificio.

es debido a la presencia de piezas de carne que se han roto durante el proceso de elaboración.

En la elaboración de productos inyectados debe revisarse con frecuencia que las agujas de inyección no estén obturadas. Así pues, es importante no confundir las carnes PSE con las carnes ácidas mal inyectadas, especialmente en los procesos de corta duración, donde existen zonas en que los ingredientes de la salmuera no están presentes al inicio de la cocción para ejercer su acción de mejora de la capacidad de retención de agua.

En los derivados cárnicos frescos, las carnes PSE exudan mucho en las bandejas durante la comercialización, y pierden más líquido al cocer, lo cual da lugar a una carne poco jugosa. El rebozado de la carne fresca compensa, en parte, las pérdidas de jugos en la cocción y mejora la calidad sensorial final.

1.1.2. Carne con dos tonalidades

La presencia de dos tonalidades de color (pálida vs rosada), normalmente con un color más pálido en el interior y más rojo en superficie, suele deberse a la combinación de temperatura elevada y pH bajo en la zona más interna en la fase previa al *rigor mortis*, y se detecta con mayor frecuencia en aquellas partes más voluminosas de la canal, donde la refrigeración es más lenta (**imagen 1b**). También se produce por diferencias de color debidas a los propios músculos (**imagen 1c**). King *et al.*, (2018) describen un problema de heterogeneidad del color que afecta al músculo *biceps femoris* en carne de cerdo, denominado "*ham halo condition*" (HHC) (**imagen 1d**).



Imagen 1c. Heterogeneidad de color entre los músculos.

Se trata de una banda de músculo muy pálida en la zona superficial adyacente a la grasa subcutánea, en la que hay una reducción muy importante del contenido de mioglobina (48 %), más pronunciada en la porción distal y con una predominancia de fibras blancas glucolíticas, mientras que en la zona interna el color es normal. El HHC genera un aspecto pálido no solo en la carne fresca sino también en el jamón cocido (**imagen 1e**). Es importante destacar que este color pálido no se asocia a características de carnes PSE. La selección genética para obtener más fibras rojas y mayor contenido de mioglobina puede ayudar a mitigar este problema (King *et al.*, 2020). La heterogeneidad del color es



Imagen 1d. Heterogeneidad del color en el músculo *biceps femoris* ("ham halo condition").



Imagen 1e. Heterogeneidad del color en el músculo *biceps femoris* ("ham halo condition") en jamón cocido.



Imagen 1f. Heterogeneidad del color en el músculo *semitendinosus*.

frecuente también en el músculo *semitendinosus* (Warris *et al.*, 1980) (**imagen 1f**) y en el *semimembranosus* (Kirkpatrick *et al.*, 2022); en este último, la parte caudal es más pálida y la craneal más roja. En general, las fibras más rojas y más oxidativas

predominan en los músculos próximos a las articulaciones para mantener su estabilidad, y las fibras blancas, más glucolíticas, abundan en los músculos más superficiales que precisan mucha potencia en determinados momentos (Stufft *et al.*, 2017).

1.1.3. Carnes DFD

La carne DFD (**imágenes 2a, b, c**), del inglés (*dark*: oscura, *firm*: firme, *dry*: seca) se presenta cuando se agota el glucógeno muscular por un estrés prolongado antes del sacrificio del animal, o por un ayuno muy prolongado, lo cual da lugar a un pH_{24} elevado, que es más frecuente en los músculos rojos que en los blancos (algunos autores consideran que la carne de cerdo es DFD cuando el $\text{pH} > 6,0$ y otros cuando el $\text{pH} > 6,2$). Un valor elevado de pH en músculos blancos como el semimembranoso (tapa) o el *longissimus dorsi* (lomo) suele traducirse en características DFD en casi todos los músculos de la canal. La carne DFD y los productos que se elaboran con ella se alteran antes que los procedentes de carne normal debido a que las bacterias deteriorantes crecen más rápidamente a $\text{pH} > 6,0$, pero esta explicación es sólo parcialmente correcta. Una vez que cesa la glucólisis, el músculo normal posee una cierta cantidad de glucógeno residual, pero es muy baja o está ausente en el músculo DFD. Además, las pequeñas cantidades de glucosa e intermedios glucolíticos, generalmente presentes en el músculo, están ausentes o a bajas concentraciones en la condición DFD. La mayoría de bacterias que se desarrollan en la carne usan glucosa para su crecimiento; cuando esta se agota, atacan a los aminoácidos, y aparecen olores pútridos, lo cual puede evitarse añadiendo glucosa (Newton y Gill, 1981) u otros azúcares a la carne DFD. El problema de las carnes DFD es más importante en vacuno y ovino que en porcino, y las causas que lo originan han sido ampliamente estudiadas (Ponnampalam *et al.*, 2017). Estas carnes tienen una elevada capacidad de retención de agua; la textura de la carne es más pegajosa al tacto, al cortar y amasar; también es más tierna debido a la mayor actividad de las calpainas (enzimas proteolíticas responsables, en gran medida, de la tenderización de la carne), pero después de cocerla su sabor es pobre debido a la falta de sustancias intermedias glucolíticas implicadas en la reacción de Maillard. El color de la carne DFD se

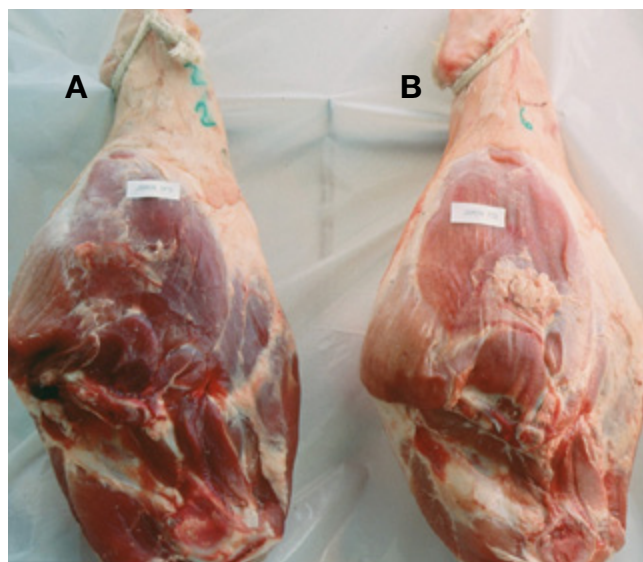


Imagen 2a. Aspecto externo de un jamón DFD (A) y un jamón PSE (B).

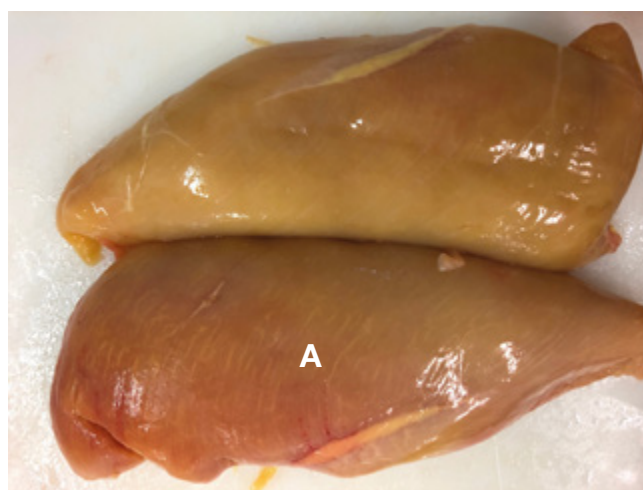


Imagen 2b. Pechuga de pollo DFD (A).



Imagen 2c. Carne de vacuno DFD (A) y normal (B).



Imagen 3a. Carne tipo espagueti.



Imagen 4a. Estrías blancas (*white stripping*) en carne de pollo.



Imagen 3b. Carne tipo espagueti (intensidad moderada).



Imagen 4b. Estrías blancas en carne de pollo.

ve afectado en los productos no nitrificados por la mayor estabilidad de la mioglobina a la cocción, y en los productos nitrificados por la generación más lenta de óxido nítrico fruto de la reducción del nitrato por la carne durante la maduración y cocción, que genera defectos de color (ver 1.2 y 1.3).

1.1.4. Carne tipo espagueti

Esta anomalía de la carne se caracteriza porque el músculo, si se presiona ligeramente, pierde su integridad y se deshace en tiras de aspecto similar al de los espaguetis (**imágenes 3a, b**). La carne tipo espagueti se produce sobre todo en pollos y en menor medida en pavos (Zampiga *et al.*, 2020), más

en hembras que en machos (Pascual *et al.*, 2020) y afecta al músculo pectoral mayor de animales de crecimiento rápido, especialmente en la parte ventro-craneal. Recientemente se ha encontrado también carne de cerdo con estructura tipo espagueti (Gudrun, 2019). En la carne tipo espagueti las capas del tejido conjuntivo son débiles y no permiten una buena cohesión entre los haces de fibras, por lo que el uso de sistemas de desplumado agresivos pueden empeorar el problema y provocar que las fibras se separen más fácilmente durante el manejo y fileteado (Baldi *et al.*, 2021). Este tipo de carne da lugar a más pérdidas por goteo y por cocción (Pascual-Guzmán *et al.*, 2021) y una textura del producto cocido más desfibrable, especialmente, si no se añaden ingredientes funcionales.



Imagen 4c. Estrías blancas en carne de pavo.



Imagen 5a. Pechugas tipo madera.

1.1.5. Estrías blancas

La formación de estrías blancas (*white striping*) es un problema de aspecto que se encuentra con frecuencia en la carne de pollo (imágenes 4a, b) y de pavo (imagen 4c), y es más común en músculos blancos que en músculos rojos (Kuttappan *et al.*, 2016). Dichas estrías van paralelas a las fibras musculares especialmente en la parte craneal de la pechuga. Se observa una mayor incidencia en animales machos, cuando tiene lugar un buen rendimiento, crecimiento rápido, sacrificio a pesos elevados, nutrición con alimentos ricos en energía y en animales con pechugas grandes y de elevado espesor. En las piezas con mucha afectación de estrías blancas el contenido de grasa y la relación colágeno/proteína son superiores, el contenido de proteína es inferior y el pH ligeramente superior. Dicho efecto en la composición, así como las implicaciones negativas en las propiedades tecnológicas de la carne (e.g. absorción de salmuera, rendimiento de cocción, ligado...) es mayor en pollos que en pavos (Mudalal, 2019; Petracci *et al.*, 2013; Soglia *et al.*, 2018). Según Zaid *et al.* (2020) la espectroscopía visible/infrarrojo cercano permite diferenciar los filetes normales de los que tienen una elevada afectación de estrías blancas, lo cual podría ser útil en la selección en línea. Vanderhout *et al.* (2022) estudiaron la heredabilidad del problema de estrías blancas, indicando la necesidad de incluir los parámetros de calidad de la carne en los esquemas de selección. Por otra parte, la aplicación de una alimentación restringida, en lugar de una alimenta-



Imagen 5b. Pechugas tipo madera.

ción *ad libitum*, parece disminuir los problemas de estrías blancas sin que se vea afectada la velocidad de crecimiento ni la eficiencia de conversión (Ayan-sola *et al.*, 2022).

1.1.6. Pechugas tipo madera

Los músculos tipo “madera” (imágenes 5a, b) constituyen una miopatía que afecta al músculo pectoral mayor (*pectoralis major*) en las líneas de pollos de engorde comerciales de crecimiento rápido. La pechuga tipo madera se puede detectar mediante palpación in vivo de la zona del pecho, ya que aquellas que están afectadas tienen un músculo pectoral mayor muy duro con valor comercial menor. Un rasgo histológico distintivo de la pechuga de madera es la reticulación del colágeno y la fibrosis (Soglia *et al.*, 2016; Velleman, 2020), dando



Imagen 6a. Problema del músculo verde que afecta al pectoral menor.



Imagen 6b. Diferentes intensidades de problema del músculo verde (aspecto externo).



Imagen 6c. Diferentes intensidades de problema del músculo verde (aspecto interno).

lugar a una pérdida de propiedades funcionales, especialmente capacidad de retención de salmuera y pérdidas durante la cocción (Tijare *et al.*, 2016). La suplementación con ácido guanidinoacético, en un estudio realizado por Khalil *et al.* (2021), redujo el problema de pechuga de madera.

1.1.7. Miopatía del pectoral profundo: músculo verde

El músculo verde o miopatía del pectoral profunda (**imágenes 6a, b, c**) afecta a los músculos pectorales menores en el pollo y pavo de engorde. Lo desencadena una actividad muscular elevada (e.g. aleteo intenso) que genera un estrangulamiento de los vasos sanguíneos en los músculos profundos de la pechuga. El bloqueo de los vasos genera una deficiencia de oxígeno y posterior muerte celular. La actividad repentina y extrema, en combinación con el aumento de temperatura en estos músculos no entrenados da lugar a daños y hemorragias. Comienza con una necrosis del músculo pectoral profundo debido a un suministro insuficiente de sangre. En la fase aguda, se produce necrosis hemorrágica del músculo pectoral profundo, volviéndose verde y encogiéndose en una etapa posterior. Al ocurrir la necrosis, el organismo trata de reemplazar el tejido, produciéndose una sustitución del tejido muscular por tejido adiposo y fibrinoso. En aquellas aves que presenten el problema mucho antes del sacrificio, los pectorales profundos se verán de un color verde intenso a pálido con menos hemorragias en comparación a lo que se observaría si hubiese sido próximo al sacrificio, en que se observarían hemorragias e inflamación aguda. La información del aspecto que se observa en el despiece referido al problema de músculo verde puede relacionarse con el manejo para indicar mejoras potenciales (Bilgili & Hess, 2008). Es un problema que depende de la edad, peso al sacrificio, condiciones de cría, movilidad de las aves, raza y genotipo. Los animales jóvenes tienen mayor incidencia que los mayores y aumenta con la velocidad de crecimiento. Según Bilgili & Hess (2008) el punto clave para la disminución de la miopatía del músculo verde consiste en la aplicación de diversas directrices de manejo que proponen para la minimización del aleteo. La sección afectada se debe eliminar en el fileteado, si se detecta, pudiéndose aprovechar el resto de

la pechuga, pero el problema es más complejo en las canales enteras (Nawaz *et al.*, 2022) ya que no existen métodos que permitan una detección precisa después del sacrificio.

1.1.8. Capacidad reductora de la carne

La homeostasis redox es esencial para la salud y la supervivencia de las células musculares y proporciona una buena calidad de la carne debido a que confiere una buena estabilidad del color y capacidad de retención de agua y protección frente a la oxidación de los lípidos y proteínas (Estévez *et al.*, 2020). Después del sacrificio dicha homeostasis se ve dañada, produciéndose reacciones de oxidación que afectan negativamente al color, aroma, textura, CRA y valor nutricional. Los mecanismos que afectan al potencial redox son complejos y en ellos intervienen numerosas sustancias (e.g. NADH, glutatión...). Uno de los sistemas que ha sido objeto de estudio por sus implicaciones en la estabilidad del color de la carne es la capacidad reductora de la metamioglobina (MRA) (Bekhit & Faustman, 2005; Ledward, 1972; Hunt *et al.*, 2012). Dicha capacidad reductora se va perdiendo con el tiempo, especialmente cuando el contenido de oxígeno es bajo. El oxígeno va difundiendo hacia el interior de la carne de forma proporcional a la raíz cuadrada de $(D_e \cdot C/A)$ siendo D_e la difusividad efectiva, C la concentración de oxígeno de la atmósfera y A el consumo de oxígeno, por lo que la concentración de oxígeno disminuirá paulatinamente al alejarse de la superficie. Cuando la concentración de oxígeno disminuye por debajo del 3%, se produce la oxidación de la oximioglobina (OxiMb) a metamioglobina (MetaMb) (valor máximo a $7,5 \pm 3$ mm Hg de O_2 a $7^\circ C$ (Ledward, 1970)). En los primeros días *post mortem* la MetaMb se transforma a deoximioglobina (DMb) por acción de la MRA, pero cuando esta capacidad disminuye o se agota a cierta profundidad, se puede detectar una línea de color pardo de MetaMb bajo la capa de OxiMb (**imágenes 7a, b**) que indica que la MRA está agotándose y a la carne le queda poco tiempo de vida útil con un color aceptable. Para reducir los problemas de oxidación y degradación del aroma, es conveniente procesar la carne para la elaboración de productos cocidos no nitrificados antes de que se agote la MRA. A contenidos de oxígeno muy bajos, la capa de MetaMb se va

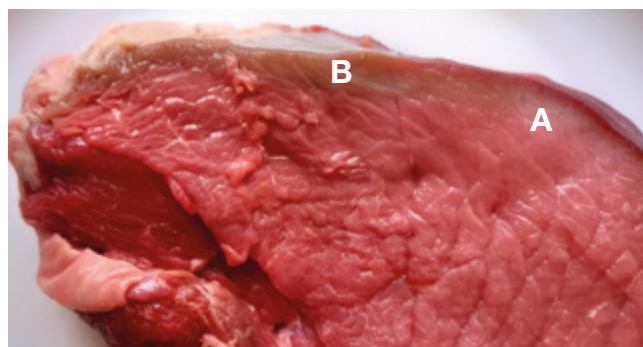


Imagen 7a. Capa de metamioglobina (color marrón) bajo la capa de oximioglobina en zona muscular oxigenada (A). Zona marrón que alcanza la superficie en la zona cubierta de conjuntivo (B).

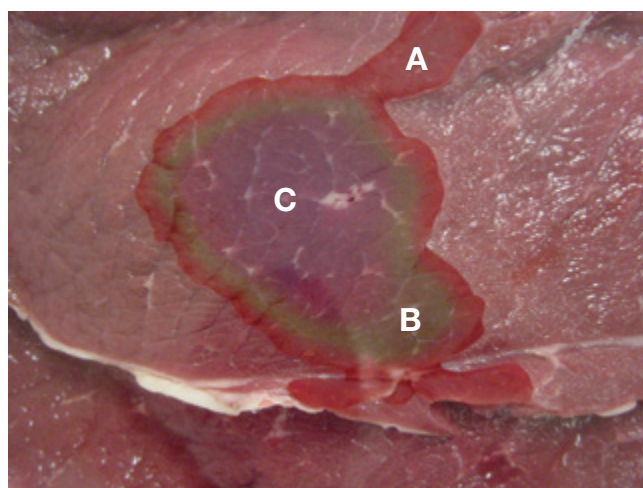


Imagen 7b. Zona de contacto de la carne con el film de envasado en que se observan diferentes pigmentos (OxiMb (A), MetaMb (B), DMb (C)) en función del contenido de oxígeno.

diluyendo y aparece la capa de DMb. Para tener DMb en la carne envasada se precisa un contenido de oxígeno muy bajo ($< 1,4$ mm Hg) tanto en el interior del envase como en el interior de la carne; de ahí surge la necesidad de realizar un buen vacío, utilizar envases alta barrera al oxígeno y evitar la presencia de oxígeno en las salmueras de inyección. La capa de MetaMb va acercándose a la superficie de forma gradual a medida que la capa de OxiMb pierde su capacidad de mantener la MetaMb reducida (**imagen 7a**). Por otra parte, hay que tener en cuenta que la presión parcial de oxígeno en el músculo del animal vivo es de 2-3 mm Hg y la de la sangre de 15-20 mm Hg, por lo que es importante realizar un sangrado rápido para mejorar la estabilidad del color, ya que la mioglobina tiene más afinidad por el oxígeno que la hemoglobina, especialmente al disminuir el pH y aumentar el contenido de CO_2 (efecto Bohr).



Imagen 7c. Banda de MetaMb debido a un contenido bajo de oxígeno producida por contacto de una cuerda.



Imagen 7d. Banda de MetaMb debido a un contenido bajo de oxígeno en una zona que previamente correspondía a una soldadura.



Imagen 7e. Carne recién inyectada con salmuera oxigenada. Se observa un enrojecimiento de las zonas inyectadas, que posteriormente pasará a marrón.



Imagen 7f. Aspecto de carne inyectada con salmuera rica en oxígeno tras 24 h de reposo. Las zonas inyectadas sufrieron una oxidación del color.



Imagen 7g. Carne inyectada con salmuera oxigenada tras 24 h de reposo. Se observa MetaMb en toda la superficie de corte excepto en la zona superficial oxigenada.



Imagen 7h. Cambio irreversible del color en la zona del muslo de pavo en contacto con el envase (a partir de los 5 días) debido a cierta presencia de oxígeno en la zona de contacto.

La estabilidad de la OxiMb está favorecida a altos contenidos de oxígeno, pero al mismo tiempo se facilita la oxidación lipídica. Se ha sugerido que el consumo de oxígeno debido a la oxidación lipídica puede acelerar la oxidación de la OxiMb mediante la disminución de la presión parcial de oxígeno, lo cual sugiere que la oxidación lipídica precedería a la oxidación de la OxiMb si ambos procesos estuviesen conectados.

El valor Q_{10} , que representa el factor de incremento de velocidad por cada 10 °C, tiene valores cercanos a 5 para la oxidación de la OxiMb, lo cual indica la gran importancia que tiene la temperatura en la formación de la MetaMb (Faustman & Cas-sens, 1990). Además, un aumento de temperatura genera un aumento del consumo de oxígeno, mayor crecimiento microbiano y oxidación lipídica, de manera que el conjunto contribuye a la decoloración de la carne.

Al envasar carne muy oxigenada al vacío, mover magros oxigenados apilados, inyectar salmuera con oxígeno disuelto, permitir contacto de la carne oxigenada con el film y al aumentar la temperatura se produce una pérdida de la MRA. La pérdida de

la MRA genera un cambio de color rojo a marrón (**imágenes 7a-h**) y una mayor susceptibilidad a la oxidación, tanto en los derivados frescos como en los cocidos, especialmente cuando no se utilizan nitrificantes. La transformación de la OxiMb a DMb es un proceso en dos pasos. En el primer paso (i.e. transformación de la OxiMb a MetaMb) se generan sustancias capaces de producir oxidaciones de ácidos grasos (Faustman *et al.*, 2010) y de la OxiMb que pueden afectar negativamente al aroma, y en el segundo paso la MetaMb es reducida a DMb consumiendo potencial reductor de la carne. Si la MRA está agotada la carne tendrá color marrón y tendrá consecuencias negativas en el aroma y en la calidad del producto transformado.

1.1.9. Decoloración de la médula ósea de los cortes (*bone marrow discoloration*)

El envasado en atmósfera modificada con alto contenido en oxígeno facilita la decoloración de la médula ósea de los cortes, lo cual disminuye la vida útil de la carne fresca que se comercializa con hueso. La fase soluble en agua de la médula ósea es la principal responsable de esta decoloración,



Imagen 8. Decoloración de la médula ósea (A) y efecto de la adición de una solución de ascorbato (B).

mientras que la porción lipídica no tiene un papel importante en la estabilidad del color. Dentro de esa fase soluble en agua, el estado oxidoreductor de la hemoglobina es el principal determinante del color de la médula ósea (Mancini *et al.*, 2004, 2005).

El estabilizar el estado ferroso de la hemoglobina mediante aplicación de agentes reductores solubles en agua, como el ácido ascórbico, eritorbato de sodio (Mancini *et al.*, 2007) y ascorbato de sodio (**imagen 8**), o la exclusión del oxígeno de la atmósfera modificada son las medidas más efectivas para aumentar la estabilidad del color de la médula ósea. El aumento de la estabilidad de los lípidos (con palmitato de ascorbilo) o la adición de quelantes de metales (EDTA, ácido cítrico) no tiene efecto positivo en la estabilidad oxidativa de la hemoglobina y en el color de la médula ósea. Por otra parte, se ha observado que los envases sin oxígeno, los de muy bajo contenido en oxígeno y los que contienen un 0,4% de monóxido de carbono mantienen a la hemoglobina en su estado ferroso y mejoran la estabilidad del color de la médula ósea (Van Rooyen *et al.*, 2017).

1.1.10. Quemadura de congelación

La quemadura por congelación está causada por la deshidratación superficial de la carne o piel, que tiene lugar como consecuencia de la sublimación de los cristales de hielo de la superficie debido a que la presión de vapor del hielo en la superficie del alimento es superior a la presión de vapor del aire, y al mismo tiempo el vapor de agua del aire condensa como hielo en la superficie más fría del sistema de refrigeración (Schmidt & Lee, 2009). La quemadura de congelación se produce especialmente en

la carne que se congela durante mucho tiempo, sin la protección de films plásticos impermeables al agua que mantengan un contacto perfecto con el producto y si hay oscilaciones importantes de temperatura en el congelador, lo cual confiere a la superficie de la carne y/o piel un aspecto poroso, blanquecino y decolorado producido por la sublimación del hielo superficial de la pieza durante el almacenamiento (**imágenes 9a, b**). El glaseado, la disminución de la temperatura de almacenamiento, el uso de contenedores o envases impermeables al agua y el envasado al vacío reducen las quemaduras de congelación (Dalvi-Isfahan *et al.*, 2019).

Según Kaess & Weidemann (1969) los daños por quemaduras de congelación fueron menores durante el almacenamiento cuando la velocidad de congelación disminuyó, siendo esta disminución más importante en los casos en que se permitió una pérdida de peso que en los que no se permitió, y bajo condiciones que eviten la evaporación, y fue mayor en zonas en que el corte era perpendicular a la dirección de las fibras. En la zona en que se presenta quemadura por congelación se produce una pérdida de propiedades funcionales de las proteínas e inicio de procesos oxidativos tanto de los lípidos como de las proteínas.

La quemadura de congelación se considera reversible si es ligera, pero pasa a irreversible en estadios más avanzados. En los estudios realizados por Ashby *et al.* (1973, 1974) se observó que las pancetas sufrieron menos quemaduras que los jamones, y que, en las pancetas, a los 4 meses de almacenamiento en congelación, las quemaduras fueron muy ligeras, mientras que se observó un aumento significativo entre los 4 y los 6 meses.



Imagen 9a. Quemadura de congelación.



Imagen 9b. Quemadura de congelación (aspecto del corte).

Finalmente, debe tenerse en cuenta que el almacenamiento de la carne congelada genera una cierta desnaturalización de las proteínas cárnicas. Según Zhang *et al.* (2021) la congelación a una temperatura inferior a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ induce la cristalización de más del 90 % del agua, lo cual, en teoría puede aumentar en más de 10 veces la fuerza iónica y la concentración de protones en la fase acuosa no congelada, lo cual puede generar cierta desnaturalización proteica.

1.1.11. Falta de cohesividad de la grasa subcutánea e intermuscular con el magro

El problema de falta de consistencia de la grasa subcutánea (**imágenes 10a, b**) y la facilidad de separación de las capas de grasa, por ejemplo, en pancetas (**imagen 10c**) genera problemas de manejo, procesado y sensoriales, separación de grasa en productos envasados y reduce el rendimiento en la producción de bacon.

Los antecedentes bibliográficos (Schinckel *et al.*,



Imagen 10a. Falta de cohesión de la grasa subcutánea (lomo).



Imagen 10b. Falta de cohesión de la grasa subcutánea (jamón).



Imagen 10c. Falta de cohesión entre la grasa y el magro en panceta.

(2002); Soladoye *et al.*, (2015); Soladoye, (2017); Whitney *et al.*, (2006); Wood *et al.*, (2008)) indican que la composición de la grasa subcutánea e intermuscular (alto contenido de triglicéridos con ácidos grasos poliinsaturados, y un alto contenido de agua) y el espesor de grasa subcutánea (menor

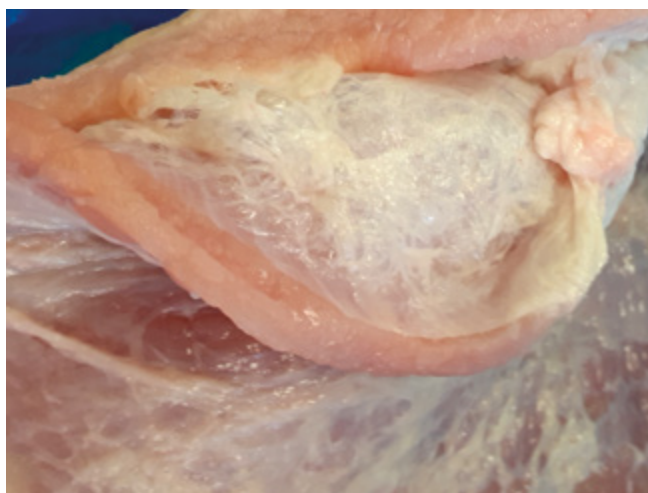


Imagen 10d. Presencia de aire en la grasa intermuscular de la panceta.



Imagen 10e. Petequias.

espesor menor cohesividad) son los parámetros objetivos que determinan en mayor medida la falta de consistencia. Según Sather *et al.* (1995) las estrategias genéticas, de alimentación y manejo dirigidas a aumentar el contenido de magro, así como la inmadurez del tejido graso (Santoro, 1984), pueden ser las responsables de la textura blanda de las pancetas.

Dicho problema es superior en las pancetas procedentes de cerdos machos enteros que en las pancetas procedentes de hembras. Dentro de cada sexo, se ha observado también que el problema presenta una correlación positiva con el porcentaje de magro que presenta el cerdo.

Al aumentar el tiempo de reposo de las canales de 18 h a 36 h se reduce de forma importante la incidencia del problema. La mejora de la consistencia con el tiempo, si bien ha sido poco estudiada, se podría explicar por la formación paulatina de los polimorfismos más estables de los triglicéridos, es decir las formas β , frente a las β' y α que se forman más rápido (debido a su mayor velocidad de nucleación) y son menos estables.

El efecto de las acciones mecánicas que sufre la canal en el matadero (e.g. peladora, extracción de la grasa que cubre la panceta,...) y en sala de despiece (e.g. descortezadora...) en la cohesividad de la grasa, debería ser estudiado, ya que pueden facilitar la separación de las distintas capas de grasa/magro especialmente cuando la carne y la grasa están aún calientes.

El uso de aire comprimido en el despiece de canales de cerdo debe evitarse, ya que se puede

producir entrada de aire en las capas de tejido conjuntivo (e.g. panceta) que facilita la separación de capas y disminuye la vida útil de la carne envasada (**imagen 10d**), o facilita el acúmulo de salmuera. A veces, el desligado se detecta también tras la cocción y desmoldado del bacon.

1.1.12. Petequias y equimosis

Las petequeas son manchas de sangre pequeñas y puntiformes (**imagen 10e**), de tamaño inferior a 3 mm de diámetro, que se encuentran en la superficie del tejido subcutáneo y en el conectivo insertado en la fascia muscular (perimisio). Histológicamente, las petequeas están formadas por fibrina, trombos plaquetarios y eritrocitos extravasados a la periferia. Las equimosis son manchas de sangre con un diámetro que no suele ser superior a 20 mm, situadas en el tejido muscular y subcutáneo, debidas, entre otros, al incremento de la presión sanguínea y a la actividad muscular durante el aturdimiento eléctrico (Velarde *et al.*, 2000), y que no precisan de golpes/contusiones para aparecer. Las principales causas de las petequeas son:

- La utilización del sistema de aturdimiento eléctrico cabeza-cuerpo que provoca un aumento muy importante de la presión venosa que puede causar petequeas en el tejido subcutáneo (Petersen *et al.*, 1986).
- Supercontracciones musculares durante la fase convulsiva que sigue al aturdimiento eléctrico. Es deseable un periodo de tiempo corto (< 10 s) entre la aplicación de este sistema de aturdimiento y el sangrado. En cuanto se seccionan los vasos



Imagen 11a. Zonas sin nitrificar, en jamón cocido, debido a ausencia de nitrito en la salmuera inyectada.



Imagen 11b. Zona no nitrificada en músculo *biceps femoris* de jamón de pH bajo sin fosfatos con piel y grasa subcutánea.

sanguíneos se disminuye el riesgo de producción de petequias. El aturdimiento eléctrico con fibrilación cardíaca aumenta el riesgo.

El degollado debería realizarse antes de finalizar la fase tónica (dura unos 10 segundos). Si el tiempo entre aturdimiento y degollado es superior a 15 segundos, o el degollado es deficiente, la posibilidad de recuperación de la consciencia del animal aumenta, teniendo un efecto negativo tanto desde el punto de vista de bienestar animal, como de la calidad de la canal y de la carne que se obtendrá.

1.2. Problemas de color relacionados con la adición de nitrificantes

1.2.1. Zonas sin nitrificar en productos nitrificados

En los productos nitrificados, pueden observarse zonas sin nitrificar en los siguientes casos: i) si hay errores al pesar el nitrito destinado a la salmuera de inyección (**imagen 11a**), ii) se ha producido degradación del nitrito al mezclarlo con ácidos o con ascorbato (especialmente si la humedad es elevada), iii) por mantener la salmuera preparada durante mucho tiempo, y iv) cuando la distancia a recorrer por el nitrito es elevada y al mismo tiempo el pH de la materia prima es bajo ($\text{pH} < 5,5$) (**imagen 11b**). El problema de nitrificación debido al efecto de un pH bajo de la materia prima ($\text{pH} < 5,5$) es más importante en jamones sin fosfatos a los que no se han añadido otros aditivos para aumentar el pH.

Martín *et al.* (2010) observaron que cuando el nitrito está distribuido de forma uniforme, el color

aumenta desde una dosis de 10 mg/kg hasta una dosis máxima de 80 mg/kg, que en algunos casos podría ser de 60 mg/kg. Según un estudio realizado por el IFIP (2010), el color rosado se nota a partir de 10 mg/kg, y se obtiene un color rosado evidente a partir de 30 mg/kg. Sin embargo, estos autores consideran que para tener una buena estabilidad de color se necesitan valores superiores (120-150 ppm).

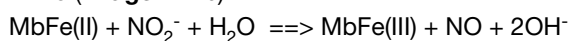
Lee & Cassens (1976), utilizando nitrito marcado con ^{15}N , encontraron que las muestras de mioglobina calentadas a $100\text{ }^\circ\text{C}$ contenían el doble de ^{15}N que las no tratadas térmicamente, pero no determinaron si el NO se unía al pigmento, formando dinitrosilhemocromo, o se unía a la globina. Estudios posteriores (Killday *et al.*, 1988; Pegg *et al.*, 1997; Soltanzadeh & Kadivar, 2012) demostraron que el pigmento de la carne curada es el mononitrosilhemocromo y otro NO se une a la globina del pigmento. El nitrosilhemo queda atrapado físicamente dentro de la globina desnaturalizada, protegiendo al hemo del segundo grupo NO. El segundo NO reacciona con la cadena lateral de propionato de la hemina y no forma dinitrosilhemo (Soltanzadeh & Kadivar, 2012).

1.2.2. Quemadura de nitrito

La quemadura por nitrito se asocia a una coloración verdosa superficial que se observa cuando se añade nitrito en presencia de oxígeno, especialmente cuando la concentración local es elevada. Se produce en la superficie de la carne cuando el óxido nítrico (NO), obtenido a partir de

la reducción del nitrito, reacciona con el oxígeno dando dióxido de nitrógeno (NO_2), que reacciona con el agua dando lugar a ácido nitroso y ácido nítrico, y confiere una coloración verdosa superficial denominada “quemadura del nitrito” (**imagen 12a**). Esta es una de las razones por las que es conveniente hacer el masaje y amasado de los productos cárnicos en vacío. Según Bondoc & Timkovich (1989) y Yi & Richter-Addo (2012) el compuesto responsable del color verde es la nitrimióglobina que se obtiene de la reacción de la metamióglobina con el nitrito a $\text{pH} < 7$ produciéndose la nitración en la posición 2-vinilo. En referencia a la quemadura de nitrito producida por la transformación microbiana del nitrato a nitrito, a pesar de que dicha posibilidad se menciona en la literatura técnica, la experiencia personal es que no se observa debido, probablemente, al consumo de oxígeno por la microbiota de la carne.

Por otra parte, el nitrito oxida la mioglobina (MbFe(II)) de color rojo a metamioglobina (MbFe(III)) de color marrón ($E_h = 0,06 \text{ V}$) a través de la siguiente reacción, que es la responsable del rápido cambio de color rojo de la carne al color marrón tras añadir nitrito (**imagen 12b**)



Posteriormente, la MbFe(III) se reduce de nuevo a MbFe(II) a través de reductores como el NADH o el ascorbato añadido. Durante la cocción el color marrón superficial desaparece y el producto adquiere la coloración rosada típica de la nitrosilmioglobina (**imagen 12c**)

Debe tenerse en cuenta que la formación de estos gases (NO_x) afecta negativamente al color de la carne fresca almacenada en la misma cámara en que se nitrifican otras carnes, aunque dicha carne fresca no esté en contacto directo con las carnes que se nitrifiquen.

1.2.3. Heterogeneidad del color en jamón cocido

En el jamón cocido se produce un color del corte heterogéneo si el color de los músculos antes de inyectar también lo es, lo cual es debido a las diferencias en el contenido de mioglobina entre diferentes músculos (**imágenes 13a, b**), o dentro del mismo músculo (**imagen 1e**). La separación de los músculos más rojos durante el pulido de las piezas permite obtener un color más homogéneo del producto, ya que los músculos de mayor tamaño

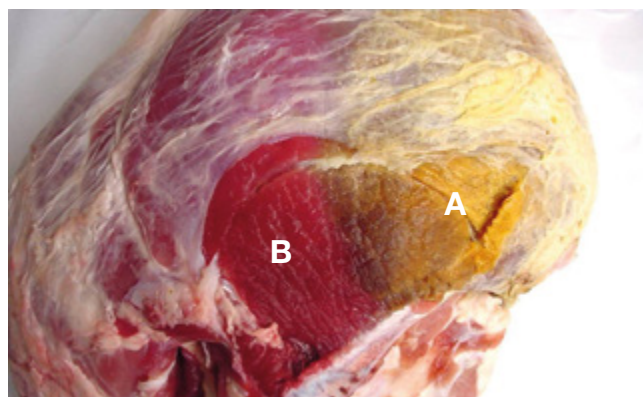


Imagen 12a. Quemadura del nitrito provocada por la adición de sal+nitrito (A). Efecto de la adición de ascorbato+sal+nitrito (B).

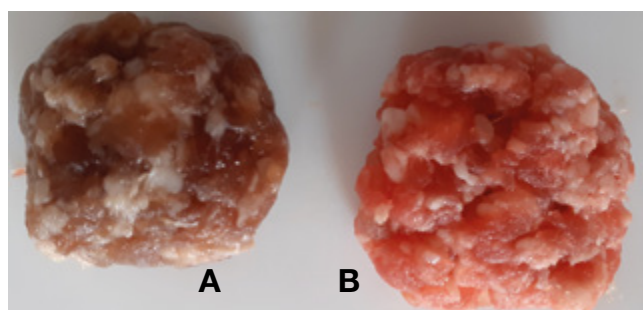


Imagen 12b. Aspecto de carne tratada con nitrito y en contacto con aire (A) vs carne sin nitrificar (B) (antes de cocer).

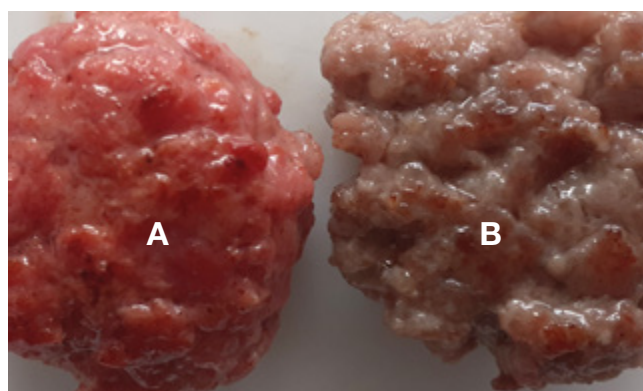


Imagen 12c. Aspecto de carne tratada con nitrito y en contacto con aire (A) vs carne sin nitrificar (B) (después de cocer).

son músculos blancos. Si se hace dicha separación también es recomendable separar aquellas partes de apariencia pálida y exudativa, dado que confieren un aspecto al corte excesivamente pálido y a menudo desligado, y reducen el rendimiento de cocción y de loncheado. Debe tenerse en cuenta que al separar los músculos rojos se pierde capacidad de retención de agua, ya que dentro de cada jamón dichos músculos son los que presentan un pH más elevado. La inyección de ingredientes colo-



Imagen 13a. Heterogeneidad del color en jamón cocido debido a la heterogeneidad de color de diferentes músculos.



Imagen 13b. Heterogeneidad del color en jamón cocido debido a la heterogeneidad de color de diferentes músculos.

rantes (e.g. hemopigmentos) también puede ayudar a homogeneizar el color del producto y a disminuir el aspecto pálido de las carnes exudativas (Oliver *et al.*, 2006).

1.2.4. Oxidación del color en productos nitrificados

1.2.4.1. Oxidación durante el tratamiento térmico

Oxidación superficial, durante el tratamiento térmico, del producto envasado al vacío

La insuficiente transformación de nitrito a óxido nítrico puede facilitar la oxidación de la superficie de la pieza durante la cocción, especialmente en los laterales de los envases que no contactan con las superficies metálicas de los moldes, cuando se usan materiales plásticos de envasado que tienen poca barrera al oxígeno (**imágenes 14a, 34b**). La falta de barrera al oxígeno puede ser debida a una alta permeabilidad del material al oxígeno, a un aumento de la permeabilidad durante la cocción debido a migración de agua a la capa barrera (e.



Imagen 14a. Decoloración superficial en jamón cocido debido a la entrada de oxígeno a través del envase en la zona que no contactaba con el molde.

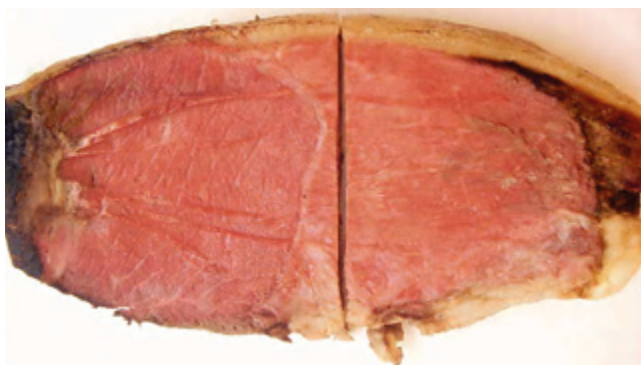


Imagen 14b. Nitrificación de carne por contacto con la bolsa del jamón durante la cocción, debido al óxido nítrico difundido a través del envase.

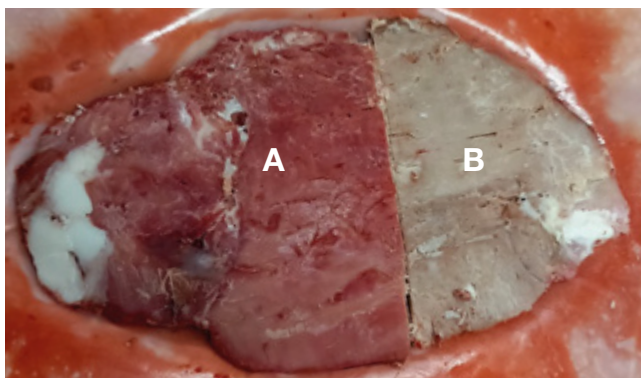


Imagen 14c. Carne no nitrificada antes de cocer, en contacto con bolsa de jamón durante la cocción (A). Aspecto de la carne en contacto con el molde (B).

g. el EVOH disminuye la permeabilidad al oxígeno al aumentar la humedad, lo cual depende de la estructura del film y de los materiales y de los espesores utilizados) o a un estiramiento del film que reduzca el espesor, por ejemplo, durante el termoformado. Si se produce suficiente óxido nítrico durante la cocción, éste reacciona con el oxígeno tanto en la superficie de la carne como en el interior del film, actuando como antioxidante. El óxido nítrico puede atravesar el film, lo cual puede

observarse por la nitrificación que sufre la carne no nitrificada cuando se pone en contacto con el envase durante la cocción (**imágenes 14b, c**). El aumento del contenido de ascorbato favorece la transformación del nitrito a óxido nítrico, lo cual es especialmente importante en productos de pH elevado y que contengan suficiente cantidad de nitrito, pero facilita la oxidación superficial si el contenido de nitrito añadido es bajo (e.g. < 60 ppm) y al mismo tiempo el pH es bajo. Es un problema más frecuente en productos de alta inyección y cuando se alarga el proceso de maceración antes de cocer (e. g. fin de semana) debido a la disminución del contenido de nitrito residual.

Oxidación durante la cocción de zonas en contacto con oxígeno

Las zonas del bacon que durante la cocción están en contacto con oxígeno y alta humedad relativa pueden adquirir un aspecto agrisado si la absorción de oxígeno no se compensa con la generación interna de suficiente óxido nítrico (**imagen 14d**). Esto puede deberse a un pH elevado de la pieza o de la salmuera, o a un bajo contenido de nitrito en la superficie de la pieza (problemas de heterogeneidad de inyección, disminución del residual de nitrito por largos períodos de reposo antes de cocer).

En salchichas cocidas con muy poco nitrito añadido también se producen problemas de oxidación. Mientras que en la fase de estufaje y ahumado el color es rosáceo, posteriormente, durante la cocción a HR elevada del producto se produce una absorción de oxígeno que produce oxidación superficial y agrisado del color (**imagen 14e**). Esta modificación del color también se produce si se hace una pasteurización húmeda del producto envasado en materiales cuya permeabilidad aumenta con la humedad (e.g., EVOH, PA), o la masa no se ha desaireado suficientemente.

Oxidación superficial del producto sin envasar al finalizar la cocción

Al finalizar la cocción, cuando se pasa el producto de la caldera u horno de vapor a temperatura ambiente o de refrigeración, se produce un secado rápido de la superficie del producto y en ocasiones exudación de grasa debido a la compresión de la tripa o a la rotura de los adipocitos de la zona superficial. Una elevada temperatura



Imagen 14d. Decoloración superficial en bacon debido al contacto con oxígeno en la zona que no contactaba con el molde.



Imagen 14e. Decoloración superficial de salchicha de Frankfurt, durante la fase de cocción en horno a HR elevada, debido a la absorción de oxígeno y presencia de poco nitrito añadido.



Imagen 14f. Butifarra catalana con tripa normal (A) u oxidada (B).



Imagen 14g. Oxidación de la superficie de paté por contacto con oxígeno.

superficial, bajo contenido de nitrito, exudado de grasa y baja a_w superficial facilitan la oxidación, la cual le confiere al producto un aspecto ligeramente tostado. Si se desea disminuir la oxidación es conveniente efectuar un duchado o inmersión en agua/hielo, lo cual hace que los productos tengan un aspecto superficial más blanco (**imagen 14f**). El almacenamiento del producto sin envasar facilita la oxidación superficial, especialmente si el producto es graso y/o tiene ingredientes fácilmente oxidables (e.g. huevo).

Oxidación del color debida a la presencia de ingredientes oxidados

La oxidación del color tanto superficial como en el interior del producto puede verse favorecida por la adición de ingredientes que estén oxidados y por la presencia de oxígeno en el producto fruto de un vacío insuficiente (**imagen 14g**).

Oxidación del color debida a bacterias formadoras de peróxidos

El uso de carnes contaminadas, conductos de inyectora no suficientemente limpios, bombos con elevados recuentos (e. g. zona de las palas, con-



Imagen 15a. Decoloración en las zonas que no están en contacto con el film debido al efecto combinado de exposición a la luz y alto contenido de oxígeno.

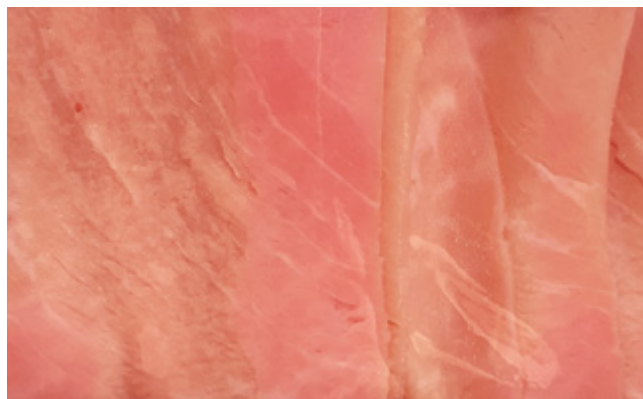


Imagen 15b. Decoloración en las zonas que no están en contacto con el film debido al efecto combinado de exposición a la luz y alto contenido de oxígeno.

ductos de aspiración del vacío), temperaturas de cocción bajas o termógrafos que no indiquen bien la temperatura pueden facilitar el crecimiento de bacterias productoras de peróxidos que generen colores anómalos (ver 1.18).

1.2.4.2. Oxidación de productos loncheados envasados en atmósfera modificada (MAP)

Los productos loncheados envasados en atmósfera modificada son especialmente sensibles a la oxidación del color rojo típico del curado cuando incide la luz en presencia de oxígeno (**imágenes 15a, b**). También lo son los productos envasados al vacío cuando el material de la zona expuesta a la luz tiene una elevada permeabilidad al oxígeno (**imágenes 15c, d**), o algunas partes del material de envasado tienen una mayor permeabilidad a la luz (**imagen 15e**), debido al espesor o a la capacidad barrera a la luz que tienen las tintes de impresión de los envases.

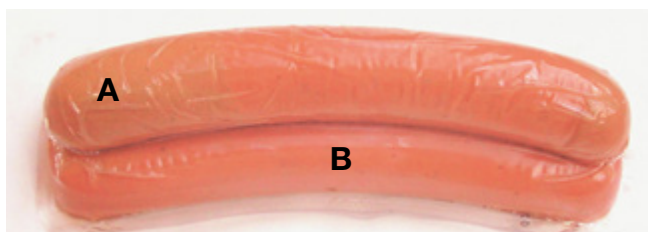


Imagen 15c. Decoloración superficial de salchichas debido a la entrada de oxígeno en la zona lateral. Zona iluminada (A), zona protegida por el embalaje (B).



Imagen 15d. Decoloración superficial de salchichas debido a la entrada de oxígeno en la zona lateral que sufrió mayor estiramiento en el termoformado y que estuvo expuesta a la luz.

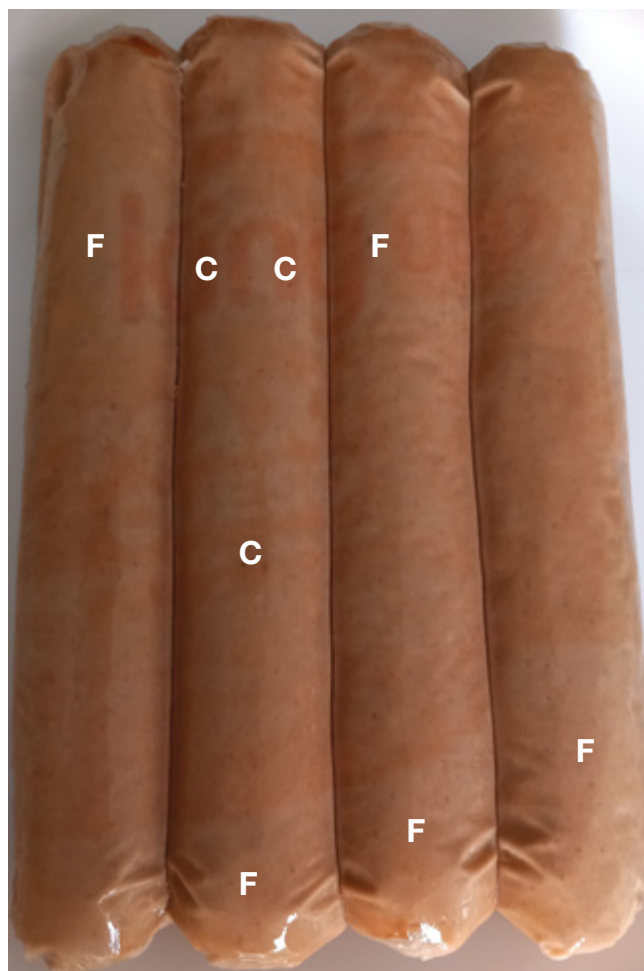
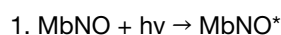


Imagen 15e. Zonas decoloradas por fotooxidación en salchichas sometidas a largos períodos de iluminación. Zonas fotooxidadas (F), zonas con color rojo estable (C).

Andersen y Skibsted (1992) describieron el mecanismo de fotooxidación en dos pasos:



En que se obtiene un estado electrónicamente excitado de la MbNO, mediante absorción de un fotón, que después reacciona con el oxígeno en estado normal ($^3\text{O}_2$).



Así pues, durante la fotooxidación se consume oxígeno, mientras que en oscuridad no se produce consumo de oxígeno lo cual afecta a la evolución del contenido de oxígeno de la atmósfera del envase. Según estos autores, el efecto de la longitud de onda de la luz en la fotooxidación de la nitrosilmioglobina (MbNO) es menor que en el caso de la oximioglobina (MbO_2), por lo que no se espera mejora importante en la estabilidad del color derivado del uso de filtros UV en los materiales de envasado.

La oxidación empieza a detectarse cuando el contenido de oxígeno del espacio de cabeza es superior al 0,15 % (Larsen *et al.*, 2006), pero debe tenerse en cuenta también el volumen de este espacio para conocer el contenido total de oxígeno disponible para la oxidación, y el tipo de lámpara utilizado (Böhner *et al.*, 2014). Según Böhner *et al.* (2016) el deterioro del color depende de la transmisión del material de envasado, de la fuente de luz (distribución espectral), del tiempo de exposición y de la irradiancia (potencia incidente por unidad de superficie, w/m^2). En dicho estudio se observó que longitudes de onda menores (azul, verde) y valores mayores de irradiancia provocan un aumento del consumo de oxígeno y un deterioro más rápido del color. Así pues, el uso de lámparas LEDs con espectros optimizados (zona del rojo) y/o materiales impermeables a las longitudes de onda críticas

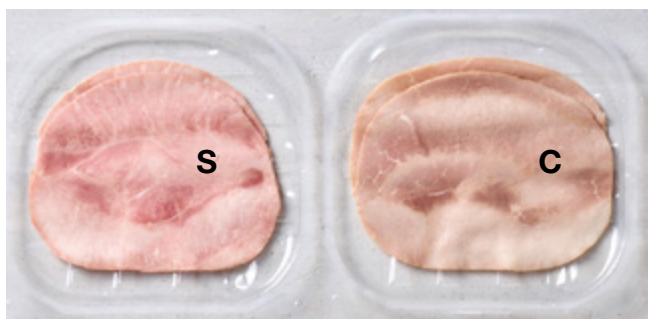


Imagen 15f. Mejora de la estabilidad del color por adición de cultivos iniciadores (C: control, S: con cultivo).

pueden ayudar a preservar el color. Alternativamente, se pueden utilizar films impresos barrera a la luz con bases transparentes.

En jamones loncheados envasados al vacío, Andersen *et al.* (1988) observaron resultados más satisfactorios en la estabilidad del color cuando éstos se almacenaron durante 4 días en oscuridad antes de exponerlos a la luz (probablemente debido al consumo del oxígeno absorbido por las lonchas por acción del óxido nítrico generado o por la actividad microbiana). Además de un buen nivel de vacío (< 5 milibares) y almacenamiento en condiciones de oscuridad durante 4-5 días, para tener un ambiente anaerobio y una alta protección frente a la decoloración inducida por la luz, se precisa un material plástico con una velocidad de transmisión de oxígeno baja ($OTR \leq 4 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}/\text{atm}$). Sin embargo, Larsen *et al.* (2006) no observaron ningún efecto positivo en el color al almacenar en ausencia de luz jamones loncheados envasados en MAP con una relación gas/producto de 2,6 o 4,1, ya que no se observó una disminución del contenido de oxígeno hasta los 15 días de almacenamiento. Según Nannerup *et al.* (2004) el contenido de oxígeno disponible dentro del envase es el que determina la estabilidad del color cuando se ilumina, por lo que una elevada relación gas/producto se puede compensar con un bajo nivel de oxígeno residual.

Andersen *et al.* (1990), aplicando una ligera sobrepresión de CO_2 disminuyeron el O_2 residual, de forma que al exponer los envases de jamón cocido directamente a la luz no se produjo decoloración (la disminución del pH puede facilitar la transformación del nitrito a óxido nítrico, pero para ser efectivo se precisaría que hubiese suficiente nitrito residual). En los envases en los que ya se ha producido cierta

decoloración, cuando el contenido de oxígeno se sitúa a valores inferiores a 0,1 % se observa una mejoría del color, pero no se alcanza el color rojo inicial (Andersen *et al.*, 1988, 1990; Moller *et al.*, 2000). El uso de absorbedores de oxígeno puede contribuir de forma muy positiva a la estabilidad del color (Dey & Neogi, 2019). El más conocido está basado en la aplicación de absorbedores en base a hierro, pero tienen la desventaja de su baja aceptabilidad y de que precisan entre 10 h o varios días para absorber todo el oxígeno, y deben mantenerse en oscuridad para evitar el deterioro del color hasta que haya agotado todo el oxígeno. Hutter *et al.* (2016) al utilizar un film de PET/SiOx en que se depositó paladio, según la tecnología propuesta por Yildirim *et al.* (2015), y envasando en una mezcla gaseosa que contenía un 5 % de hidrógeno lograron, en 2 minutos, disminuir el contenido de oxígeno de un 2 % a un 0,47 %, y en tan sólo 35 minutos, el oxígeno disminuyó a valores inferiores a 0,05 %, en los que se mantuvo durante 21 días.

Para evitar problemas de oxidación del color se recomienda: i) incorporar agentes antioxidantes adecuados (en el pienso o en el producto), ii) maximizar el nitrito residual, iii) reducir la absorción de oxígeno en el período previo al loncheado (evitar condensaciones y quemaduras de congelación), iv) aumentar el nivel de vacío (depende de la consigna de vacío, tiempo, temperatura del producto, colocación del producto dentro de la bandeja (ya que la colocación desordenada dificulta el movimiento del aire) y situación de la bandeja en la campana de vacío (las bandejas centrales suelen presentar residuales superiores a las laterales)) o inyectar gas sin oxígeno cuando aún se está realizando el vacío para reducir el oxígeno residual, v) reducir el espacio de cabeza (disminuir la relación gas:producto), vi) utilizar absorbedores de oxígeno o cultivos que consuman el oxígeno residual (**imagen 15f**), vii) realizar un sellado adecuado, viii) utilizar materiales de envase alta barrera al oxígeno y que no sean transparentes a la luz en las zonas críticas del espectro, ix) almacenar en oscuridad hasta que se haya agotado el oxígeno del espacio de cabeza y x) utilizar un tipo de iluminación adecuado. Así pues, un aspecto clave es facilitar el agotamiento del oxígeno (debido a la combinación de la acción bacteriana, temperatura y reacciones químicas) antes de la exposición a la luz. El tiempo necesario

para alcanzar una concentración de oxígeno que no genere problemas dependerá del contenido inicial de oxígeno del espacio de cabeza, la relación gas/producto, la superficie de producto en contacto con el gas y la velocidad de consumo de oxígeno, lo cual debe determinarse mediante equipos medidores del contenido de oxígeno. En mezclas N_2/CO_2 el residual de oxígeno puede aumentar ligeramente durante el primer día debido a la solubilización del CO_2 que produce una disminución del volumen en el espacio de cabeza. Por otro lado, en determinados productos, el aumento de la concentración de ascorbato/isoascorbato puede ayudar a mejorar la estabilidad del color (si hay un elevado residual de nitrito, e.g. productos con pH elevado), pero podría disminuir la estabilidad si el residual de nitrito es bajo, e.g. materias primas de pH bajo y con poco nitrito añadido.

En algunos casos se observa la presencia de un elevado contenido de oxígeno debido a la existencia de fugas que facilitan el deterioro rápido del color. Estas pueden deberse a:

- Soldadura deficiente: producida por la presencia de suciedad o producto en la zona de soldadura (**imagen 38a**), contacto efectuado por operarios, arrugas, temperatura de soldado no adecuada, problemas de mantenimiento de las bandas de soldadura y tipo de tintes utilizados en las zonas de soldadura.
- Presencia de elementos punzantes en el producto o en la línea de envasado.
- Velocidad de la línea elevada y cantidad de gas inyectada (a menor contenido de gas es más difícil que los equipos detecten las fugas).

1.2.4.3. Oxidación del color del corte en piezas destinadas a loncheo

La oxidación del color en piezas destinadas a loncheo en los mostradores de las tiendas es común cuando el producto permanece cierto tiempo en contacto con el aire y la luz (**imagen 16**). El deterioro microbiológico del color es más común en establecimientos o en productos con poco consumo, por lo que la pieza puede estar abierta varios días.

Martin *et al.* (2010) observaron que una velocidad de aumento de la temperatura de $0,2\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ durante la cocción hasta $66\text{-}70\text{ }^\circ\text{C}$, cuando se producen las reacciones químicas de desarrollo del



Imagen 16. Decoloración de la superficie de una pieza en lineal iluminado.

color, proporcionó un color más estable que con una velocidad de $0,3\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. Estos autores también observaron un color más estable al cabo de una semana de cocción que al día siguiente de realizar la cocción.

1.3. Problemas de color en productos no nitrificados

1.3.1. Color rojo en productos no nitrificados

1.3.1.1. Debido a la estabilidad de los pigmentos no nitrificados

En los productos no nitrificados, al cocer la carne se produce la desnaturalización de la globina, con lo cual el grupo hemo pasa a estar más expuesto a factores ambientales y es más susceptible a la oxidación que el hemo y la globina en estado original, dando lugar a un pigmento de color marrón que se denomina ferrihemocromo. Sin embargo, el color final a veces es rojizo (“*pinking*”), especialmente en carnes con poca Mb (e.g. pollo, pavo), dando la impresión de que la carne está insuficientemente cocida a pesar de que la temperatura alcanzada indica que lo está (**imagen 17a**). Es un problema que puede tener diversos orígenes, y en cada caso debe hacerse un análisis exhaustivo para determinar la causa más probable.

El color final del derivado cárnico cocido depende, fundamentalmente, del tipo de pigmento mayoritario presente en la carne fresca (metamioglobina



Imagen 17a. Aspecto interno, después de la cocción, de hamburguesa envasada en aire (A) y vacío (B).

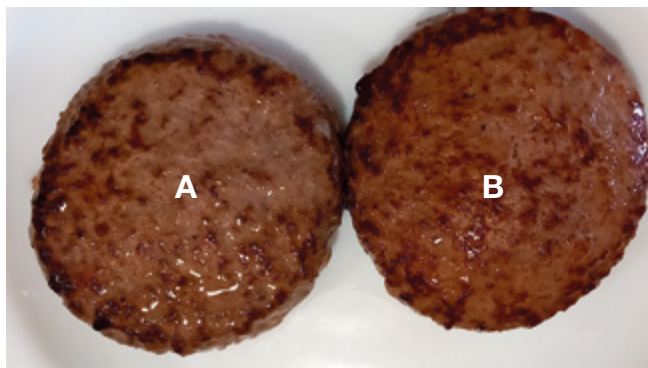


Imagen 17b. Aspecto externo, después de la cocción, de hamburguesa envasada en aire (A) y vacío (B).

(MetaMb), oximioglobina (OxiMb), deoximioglobina (DMb), carboximioglobina (COMb), nitrosimioglobina (NOMB)), del tratamiento térmico al que se ha sometido, de la especie, del pH y de la presencia de prooxidantes y antioxidantes. Así, por ejemplo, la sensibilidad a la desnaturalización por calor de la MetaMb es superior a la de la OxiMb, y la de éstos muy superior a la de la DMb (Ver 1.3.2) (**imágenes 17a, b**). Por otra parte, la COMb es ligeramente más estable que la DMb. En el caso de la DMb, un pH elevado la protege frente a la desnaturalización por calor y aumenta el aspecto rojizo de la carne cocida, mientras que cuando el pH es bajo (e.g. $\text{pH} < 5,5$) el color es menos estable a la temperatura de cocción. Así pues, debe tenerse en cuenta que parte del color final se debe a pigmentos no desnaturalizados (e.g. DMb, hemoglobina (Hb) y citocromo c), los cuales pueden generar colores rojizos cuando interactúan con ciertos ligandos (O_2 , CO, NO).

Si el hierro se mantiene en estado ferroso se pueden observar varios hemocromos de color rosado en carne cocida. Así, por ejemplo, la desnaturalización de la globina en la DMb da lugar al ferrohemocromo de color rosado, que se oxida fácilmente a ferrihemocromo de color marrón. La desnatura-

lización de la COMb da lugar al pigmento rosado CO-hemocromo. Así pues, la carne que contenga mayoritariamente DMb o COMb tendrá un color interno más rojo que una que tenga MetaMb u OxiMb (Suman *et al.*, 2016).

La estructura primaria de la DMb afecta a la estabilidad térmica. Así, por ejemplo, la mayor estabilidad térmica de la carne de pavo respecto a la de vacuno parece ser debida a la mayor longitud de la estructura proteica de la cadena primaria del pavo (350 dalton mayor que el vacuno) (Joseph *et al.*, 2010; Joseph *et al.*, 2011).

La incorporación de lactato (Mancini *et al.*, 2009; Suman *et al.*, 2010), succinato (Mancini *et al.*, 2011) y antioxidantes como el eritorbato (Phillips *et al.*, 2001; Sepe *et al.*, 2005, Suman *et al.*, 2005), aumenta la predominancia de las formas de mioglobina reducidas, lo cual le da mayor estabilidad del color de la carne al cocer. Suman *et al.* (2016) citan diversos estudios sobre ingredientes que previenen el *pinking* en carnes de aves (e.g. leche en polvo desgrasada, concentrado de proteínas de suero, caseinato, citrato y tripolifosfato). Sin embargo, los resultados a veces difieren entre productos procedentes de carne picada y de músculo entero. Así, por ejemplo, se vio que el citrato inhibía el *pinking* en carne picada y no en músculo entero. Sammel *et al.* (2006) sugirió que el citrato sódico parece requerir la presencia de oxígeno y puede participar en el proceso oxidativo, ya que la adición simultánea de citrato sódico y eritorbato eliminaba el efecto anti-*pinking* del citrato.

En los productos irradiados se genera CO, procedente de aminoácidos y fosfolípidos, que forma COMb. Por lo que la presencia de COMb en carne envasada sin adición de CO (e.g. vacío) puede ser un indicio de que ha sido irradiada (Brewer, 2004).

Se ha observado que se pueden formar hemocromos mediante la interacción con ligandos nitrogenados (e.g. aminoácidos, proteínas y nicotinamida). El alto contenido de nicotinamida en carne de pavo (0,083 mg/g, Richardson *et al.*, 1980) comparado con otras especies (0,049 mg/g en vacuno y 0,039 mg/g en cerdo) favorece la formación de nicotinamida-hemocromos y puede ser una de las causas del *pinking* en carne de pavo. Según Claus & Jeong (2018) el reposo de la carne de pavo presalada lo aumenta, ya que favorece la formación del hemocromo con la nicotinamida.

En el estudio de Claus *et al.* (1994) el *pinking* aumentó con el tiempo en carne de pavo cocida refrigerada y si la temperatura después de cocción disminuía de forma lenta. Según estos autores, en condiciones anaerobias y en el centro de las piezas la MetaMb se puede reducir, lo cual favorece la formación de hemocromos con aminoácidos y nicotinamida.

Por otra parte, el citocromo c también puede formar ferrohemocromos con histidina, nicotinamida, metionina y cisteína (Ahn & Maurer, 1990). En las carnes de aves la relación Mb/citocromo c es más baja que en las carnes rojas, por lo que en ellas el citocromo c puede contribuir de una forma más importante al color y al *pinking*. Fleming *et al.* (1991) observaron un mayor contenido de citocromo c en carne de pollo refrigerada en aire que en la que lo fue en un baño de agua/hielo. Cornish & Froning (1974) señalan que el citocromo c tiene una temperatura de desnaturalización muy superior a la de la DMb, por lo que esto unido a su capacidad de regeneración provoca que pueda contribuir de forma importante al "*pinking*". Girard *et al.* (1989, 1990) encontraron un mayor contenido de citocromo c en pechugas de pavos de 12 semanas que en las de los pavos de 18 semanas, por lo que concluyó que el contenido de citocromo c es inversamente proporcional a la edad. También encontraron que, tras un almacenamiento en refrigeración de 4 días, el citocromo c se iba oxidando y el *pinking* disminuía. Ahn & Maurer (1989b) observaron que la adición de sal disminuía la estabilidad al calor de la DMb, pero aumentaba la del citocromo c. Según Holownia *et al.* 2003, la reducción de la mioglobina es una de las posibles causas del *pinking* en carne cocida no nitrificada debido a que el citocromo c no desnaturalizado que queda en la carne después de cocer está aún activo para la transferencia de electrones, lo cual justificaría la menor velocidad de autooxidación de la mioglobina en presencia de citocromo c.

Dado que el *pinking* aumenta en condiciones reductoras (Ahn and Maurer 1990), algunos autores (Cornforth *et al.*, 1986; Dobson & Cornforth 1992) han sugerido mantener unas condiciones ligeramente oxidantes para prevenirlo (e.g. oxigenación de la carne, ligera absorción de oxígeno en la salmuera, sal iodada, uso de ingredientes secados...). Cornforth *et al.* (1986) vieron que el *pinking* se inhibía al añadir iodato potásico a la carne de pavo. Sin embargo, dichas condiciones oxidantes deben aplicar-



Imagen 17c. Enrojamiento de *bratwursts* después de un largo período de envasado.

se de una forma muy estandarizada, ya que podrían tener un impacto negativo en el aroma del producto. Así, por ejemplo, en productos inyectados es frecuente la inyección de cierta cantidad de oxígeno que da lugar a un color rosado al producto después de su inyección (**imagen 7e**) debido a la formación de OxiMb que pasa a MetaMb antes de 24h (**imágenes 7f, g**) y confiere un color marrón al cocer.

1.3.1.2. Debido a crecimiento microbiano

Ghorpade *et al.* (1992), al estudiar la decoloración roja que a veces se observa en la superficie de salchichas tipo bratwurst (sin nitrificar) durante la vida útil, vieron que dicha coloración era debida a la presencia de mioglobina producida por la reducción de la metaMb debido al crecimiento microbiano (**imagen 17c**). En este caso, todos aquellos factores que retrasen el crecimiento microbiano frenan el enrojamiento (e.g. tratamiento térmico del producto envasado, adición de lactato y baja temperatura de almacenamiento). Al aumentar el pH del producto aumenta el contenido de mioglobina no desnaturalizada y, por tanto, la coloración rojiza.

También debe tenerse en cuenta la posible formación de zinc-protoporfirina (Zn-PP) de color rojo. La Zn-PP se forma en dos pasos, el primero por desmetalización del hierro por acción del enzima ferroquelatasa (más activa a pH bajo), y el segundo por integración del Zn en el grupo hemo. Así, por ejemplo, se ha observado la presencia de pequeñas cantidades de Zn-PP, atribuida a determinados microorganismos, en carne de cerdo (Durek *et al.*, 2012).

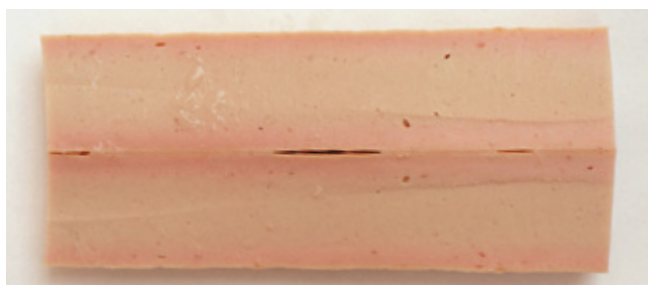


Imagen 18a. Nitrificación periférica de un *bratwurst* por presencia de humo en horno de cocción.



Imagen 18b. Nitrificación externa por presencia de nitrito en el agua de cocción.

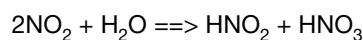
1.3.1.3. Debido a la presencia no deseada de nitrificantes

Nitrificación de la zona externa

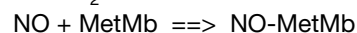
Se puede producir nitrificación de la zona externa, en productos no nitrificados intencionadamente, por compartir líneas de trabajo o contenedores con productos nitrificados. Si bien la limpieza y aclarado de la maquinaria, superficies y contenedores disminuye el problema, es mejor separar las líneas y utilizar contenedores específicos para cada tipo de producto. Si la contaminación por nitrificantes procede de la inyectora, se observan bandas coloreadas en la zona de inyección, si es debido al bombo, se colorea la parte externa del producto, y si sólo se observa en el producto embutido en tripas permeables pero no en embutido en tripas impermeables, se debe a contaminación del producto una vez embutido.

Según Cornforth *et al.* (1991) el anillo rosado es un atributo tradicional y deseable en los asados tipo "Texas BBQ".

Según Cornforth *et al.* (1998) la coloración rosada de la periferia de la carne cocinada en hornos con quemadores de gas es debida a la presencia de NO_2 que tiene mucha mayor reactividad que el NO y el CO en la superficie húmeda de la carne. El NO es poco soluble en agua, mientras que el NO_2 reacciona con el agua produciendo ácido nitroso y ácido nítrico.



El ácido nítrico no es de esperar que contribuya al color rojo, pero el ácido nitroso puede difundirse y por acción de reductores de la carne como la mioglobina (Mb) puede reducirse a NO. El NO se liga a la metamioglobina (MetaMb) seguida de una rápida autoreducción a nitrosilmioglobina (NOMb) (Killday *et al.*, 1988), que por acción del calor genera el nitrosilhemocromo (NOhemocromo) de color rosado.



Además, puede producirse nitrificación de la periferia por contacto del producto con nitrito procedente del agua de cocción, contacto con humo que contenga óxido nítrico/dióxido de nitrógeno (**imagen 18a**) y cocción junto a productos nitrificados (**imagen 18b**).

El contenido de NO_x en el humo depende del tipo de madera y del contenido de nitrato en el terreno donde creció. Por ejemplo, las leguminosas, como la acacia y el algarrobo, tienen un mayor contenido de nitrato. Por otra parte, el aumento del pH superficial (por ejemplo, con bicarbonato), el pulido de la grasa superficial y la cocción lenta favorecen la formación de un anillo rosado superficial más marcado. Debe tenerse en cuenta que si se aumenta el tiempo de ahumado previo a la cocción aumenta la profundidad del anillo rosado superficial (**imágenes 18c, d**).

Nitrificación de toda la superficie de corte

El color rojizo "pinking" en toda la superficie de corte en productos que no contienen nitrificantes añadidos de forma intencionada, puede provenir de la presencia de nitrificantes en la dieta (ingesta de nitrito), en el agua de duchado de las canales, en los ingredientes, en los materiales de envasado o en el sistema de cocción, o por el transporte previo al sacrificio y manejo (estrés, humos de tubo de escape) (Froning & Hartung, 1967; Froning *et al.*,



Imagen 18c. Formación de anillo rosado superficial en una butifarra ahumada y cocida sin aporte de humedad.



Imagen 18d. Formación de anillo de nitrificación en brisket ahumado antes de cocción.

1969a; Wu *et al.*, 1994; Froning *et al.*, 1978; Froning *et al.*, 1969b; Young *et al.*, 1996; Nash *et al.*, 1985; Heath and Owens, 1992; Maga, 1994; Cornforth *et al.*, 1998; Smith and Northcutt, 2004). Además, los productos que se forman durante la cocción por la combustión incompleta, como el CO, el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno, así como un elevado contenido de nitrito en el agua contribuyen a darle un color rosado a las carnes cocidas sin nitrificantes añadidos (Cornforth *et al.*, 1991; 1998).

La carne de pollo es más susceptible al *pinking* que la de vacuno a bajas dosis de nitrito. Se puede detectar la presencia de bajos niveles de nitrito antes de cocer debido a la oxidación superficial de la Mb a MetaMb. Por ejemplo, en carne de pavo reposada durante una noche a 2 °C a la que se le añadió entre 0 y 1 ppm de nitrito el color era rojo, pero cuando se le añadieron 2 ppm o más el color pasó a ser marrón antes de cocer. En el caso de la carne de vacuno, contenidos de nitrito <13 ppm dieron un color rojo fresco antes de cocer, mientras que cuando fueron superiores a 14 ppm el color fue marrón.

Según Heaton *et al.* (2000) la dosis de nitrito mínima para tener *pinking* es de 14, 4, 2 y 1 ppm para ternera, paleta de cerdo, pechuga de pavo y pechuga de pollo, respectivamente. Según Fox (1987), con sólo 4 ± 6 ppm de nitrito son suficientes para el desarrollo del color nitrificado en salchichas tipo frankfurt, pero se necesitan 10 veces más para tener un color estable. Ahn & Maurer (1989c), con tan sólo 1 ppm de nitrito detectaron *pinking* en pechugas de pavo. En los productos inyectados en que haya presencia de nitrito en la salmuera, la adición de ácido ascórbico o eritórbico a la salmuera puede reducir el nitrito a óxido nítrico que se eliminaría de la salmuera mediante agitación, lo cual ayudaría a reducir el *pinking*.

Nitrificación parcial del interior del producto

En los productos adobados mediante inyección, las especias constituyen un aporte de nitratos, y durante la vida útil se produce un crecimiento microbiano que puede facilitar su transformación a nitritos. En las zonas inyectadas existe una microbio-



Imagen 18e. Coloración rosada de un producto adobado debido a crecimiento microbiano en las zonas inyectadas y transformación del nitrato a nitrito.

ta más abundante y un mayor contenido de agua y de nutrientes, por lo que es más fácil que en ellas se inicie el proceso de nitrificación, dando lugar a productos que tras la cocción presentan un color rosado no homogéneo (**imagen 18e**). En estos casos es útil disminuir la temperatura de almacenamiento del preparado de carne, y conviene disminuir la vida útil para reducir dicha problemática.

1.3.2. Oscurecimiento prematuro al cocer

A diferencia del apartado 1.3.1.1, en ocasiones se observa un oscurecimiento prematuro de la carne sin nitrificar (*“premature browning”*), cuando es cocida a temperatura inferior a 71 °C (Hague *et al.*, 1994; King & Whyte, 2006)), dando lugar a un producto de aspecto cocido sin que se haya alcanzado una temperatura adecuada para que pueda considerarse seguro (**imágenes 17a, b**). Las carnes exudativas, las envasadas en atmósfera modificada rica en oxígeno, las descongeladas por largos períodos y las picadas finamente o tratadas con sal son más sensibles al oscurecimiento prematuro. En la carne envasada al vacío, aumenta la proporción de Mb y en la envasada en MAP con monóxido de carbono aumenta la proporción de COMb. En ambos casos al cocer se obtiene un color más rojizo y, por tanto, disminuye la problemática del oscurecimiento prematuro. Este tipo de carne permite obtener filetes poco hechos sin problemas, pero para tener una carne de aspecto muy hecha se requiere prolongar la cocción, lo cual endurece la carne. Por otra parte, la carne envasada en aire o

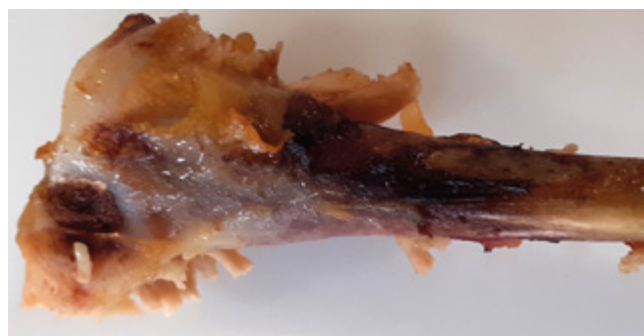


Imagen 19. Hueso de muslo de pollo con aspecto marrón oscuro (síndrome del hueso negro).

en alto contenido de oxígeno da lugar a OxiMb que es menos estable a la cocción y facilita el oscurecimiento prematuro al cocer (Hunt *et al.*, 1999). Estos autores encontraron que las carnes en las que el pigmento mayoritario era OxiMb o MetaMb, el color pasaba a marrón al calentar a 55 °C, por lo que dichas carnes son apropiadas para obtener filetes de aspecto muy hecho sin necesidad de cocer a alta temperatura, especialmente si son de espesor fino, lo que facilita que el interior esté también oxigenado. Por tanto, la modificación del color sólo es un buen criterio de seguridad microbiológica cuando el pigmento mayoritario es la Mb.

1.3.3. Huesos de muslos de pollo marrones

Los huesos de los muslos de pollo cocidos, a veces presentan un aspecto marrón oscuro o rojizo, denominado “síndrome del hueso negro” (*black bone syndrome*), que afecta también al tejido muscular adyacente (**imagen 19**) y es debido a la migración de pigmentos de la médula ósea a través de los huesos porosos y no totalmente calcificados de pollos jóvenes, lo cual se ve favorecido si previamente han sido congelados (Baldo *et al.*, 2014). La congelación aumenta la porosidad de los huesos y produce hemólisis de los eritrocitos que liberan hemoglobina. Se ha observado que: i) la congelación antes de cocer genera un problema mayor de huesos marrones que la congelación después de cocer (Lyon & Lyon, 1986); ii) la extracción del fémur antes de congelar disminuye el aspecto rojizo de los muslos; iii) el tiempo de almacenamiento en congelación no afecta al grado de oscurecimiento de los muslos (Spencer *et al.*, 1961) (Streeter & Spencer, 1973; Hatch & Stadelman, 1972); iv) la reducción del tiempo de descongelación y un calentamiento

rápido (e.g. sin descongelación) reduce el problema, ya que una parte muy importante de la decoloración tiene lugar durante la descongelación (Hatch & Stadelman, 1972); v) la congelación a $-127\text{ }^{\circ}\text{C}$ en túnel de nitrógeno apenas produjo oscurecimiento, mientras que a $-28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a $-13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ este fue muy elevado (Cunningham, 1975; Cunningham & Lohmeyer, 1972); y vi) las hembras tienen una menor incidencia de huesos negros que los machos (Yu, 2011).

El aspecto rojizo de la carne adyacente al hueso, que le confiere un aspecto de carne insuficientemente cocida, disminuye al aumentar la temperatura y el tiempo de cocción, pero puede verse incrementado por un pH elevado de la carne.

La solución a largo plazo al problema de huesos negros puede requerir evaluar la estructura ósea en los programas de selección de reproductores. Sin embargo, a corto plazo, es posible aliviar el problema prestando atención a los factores nutricionales (e.g. adición de vitamina D) que puedan maximizar la calidad ósea (Whitehead, 2010; Mota 2013; Arteaga *et al.*, 2009).

1.3.4. Oxigenación de la hemoglobina en embutidos de sangre cocidos

Durante la cocción de los productos a los que se les añade sangre (e.g. morcillas, bull negro, botifarra negra...) se produce la desnaturalización de la hemoglobina y la oxidación del Fe (II) a Fe (III). Si durante la cocción la hemoglobina no se oxida, puede oxigenarse y dar lugar a una coloración roja en la periferia del embutido. En el centro del producto, el color, si bien no es rojo al cortar, pasa a rojo al cabo de un cierto tiempo una vez se ha oxigenado (**imágenes 20a, 20b**). Este problema es más común en embutidos de calibre grande que en los de calibre menor. En los embutidos de sangre tradicionales con cocciones cercanas a la ebullición del agua ($90\text{-}100\text{ }^{\circ}\text{C}$) y posteriormente secados, no se observa dicho problema, que es más común en embutidos sometidos a temperaturas de cocción moderadas o bajas ($<85\text{ }^{\circ}\text{C}$) y que se venden sin secar. Según Innun (2015) al aumentar la temperatura de cocción disminuye el color rojo. Por otra parte, de forma análoga a como ocurre con la mioglobina, es de esperar que un aumento de pH de la mezcla haga más estable el pigmento a la cocción, por lo que un aumento del contenido de sangre en



Imagen 20a. Oxigenación de la hemoglobina en el exterior del embutido(A), y en la superficie de corte después de un período en contacto con el aire (B).



Imagen 20b. Oxigenación de hemoglobina en embutido de sangre ligeramente secado.

el embutido, al aumentar el pH de la mezcla, provocaría que la masa fuera más robusta a los cambios de color durante la cocción. Por otro lado, la presencia de pigmento oxigenado en la sangre fresca favorecería la oxidación a Fe (III), mientras que la presencia del pigmento sin oxigenar lo haría más robusto al cambio de color. Así pues, el batido de la sangre que facilite la incorporación de oxígeno o un amasado prolongado sin vacío favorecería la oxigenación y la posterior oxidación del pigmento a Fe (III) durante la cocción.

La cocción a temperatura elevada al inicio y su posterior disminución (cocción a temperatura decreciente) puede dar un producto con aspecto cocido en el exterior y crudo en el interior (**imagen 20c**).



Imagen 20c. Embutido de sangre tratado a temperatura de cocción decreciente. Aspecto exterior cocido e interior insuficientemente cocido.



Imagen 20d. Decoloración verdosa del interior de un embutido de sangre debido a la degradación de la hemoglobina.

1.3.5. Decoloración verdosa interna en los embutidos de sangre

Si el producto permanece caliente o a temperatura ambiente durante un tiempo antes de cocerlo, se produce la degradación del grupo hemo, probablemente por acción de las hemoxidasas, generando biliverdina y confiriendo al embutido una tonalidad verde (**imagen 20d**).

1.4. Manchas de sangre

La presencia de manchas de sangre (**imagen 21**) constituye un problema especialmente en piezas enteras de carnes blancas y de baja inyección,



Imagen 21. Manchas de sangre.

que puede ser debido a la presencia de petequias y equimosis (ver 1.1.11) o a un mal desangrado. Para disminuir el problema de manchas de sangre se debe: i) aturdir y degollar adecuadamente para prevenir la formación de petequias ii) realizar acciones para facilitar el desangrado a nivel de matadero (López, 2017) que incluyan medidas de bienestar animal, un buen corte de los vasos para facilitar el drenaje de la sangre, suficiente tiempo de desangrado antes de escaldado, acciones mecánicas que faciliten el drenaje de la sangre, y posterior enfriamiento en agua; iii) realizar un buen pulido de los vasos sanguíneos que presentan mayor incidencia; iv) aumentar el porcentaje y la uniformidad de inyección de salmuera; v) tenderizar; y vi) realizar un buen vacío durante la maceración y aumentar el tiempo de maceración para facilitar la difusión de la salmuera y de la sangre antes de la cocción.

El enfriado de las canales de aves por inmersión en agua reduce este problema, y un lavado y escurrido posterior de las piezas también ayudaría a reducir el problema.

1.5. Irisaciones

Son coloraciones verde-amarillo-anaranjadas que suelen ser debidas a fenómenos ópticos de dispersión, interferencia y difracción microestructural (color estructural), que se presentan no sólo en carne cruda o cocida (**imagen 22**), sino también en escamas de pescado, plumas de pavo real, perlas, burbujas de jabón... (Kinoshita *et al.*, 2008; Mancini 2007), y cuyo mecanismo, puramente físico, difiere del mecanismo de desarrollo del color que se produce a través de pigmentos, colorantes y metales, en los que se consume energía de la luz. En los derivados cárnicos está relacionado con la microestructura del músculo entero, fresco, curado-madurado o cocido, ya que en los productos picados no se presentan irisaciones (Wang, 1991).

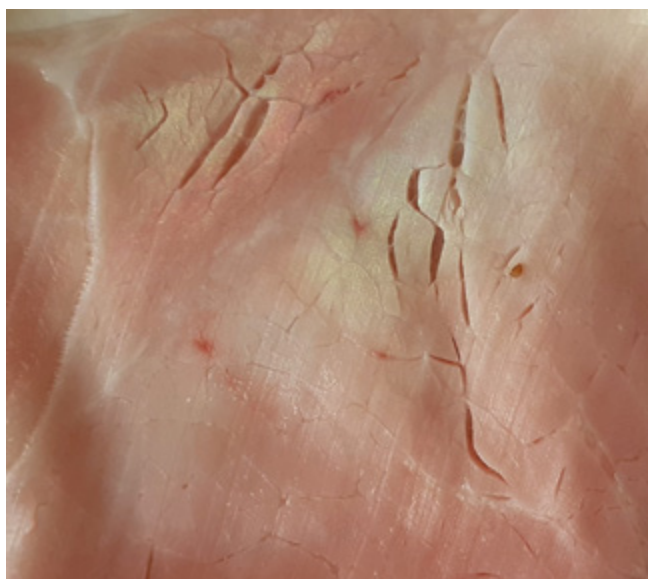


Imagen 22. Irisaciones.

Existe una mayor incidencia en jamones merma cero que en los productos más fibrosos. La máxima irisación se observa si el ángulo de corte con relación a la dirección de las fibras es de 90 grados y desaparece si es inferior a 40 grados. Las diferencias entre músculos están asociadas en parte a la dirección de las fibras musculares durante el loncheado (Lawrence *et al.*, 2002). La uniformidad estructural dentro del músculo favorece la difracción de la luz que conduce a la formación de irisaciones (Wang, 1991). Según Obuz & Kropf (2002) la tenderización de la carne reduce las irisaciones una vez cocida. La incidencia aumenta si se hace un corte limpio del producto o se disminuye la rugosidad superficial (Fulladosa *et al.*, 2009), y disminuye con el contenido de grasa intramuscular, si se usan cuchillas poco afiladas, si la superficie de la loncheadora no es lisa, sino que es áspera o se realiza un loncheado ultrafino. El diámetro de las fibras musculares y la longitud de los sarcómeros no afecta a la incidencia de irisaciones (Ruedt *et al.*, 2021). Ruedt *et al.*, (2022) encontraron un ligero incremento significativo de las irisaciones con el aumento del contenido de sal en lomo cocido, aunque las implicaciones prácticas de ello son limitadas. Según Arnau (2022a) no se observan irisaciones, en jamón curado, en los músculos con un alto índice de proteólisis, y se observa una reducción de las irisaciones al aplicar enzimas proteolíticos en zonas musculares afectadas.

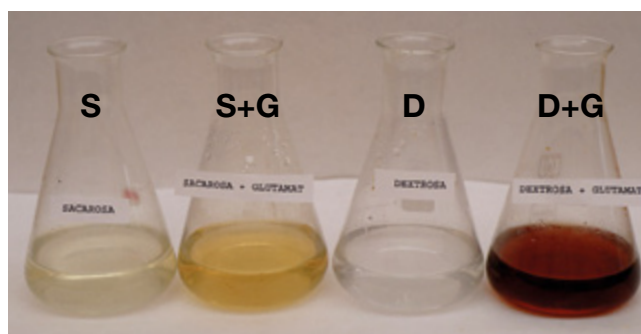


Imagen 23a. Efecto en el color de la adición simultánea de glutamato (G) y sacarosa (S) o glutamato (G) y dextrosa (D) en el pardeamiento no enzimático durante el tratamiento térmico de una solución acuosa.

Según Swatland (1984) la estructura superficial del músculo es el factor que afecta de forma más importante a la incidencia de irisaciones. Así pues, los pigmentos de la carne no parecen contribuir a la formación de irisaciones, sino que producen un color de fondo que puede mezclarse con el producido por las irisaciones. Oliver *et al.* (2006) observaron mayor incidencia de irisaciones en jamones PSE (con y sin pigmentos hémicos añadidos) que en jamones de carne normal. Según Wang (1991) la carne de vacuno precocida y decolorada con agua oxigenada sigue presentando fenómenos de iridiscencia, por lo que de ello se deriva que es un fenómeno físico no relacionado con el estado de oxidación de los pigmentos.

1.6. Pardeamiento

1.6.1. Reacción de Maillard

La reacción de Maillard consiste en la reacción de un aldehído (e.g. azúcar reductor) con un grupo amino, sin la participación de ningún enzima, para formar las bases de Schiff, que se degradan posteriormente en diferentes reacciones, que en sus etapas finales dan lugar al pardeamiento no enzimático del producto (**imágenes 23a, b, c**) y formación de compuestos que tienen un impacto en el aroma.

La reacción de Maillard depende de las condiciones de temperatura a las que se somete el producto, del pH y de la actividad de agua (a_w) y de los sustratos presentes. La reactividad aumenta con la temperatura, con el pH y la presencia de metales como el hierro y es óptima a a_w entre 0,6 y 0,9 (Li *et al.*, 2021). Dentro de los azúcares reductores, las pentosas son más reactivas que las hexosas, y éstas que los disacáridos reductores. Los aminoácidos libres son más reactivos que los péptidos, y



Imagen 23b. Pardeamiento superficial producido por reacción de Maillard en zona de contacto con el molde durante la cocción.



Imagen 23c. Pardeamiento superficial producido por reacción de Maillard en la zona de contacto con el fondo de la caldera durante la cocción.

éstos que las proteínas. Dentro de los aminoácidos, los que tienen más de un grupo amino (lisina, arginina) son más reactivos. La reacción de Maillard puede aumentar cuando se produce una proteólisis importante, así, por ejemplo, en el caso de los hígados es recomendable que sean frescos y que se refrigeren muy rápidamente y se procesen tan pronto como sea posible para disminuir la formación de péptidos y aminoácidos libres. En los productos esterilizados, la reacción de Maillard se da de forma más importante en la zona en contacto con la superficie de la lata, por lo que se precisa un



Imagen 23d. Pardeamiento en el interior del producto de origen desconocido.

tiempo de almacenamiento después de la cocción para que el sabor se uniformice.

Para disminuir la reacción de Maillard, se recomienda evitar la adición de azúcares reductores, glutamato e hidrolizados proteicos y fosfatos alcalinos, y ajustar las condiciones de cocción a las necesidades reales de conservación.

Esporádicamente se observan coloraciones en el interior del producto (**imagen 23d**), que pueden recordar al pardeamiento no enzimático, pero cuyo origen no ha sido establecido.

1.6.2. *Carnimonas nigrificans*

El problema microbiológico de manchas negras es común en embutidos curado-madurados y en menor medida en jamón curado. En productos cocidos se ha observado tan sólo cuando la comercialización se hace en atmósfera rica en oxígeno (e.g. a granel) (**imágenes 23e, f**).

Hugas & Arnau (1987) describieron una problemática de manchas marrones que forman un limo

Derivados cárnicos tratados por el calor

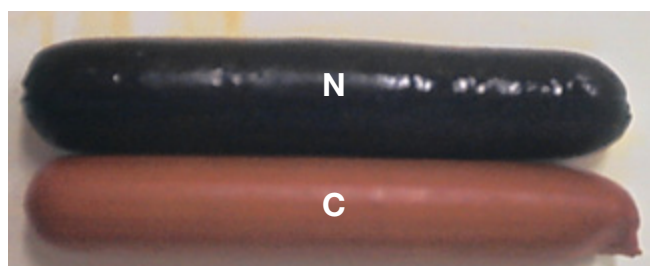


Imagen 23e. Osmurecimiento del exterior de una salchicha de frankfurt producido durante la comercialización a granel producido por *Carnimonas nigrificans* (N). Control (C).

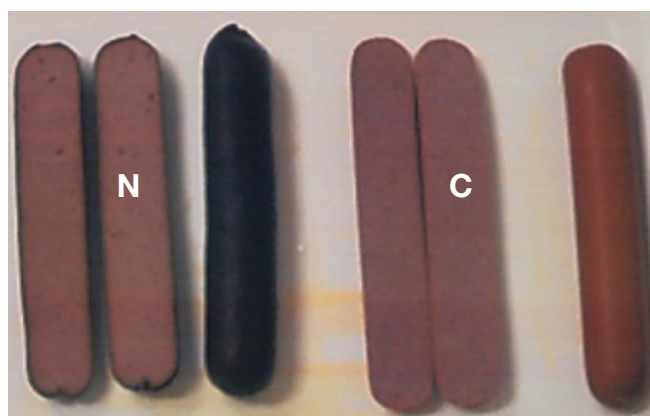


Imagen 23f. Aspecto al corte de salchichas de frankfurt oscurecidas durante la comercialización a granel producido por *Carnimonas nigrificans* (N). Control (C).

blanco en condiciones aerobias de HR elevada y pasan a negro con el tiempo (**imágenes 23g, h**). Arnau & Garriga (1993) demostraron que dichas manchas negras se producían por acción de un microorganismo cuando crecía en un derivado cárnico, a temperatura inferior a 40 °C (óptimo 30-35 °C), conteniendo alguno de los siguientes azúcares: glucosa, maltosa, jarabes de glucosa o dextrinas. Con otros azúcares no se forma la pigmentación marrón/negra, pero puede ser un foco de contaminación. La adición de glicina, L-arginina, L-glutamina y L-glutamato monosódico aumentan el pardeamiento. En el intervalo del 3 % al 11 % de sal, el crecimiento y pardeamiento observados son máximos cuando el contenido de sal es del 4 %. Por otra parte, los ácidos, el sulfito, el nitrito sódico, la N-acetil-L-cisteína y la cisteína inhiben la reacción de pardeamiento. Este microorganismo fue clasificado como una especie y género nuevos denominado *Carnimonas nigrificans* (Garriga *et al.*, 1998). Es importante señalar que no presentó patogenicidad en ratones infectados. *Carnimonas nigrificans* incluso es capaz de producir la reacción



Imagen 23g. Manchas marrones producidas por *Carnimonas nigrificans* que rápidamente pasan a negras.

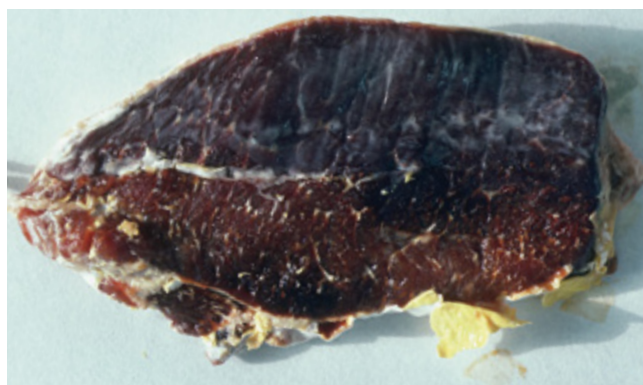


Imagen 23h. Manchas negras y limo de color blanco producidos por *Carnimonas nigrificans*.

de pardeamiento cuando se añade en agua que tan sólo contiene glucosa y glutamato (Arnau & Garriga, 2000). El pardeamiento producido por *Carnimonas nigrificans* con algunos azúcares y aminoácidos, y las propiedades inhibitorias de algunas sustancias muestra similitudes con la reacción de Maillard. Sin embargo, existen diferencias importantes en el comportamiento frente a la temperatura, el oxígeno y azúcares implicados que pueden estar relacionados con su metabolismo.

Para eliminar esta problemática, se debe localizar el origen de la contaminación, que con frecuencia puede ser detectado por la situación y la forma de las manchas. El proceso de cocción elimina dichos microorganismos, por lo que la contaminación se produce después de la cocción. Se deben incrementar las medidas higiénicas y utilizar desinfectantes de amplio espectro. Los amonios cuaternarios deben evitarse, ya que pueden favorecer este problema al eliminar microbiota competitiva



Imagen 24a. Precipitado de tripolifosfato de magnesio y sodio en salchichas cocidas.



Imagen 24c. Precipitado de Na_2HPO_4 .



Imagen 24b. Precipitado de tripolifosfato de magnesio y sodio en bacon.



Imagen 24d. Precipitado de Na_2HPO_4 .

de *Carnimonas nigrificans*. Los productos elaborados pueden constituir un foco de contaminación, mientras la superficie esté húmeda, especialmente cuando la coloración tiene una tonalidad marrón o se observa un limo blanco superficial, pero dejan de serlo en estadios más avanzados cuando la superficie está seca.

1.7. Precipitados

1.7.1. Fosfatos

Tripolifosfato de magnesio y sodio

La adición de tripolifosfato pentasódico (Na_5TPP) a los productos cocidos puede generar la formación de pequeños cristales blancos de tripolifosfato de magnesio y sodio (MgNa_3TPP) si existe suficiente cantidad de magnesio (Mg) en el producto (**imágenes 24a, b**). Por otro lado, el contenido de sodio (Na) afecta de forma cúbica al producto de solubilidad del MgNa_3TPP y por tanto a su precipitación.

Un enfriamiento a baja temperatura también favorece su formación. Normalmente, el primer paso es reducir la cantidad de Na_5TPP añadido. Si no es suficiente para eliminar el problema debe buscarse el origen del Mg (agua, especias...) y finalmente reducir el sodio añadido.

Fosfato dibásico de sodio

La formación de precipitados de fosfato (Na_2HPO_4) (**imágenes 24c, d**) es muy común en productos curado-madurados (Arnau, 2022b), pero también se ha observado en productos cocidos (Rozier & Durand, 1969). Estos cristales se confunden a menudo con cristales de sal común. Sin embargo, tanto el tipo de cristal como su sabor, que es fresco y ligeramente salino, son distintos a los de la sal común. Se observa cuando el producto se almacena a baja temperatura, y está favorecido por un pH elevado y una elevada relación fosfato/agua y sodio/agua (Arnau *et al.*, 1993; Arnau *et al.*,



Imagen 24e. Precipitado de fosfato cálcico en la salmuera de un bote de salchichas.

1997b). En productos envasados en atmósfera modificada se ve favorecido cuando se producen puntas secas (ver 1.11.1.9).

Dichos cristales se producen a partir del fosfato presente en la carne de forma natural y por el pirofosfato y tripolifosfato hidrolizados a ortofosfato por las fosfatasa de la carne. La actividad tripolifosfatasa (TPPasa) es superior a la pirofosfatasa en la carne (Mihalyi-Kengyel & Kormendy, 1973; Neraal & Hamm, 1977a, b; Sutton, 1973) y parece debida a la actividad TPPasa de la miosina (Yamazaki *et al.*, 2010). En los productos inyectados, una inyección irregular o la adición de fosfato durante el masaje pueden generar variaciones locales en el contenido de fosfato que favorezcan la precipitación. El contenido de fosfato en el músculo puede aumentar debido a la menor relación fosfato/agua presente en el exudado que se produce en la cocción (Vendeuvre, 1984) y a la concentración fruto del secado que tiene lugar durante el ahumado u horneado. La piel del animal es especialmente sensible a la formación de dichos precipitados debido a su pH elevado.

El uso de una atmósfera modificada que contenga CO₂ disminuye el pH del producto y frena ligeramente su formación.

Fosfato cálcico

Pueden formarse precipitados de fosfato cálcico en las salchichas comercializadas en salmuera debido al uso de aguas duras y elevado contenido de calcio en la masa (**imagen 24e**).

Estruvita

Se ha descrito la presencia de estruvita (MgN₂H₄PO₄·6H₂O) en carne enlatada de vacuno (Sebra-



Imagen 24f. Precipitado de lactato de magnesio en morcilla.

nek *et al.*, 1993), en conservas de pescado (Tanikawa *et al.*, 1957; Van Wazer, 1971) y en quesos curados (Tansman *et al.*, 2017; Kindstedt *et al.*, 2021). En conservas de pescado la formación de cristales de estruvita se induce cuando: i) se añade agua marina que contiene Mg, ii) disminuye la viscosidad de los jugos en contacto con el pescado (si la viscosidad es alta se frena la cristalización), iii) se enfría la conserva lentamente (si se enfría rápidamente se genera una gran cantidad de pequeños cristales no visibles). El uso de quelantes lo previene.

En el caso de productos cárnicos cocidos es de esperar que la incidencia aumente por: i) el uso de especias y agua dura con alto contenido de Mg⁺², ii) el aumento del contenido de amonio durante el almacenamiento de la carne debido a su microbiota, iii) por un pH elevado del producto, que aumenta el contenido de PO₄⁻³ debido a un desplazamiento del equilibrio de los ortofosfatos y iv) por la cantidad de ortofosfato presente fruto de la propia carne o de la hidrólisis de los di, tri o polifosfatos.

La estruvita tiene un K_{ps} de 10^{-13,26} (Ohlinger *et al.*, 1998), su solubilidad en agua es de 0,018 g/100 ml a 25 °C, precipita a pH entre 7-11,5, y según Hao *et al.*, (2008) mejor aún entre 7,5-9,0. A valores de pH < 9,0 la solubilidad disminuye si aumenta el pH.

1.7.2. Lactatos de magnesio y de calcio

La precipitación de lactato magnésico se produce por la presencia simultánea de lactato y magnesio. Se ha observado en productos cocidos que sufren cierta deshidratación (e.g. morcillas (**imagen 24f**)) cuando se supera su solubilidad en la fase acuosa, de forma que precipita en la superficie del embutido y puede confundirse con un enmohecimiento del producto (Arnau *et al.*, 2002). La solubilidad del lactato magnésico aumenta con la temperatura (de 6,21 a 0,3 °C hasta 7,19 g/100 ml de solución a 29,8 °C).

El magnesio puede provenir de las especias, la carne, las tripas, la sal, el agua y otros ingredientes. Su complejación mediante quelantes alimentarios (difosfato (4,5 g/kg) y hexametrafosfato (2,8 g/



Imagen 24g. Precipitado de tirosina en foie de pato.

kg)) disminuiría el problema (Walz *et al.*, 2017), pero podrían aumentar los precipitados de Na_2HPO_4 si hubiese hidrólisis y el pH fuese elevado.

La reducción del contenido de lactato es útil, ya que afecta de forma cuadrática al producto de solubilidad del lactato magnésico. El lactato proviene de la propia carne (los músculos blancos contienen más lactato) y del que se pueda añadir. Así pues, una selección de magros más rojos frenaría el problema, pero aumentaría el riesgo de formación de cristales de fosfato. En productos ahumados el aumento del tiempo de ahumado disminuye la formación de precipitado de lactato magnésico, quizás debido a que se genera una barrera a la difusión del lactato y del magnesio, a la disminución de pH en superficie y a la acción complejante de los fenoles del humo (Walz *et al.*, 2019). La precipitación del lactato magnésico se ve afectada por el tipo de tripas (Walz *et al.*, 2018), lo cual se podría deber a las diferencias en el tamaño de poro. Un aumento del tamaño de poro podría facilitar la migración de los solutos a la superficie (Walz *et al.*, 2018; Ledesma *et al.*, 2015).

La presencia simultánea de lactato y calcio puede dar lugar a la precipitación de lactato de calcio. Cuando su solubilidad en agua (3,38, 4,04 y 6,41 g de lactato cálcico por 100 g de agua a 4 °C, 10 °C y 24 °C, respectivamente) se supera, precipita. Lo más probable es que el origen del calcio esté relacionado con el agua añadida, la carne separada mecánicamente, el CaCl_2 en tripas de alginato y proteínas de la leche u otros ingredientes. También pueden darse precipitados mixtos de lactatos de calcio y lactato de magnesio.

1.7.3. Tirosina

La presencia de precipitados de tirosina es muy común en jamón curado, pero apenas se observa en productos cocidos. Se ha observado presencia de precipitados de tirosina en foie de pato (imagen 24g), en el que debido a la riqueza enzimática del hígado hay una elevada proteólisis durante el proceso.

1.7.4. Puntos blancos de grasa

En productos en base a hígado de pato, Lainé *et al.* (2000) observaron unos puntos blancos de 1-4 mm de diámetro en la superficie y parte interna del producto, compuestos mayoritariamente de triglicéridos que no eran visibles después de cocer y que se desarrollaban durante el almacenamiento (a partir de la semana 24). Un enfriamiento lento (12-24 h) después de cocción unido a un almacenamiento a una temperatura constante de 15 °C generaba la aparición del problema, mientras que si la temperatura oscilaba durante el almacenamiento (20/30 o 15/40 °C) no aparecían los puntos blancos (pero afectaba negativamente a la textura y al aspecto). Por otra parte, un enfriamiento rápido de una hora de duración no generaba puntos blancos independientemente de las condiciones de almacenamiento. Esto es debido a que mientras un enfriamiento lento después del tratamiento térmico permite un fraccionamiento de las grasas que cristalizan selectivamente según el punto de fusión, un enfriamiento rápido produce un fraccionamiento menor, y el almacenaje a temperatura ambiente no es suficiente para iniciar la cristalización y formación de puntos blancos de grasa. Dichos autores no detectaron efecto alguno del agua, sal y condimentos añadidos en la aparición del problema.

1.8. Puntos blancos en productos tratados por alta presión

Al tratar por alta presión productos envasados en atmósfera protectora o productos envasados al vacío a los que no se les haya hecho suficiente vacío durante el amasado/embutido, se observa la formación de pequeños puntos blancos. Al aumentar la presión, el gas presente en el interior del producto o envase se comprime, cambia de estado (según presión, temperatura y tipo de gas) y se acumula en un espacio muy pequeño de la interfase producto/envase en forma de puntos o bandas. Al finalizar el tratamiento por alta presión se produce una des-



Imagen 25a. Presencia de puntos blancos en muestras de salchichas tratadas por alta presión (amasadas haciendo un vacío del 75 % (T1) y 90 % (T2)). No se observan puntos blancos cuando el vacío es del 99,9 % (C).



Imagen 25c. Puntos blancos en jamón cocido loncheado envasado en atmósfera protectora y tratado por alta presión.



Imagen 25b. Bandas blancas en salchichas tratadas por alta presión.

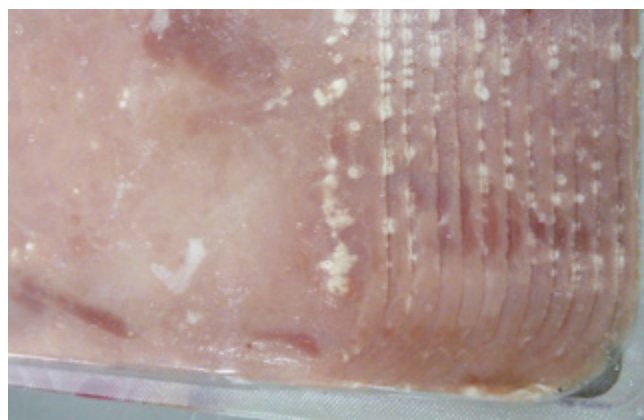


Imagen 25d. Puntos blancos en jamón cocido loncheado envasado en atmósfera protectora y tratado por alta presión.

compresión brusca, por lo que tiene lugar una disminución local de temperatura y arrastre de agua que genera una quemadura similar a la quemadura de congelación, que desaparece en 1-2 días. Para el CO₂, nitrógeno y oxígeno, las presiones críticas son 73, 33,5 y 50,4 bar y las temperaturas críticas 31, -147,1 y -118,6 °C, respectivamente. En la **imagen 25a** se observa la presencia de puntos blancos en muestras amasadas haciendo un vacío del 75 % o del 90 %, mientras que cuando el vacío fue del 99,9 % los puntos blancos no se formaron. La **imagen 25b** muestra la presencia de una banda blanquecina formada en una arruga del envase. En las **imágenes 25c, d** se muestra la presencia de puntos blancos en jamón cocido loncheado envasado en atmósfera protectora. Así pues, la aplicación industrial de vacío al proceso de amasado y embutido final de salchichas es una modificación que posibilita por un lado el uso de altas presiones como método de higienización post letal, y

contribuye a mantener una menor presión parcial de aire dentro del envase, necesaria para asegurar una mejor estabilidad sensorial a lo largo de la vida comercial (mejor estabilidad del color, menor oxidación de la grasa).

1.9. Desprendimiento de agua y gelatina

1.9.1. Factores de materia prima e ingredientes

La capacidad de retención de agua (CRA) de la carne es un factor clave en la retención de agua del producto, ya que indica el grado de desnaturalización de las proteínas de la carne. La máxima retención de agua en productos cocidos se obtendría utilizando carne en estado pre-rigor (Serra *et al.*, 2019). A medida que disminuye el pH se observa una disminución de la CRA. Esta disminución es especialmente importante en el caso en que se haya producido de forma rápida en los 45 minutos



Imagen 26a. Desprendimiento de agua en jamón procedente de carne muy exudativa (A).

posteriores al sacrificio, ya que una degradación rápida del glucógeno va acompañada de un incremento de temperatura que en condiciones de pH bajo produce la desnaturalización de las proteínas de la carne y origina carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE) (Stabursvik, *et al.*, 1984). Estas carnes además absorben mal la salmuera inyectada con lo cual el problema de exceso de merma se agrava aún más (**imagen 26a**). De cara a disminuir el problema de las carnes PSE se debería: i) tomar medidas a nivel de granja y matadero, ya que es un problema que depende de la susceptibilidad genética, del estrés que sufre el animal antes y durante el sacrificio y de la cantidad de glucógeno disponible en el músculo (los músculos con mucha energía son más susceptibles a dar carnes PSE, mientras que en aquellos en los que la energía se ha agotado dan valores de pH elevado), ii) refrigerar rápidamente las canales, abriendo las piezas grandes (e.g. jamones) en la medida de lo posible, para que su interior se enfríe y dañe menos las proteínas, y iii) seleccionar las materias primas, especialmente las destinadas a la elaboración de piezas enteras poco aditivadas, separando aquellas piezas o partes de ellas que tengan características PSE.

El uso de carnes congeladas también disminuye la CRA, y esta disminución es mayor cuanto mayor es el tiempo de almacenamiento en congelación, cuando hay oscilaciones térmicas durante el almacenamiento congelado y si la congelación y/o descongelación son muy lentas (Leygonie *et al.*, 2012). Se debe procurar que el centro de la pieza cárnica esté descongelado sin que la superficie haya sufrido un abuso de temperatura. La descongelación en bombos con vacío permite aportar vapor sin que se produzca cocción superficial de la carne. Para ace-

lerar la descongelación se puede atemperar mediante tratamiento por microondas o bien separar las piezas con una prensa o cortar con guillotina (Xargayó *et al.*, 2020).

La presencia de aire en el tejido intermuscular, por ejemplo, en la panceta (**imagen 10d**), debido al sistema de despiece utilizado, aumenta la cantidad de salmuera retenida a nivel local, lo cual deriva en un aumento del exudado de la pieza.

En el caso del jamón y paleta cocidos es importante que las piezas estén bien pulidas para reducir tensiones al cocer y facilitar una buena exudación de proteína que posteriormente favorezca el ligado entre las piezas y con el envase, de forma que se minimice la exudación. El uso de carne picada aumenta la superficie de extracción de proteína y puede reducir el exudado. En general un buen ligado entre músculos dificulta el desprendimiento local de agua.

La adición de sal y polifosfatos hace aumentar la CRA de las proteínas cárnicas que no se han desnaturalizado y disminuye la merma. Por otra parte, los fosfatos contribuyen a homogeneizar el pH de los distintos músculos de la pieza. Los hidrocoloides (e.g. carragenatos) se disuelven al calentar y forman un gel al enfriar que retiene una gran cantidad de agua. La presencia de sales de potasio endurece los geles de carragenato, pero producen un aumento de la sinéresis de agua. Esto se evita utilizando goma de garrofín, que tiene una acción sinérgica con el carragenato. La adición de carragenato en etapas avanzadas del masaje permite que se sitúe en la periferia de los trozos de carne dificultando las pérdidas de agua. Las proteínas funcionales añadidas (e.g. plasma, lactosuero...) forman un gel al cocer que atrapa agua. En el caso del plasma también se comercializa en forma congelada, por lo que se puede añadir a la salmuera o en pequeñas dosis directamente al bombo. Finalmente, los almidones y féculas absorben cantidades importantes de agua al cocer que permiten reducir/eliminar las pérdidas de agua. La fécula de patata es una de las más usadas, y se combina con otras, cuando el contenido de féculas es elevado, para que no se note tanto su sabor.



Imagen 26b. Desprendimiento de agua y gelatina (A) y de proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares que coagularon durante la cocción (B).

1.9.2. Factores de proceso

La uniformidad de inyección entre piezas y dentro de una misma pieza es clave para que los ingredientes faciliten una buena CRA, posteriormente la tenderización debe facilitar: i) la rotura de bolsas de salmuera que se hayan formado, ii) el aumento de la superficie de contacto con la salmuera exudada, iii) la exudación de proteína cárnica, y iv) el corte del tejido conjuntivo y la reducción de tensiones al cocer. El masaje contribuye también a la difusión de los ingredientes de la salmuera solubles en agua, y a desenrocar el producto, es decir, que pierda la dureza provocada por el “rigor mortis”. La compactación del producto durante la embutición contribuye a evitar la formación de grietas y agujeros donde puede tener lugar la formación de desprendimientos de agua y gelatina.

La adición de salmuera no inyectada para ajustar el peso debe ser la mínima posible, ya que es más difícil su difusión al interior de la carne y hace que el masaje sea menos efectivo. También es recomendable añadir los ingredientes líquidos (e.g. lactato) a la salmuera en lugar de hacerlo al bombo de masaje, ya que así se logra una mejor distribución y se reduce el efecto negativo en la exudación de proteínas.

Una buena distribución de salmuera inyectada dentro de la carne reduce la exudación y facilita la extracción de proteína.

La desnaturalización proteica puede tener lugar en el masaje si se hace a temperatura elevada y/o se produce crecimiento microbiano que acidifique la superficie de la pieza. Cuanto más elevado es el

porcentaje de inyección, más salmuera hay en las capas intermedias del bacon. Una presión elevada rompe las capas de grasa.

En los productos gelatinosos que han sido previamente cocidos, se debe embutir el producto caliente para reducir los huecos en el producto, en los que se podría generar desprendimiento de agua al cocer.

El proceso de cocción debe adaptarse a cada caso. En los productos a los que no se les añaden fosfatos, proteínas o féculas, un incremento de temperatura de cocción hace aumentar las pérdidas por exudado. A un mismo valor final de valor de pasteurización, el aumento de la temperatura de cocción produce un aumento de merma más importante que si se logra dicho valor de pasteurización alargando el tiempo de cocción a una temperatura inferior.

La cantidad de exudado desprendido durante la cocción depende de la evolución de la capacidad de retención de agua de la matriz durante la cocción. La composición de los ingredientes solubles en agua en la fase acuosa del exudado es similar a la composición en la fase acuosa del magro (e.g. $\text{sal/agua exudado} = \text{sal/agua magro}$). Por otra parte, la composición de la fracción nitrogenada en el exudado desprendido dependerá del momento en que, durante la cocción, se produzca su pérdida. Si se forma exudado a baja temperatura, por ejemplo antes de la desnaturalización de la miosina (i.e 55-60 °C), la proteína soluble en agua o en sal que no haya desnaturalizado puede desnaturalizarse en el propio exudado y dar un aspecto blanque-



Imagen 26c. Coloración marrón entre tripa y magro debido a proteínas precipitadas en el exudado acuoso durante la cocción.

cino (**imagen 26b**). En algunos productos cocidos embutidos en tripa natural se pierde el agua desprendida y las proteínas solubles en agua, y permanecen las proteínas precipitadas (**imagen 26c**). Según Sheard *et al.*, (2001) el exudado del bacon durante la cocción en la sartén/plancha contiene más proteínas sarcoplasmáticas y menos actina y miosina que la que se obtiene en jamones cocidos (Jolley & Purslow, 1988). Inicialmente, aparece como un líquido blanco lechoso que se vuelve marrón y deja un residuo que se adhiere a la sartén. La congelación parcial que se realiza para cortar a alta velocidad, un pH bajo que disminuye la CRA (debido a crecimiento microbiano) y un proceso rápido con una inyección elevada facilitan la formación de exudado. Si la pieza es muy pulida (6D), es decir, casi sin tejido conjuntivo externo (epimisio) entre músculos, el contenido de gelatina en el exudado será menor; si por el contrario no está pulida, se mantiene la piel y hay músculos con mucho conectivo, el contenido de gelatina será más elevado, especialmente en cocciones largas y si se aumenta la temperatura.

Para conocer la temperatura a la que ha sido sometido un producto cárnico se puede hacer una extracción en agua con sal (2 %) y calentar de forma paulatina la solución. La temperatura a la que se empieza a detectar cierta turbidez en la solución indica la temperatura final alcanzada en la cocción del producto.

El almacenamiento de las piezas cocidas debe hacerse a temperatura superior al punto de congelación del producto, ya que si no la CRA podría verse afectada negativamente.

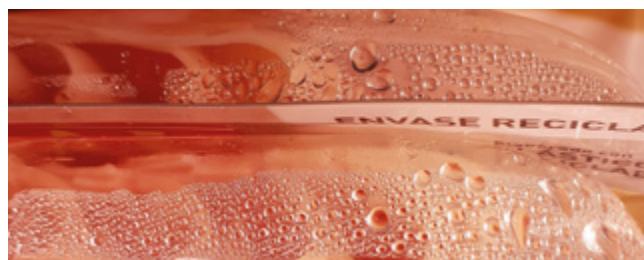


Imagen 26d. Condensación de agua en el interior del envase.



Imagen 26e. Condensación de agua en el interior del envase.

1.9.3. Envasado

Se recomienda hacer un buen vacío, para evitar que haya espacios en los que la salmuera pueda depositarse y que dificulte la adhesión al plástico. El material de envasado debe presentar una buena adhesión a la carne y debe adaptarse al producto antes de que se inicie la desnaturalización proteica superficial; para ello es conveniente ajustar el tamaño de la bolsa al del producto, evitando usar bolsas excesivamente grandes. El espacio entre el producto y la soldadura debe ser el menor posible para evitar que se produzca desprendimiento de líquido en dicha zona. El tiempo de retractilado previo a la cocción debe ser el mínimo posible que permita eliminar las arrugas y tensionar el envase. Un aumento innecesario del tiempo de retractilado daría lugar durante la manipulación posterior a una pérdida de adhesión, y como consecuencia facilitaría el desprendimiento de agua. Una vez efectuado el retractilado debe evitarse que al manipular las bolsas se generen tensiones internas.

En los productos termoformados, se puede producir desprendimiento de agua en la zona de soldadura debido a la separación que se produce originada por tensiones locales.

La pasteurización del producto cocido reenvasado puede facilitar el desprendimiento de gelatina si se hace a temperatura elevada durante tiempos prolongados.

El producto envasado en MAP tendrá menos exudado cuanto más se adapte la forma del producto a la del envase. Un gran espacio de cabeza con elevada relación gas/producto facilita la evaporación y condensación en las paredes del envase, mientras que una baja relación gas/producto y contacto de las lonchas con el film facilita la absorción del agua condensada. Un aumento de presión sobre las lonchas en el encajado, por colapso del envase debido a un alto porcentaje de CO₂ o por apilado excesivo, genera formación de salmuera especialmente en los productos con menor retención de agua. En los lineales, la colocación del envase en posición vertical y las oscilaciones importantes de temperatura generan condensaciones (imágenes 26d, e) que van al fondo del envase. El agua puede condensar ligeramente antes del punto de rocío, ya que las partículas flotantes actúan de núcleos higroscópicos que facilitan la condensación.

La acidificación del producto, bien sea por la atmósfera de CO₂ o debido a la fermentación de los azúcares por acción de las bacterias lácticas, también disminuye la CRA y facilita la formación de exudado.

El tratamiento por alta presión también puede dar lugar a un aumento del exudado.

1.10. Desprendimiento de grasa

1.10.1. En el interior del producto

En los productos picados cocidos se produce desprendimiento de grasa cuando esta está insuficientemente ligada o emulsionada y la estructura facilita su movimiento (imagen 26f).

El hecho que la grasa esté insuficientemente ligada bien sea como emulsión o por atrapamiento en la estructura puede deberse a:

i) Solubilización insuficiente de proteínas miofibrilares, ya sea por una formulación de ingredientes deficiente (falta de sal, fosfatos, proteínas funcionales) o por falta de acción mecánica (e.g. poco amasado o coterado). Si la emulsión final es muy líquida, es preferible realizar la emulsión inicialmente con tan sólo una parte del líquido en la cutter, para que así sea más viscosa y mejore la acción mecánica, y añadir el resto del líquido al final una vez obtenida la emulsión. El presalado de la carne con un 4-5 % de sal aumenta la funcionalidad de las proteínas miofibrilares. Posteriormente, una vez que se dispone de una



Imagen 26f. Desprendimiento de grasa en el interior del producto durante la cocción.

buen extracción proteica, se puede añadir más agua. Si se hace el coterado en vacío se dispone de más proteínas para emulsionar las grasas que cuando hay incorporación de aire, el gel es más compacto y hay menor dilatación durante la cocción y contracción durante el enfriamiento, con lo cual se obtiene un mejor ligado de la grasa.

- ii) Hidratación insuficiente de las proteínas no cárnicas que han sido añadidas en polvo. Es decir, se ha añadido poca agua o se ha realizado poca acción mecánica para que se hidraten y puedan expresar su acción emulsionante.
- iii) Desnaturalización de las proteínas (temperatura de coterado o de molino excesiva). Se recomienda, en emulsiones realizadas en frío, que la temperatura no supere los 12 °C en productos sin fosfatos o los 18 °C en productos con fosfatos. En emulsiones realizadas en caliente se puede aumentar la temperatura evitando superar el valor en que se inicia la coagulación proteica. El uso de carnes exudativas o almacenadas durante tiempo en congelación puede producir desnaturalización parcial de las proteínas y pérdida de funcionalidad (Zhang *et al.*, 2021; Wagner & Anon, 1985).
- iv) Dados de grasa no escaldados. Hay que tener en cuenta que los dados de grasa congelada durante mucho tiempo sufren más daños en la estructura, y en ellos es más fácil que se produzca exudación de grasa. La exudación de grasa en la zona adyacente a los dados de grasa (e.g. mortadela boloñesa) indican un escaldado deficiente de estos, bien sea por poca temperatura, poco tiempo o mal centrifugado.
- v) Hígado poco fresco en aquellos productos que lo contengan. Hay que tener en cuenta que el hí-



Imagen 26g. Desprendimiento de grasa en un producto cocido que sufrió un secado posterior.

gado de animales recién sacrificados tiene mayor poder emulsionante, y que la congelación durante períodos largos reduce su funcionalidad.

Si la estructura de la masa permite el movimiento de la grasa es más fácil que se produzca desprendimiento de la misma. Si se hace coterado o amasado en vacío se emulsiona más aceite/grasa (Tantikarnjathep *et al.*, 1983), el gel es más compacto y hay menos dilatación durante la cocción, con lo cual se obtiene un mayor ligado de la grasa. Una estructura viscosa dificulta el movimiento de las gotas de grasa, y la formación de un gel consistente durante la cocción atrapa la grasa dificultando su movimiento. En productos emulsionados magros, la estabilidad de la emulsión y la CRA mejoran al aumentar el contenido de grasa. Así, por ejemplo, Guerra *et al.*, (2011) observaron una mejora en la

estabilidad de la emulsión al aumentar la grasa añadida hasta un 30 %.

Cuando el agua está insuficientemente ligada, al desprenderse abre un camino por el que la grasa puede moverse. Por tanto, una mejora en la CRA disminuirá los problemas de desprendimiento de grasa. Así, por ejemplo, en los productos picados tradicionales a los que se añade una parte de carne cocida y que tienen poca retención de agua, se puede mejorar la retención de grasa añadiendo una parte de emulsión o de carne fresca picada en la que se haya realizado un buen masaje con sal y un buen vacío. Si no, se debe pinchar la tripa para que exude la grasa y enfriar rápidamente después de cocer.

1.10.2. En la periferia

Si el desprendimiento de grasa tan solo es en la periferia, aparte de los factores mencionados anteriormente se debe tener en cuenta que cuando se utilizan tripas permeables al vapor de agua si se realiza una cocción a HR < 75 %, o al finalizar la cocción se enfría el producto a temperatura ambiente sin previo duchado, puede producirse exudado de grasa en la superficie debido a que el contacto del aire ambiental con la superficie caliente del embutido genera una disminución brusca de la HR superficial que seca el producto, produciéndose rotura de las células grasas superficiales (Arnau & Gou, 2001) y/o de la emulsión. Si el producto se elaborase con KCl en lugar de NaCl, una disminución de la actividad de agua de la superficie del embutido por debajo de 0,877 a 5 °C o 0,843 a 25 °C podría generar exudado de grasa, ya que a valores inferiores a dichas a_w el KCl cristaliza, produciéndose una disminución brusca del contenido de agua en el equilibrio y rotura de las membranas de los adipocitos (Arnau *et al.*, 2012).

En los productos cocidos sometidos a un proceso de secado, las tensiones producidas por el secado del magro pueden generar una presión elevada sobre la grasa que origine el exudado de aceite en su interior (Ten Cate, 1969). Este efecto es más común en la zona más externa, en la que se producen mayores presiones de secado sobre las partículas de grasa, que en la zona interna (**imagen 26g**).

La cocción de productos grasos en tripas colágenas a alta HR puede facilitar la hidratación y expansión de la tripa y la formación de una capa grasa en



Imagen 26h. Desprendimiento de grasa bajo la tripa.

la interfase tripa/masa. Así mismo, cuando la masa cárnica no se adhiere a la tripa (**imagen 26h**) o está embutido con presión insuficiente, se puede facilitar el desprendimiento de grasa en la interfase entre el producto y la tripa.

1.10.3. Pérdida de grasa durante el tratamiento térmico del producto reenvasado

Para evitar pérdidas de grasa durante el tratamiento térmico posterior a la cocción (e.g. tratamiento térmico después de envasado (**imágenes 26i, j**) o de esterilización (**imagen 26k**) se debe tener un buen ligado de la grasa en el producto y generar una estructura gelificada compacta que atrape la grasa y que dificulte tanto el movimiento de agua como de grasa durante el tratamiento térmico.

En productos tipo morcilla, bulls y aquellos a los que se les añade carne precocida, la adición de hígado/carne picada finamente y bien masajeadada con sal, o la adición de una parte de emulsión que recubra los trozos de grasa picada dificultará el desprendimiento de grasa en el envase al tratar térmicamente. El uso de fécula al retener el agua también dificulta el movimiento de la grasa.

1.10.4. Mal ligado de los dados

En los productos que contienen dados de grasa, estos a veces se separan al lonchear (**imagen 26l**) debido a un ligado deficiente con la masa cárnica.



Imagen 26i. Desprendimiento de grasa en el exterior del producto durante el tratamiento de pasteurización postenvasado.



Imagen 26j. Desprendimiento de grasa en el exterior del producto durante el tratamiento de pasteurización postenvasado.



Imagen 26k. Desprendimiento de grasa durante el tratamiento de esterilización.



Imagen 261. Desprendimiento de gránulos de grasa al lonchear debido a un ligado deficiente con la masa cárnica.

Debe tenerse en cuenta que lo que liga los tacos de grasa a la carne son las proteínas solubilizadas y lo que desliga es la presencia de grasa fundida y los cambios de tamaño o de estructura.

Para conseguir un buen ligado de las partículas de grasa, de forma que no se separen al lonchear y se mantengan durante la vida útil, se debe tener: i) suficiente proteína cárnica extraída o no cárnica añadida (e.g. gel de caseinato) y realizar un buen vacío de la masa antes de embutir, ii) evitar o reducir el embarrado y la presencia de grasa en la superficie de los dados y iii) mantener en refrigeración suficiente tiempo el producto elaborado (e.g. 1-2 semanas) para que las formas alfa de los triglicéridos pasen a formas beta más estables y mejore la consistencia de la grasa. Hay que tener en cuenta que, en las materias primas utilizadas, la grasa fresca liga mejor que la congelada (especialmente cuando lo ha sido por períodos largos) y los magros grasos ligan mejor que la grasa subcutánea. Cuanto mayor es la relación superficie/volumen de los dados de grasa mejor es la cohesión (los trozos grandes de grasa se separan más fácilmente que los pequeños y las formas esféricas lo hacen más que las otras formas, por lo que si están bien dispersos presentarán menos problemas de separación), el amasado facilita la interacción proteína/grasa, el escaldado de los dados de grasa permite eliminar la grasa superficial del dado y facilita la interacción del tejido conjuntivo de la grasa con la proteína de la carne y su ligado (e.g. en mortadela boloñesa). Si la temperatura de escaldado es superior a la de cocción del embutido se evitarán tensiones en el dado. El aclarado de los dados con

agua caliente (48-50 °C) después de escaldar y su centrifugado eliminan la grasa de su superficie. Una buena adhesión de los trozos de grasa a la tripa dificulta la exudación de grasa externa, y una mala capacidad de retención de agua de la pasta ayuda a generar desprendimiento de grasa, ya que al perder agua se generan canales por donde la grasa también puede fluir.

La congelación de la grasa durante un tiempo largo favorece la formación de cristales de hielo que crecen con el tiempo y dañan su estructura, favoreciendo la exudación de grasa y el desligado.

El amasado a baja temperatura, estando la grasa aún congelada y sin presencia de sales, puede facilitar la formación de agregados de grasa (“pelotas”) que dificulten una buena distribución de los ingredientes y aditivos.

En los productos con tacos de grasa, se deben evitar oscilaciones importantes de temperatura de los envases de producto loncheado, ya que se facilita la fusión de la grasa y confiere al producto un aspecto untuoso. Dicha fusión se ve favorecida por el uso de grasas insaturadas de bajo punto de fusión que funden cuando aumenta la temperatura y forman pequeños cristales blancos cuando la temperatura disminuye.

1.11. Deformación

1.11.1. Del producto

1.11.1.1. *Cupping*

El *cupping* es un problema frecuente en *toppings* (e.g. pepperoni). Al calentar las pizzas, las lonchas se calientan más en la parte superior que en la que está en contacto con la pizza. Los laterales de la loncha tienen una mayor relación superficie/volumen y tienden a alejarse de la pizza mientras que el centro permanece en contacto con la base dando lugar a una forma de copa (**imágenes 27a, b**). Es decir, el *cupping* se hace en la dirección de la fuente de calor, produciéndose desprendimiento de grasa y reacción de Maillard en los bordes (pardeamiento). Para disminuir la reacción de Maillard deben añadirse azúcares fermentables y procurar que se agoten en el proceso de fermentación, y si no hay fermentación debe evitarse la adición de azúcares reductores. Cuanto más gruesa es la loncha mayor es la diferencia de calentamiento (dentro de un cierto margen) y mayor el *cupping*. En lonchas extrafinas apenas se produce ya que este efecto



Imagen 27a. *Cupping*.



Imagen 27b. *Cupping*.

no es capaz de vencer la gravedad y la adherencia a la base. Si la loncha es muy gruesa se dificulta la curvatura, y si el diámetro es amplio también. El flujo en “U” de la embutidora facilita el *cupping* en la dirección de embutición. Si el diámetro del embudo es cercano al del embutido y la pasta se posiciona directamente en el embutido, sin que se produzca retroceso (*back-rolling*, *back-curling*) se produce menos *cupping* (Feiner, 2016). Para cambiar la dinámica se pueden hacer agujeros al final del embudo. Newkirk *et al.* (1995) encontraron que la refrigeración con nieve carbónica de 5 °C hasta -5 °C previo al mezclado con los ingredientes dio lugar a menos *cupping* que la que dio la mezcla a 0 °C o a 5 °C. El encostrado (Hoogenkamp, 1989), la extracción de mucha proteína y el uso de tripa natural lo aumentan, y el secado tipo QDS process®



Imagen 27c. Contracción de la tripa al cocer.

(*Quick-Dry-Slice Process*) lo disminuye. El aumento del contenido de grasa, la adición de cortezas cocidas y carragenatos disminuyen el problema. La adición de tejido conjuntivo crudo puede aumentar el problema, ya que se contrae al cocer (la carne denervada, e.g. con Baader, da menos problemas). En los productos cocidos el problema es menor si el colágeno se ha solubilizado, y será mayor si tan sólo se ha desnaturalizado la miosina por efecto de cocción a unos 60 °C, debido al aumento de la cohesividad (Newkirk *et al.*, 1995). Un incremento del *cupping* puede favorecer la formación de aminas heterocíclicas en los *toppings* de pizzas durante el horneado (Gibis & Weiss, 2013).

1.11.1.2. Encogimiento de la tripa durante la cocción

El encogimiento de la tripa al cocer, en que una parte de la masa embutida queda fuera (**imagen 27c**), es debido a que al cocer la masa embutida no frena la contracción de la tripa debido a insuficiente extracción de proteína miofibrilar en la pasta para que ligue la tripa al cocer, o a la presencia de grasa en la interfase masa/tripa (embarrado o fusión de grasa) o gelatina que dificultan la interacción proteína miofibrilar/tripa. Por otro lado, el uso de tripas naturales gruesas favorece su retracción durante la cocción.

La formación de gas durante la fermentación y la falta de vacío durante el amasado y embutición pueden provocar que el producto tenga gas, que se dilate al cocer y rompa la estructura y facilite el encogimiento.

1.11.1.3. Estallido de la tripa al cocer

Las tripas naturales o colágenas comestibles que se usan para salchichas, longanizas o butifarras cocidas a veces revientan al cocer antes de su consu-



Imagen 27d. Rotura de la tripa al cocer.

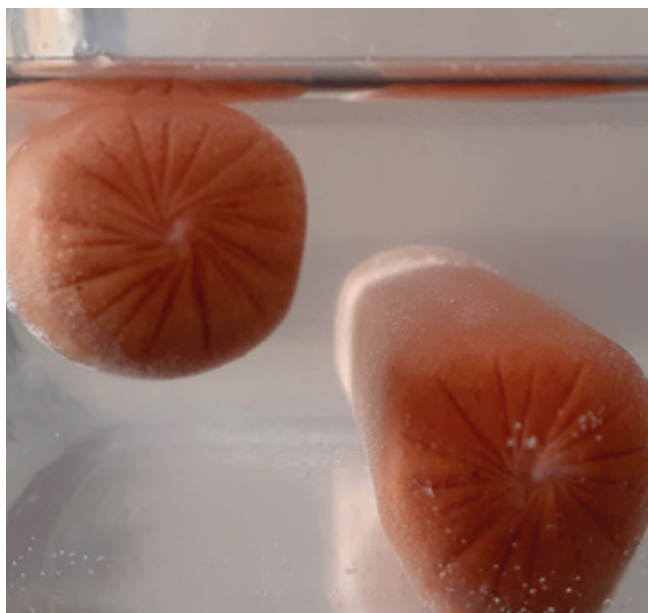


Imagen 27e. Diferencias de densidad entre salchichas de un mismo envase.

mo (**imagen 27d**), lo cual puede ser debido a una cocción agresiva, presencia de aire (por insuficiente vacío en el amasado y embutición (**imagen 27e**)) o formación de gas (por fermentación) que dilata y presiona la tripa, especialmente si está muy llena, y también por falta de adhesión de la masa a la tripa (que permite una contracción importante que facilita la rotura) debido a: i) insuficiente extracción de proteína miofibrilar que pueda actuar como adhesivo entre la masa y la tripa; ii) exceso de grasa, embarrado de la pasta o emulsión deficiente de la grasa. Hay que tener en cuenta que la presión de rotura es directamente proporcional al espesor de la piel e inversamente proporcional al diámetro de la salchicha (fórmula de Barlow), y que si no se supera el límite elástico las salchichas vuelven a la forma original tras la cocción.



Imagen 28a. Marca de colgado (C) y corte de la salchicha producido durante el pelado.



Imagen 28b. Aspecto de salchichas elaboradas sin tripa.

1.11.1.4. Pelado de salchichas

Las salchichas tipo frankfurt embutidas en tripa celulósica normalmente sufren un proceso de pelado antes de su envasado final. La peladora consta de una cuchilla que corta longitudinalmente la tripa y un sistema de separación de la salchicha de la misma. Las ristras de salchichas se introducen por un lado y salen peladas por el otro. El corte de la tripa se manifiesta en las salchichas como un pequeño corte longitudinal (**imagen 28a**) que no está presente en las salchichas que se elaboran sin tripa (**imagen 28b**). Sin embargo, a veces se producen roturas de salchichas o parte de la pasta queda adherida a la tripa dificultándose el pelado (*“cling”*) (**imagen 28c**). Según Tauber (1958) y Wilson (1960) (citados por Carpenter & Saffle, 1963), debe tenerse en cuenta que hay dos factores clave relacionados con la facilidad de pelado de las salchichas tipo frankfurt: i) coagulación, por acción del calor, de las proteínas solubles superficiales que permite la formación de una piel y ii) la relación entre el contenido de agua de la superficie de la salchicha y la de la tripa. Así pues, la formulación del producto debe tener suficiente proteína funcional para permitir la formación de la piel. Según Saffle (1968) las salchichas con elevado contenido de tejido conectivo (e.g. 10 % piel de cerdo) son más difíciles de pelar, especialmente si se procesa inicialmente a baja



Imagen 28c. Pérdida de masa de una salchicha durante el pelado (“cling”).

temperatura (55 °C) que si se hace a alta (82 °C), lo cual podría deberse a que a temperatura alta el colágeno se contraiga al inicio del tratamiento térmico y endurezca, mientras que con tratamientos más suaves al inicio se puede convertir paulatinamente en gelatina que se adhiere a la tripa. Según dicho autor, en tripas de 21 mm el tratamiento térmico suave al inicio facilita la formación de una piel suave que facilita el pelado en comparación con una temperatura elevada. Por otro lado, la coagulación proteica se facilita mediante contacto con ácidos y aldehídos (e.g. los procedentes del ahumado) (Toth & Potthast, 1984). El incremento del contenido de grasa y/o su migración a la interfase piel/tripa facilita el pelado. Una presión elevada de embutición (sobreambutido) puede incrementar las interacciones tripa salchicha y dificultar la pelabilidad. La variabilidad de la densidad de las salchichas debe reducirse para tener un producto homogéneo y que se pele de forma homogénea (**imagen 27e**). Debe tenerse en cuenta si el tipo de tripa es normal o de alta pelabilidad, ya que ello exige condiciones de procesado distintas.

Las salchichas son difíciles de pelar tras el tratamiento térmico a menos que se introduzcan en agua, salmuera o en una cámara muy húmeda. Dado que la presencia de humedad en la interfase entre la tripa y el producto debilita las interacciones que se han formado previamente en dicha interfase y facilita la pelabilidad, la inclusión de un paso en que se produzca cocción a una HR superior a la actividad de agua superficial multiplicada por cien ($100 \cdot a_{ws}$), el tratamiento con agua tibia o la aplicación de vapor a las tripas antes de pelar y la adición de sustancias con buen poder humectante (e.g. azúcares, sorbitol) y carboximetilcelulosa a la formulación facilitará la pelabilidad. La carboximetilcelulosa hace una pequeña capa entre la tripa y la masa que disminuye la pegajosidad y facilita el pelado.

Duchar el producto con agua fría antes de iniciar el proceso, especialmente cuando los tiempos de espera entre las primeras y las últimas salchichas antes de ahumado son largos, permite estandarizar



Imagen 29a. Contracción de hamburguesa durante la cocción.



Imagen 29b. Formación de jugo y desligado en el interior de una hamburguesa.

las condiciones superficiales y de la interfase producto/tripa y uniformizar el producto.

Así pues, debe buscarse un equilibrio entre condiciones secas y húmedas. Las condiciones secas facilitan el desarrollo del color ahumado, reacción de Maillard, aroma y textura superficial firme, mientras que unas condiciones húmedas facilitan la absorción del humo, dan lugar a una superficie tierna, mejores rendimientos y pelabilidad, una temperatura más uniforme y reducción del tiempo de cocción.

Finalmente debe destacarse que para facilitar el pelado y reducir roturas es conveniente que las salchichas estén rígidas, lo cual puede lograrse mediante baño con salmuera muy fría. Además, debe realizarse un buen mantenimiento del equipo de pelado y calibrarse teniendo en cuenta las dimensiones finales de las salchichas que se ven afectadas por los cambios de densidad y la presión de embutición.

1.11.1.5. Incremento de altura (*doming*)

Durante la cocción de las hamburguesas y *burger meat* se produce con frecuencia una contracción (**imagen 29a**) con incremento en la altura del producto (*doming*) y el desarrollo de cavidades en el interior del mismo (**imagen 29b**) que dan lugar al



Imagen 29c. Formación de jugo durante la cocción.

desprendimiento de líquido (*welling*) (**imagen 29c**) al pinchar (Sheard, 2002). La disminución de tamaño en la dimensión plana del producto (superficie) sugiere al consumidor una porción menor que la esperada, generándose un aumento de altura. Un aumento del *doming* no siempre va asociado a un aumento del *welling*. Cuando la carne se cuece, se produce el ligado/gelificación de las proteínas miofibrilares y la contracción del colágeno, por otro lado, la evaporación del agua y la pérdida de grasa produce una reducción del volumen.

Además de los factores mencionados anteriormente, el sistema y la temperatura de cocción y el espesor también son factores importantes (Campbell & Mandigo, 1978; Campbell *et al.*, 1977). Los productos de mayor espesor son más susceptibles a aumentar su altura, especialmente cuando la cocción se realiza a temperatura elevada. La adición de proteína de soja texturizada y algunas fibras vegetales reduce la contracción. Jones *et al.* (1985) observó una tendencia a aumentar el *doming* al aumentar el contenido de tejido conjuntivo en la composición, pero en este caso suele haber también una tendencia a un picado más fino, que también hace aumentar el *doming*.

En hamburguesas de pequeño grosor y sin sal añadida a la masa, se observa menos formación de exudado al pinchar después de cocer, ya que el agua se evapora con mayor facilidad, y el tiempo

de cocción es menor que en las más gruesas. Al producirse la coagulación externa, la migración del agua se ve dificultada. Por otra parte, la adición de carne congelada o agua facilitaría la formación de exudado interno, mientras que la adición de sal, féculas y fibras lo disminuiría.

1.11.1.6. Contracción lateral

Algunos derivados cárnicos (e.g. hamburguesas, *burger meat* y reestructurados), experimentan un cambio dimensional en una dirección predominante durante el tratamiento térmico, adoptando una forma ovalada (Mounsdon & Jolley, 1987). Dichos autores demostraron, usando luz ultravioleta, que la contracción lateral es debida al alineamiento del tejido conectivo en la superficie del producto durante su formateado, lo cual parece debido al tipo de formateadora utilizada (Jolley and Rangeley, 1986). Durante la cocción se produce contracción del conectivo que da lugar a una contracción más importante en la dirección del alineamiento, que puede generar al mismo tiempo un aumento de altura del producto. Jolley & Rangelley (1986) observaron menos distorsión y *doming* al disminuir el contenido de grasa, pero al disminuir la sal aumentó la distorsión. Dichos autores también estudiaron el efecto de la temperatura de picado y del tiempo de reposo entre mezclado y formateado, obteniendo resultados variables según el tipo de maquinaria utilizada.

1.11.1.7. Grietas

Internas

La formación de grietas puede ser debida a cambios bruscos de presión durante la despresurización después de la esterilización en autoclave. Si la temperatura en el interior del envase es superior a 100 °C en algún punto del producto, al pasar a presión atmosférica se produce la formación de vapor y se rompe la estructura (**imagen 30a**). Las grietas se forman en la dirección perpendicular a las tensiones.

También pueden formarse grietas en zonas tenderizadas en productos con baja CRA. Si la proteína extraída es suficientemente funcional tapa los agujeros que se producen en el tenderizado, mientras que si es poco funcional no lo logra (**imágenes 30b, c**).

En productos a los que se les añade gelatina debe intentarse evitar trabajar entre la temperatura de



Imagen 30a. Rotura de la estructura interna de un paté en forma de pequeños cortes por descompresión excesivamente rápida.

gelificación (T_g) y la de fusión para reducir el riesgo de tener problemas de gelificación, ya que es donde se estructuran las moléculas del gel y cogen la estructura definitiva. Interesa que la gelatina enfrie lentamente hasta que esté por debajo de la T_g y que después lo haga rápidamente.

La adición de trozos de carne cocida, que se hayan secado durante la cocción, al centro del paté, puede generar grietas de forma hexagonal, ya que la carne cocida absorbe agua de la masa o de la gelatina y la tensión formándose grietas de forma perpendicular a las tensiones sufridas.

En los jamones cocidos, especialmente si son sin fosfatos añadidos y con bajas inyecciones, es frecuente encontrar grietas intermusculares, en que se observa falta de ligado con una separación física entre músculos debido a una excesiva sequedad de la carne o rigidez en la embutición que impide que los músculos se adapten a las tripas de plásti-

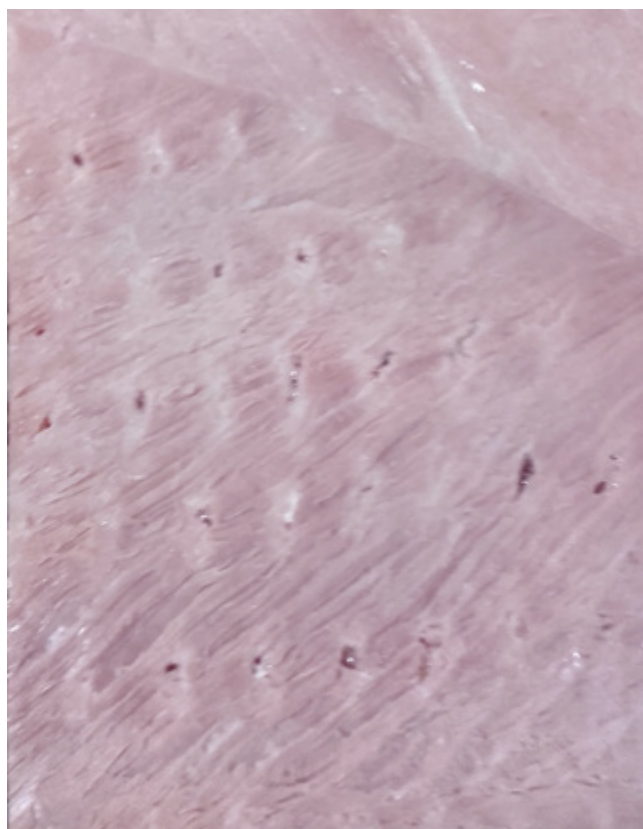


Imagen 30b. Marcas de tenderización en jamón cocido reducido en sal y baja capacidad de retención de agua.

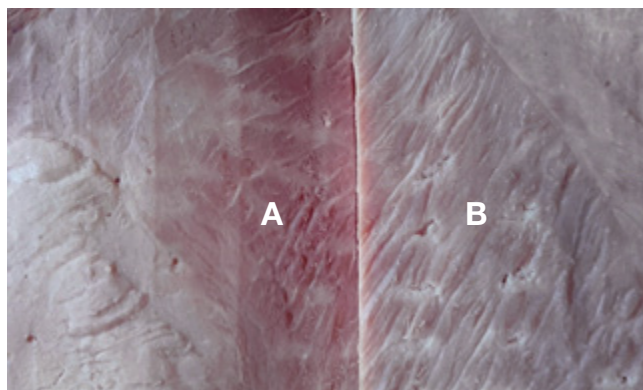


Imagen 30c. Marcas de tenderización en jamón cocido reducido en sal. Zona de pH bajo (B) y zona de pH alto (A).

co y/o moldes, dejando huecos entre ellos (**imagen 30d**). La mejora de la compactación de la carne durante la embutición disminuye de forma significativa la formación de grietas (Xargayó *et al.*, 2009). La rotura de la grasa en el bacon (*shattering*), que no incluye la separación natural del tejido graso o la de grasa y magro (Salas-Pérez, 2002) (**imagen 30e**), puede verse afectado por el prensado y las accio-



Imagen 30d. Agujero interno en jamón cocido.



Imagen 30e. Rotura de la grasa en bacon.



Imagen 30f. Rotura de las puntas de salchichas durante la esterilización.



Imagen 30g. Rotura de la salchicha durante la esterilización.



Imagen 30h. Agujero externo en jamón cocido.



Imagen 30i. Pequeños agujeros externos producidos por insuficiente vacío.

nes mecánicas, y según Robles (2004), por la situación anatómica, congelación (ligero aumento en congelados), sexo (más elevado en castrados que hembras) y el contenido de grasa (aumento con el contenido de grasa).

Externas

Se producen en los procesos de cocción muy rápidos o con ventilación muy fuerte (e.g. patés cocidos en hornos utilizando moldes sin protección) o por dilatación durante la esterilización, bien sea por falta de presión externa durante el calentamiento o durante la descompresión (**imágenes 30f, g**). Las zonas de contacto con las estructuras, que se ahuman menos, son más sensibles al agrietado/rotura por estar menos curtidas. La adición de una cantidad importante de huevo o clara de huevo puede facilitar este problema. Regulando las condiciones de cocción se pueden evitar. Un adecuado vacío de la pasta minimiza las dilataciones durante el tratamiento térmico, mientras que la adición de transglutaminasa refuerza su textura, contribuyendo así a reducir este inconveniente.

1.11.1.8. Agujeros/huecos

En el caso del jamón cocido la presencia de agujeros internos o huecos puede ser debida a:

i) falta de funcionalidad de la carne. Esta es máxima en la carne en estado prerigor, disminuye al alcanzar el rigor, sufre una pérdida adicional al congelar, especialmente si es por largos períodos, y la peor de las situaciones se da en las

carnes PSE. Una mejora de la plasticidad de la carne (eliminación de la textura dura adquirida en el “rigor mortis” (enrocado)) mediante inyección, tenderización y masaje facilita la adaptación de las piezas entre ellas y reduce las tensiones durante la cocción.

ii) insuficiente extracción de proteínas miofibrilares por parte de la sal y los fosfatos, y un masaje/tenderización insuficientes (**imagen 30h**). El aumento del masaje ayuda a solubilizar las proteínas cárnicas miofibrilares y facilita el ligado de las piezas. La adición de proteínas no funcionales en polvo en el masaje puede producir desligamiento entre piezas por falta de funcionalidad. La adición de algunas proteínas funcionales puede contribuir a reducir el problema. Si el producto, en las etapas finales del masaje, tiene una apariencia muy seca, se recomienda adicionar una pequeña cantidad de salmuera, lo cual facilitará la extracción proteica y el ligado de las piezas.

iii) pulido deficiente de la grasa intermuscular, lo cual dificulta el ligado de las piezas y del conectivo, lo cual también dificulta una buena extracción proteica y produce contracción en la cocción. El pulido, aparte de mejorar el ligado, mejora el aspecto del corte. En el caso de las piezas en que sea difícil realizar un buen pulido (e.g. muslos y pechugas de aves) la tenderización profunda o la doble tenderización puede representar una solución adecuada frente al picado, que originaría un aspecto roto del producto.

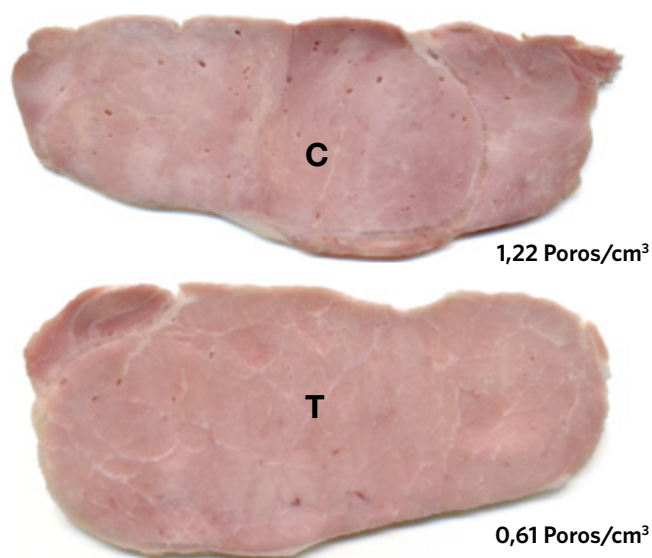


Imagen 30j. Formación de agujeros en producto cocido con altos recuentos de bacterias lácticas heterofermentativas (C) y efecto de la adición del cultivo SafePro® ImPorous (T).

iv) falta de vacío (**imagen 30i**) o producción de gas (**imagen 30j**). Cuando son agujeros de pequeño tamaño hay que averiguar si se han producido por desprendimiento de gas debido a una fermentación no deseada o por un contenido excesivo de aire en la masa. El tamaño y localización pueden ayudar a discernir la causa. En caso de que sean debidas a formación de gas es conveniente reducir la carga microbiana de la materia prima (evaluar si hay efecto proveedor), monitorizar la temperatura de proceso y asegurar que el tratamiento térmico sea adecuado. Cuando los agujeros están entre piezas y no hay exudado, el problema suele ser debido a la falta de vacío en masaje y/o embutición. Durante la embutición es mejor que la tolva de embutición tenga un buen vacío. Cuando los agujeros son pequeños y están en el interior del músculo inyectado suelen ser por la formación de gas, debido a que el producto tiene una gran carga bacteriana de tipo heterofermentativo o a que la cocción es muy lenta. En el caso de productos picados o emulsionados, una distribución homogénea de los agujeros induce a pensar que se trate de falta de vacío, mientras que una distribución heterogénea (por ejemplo, más en el interior que en el exterior) induce a pensar que sea debido a un origen microbiano. Se ha propuesto el uso de cultivos iniciadores (e.g. SafePro® ImPorous de Chr. Hansen

Imagen 31a. Secado de las lonchas de la zona con mayor espacio de cabeza.

sen.com) como sistema para limitar la formación de pequeños poros sin que se vea afectada la calidad (**imagen 30j**).

- v) exceso de merma por falta de compactación (Xargayó *et al.*, 2009).
- vi) cocción excesiva, que puede disminuir la CRA y facilitar el desprendimiento de agua. Por otra parte, si los exudados que se forman durante la cocción no se pueden evacuar se llenarán las cavidades de dicho jugo, mientras que, si se pueden evacuar, al enfriar, la gelatina formada tenderá a unir las piezas.

1.11.1.9. Puntas secas

En los lineales de los puntos de venta, las bandejas de productos loncheados suelen estar sometidas a una iluminación que puede aumentar la temperatura del envase y del producto en contacto con él. Al mismo tiempo, la otra cara de la bandeja se ve sometida a una corriente de aire que enfría el envase, con lo cual, se produce un secado en la zona caliente y una condensación de agua en la superficie fría del envase. Por otra parte, para visualizar mejor el envase, se colocan algunos de ellos en posición vertical, y en consecuencia se produce un drenaje, hacia el fondo del envase, del agua que ha condensado. Con este proceso, se seca el producto, especialmente las puntas y las lonchas más finas de las zonas más calientes o de mayor espacio de cabeza (**imágenes 31a, 31b**), aumentando en ellas el sabor salado y disminuyendo la estabilidad

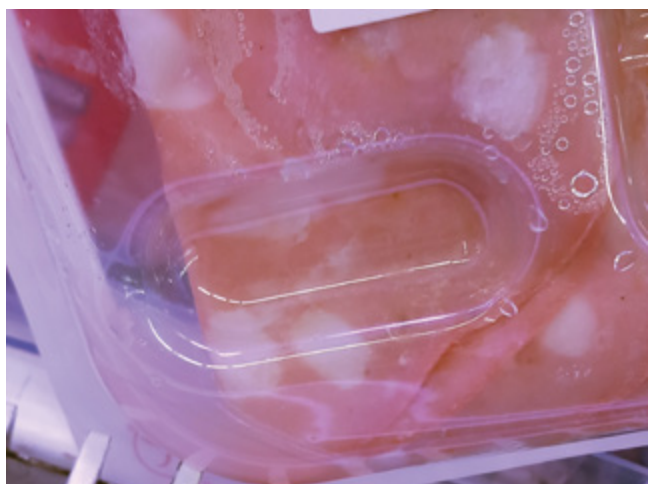


Imagen 31b. Condensación de agua en la superficie del envase y drenaje hacia el fondo del mismo.



Imagen 31c. Plegado de la piel durante la comercialización por absorción de agua dentro del envase.

microbiológica de la zona inferior en contacto con el agua de drenaje, particularmente si tiene lugar un abuso de temperatura.

Por lo tanto, para mantener mejor la calidad del producto, es conveniente reducir el espacio de cabeza (menor entrada de gas seco y menor espacio de evaporación), conseguir una buena adaptación entre la forma de las lonchas y la del envase (se reduce el espacio, no hay tanto movimiento de vapor de agua y las condensaciones se reabsorben mejor) y mantener el envase en posición horizontal y a una temperatura homogénea. Para ello, se deben alejar los focos de luz del producto y utilizar lineales cerrables, o en el caso de lineales abiertos colocarlos en zonas donde apenas haya circulación de aire externo.

1.11.1.10. Arrugado de la piel en loncheados

Se produce por hidratación de la piel en loncheados debido a que tiene mayor capacidad de retención de agua que la carne (**imágenes 31c, d**).

1.11.1.11. Arrugado de salchichas

El arrugado de salchichas tipo frankfurt (**imágenes 32a, b**) puede deberse a subembutición, secado excesivo, vacío insuficiente y oscilaciones de temperatura durante su conservación si se mantienen en congelación. La densidad de las salchichas es variable, incluso aquellas que están dentro de un mismo envase (**imagen 27e**), lo cual se debe principalmente al nivel de vacío alcanzado antes de embutir.



Imagen 31d. Plegado de la piel durante la comercialización por absorción de agua dentro del envase.

1.11.1.12. Marcas de torsión, pelado y contacto en salchichas tipo frankfurt

En las puntas de las salchichas embutidas en tripas celulósicas se produce la marca del torsionador (**imagen 27e**) y de la peladora (**imagen 28a**), mientras que en aquellas que se producen por extrusión dicha marca no aparece (**imagen 28b**). En las tripas naturales o colágenas la marca del torsionador apenas se ve por el efecto de la contracción de la tripa durante la cocción (**imagen 33a**). Si durante el proceso de ahumado se produce contacto entre salchichas, en el producto final se detecta dicha zona de contacto (**imagen 33b**).

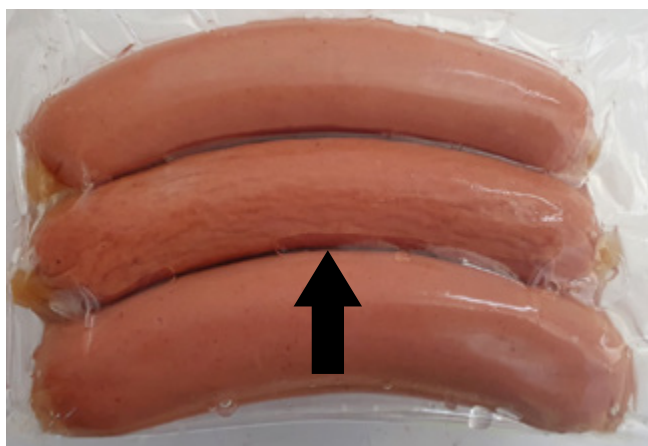


Imagen 32a. Arrugado de salchichas envasadas.



Imagen 32b. Arrugado de salchichas envasadas.

1.11.1.13. Distorsión de salchichas esterilizadas en salmuera

Durante el proceso de esterilización de salchichas en salmuera, a veces, se observan deformaciones del producto (**imagen 33c**). Estas alteraciones pueden estar relacionadas con varios factores, entre ellos los cambios térmicos bruscos que ocurren durante la fase de refrigeración posterior a la esterilización. Las variaciones bruscas de temperatura pueden generar tensiones internas que afectan a la estructura y cohesión del embutido, produciendo irregularidades en su textura.

Además, una cohesividad interna insuficiente y la falta de un vacío adecuado durante el proceso pueden contribuir a la aparición de superficies irregulares y una tersura inconsistente. Los cambios de presión interna dificultan que el producto mantenga su forma original, generando deformaciones que afectan a su presentación y calidad percibida.

Para mejorar la apariencia y garantizar una estructura más uniforme, puede ser útil la adición de transglutaminasa, una enzima que favorece la co-



Imagen 33a. Gota de humo en la zona inferior de las salchichas.



Imagen 33b. Zona de contacto entre salchichas durante el ahumado.

hesión de las proteínas dentro del producto, y que su actividad se inhibe durante la cocción. Su acción permite una mayor estabilidad en la matriz estructural del embutido, minimizando las deformaciones y asegurando una textura homogénea.

1.11.1.14. Distorsión del bacon al cocinar

Al cocinar el bacon, las lonchas tienden a distorsionarse, encogiéndose y formando rizos y ondulaciones (Robles, 2004) (**imagen 33d**). El lado que está expuesto a más calor se cocina más rápido, lo que provoca que las fibras musculares se contraigan más que las del lado más frío. Según Robles (2004), esta distorsión varía según la localización



Imagen 33c. Deformación de las salchichas durante el tratamiento térmico.

anatómica dentro de la pieza de bacon, siendo más pronunciada en las piezas más grasas que en las magras. Esto se debe probablemente a la transferencia de calor, ya que las grasas se calientan más rápidamente debido a su menor contenido de agua y menor calor específico (Lee *et al.*, 1983), pudiendo alcanzar temperaturas superiores a 100 °C (James *et al.*, 2006). Una vez calentadas, transfieren este calor al resto del bacon. Según Goehring (2015), el tocino de la sección media de la pieza experimenta una menor contracción dimensional y es más plano, mientras que las lonchas de los extremos anterior y posterior muestran mayor distorsión. Este autor utilizó conceptos de física como la frecuencia, la longitud de onda, la amplitud y la velocidad de una onda. Por ejemplo, el término “número de crestas” se utilizó para describir las ondas/crestas en cada loncha de bacon después de cocer. En la plancha, el bacon experimenta una mayor evaporación de humedad en las áreas en contacto directo, lo que provoca una migración desigual de la humedad y el desarrollo de crestas. Esto permite una mayor contracción de la carne magra, resultando en una formación de crestas más pronunciadas al cocer a temperatura más elevada. Esta distorsión puede relacionarse con el *cupping/curling* (ver 1.11.1.1), ya que se ve afectada por la dirección de la fuente de calor. La adición de carragenatos disminuyen el problema. El problema es menor si el colágeno se ha solubilizado, y será mayor si la miosina tan solo se



Imagen 33d. Distorsión de lonchas de bacon de distintas marcas comerciales al cocinar.

ha desnaturalizado parcialmente. Se han propuesto distintas estrategias para reducir la distorsión del bacon: i) utilizar lonchas muy finas, ya que tienen menor cohesión y se cuecen antes. Por otro lado, si la loncha es muy gruesa se dificulta la curvatura, ii) utilizar una prensa sobre el bacon que no permita la deformación, iii) freír solo unas pocas tiras a la vez en una sola capa sin superponerlas, ya que ello causa una cocción desigual y aumenta el encrespamiento, iv) cocer a fuego lento o moderado¹.

¹ <https://answerpantry.com/why-does-bacon-curl-up/#:~:text=The%20reason%20bacon%20shrinksand%20curls%20up%20when>
<https://thekitchentoday.com/how-to-keep-bacon-from-curling-when-frying/>
Mandigo, R.W. (Unpublished results). Quality lean growth modeling-bacon quality assessment.
National Pork board. Retrieved March 15, 2015, from <http://research.pork.org/FileLibrary/ResearchDocuments/97-1999-Mandigo.pdf>
National Pork Board. 2007. Bacon trends. Retrieved April 15, 2015, from <http://www.porkretail.org/filelibrary/Retail/BaconTrends.pdf>.



Imagen 34a. Arrugado, desprendimiento de agua y decoloración de origen microbiano de un jamón cocido.



Imagen 34b. Arrugado y oxidación durante la cocción.



Imagen 34c. Deformación del envase debido a un tratamiento térmico excesivo para el material de envasado.

1.11.2. De los envases

1.11.2.1. Arrugado del envase

La presencia de arrugas o pliegues en las bolsas (**imágenes 34a, b**) se ve favorecida por el uso de bolsas de tamaño grande. Si por el contrario la bolsa es excesivamente pequeña, no se adaptará a la forma del molde y dará lugar a esquinas redondeadas. El retractilado ayuda a eliminar las arrugas en bolsas retráctiles. Cuando se realiza un correcto retractilado (adecuación del tamaño de la bolsa al producto, tiempo y temperatura de retractilado, etc.) en bolsas retráctiles, la reducción del material plástico sobrante reduce la presencia de arrugas y, en consecuencia, disminuye el riesgo de que los jugos del producto se acumulen en esta zona, y con ello se mejora la apariencia y la vida útil. Cierta tensión del envase debería contribuir a mejorar la adhesión a la carne, pero si se produce desnaturalización de la capa proteica superficial durante el

tractilado, no mejorará la adhesión, en todo caso la empeorará. En productos tipo “*strip off*” se puede hacer retractilado a temperatura elevada para eliminar correctamente las arrugas, mientras que en los productos “*ship in*” se hace a unos 70 °C para no afectar negativamente a la adhesión de la carne. La subembutición, la falta de vacío y la refrigeración inadecuada después de cocción contribuyen al arrugado del envase. Durante el proceso de pasteurización de salchichas cocidas envasadas, es crucial controlar bien la temperatura, ya que algunas bolsas de plástico utilizadas para el envasado pueden sufrir daños si se exponen a temperaturas excesivas. Estas bolsas están diseñadas para resistir el calor hasta ciertos límites, pero si la temperatura supera su umbral, pueden deformarse, afectando a la calidad del producto final (**imagen 34c**).

Los envases retractilables deben almacenarse a temperaturas que no superen los 45 °C, para evitar que se active dicha propiedad de forma prematura.

1.11.2.2. Colapso del envase

En productos loncheados envasados en atmósfera modificada a los que se añade CO₂ se puede producir un colapso del envase, que puede relacionarse con la cantidad de CO₂ absorbido por el producto. La solubilidad del CO₂ en el músculo a 0 °C es de 1.040 mL CO₂/kg, mientras que la grasa tan sólo absorbe 600 mL CO₂/kg a 0 °C. La absorción de CO₂ sigue la ley de Henry, por lo que depende de la presión parcial del CO₂ en la atmósfera del



Imagen 34d. Formación de gas de origen microbiano.



Imagen 34e. Formación de gas y exudado lechoso de origen microbiano en salchichas de frankfurt envasadas al vacío.

envase. La solubilidad del CO_2 en la carne aumenta en 360 mL/kg por cada unidad de pH y disminuye en 19 mL/kg por cada 1 °C que se aumenta. La solubilidad en la grasa aumenta por encima de 2 °C y disminuye por debajo. Si la grasa es insaturada el aumento de la solubilidad es mayor. Cuanto mayor sea la superficie de contacto de las lonchas con la atmósfera más rápidamente se producirá el colapso. La inyección de una cantidad de gas elevada de forma que genere una ligera sobrepresión



Imagen 35. Rotura de soldadura.

(*ballooning*) pero sin afectar a la soldadura, si bien hace aumentar la absorción de CO_2 puede ayudar a disminuir el colapso.

1.11.2.3. Hinchazón del envase

Cuando los productos envasados al vacío que tengan cierta porosidad (e.g. salchichas de frankfurt) se tratan por alta presión se produce una migración de gas al exterior dando la impresión de que se ha perdido el vacío. Para evitarlo, se recomienda hacer un buen vacío en la amasadora, cúter o previo a la embutición (ya que en la embutidora es insuficiente para extraer todo el aire), y reducir el tiempo entre embutido y cocción para que disminuya el riesgo de formación de gas por la microbiota heterofermentativa. La formación de gas e hinchazón del envase también puede tener lugar en el producto cocido y envasado (**imágenes 34d, e**) (ver apartado 1.18).

1.11.2.4. Rotura de soldaduras

La rotura de las soldaduras (**imagen 35**) puede deberse a factores intrínsecos del propio material (e.g. tratamiento corona excesivo) o extrínsecos producidos durante el proceso de envasado (e.g. temperatura de sellado inadecuada, contaminación de la soldadura, tratamiento térmico excesivo durante el retractilado) o post envasado (e.g. manejo inadecuado tras el sellado, tratamiento térmico excesivo durante la cocción, tensión mecánica en la zona de soldadura durante la cocción por vacío insuficiente o formación de gas) e incluso pudiendo algunos ingredientes añadidos durante la

formulación del producto contribuir a fragilizar la soldadura.

1.12. Adhesión de la carne a la tripa/bolsa (*cling*)

En los embutidos cocidos se usan diferentes tipos de envase en función del producto deseado. Por ejemplo, el jamón merma cero (*cook-in-ship-in*) requerirá una elevada adherencia para prevenir la pérdida de jugos entre el producto y el envase, mientras que un producto de pollo con piel requerirá poca adherencia entre el film y la piel para evitar que la piel se separe de la carne al sacar el producto del envase. Por otra parte, para la elaboración de productos que posteriormente serán loncheados (*cook-in-strip-off*) se busca tan sólo una pequeña adhesión que evite mermas de jugos pero que permita que el envase se separe fácilmente, mientras que en los productos que se venden como piezas enteras se desea que el film permanezca pegado al producto durante su vida comercial, pero que permita una separación fácil sin que se produzca arrastre de pasta del embutido (*cling*). Así pues, es importante tener en cuenta que una buena adhesión de la masa al envase dificulta la sinéresis del agua.

Se considera que la temperatura de cocción no suele ser suficiente para romper o crear enlaces covalentes, por lo que se supone que la adhesión se debe fundamentalmente a enlaces por puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. La adhesión entre carne y film se puede evaluar mediante el método de pelado (Rosinski *et al.*, 1989a,b, 1990), pero se debe asegurar que la carne y el film estén separados en la interfase, ya que si no, el test evaluará la cohesión de la propia carne.

A pesar de la importancia de la adhesión de la carne a los materiales de envasado, los estudios existentes (Clardy *et al.*, 1995; Küçükpınar & Langowski, (2012); Michalski *et al.*, 1997; Terlizzi *et al.*, 1984; Piette *et al.*, 1998) no han permitido establecer unas bases científicas suficientemente claras de los mecanismos implicados.

La adhesión de la masa a la tripa/bolsa y su facilidad de separación depende de:

1) El tipo de material de la tripa/bolsa. Así, por ejemplo, existen algunos materiales con tratamientos antiadherentes que facilitan el pelado en los productos destinados al loncheado.

Las tripas naturales frágiles se pelan mal, y las gruesas se pelan mejor que las finas. La tripa de colágeno, debido a su naturaleza proteica, se adhiere a la carne mejor que la fibrosa, y su adhesión depende de la orientación y distribución de las fibras de colágeno (Yang *et al.*, 2016). Cuando la superficie de la película interna del envase es una olefina (e.g. PE, PP), se puede mejorar la adhesión mediante tratamiento corona, que cambia la estructura de la superficie del envase, aumenta la energía superficial mediante la introducción de grupos polares, facilita la adhesión de la carne durante la cocción y mejora la capacidad de impresión de las tintas (Brewis & Briggs, 1981; O'Hare *et al.*, 2002b; Baldan, 2004; O'Hare, Leadley, & Parbhoo, 2002a; Pocius, 1997; Sun, Zhang, & Wadsworth, 1999). Este efecto se pierde con el tiempo, por lo que la adhesión puede disminuir. Además, si se aumenta el tratamiento corona para aumentar la adhesión, la consecuencia es que disminuye la resistencia de las soldaduras (Brewis & Briggs, 1981). Las propiedades de adhesión son más variables cuando se hace tratamiento corona que cuando se utilizan compuestos con propiedades polares como: EAA (copolímeros de etileno-ácido acrílico), EMA (metacrilato de etileno) y Surlyn™ (ionómero con Zn). En general se ha visto que los films con mayor humectabilidad tales como las poliamidas (PA) muestran mejor adhesión que aquellos con baja humectabilidad. Las poliamidas y los ionómeros se adhieren más que el polietileno y el polipropileno. Además, los ionómeros neutralizados con Zn se adhieren más que los no neutralizados (Damo, 2014). Nishino *et al.* (1990, 1991) observaron que, si bien la rugosidad superficial aumentaba la adhesión en algunos casos, lo hacía en menor cuantía que los factores químicos. Además, la fécula de patata generaba una mayor adhesividad que el almidón de trigo o de maíz.

Así pues, las tripas de PA en la capa interna son una buena opción para la mayoría de los casos. En los casos en que se precisara una mayor adhesión, por ejemplo, cuando se aumenta el contenido de grasa, la tripa PA + Surlyn™ sería una opción mejor, y cuando no se precise adhesión la mejor alternativa es el PE.

2) La cantidad de proteína cárnica no desnaturaliza-



Imagen 36a. Marcas producidas por la tenderización de cortes.



Imagen 36b. Distribución heterogénea de los ingredientes.

da extraída por la sal (fundamentalmente miosina) es esencial, ya que el producto se adhiere a la tripa en las fases iniciales del tratamiento térmico (Terlizzi *et al.*, 1984). La carne sin sal o la carne salada cocida no tienen adherencia (Rosinski *et al.*, 1990). Una mayor extracción proteica por acción del tenderizado, picado, amasado y masaje o la adición de algunas proteínas funcionales favorecerá la interacción entre la masa y la tripa, tanto en tripas naturales, como en colágenas y plásticas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la extracción de una pequeña cantidad de proteína es suficiente para tener una buena adhesión, por lo que un aumento de extracción probablemente no suponga una mejora en la adhesión. Las proteínas desnaturadas (e.g. proteína de carne en polvo, carne cocida...) dificultan la ligazón, por lo que en los productos una vez cocidos, y en los que se hace cambio de bolsa, no tiene sentido utilizar bolsas con buena adhesión, ya que la proteína superficial está desnaturada.

3) Composición de la interfase tripa-producto: los sólidos insolubles o la presencia de proteínas desnaturadas (e.g. cocidas) que frenan la interacción masa-tripa favorecen la separación (Rosinski, 1990). La presencia, en la interfase tripa-masa, de grasa y la de sus productos de hidrólisis (ácidos grasos) o de oleorresina de pimentón facilitan la separación. Los nervios y tendones pueden contraerse al cocer y afectar negativamente la adhesión provocada por la coagulación de las proteínas miofibrilares. En las tripas naturales, una baja humedad de la tripa en

el producto acabado dificulta el pelado. Por eso, humedecer la tripa es un sistema que puede utilizarse para facilitar el pelado (ver 1.11.1.4).

4) Factores mecánicos: el embutido flojo de la pieza o cuando queda aire entre la tripa y la masa favorecen la separación, por lo que un aumento del nivel de vacío favorece la adhesión (Rosinski *et al.*, 1989a). Durante la embutición, los trozos de mayor tamaño tienden a ir hacia el interior debido a su mayor energía cinética, y las fracciones más finas se concentran en la periferia para formar la interfase film/producto donde se iniciará la adherencia (Piette *et al.*, 1998). Una consistencia elevada del producto facilita la separación de la tripa, ya que el ligado entre el producto y el film se rompe por el punto más débil (Piette *et al.*, 1998). El retractilado, si bien mejora el aspecto externo, no mejora la adhesión, en todo caso la empeora, ya que se generan tensiones al mismo tiempo que parte de la proteína de la interfase film-carne se desnaturiza.

1.13. Distribución heterogénea de los ingredientes

1.13.1. Ingredientes disueltos/dispersados en agua

En los productos inyectados, la distribución de los ingredientes (disueltos o dispersados en agua) viene condicionada por el tipo de inyectora utilizada (Xargayó *et al.*, 2013), la cantidad de salmuera inyectada, la presión de inyección (Freixenet, 1994), la acción mecánica (tenderización (**imágenes 30c**,



Imagen 36c. Distribución heterogénea de los ingredientes.



Imagen 36e. Estriado producido por ingredientes de la salmuera.

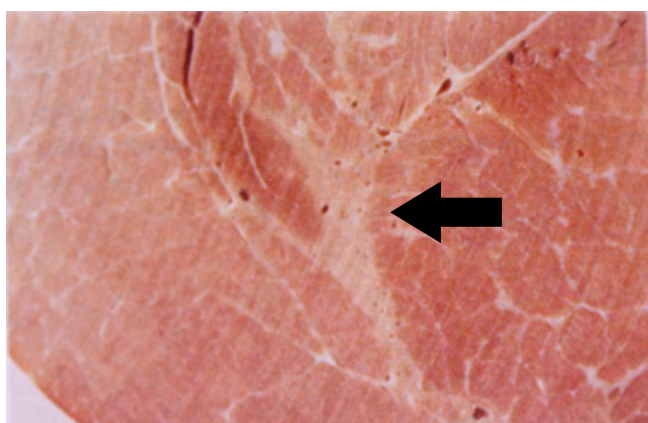


Imagen 36d. Pasta de relleno entre distintas piezas.

36a, g), masaje) y el tiempo para lograr la difusión (**imagen 36b**). En las zonas de inyección la mioglobina se diluye, pero al ser soluble en agua se homogeneiza con el tiempo (Gooding *et al.*, 2009). Los ingredientes solubles de pequeño peso molecular se distribuyen más rápidamente que los de mayor tamaño molecular (**imagen 36c**). La distribución de ingredientes es más homogénea cuando se inyectan que cuando se añaden directamente al bomo de masaje.

En los productos en los que se extrae mucha proteína durante el tratamiento mecánico o en los que se adiciona un elevado contenido de proteína o sólidos insolubles (e.g. féculas) en el masaje, se observa la presencia de pasta intermuscular (**imágenes 36d, f**). Cuanta más salmuera sobrenadante se añada mayor es el tiempo de masaje para ab-

sorberla y peor el aspecto final del producto debido al aumento de pasta intermuscular. En este caso la solubilización de las proteínas miofibrilares de la carne empieza antes de que se absorba la salmuera, con lo cual aumenta su viscosidad y cuesta más de absorber. En estos casos un masaje intenso facilita la absorción de salmuera (Xargayó *et al.*, 2018). En el caso de las féculas, el tipo, la distribución y la granulometría pueden afectar al aspecto (**imagen 36e**).

1.13.2. Ingredientes sólidos

Interesa que los adornos que se añaden a los productos cocidos (dados de grasa, olivas, queso, trozos de carne...) tengan una distribución homogénea. Para lo cual deben tenerse en cuenta factores hidrodinámicos durante la embutición (e.g. las partículas grandes tienden a ir al centro del envase/tripa y las partes más finas se concentran en la periferia (Piette *et al.*, 1998) durante el paso por el embudo), el nivel de vacío durante el amasado y embutición (e.g. para reducir la separación de las aceitunas), y también del movimiento que está afectado por la viscosidad, el radio de las partículas y las diferencias de densidad entre fases, y que viene descrito por la ecuación de Stokes, (i.e. $v = (d_1 - d_2) \cdot 2gR^2 / 9\eta$) donde "v" es la velocidad de movimiento de la partícula, grasa, aceituna, queso, aire... d_1 y d_2 son las densidades de la fase dispersa y de la fase continua, g es la aceleración de la gravedad, R es el radio de la partícula de la fase dispersa y " η " la viscosidad de la fase continua.



Imagen 36f. Estriado y coloraciones producidas por ingredientes de la salmuera.

La adición de una pequeña cantidad de polimetafosfatos o de almidón puede ayudar a reducir el problema. En el caso de las olivas es muy importante hacer un buen vacío para que el agujero de la aceituna se llene, además conviene lavarlas bien para que se desalen y pierdan su acidez. En el caso de la grasa, un tratamiento térmico previo a una temperatura superior a la que se cocerá el producto final evita que se produzcan contracciones del conectivo durante la cocción del producto. Después es conveniente que los dados de grasa se laven y centrifuguen para que no haya grasa fundida en la superficie externa que facilite el movimiento.

Para evitar que los trozos de pimiento (fresco, seco, en conserva o reestructurado) se desprendan al lonchear la mortadela (**imagen 36h**), es fundamental considerar tres aspectos clave: la preparación del pimiento, la formulación del producto y los procesos de elaboración y loncheado.

Preparación del pimiento

- El picado uniforme, preferiblemente fino, favorece la integración del pimiento en la matriz cárnica, mejorando su adherencia. Los trozos grandes e irregulares se separan más fácilmente y con frecuencia manchan la loncha. Se recomienda realizar una distribución homogénea del pimiento, añadiéndolo una vez formada la emulsión. En el caso de que se añadan olivas y pimiento, es preferible añadirlos por separado (Jordi Bernardo, comunicación personal).
- El pimiento seco, debe hidratarse previamente para evitar que absorba humedad de la mortadela, lo que podría debilitar localmente la emulsión,



Imagen 36g. Aspecto de jamón tras tenderizar.



Imagen 36h. Separación del pimiento en un producto cárnico cocido.

generar tensiones y favorecer su desprendimiento, al lonchear, por diferencias de elasticidad.

- En el caso del pimiento fresco, el escaldado puede ayudar a fijar el color y mejorar la adherencia. Valorar en este caso el uso de sales de calcio sobre el pimiento (e.g., CaCl_2), que reaccionan con las pectinas y endurecen el tejido vegetal (Saldana & Meyer, 1981). En el producto en conserva la dureza le viene conferida por la adición de CaCl_2 .
- La adición de almidón antes del mezclado quizás podría ayudar a la fijación del pimiento.

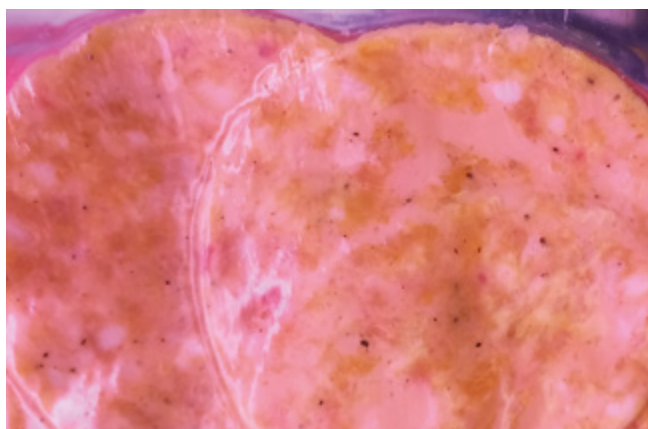


Imagen 37a. Zonas con presencia de huevo coagulado.



Imagen 37b. Coloración producida por especias.

Formulación de la mortadela

- La adición de proteínas funcionales a la masa cárnica puede mejorar la adhesión del pimiento a la masa. También pueden añadirse a la pasta de pimiento reestructurado para mejorar su cohesión interna y su adhesión a la masa cárnica
- Emulsionar bien la grasa, mediante una buena extracción de proteínas miofibrilares por acción de la sal y los fosfatos sobre la carne, mediante un tratamiento mecánico adecuado. La presencia de grasa no ligada o atrapada, o de una emulsión inestable puede actuar como una barrera entre el pimiento y la matriz cárnica, favoreciendo su separación.

Loncheado

- Lonchar la mortadela bien fría mejora la integridad del corte. Sin embargo, si estuviese excesivamente congelada, aumentaría la heterogeneidad de textura entre el pimiento y la pasta.
- Usar cuchillas poco adherentes (e.g., teflonadas), mejor evolutivas que circulares, y siempre bien afiladas, para evitar el arrastre del pimiento (Emilio García, comunicación personal).

1.13.3. Ingredientes líquidos

Cuando se añaden cantidades importantes de ingredientes líquidos como la sangre en las morcillas y butifarras de sangre o el huevo líquido en las butifarras de huevo la viscosidad disminuye, y en lugar de obtener un corte homogéneo en el que la carne se integra con los ingredientes líquidos, se observa cierta separación de fases (**imagen 37a**). Para disminuir este problema se recomienda rea-

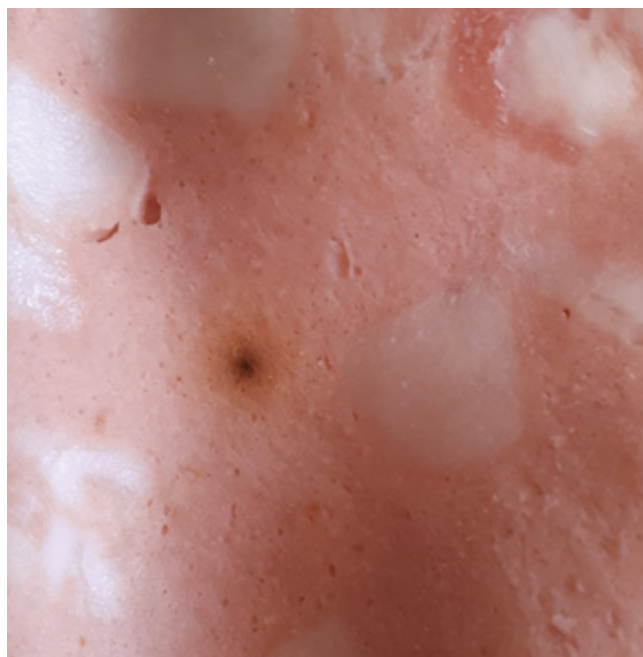


Imagen 37c. Coloración producida por especias.

lizar acciones que aumenten la consistencia de la masa antes de embutir, como, por ejemplo, picar más fino, amasar durante más tiempo la carne fresca para extraer proteína, después añadir los huevos para integrarlos y la carne cocida picada simplemente para distribuirla. La consistencia aumenta si se realiza un reposo de 24 horas o se añaden ingredientes que aumenten la viscosidad/consistencia.

1.14. Coloraciones verde-gris marrón producidas por especias

La presencia de manchas verde-grisáceas en la superficie de embutidos cocidos (**imágenes 37b, c**)



Imagen 37d. Restos de tejido conjuntivo y membranas en el exterior de un embutido cocido.

está asociada a la adición de especias naturales (e.g. pimienta, cilantro, clavo), se forman independientemente del tipo de tripa utilizada y su aparición no depende de la permeabilidad de las tripas al oxígeno. En todos los casos estudiados se ha descartado que sea debido a partículas metálicas o a un origen microbiológico. Los aceites esenciales de dichas especias no presentan este problema (Müller, 1999).

1.15. Pelos, cabellos y fibras

Pelos y cabellos

Los pelos y cabellos se consideran cuerpos extraños en los embutidos, son rechazables desde un punto de vista estético, y constituyen un posible vector de contaminación (e.g. *S. aureus*). Se calcula que una persona puede perder entre 50 y 100 cabellos por día (Brown & Holah, 2006).

Para reducir la presencia de cabellos o pelos, deben auditarse los proveedores y asegurar que disponen de un plan de reducción de presencia de cabellos/pelos humanos en la carne, cajas y otros materiales. Se debe cubrir totalmente el pelo, y hay que asegurar la aplicación del orden correcto en que se deben poner los componentes de protección: cabeza (un solo uso), ropa, calzado y guantes (tanto en la entrada, como en las pausas).

También debe evitarse la salida de pelos a través de las aberturas del uniforme. Para ello, se debe poner tejido elástico en la abertura de los puños o manguitos de un solo uso, en la zona del cuello debe colocarse una capucha que proteja los hombros, evitar escotes y utilizar camiseta de cuello redondo y de poca abertura.

En los vestuarios, se debe disponer de un espejo para que el operario pueda asegurar una buena colocación de los equipos de trabajo. Se debería disponer de rodillos adhesivos para limpiar la ropa o un sistema inclinado de soplado de aire a los operarios previo a la limpieza y otro previo a la entrada



Imagen 37e. Restos de tejido conjuntivo y membranas (C), y después de girar la tripa (T).

en planta, de esta forma se evita que entren cabellos y pelos a la planta de elaboración.

Otra medida a tener en cuenta es que debe evitarse el sacar y poner el gorro dentro de las salas de trabajo, y tomar medidas adicionales en la manipulación si hay contacto de las piezas con la ropa.

Pelos en la parte distal de las tripas culares

La presencia de pelos en la parte distal de las tripas culares constituye un problema estético que se puede solucionar recortando dicha parte tras la cocción del embutido.

Fibras en el exterior de las butifarras/longanizas frescas (“whiskers”)

Las fibras que se observan en el exterior de los embutidos suelen ser pequeños capilares o restos de tejido conectivo y membranas que no se han eliminado durante el proceso de preparación de las tripas. Suelen disminuir o desaparecer durante la cocción (**imagen 37d**). Si se giran las tripas dichos restos quedan en el interior del embutido, dando una apariencia más limpia (**imagen 37e**).

1.16. Defectos de ahumado

El ahumado afecta al color debido, entre otros, a la acción de los aldehídos (e.g. hidroxiacetaldehído) que reticular por reacción con las proteínas. Una temperatura elevada favorece la formación de un color más oscuro, y el color ahumado se estabiliza por un secado adecuado, pero si este es lento, se puede perder el color al producirse la migración de compuestos coloreados hacia el interior, dando lugar a un producto más pálido. Los ácidos del humo facilitan la reducción del nitrito a óxido nítrico y los

fenoles actúan como antioxidantes estabilizando el color.

Si se efectúa un ahumado a HR elevada se pueden formar gotas sobre las salchichas que dan lugar a manchas de ahumado, y si se realiza a HR demasiado baja, el color es más oscuro. Si la temperatura del humo es elevada y la HR muy baja se

El proceso de tenderización es muy útil para ablandar el músculo y mejorar la cohesión y rendimiento del loncheado

produce desprendimiento de grasa que provoca un ahumado irregular. Una HR entre 70-80 % en la superficie del embutido durante la fase de ahumado evita dichos problemas. Una distribución irregular del humo y un secado irregular da lugar a un color de ahumado también irregular. Previo al ahumado líquido también se debe realizar un atemperado y secado superficial que acondicione la superficie del embutido, ya que el humo líquido forma con facilidad gotitas en las superficies húmedas, generando una coloración heterogénea (**imagen 33a**). Las salchichas deben colgarse de forma que no haya contacto entre ellas (**imagen 33b**).

En tripa natural o colágena, el secado que precede al ahumado es importante para obtener una superficie en la que el humo pueda adherirse más que penetrar, produciéndose el curtido de las tripas (que aumenta la resistencia a la rotura) y la formación de una segunda piel. Una HR elevada durante el ahumado hidrata el colágeno y puede facilitar la rotura de las zonas de separación entre salchichas.

La adición de ingredientes higroscópicos que modifiquen el contenido de agua en el equilibrio a una HR determinada puede afectar a la absorción de algunos componentes del humo. La aplicación de ingredientes o aditivos que a HR < 75% tienen una humedad de equilibrio superior al NaCl (e.g. lactatos sódico y potásico) (Arнау *et al.*, 2012) facilita que se puedan absorber con mayor facilidad determinados componentes del humo, mientras que la adición de sustancias como el KCl, que precipita cuando la $a_w > 0,877$ (a 5 °C) disminuye el contenido de agua en el equilibrio y puede frenar la

absorción y favorecer el moteado debido a la exudación de grasa.

Una forma indirecta y fácil de medir la exposición al humo es colgar tripas de celulosa llenas de agua junto al producto durante el ahumado. Después del ahumado, se evalúa la acidez en el agua. Dado que el humo contiene ácidos, la acidez del agua será proporcional a la exposición al humo. Este método permite comparar la exposición al humo entre diferentes productos y procesos independientemente del tipo de horno o generador de humo (Hanson, 2014).

1.17. Problemas tecnológicos diversos

1.17.1. Preparación de las salmueras

En la preparación de salmueras se pueden encontrar problemas de i) formación de grumos duros de color blanco debidos a fosfatos no disueltos, ii) formación de espumas, especialmente cuando se usan agitadores, que generan problemas de dosificación al inyectar. Para reducir dicho problema se recomienda la adición de antiespumantes, iii) reacción de nitrito con ácidos que genere pérdidas de gases NO_x , iv) reacción del nitrito con el eritorbato/ascorbato a temperatura alta. Por lo que se debe mantener la salmuera a temperatura de refrigeración, y v) precipitación de féculas. La agitación y la adición de algunos hidrocoloides que aumenten la viscosidad reduce este problema.

1.17.2. Proceso de inyección

Es importante que la cantidad de salmuera inyectada se acerque al objetivo deseado. Una vez finalizada la inyección se controla el peso y se ajusta mediante la adición de la salmuera requerida, que debe ser la mínima posible (< 2 %) para evitar que los jamones estén excesivamente bañados por salmuera y se perjudique el proceso de masaje. Cuanta más salmuera sobrenadante se añade, más tiempo se precisa para absorberla y mayor es la cantidad de pasta visible entre los trozos de carne. El control de las primeras piezas sirve para el ajuste de la inyectora, no para el control de inyección total. Una distribución irregular de la salmuera genera un exceso o una falta de algunos ingredientes que pueden dar lugar a pérdidas de cocción y heterogeneidad en el color, ligado y sabor. Es importante filtrar la salmuera adecuadamente para evitar obturación de las agujas, limpiar y revisar los filtros y agujas y colocar las piezas adecuadamente en la cinta, la cual siempre

debe estar llena de producto, ya que el funcionamiento sin carne genera espuma que afectaría a la cantidad de salmuera inyectada. La viscosidad de la salmuera afecta a su distribución en el producto final, pudiéndose generar estrías en el producto debido a una distribución poco homogénea (**imagen 36c**), que pueden afectar negativamente al color del producto en función del color que algunos ingredientes transmitan a la salmuera (**imagen 36f**). Cuanto menor sea la desviación estándar se obtendrán menos piezas insuficientemente inyectadas que pueden presentar problemas sensoriales y una menor CRA y se obtendrán menos piezas sobreinyectadas que pueden presentar problemas sensoriales y de adecuación a la legislación aplicable.

1.17.3. Proceso de tenderización

El proceso de tenderización es muy útil para ablandar el músculo, romper bolsas de salmuera y mejorar su distribución, acelerar la exudación de proteína, reducir tiempos de proceso, y mejorar la cohesión y el rendimiento de loncheado. Sin embargo, una tenderización agresiva empeora el aspecto del corte. Por tanto, la tenderización por sables o rodillos de púas es lo más adecuado en productos en los que se desee mantener el aspecto natural del músculo (**imagen 36g**), mientras que los rodillos de cuchillas son más adecuados para loncheados en que el aspecto no es tan importante. En general cuanto mayor sea el rendimiento que se desee mayor será la intensidad de tenderización requerida.

1.17.4. Masaje

Durante el masaje se puede producir un aumento de temperatura debido a la acción mecánica, que puede facilitar el crecimiento de microorganismos si el tiempo es suficientemente largo y ocasionar una desnaturalización proteica. El mantenimiento del vacío durante los períodos de pausas en el masaje dificulta el enfriamiento, pero el uso de bombos apropiados con camisa refrigerada previene dicho problema.

La aparición de una coloración blanca en la superficie de las piezas durante el masaje es debida a la formación de espuma por incorporación de aire a la solución proteica superficial durante la acción mecánica. La espuma dificulta el ligado muscular debido a la formación de burbujas entre músculos.

La acción del vacío evita la incorporación de aire favoreciendo la solubilización proteica y el desarrollo y estabilización del color.

El tiempo de maduración es variable en función del tipo de producto a elaborar y depende de que haya suficiente extracción proteica y un desarrollo del color adecuado. Los productos de alta inyección y muy tenderizados son los que precisan un menor tiempo de maduración.

En los productos con tiempos de maduración muy cortos la doble tenderización puede ayudar a acortar el tiempo de masaje, especialmente si se trata de productos con un elevado porcentaje de inyección y están poco pulidos.

El tipo de masaje debe adaptarse al tipo de productos que se desea elaborar. Así, el masaje debe ser más agresivo cuando el porcentaje de inyección sea medio-alto, se trate de carne con textura muy dura (e.g. vacas viejas) o vaya destinado a la elaboración de loncheados; pero debe ser suave en productos con inyecciones bajas, carne de textura blanda o se destine a la elaboración de piezas enteras en la que se quiere respetar la anatomía. En productos con poca inyección es conveniente hacer un masaje final que ayude a flexibilizar las piezas antes de su enmoldado/embutido.

1.17.5. Cocción/enfriamiento

El tratamiento térmico de los alimentos pretende garantizar la seguridad alimentaria, es decir, eliminar microorganismos patógenos, inactivar toxinas termosensibles e incrementar la durabilidad (eliminar/reducir los recuentos de microorganismos alterantes e inactivar determinados enzimas), mejorar la digestibilidad y desarrollar las características sensoriales propias minimizando las pérdidas de nutrientes. Para ello es conveniente determinar experimentalmente la distribución de temperaturas del producto/envase, así como su repetitividad, para identificar el punto más frío dentro del equipo, con el objetivo de establecer el tratamiento térmico programado seguro. Para ello se precisan sensores calibrados y verificados.

Un factor a tener en cuenta es la velocidad a la cual se produce el aumento de la temperatura durante la cocción, ya que velocidades lentas pueden dar lugar al desarrollo de bacterias termo-resistentes. Por lo tanto, se debe intentar limitar o reducir el tiempo de permanencia del producto a tempera-



Imagen 38a. Formación de espuma al cocinar.

turas favorables a la termotolerancia, y evitar una cocción excesiva que conduzca a una degradación de las características sensoriales.

El tratamiento térmico puede que no elimine la totalidad de los microorganismos, por lo cual se precisa una refrigeración rápida para evitar la germinación de esporas o crecimiento de microorganismos resistentes^{2, 3, 4} para tener una vida útil adecuada⁵. Durante el enfriamiento Gaze *et al.* (1998) distinguen tres rangos de temperatura: i) desde final de tratamiento hasta alcanzar una temperatura de 50 °C en el punto más caliente del producto se recomienda, como buena práctica, un tiempo de 1,25 h para productos con nitrificantes y 1 h para aquellos sin nitrificantes. En el primer caso se recomienda no superar nunca las 3,25 h y en el segundo las 2,5 h, ii) desde 50 °C a 12 °C se recomienda hacerlo en un máximo de 7,5 h en productos con nitrificantes y en un máximo de 6 h para los sin nitrificantes, y finalmente iii) para pasar de 12 °C a valores inferiores a 5 °C se recomienda un máximo de 1,75 h en producto con nitrificantes y 1,5 h para los productos sin nitrificantes. Estos valores ponen un límite al tamaño de los productos cárnicos para un tratamiento térmico y enfriamiento adecuados sin que

se produzcan problemas de seguridad alimentaria. La fase de cocción y enfriamiento se puede realizar en el mismo recipiente si está preparado adecuadamente. Aparte de la intensidad y variabilidad del tratamiento térmico, se deben tener en cuenta otros factores clave adicionales: características físico-químicas del producto, riesgo de contaminación post-tratamiento, temperatura de conservación del producto tratado, vida útil y uso previsto (e.g. listo para el consumo, necesidad de recalentamiento, tipo de mercado: interior vs exportación).

Existen otros métodos de cocción (infrarrojo, microondas, radiofrecuencias, calentamiento óhmico) con los que se puede conseguir una transmisión del calor más rápida, sin necesidad de un calentamiento previo del medio de cocción. El uso industrial es limitado para este tipo de productos, debido a la falta de uniformidad y a la dificultad de controlar de manera efectiva la temperatura en el producto. De forma análoga el enfriado en vacío podría suponer un sistema de refrigeración mucho más rápido que los sistemas tradicionales; sin embargo, las aplicaciones son limitadas (McDonald & Sun, 2000; Zhu *et al.*, 2019).

1.17.6. Formación de espuma al cocinar

El agua que se pierde al cocinar la carne arrastra proteínas disueltas en la misma, que son las que forman la espuma que se genera al cocinar (**imagen 38a**). Para reducir la formación de esa espuma podemos actuar sobre el tiempo y temperatura de cocción, y el momento de adición de la sal. Cuanto más tiempo se esté cocinando la carne, mayores pérdidas de agua se producen. Las proteínas que se encuentran disueltas en el agua son las que forman la espuma que se genera durante la fritura. Cuanto más tiempo esté la carne cocinando en la sartén más agua perderá. Por ello, para reducir este tiempo y cocinar adecuadamente la carne es necesario atemperarla previamente para que no esté demasiado fría cuando la pongamos sobre la sartén, procurar que la superficie de la carne esté seca (para evitar que el agua haga disminuir la temperatura del aceite y salpique) y aplicar altas temperaturas de cocción para que coagule y se deshidrate la superficie externa. Otro factor importante a tener en cuenta para evitar la salida de agua de la carne es añadir la sal al final de su fritura o cocinado, nunca antes, ya que la sal favorece la salida del agua del interior de la carne por

² <https://inspection.canada.ca/food-safety-for-industry/archived-food-guidance/meat-and-poultry-products/manual-of-procedures/chapter-4/eng/1367622697439/1367622787568?chap=7#s10c7>

³ <https://www.foodstandards.gov.au/publications/documents/Appendi2.pdf>

⁴ Guidance Note: Cook-chill Systems in the Food Service sector (revision I)^o. Food Safety Authority of Ireland (2006)

⁵ <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2020.6306>



Imagen 38b. Contacto de lonchas del producto con zona de soldadura del material de envasado.



Imagen 38d. Manchas del material de envasado producidas por exudado cármico presente entre el envase y el molde antes de cocción.



Imagen 38c. Arrugado del envase.

ósmosis, lo que provoca que esta esté más dura y seca y, por lo tanto, menos jugosa. Si la sal se añade con mucha antelación, de forma que se pueda difundir al interior del producto (e.g., lomo adobado), la sal mejorará la retención de agua y disminuirá la pérdida de jugos.

1.17.7. Envasado

En general se desea que los envases tengan buena adhesión a la carne durante la cocción, elevada fuerza de las soldaduras, resistencia mecánica, buena óptica, que no se deslaminen y sean de apertura fácil.

La soldadura de los materiales plásticos se ve afectada por la composición de los materiales y por

las condiciones del proceso de sellado (i.e. temperatura, tiempo, presión y superficie de sellado). Para obtener un buen sellado, la zona de soldadura debe estar limpia, para lo cual debe evitarse que el material a envasar (**imagen 38b**) o la persona que realiza el envasado contacten con la zona de soldadura y el film no presente arrugas (**imagen 38c**). El uso de materiales de alta soldabilidad (e.g. Surlyn™) o la ampliación de la banda de soldadura ayuda a reducir dicho problema.

La presencia de manchas en el exterior de las bolsas, que son visibles después de la cocción, puede deberse al uso de moldes o envases sucios (**imagen 38d**).

1.18. Problemas de aspecto de origen microbiológico

1.18.1. Limo, gas, decoloración gris-verde y acidificación

Durante el almacenamiento en refrigeración de productos cárnicos tratados por el calor envasados al vacío o en atmósfera protectora se puede producir un crecimiento importante de bacterias lácticas que deterioren el producto debido a una acidificación indeseada, olores desagradables, decoloración gris-verdosa (**imagen 39a**), formación de limo (**imágenes 39b-e**) y de gas (**imagen 39e**) (Kitchell & Shaw, 1975; Reuter, 1975; Díez *et al.*, 2009). Dichos cambios tienen lugar a recuentos de bacterias lácticas de 10^7 ufc/g o superiores (Comi & Iacumin, 2012). Durante el masaje y maceración previos a



Imagen 39a. Decoloración producida por crecimiento de microorganismos.



Imagen 39b. Exudado lechoso producido por crecimiento de bacterias lácticas en paté.

la cocción se produce una sustitución de la microbiota gram-negativa de la carne fresca por otra gram-positiva con presencia de bacterias lácticas. La presencia de sales de curado y la aplicación de vacío durante el masaje y maceración frena el crecimiento de *Pseudomonas* pero no el de la microbiota microaerófila tolerante a la sal y al nitrito.

Después del masaje de los jamones destinados a cocer, la carga bacteriana suele estar alrededor de 10^5 ufc/g (Dušková *et al.*, 2016; Samelis *et al.*, 1998; Vasilopoulos *et al.*, 2010). El proceso de cocción a temperatura alrededor de unos 70 °C generalmente reduce la carga bacteriana a valores muy bajos (Dušková *et al.*, 2016; Vasilopoulos *et al.*, 2010). Sin embargo, algunos estudios muestran que determinadas cepas termodúricas pueden resistir la coc-



Imagen 39c. Limo en producto loncheado.

ción (Comi & Iacumin, 2012). Al finalizar la cocción, la carga microbiana detectada en jamones suele ser inferior a 10^2 ufc/g (Dušková *et al.*, 2016; Vasilopoulos *et al.*, 2010). En función de su poder de recuperación, algunas cepas se desarrollarán más adelante. Otros estudios indican que la presencia, por ejemplo, de *Leuconostoc mesenteroides* y *L. carnosum* es debida a la manipulación durante el desmoldeado, loncheado, envasado y al propio aire (Björkroth & Korkeala, 1997; Dušková *et al.*, 2016; Mol *et al.*, 1971; Samelis *et al.*, 1998).

Se ha observado que el proceso de loncheado tiene un impacto mucho mayor que la materia prima en la microbiota final de los productos cocidos (Zagdoun *et al.*, 2020). Además, cada línea de loncheado podría tener unas características propias, estables en el tiempo, que podrían ser debidas entre otras a la contaminación de la línea debido a la existencia de un reservorio de microorganismos inaccesibles a la desinfección. La comparación de la microbiota de diferentes zonas de la línea y de diferentes líneas de un mismo sistema de loncheado podría aportar información útil, por ejemplo, para estimar el impacto en la vida útil de la reducción de sal o nitrito. Es recomendable que las líneas de curados no se utilicen para lonchar productos cocidos.



Imagen 39d. Colonias de crecimiento microbiano en mortadela envasada en MAP.

En jamón cocido, mientras que después del loncheado y envasado los recuentos de bacterias lácticas pueden situarse en valores de 10^3 ufc/g, estos valores se sitúan en 10^7 - 10^9 ufc/g a las pocas semanas después del envasado. Se ha observado que después del envasado, en función del tipo de envase, composición de la atmósfera y del producto, condiciones higiénicas de manejo y temperatura durante la distribución y almacenamiento en la nevera del consumidor final se produce una reducción de la diversidad microbiana que favorece la microbiota psicrófila anaerobia, que es la responsable del deterioro del producto final (Chaillou *et al.*, 2015; Kreyenschmidt *et al.*, 2010; Samelis *et al.*, 1998; Vasilopoulos *et al.*, 2008).

El tratamiento por alta presión permite mejorar considerablemente la vida útil y la seguridad alimentaria de los productos loncheados envasados al vacío o en atmósfera protectora con envase flexible. Así, por ejemplo, Garriga *et al.* (2004) observaron recuentos de 10^8 ufc/g a los 30 días en muestras de jamón cocido no tratado, mientras que en las tratadas a 600 MPa durante 6 min a 31 °C se mantuvo la frescura del producto almacenado a 4 °C hasta los 60 días, y a los 90 aún no se alcanzaron valores de 10^7 ufc/g. Por otro lado, Carpi *et al.* (1999) obtuvieron un aumento de vida útil en jamón cocido loncheado y tratado a 600 MPa durante 5 min hasta 75 días manteniéndolo a 4 °C. Hygreeva & Pandey (2016) revisaron distintos estudios combinando distintas barreras para mejorar la efectividad de la HPP. La combinación de antimicrobianos naturales (compuestos bioactivos de origen vegetal y bacteriocinas) y antioxidantes (compuestos fenólicos de origen vegetal) como barreras adicionales durante el tratamiento de HPP puede ser un método efecti-

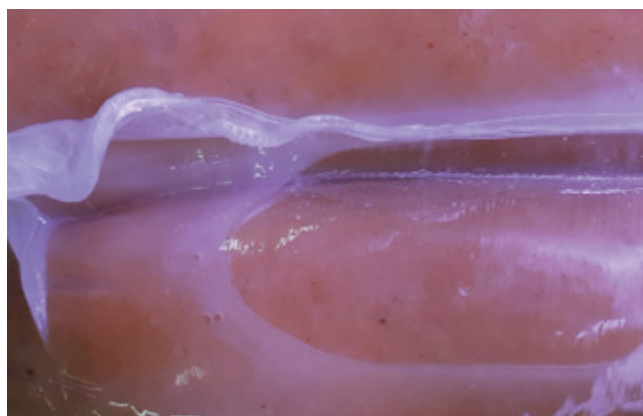


Imagen 39e. Formación de gas y exudado lechoso en salchichas de frankfurt envasadas al vacío.

vo para mejorar la seguridad alimentaria y facilitar el desarrollo de productos cocidos con un contenido reducido en sal.

La formación de gas (CO_2) puede producirse por la actividad metabólica de bacterias heterofermentativas, las cuales suelen provenir, si el tratamiento térmico es adecuado, de recontaminación por manipulación del producto cocido previo al envasado. En las bolsas de productos envasados al vacío es fácil detectar la producción de gas, que a veces va acompañada de un exudado de color blanco y olor ácido que se percibe al abrir la bolsa. Sin embargo, en los productos envasados en MAP es más difícil detectar la formación de gas. En estos casos puede ser útil el análisis de la composición del gas del espacio de cabeza. El problema de formación de gas es menos importante en productos ahumados.

La cantidad de exudado suele aumentar con el tiempo de almacenamiento. La microbiota láctica cambia el color del exudado de transparente a blanco/gris (Korkeala *et al.*, 1997). La presencia de exudado limoso, que forma hilos adherentes al separar lonchas de productos envasados en MAP o vacío ("ropy slime") se considera que es un problema de contaminación por bacterias lácticas psicrófilas capaces de producir polisacáridos de alto peso molecular. La producción de limo se produce a menudo antes de que disminuya el pH (Korkeala *et al.*, 1997), y se ha relacionado, entre otros, con las condiciones de producción, formación de biofilms y el uso de sacarosa (Aymerich *et al.*, 2002; Lulietto *et al.*, 2015; Clavero, 2010). Algunos cultivos bacteriocinogénicos (Aymerich *et al.*, 2002), el tratamiento por alta presión (Han *et al.*, 2011) y

un proceso de pasteurización adecuado después de envasado (Mäkelä *et al.*, 1992) previenen la formación de exudado limoso. El proceso de pasteurización después de envasado debe ser uniforme, evitando que las bolsas estén apiladas o contacten entre ellas, ya que en este caso el tratamiento no sería homogéneo y algunas bolsas no tendrían el tratamiento térmico adecuado. En el caso de la esterilización, también debe ser uniforme, tanto en lo que se refiere a los envases, como a los productos en el interior del envase. Por ejemplo, en las salchichas en bote debe procurarse que no estén apretadas para que el líquido pueda circular libremente y dé lugar a una esterilización homogénea.

La concentración de sal y nitrito no es suficiente para inhibir el crecimiento de las bacterias lácticas deteriorantes

La formación de coloraciones verdes en productos cárnicos cocidos nitrificados puede tener un origen químico (e.g. falta de nitrito, oxidación durante la cocción...), pero si tiene lugar durante la vida útil suele ser un problema microbiano producido por oxidación del nitrosilhemocromo mediante peróxidos (H_2O_2) generados por microorganismos (**imagen 39a**), que dan lugar a colemioglobina u otras porfirinas oxidadas de color verde (Grant *et al.*, 1986; Grant *et al.*, 1988; Borch *et al.*, 1996). Dicha microbiota gram-positiva catalasa-negativa en contacto con oxígeno produce H_2O_2 (Borch *et al.*, 1996). Grant *et al.* (1986) no observaron ningún efecto de la adición de nitrito desde 25 hasta 500 ppm en la decoloración, y no detectaron decoloración cuando no se añadió nitrito, probablemente debido a que el contraste de color entre el nitrosilhemocromo y la colemioglobina facilita la detección de la decoloración. La adición de un 3 % de lactato sódico y/o un 0,3 % de diacetato sódico retrasa el crecimiento de algunos de los microorganismos causantes de la decoloración (Peirson *et al.*, 2003). El aumento del contenido de ascorbato/eritorbato contribuye a retrasar este tipo de oxidación.

Mientras que las decoloraciones superficiales suelen estar causadas por una contaminación des-

pués de la cocción, las decoloraciones de la zona central del producto pueden provenir de microorganismos termoresistentes (e.g. *Weissella viridescens* (antes *Lactobacillus viridescens*) *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis*). Las bacterias lácticas responsables de las decoloraciones verdosas superficiales se ven más afectadas por la temperatura de cocción que aquellas que producen decoloraciones en el centro del producto, que se vuelven más termoresistentes (Niven *et al.*, 1954; Milbourne, 1983). Así pues, la adición de producto reprocesado puede generar una microbiota generadora de decoloraciones verdes que sea más tolerante a temperaturas de cocción más elevadas, por lo que su uso debe minimizarse (Clavero, 2010) y mantenerse previamente en congelación para reducir su crecimiento. Debe tenerse en cuenta que *Weissella viridescens* resiste presiones de 400 hasta 600 MPa a 22 °C durante 10 min (Dušková *et al.*, 2013).

Para mejorar la vida útil de productos cárnicos cocidos reenvasados se debe:

a) Reducir la contaminación microbiana, para lo cual se debe mejorar la higiene en general, lo cual incluye el diseño del ambiente de producción, como por ejemplo el flujo de aire y material, equipos, procedimientos de limpieza y desinfección e higiene de los operarios. Las zonas de procesado de los productos ya cocidos deben estar separadas de las de materias primas antes de cocer y de los productos curado-madurados. El flujo de material y de personal debe diseñarse de forma que se evite la dispersión de la contaminación de las zonas sucias a las limpias. Debe haber una presión de aire positiva en las zonas limpias. Los productos deben manejarse sólo lo imprescindible para reducir riesgos de contaminación (Korkeala & Björkroth, 1997). El sistema de cocción debe asegurar que todos los puntos del producto sufran un tratamiento térmico suficiente para eliminar la microbiota contaminante y la refrigeración debe ser tan rápida como sea posible, primero con duchas y después con un baño de agua fría para prevenir el crecimiento microbiano, especialmente en las piezas de tamaño grande. Algunos autores (Samelis *et al.*, 1998) sugieren como método alternativo, para mejorar la vida útil comercial de los derivados cárnicos cocidos envasados al vacío, la implantación de una microbiota láctica que no forme gas, limo ni olores extraños, ligeramente acidi-

ficante y que produzca bacteriocinas que puedan actuar frente a microorganismos patógenos (e.g. *L. monocytogenes* (Stiles, 1996)).

En la sala blanca deben realizarse acciones para:

i) Reducir la entrada de microorganismos del exterior:

- Tener la sala con aire presurizado y filtrado, con buen mantenimiento de los filtros.
- Evitar la entrada de aire de salas adjuntas. Utilizar aire comprimido de calidad adecuada⁶.
- Higienizar los productos envasados antes de entrar en la sala blanca (desinfectante, túnel de calor).
- Evitar tanto introducir utensilios externos a la sala blanca como sacar de ella aquellos equipos de uso en sala blanca. Los equipos y material de la sala blanca deben ser de uso exclusivo dentro de ella.
- Proteger los materiales de envasado hasta su uso dentro de la sala blanca.
- Evitar condensaciones de agua sobre el producto o sobre la parte interna del film antes de envasar.
- Evitar contaminaciones cruzadas entre productos curados y cocidos (mejor que estén en salas independientes) e interacciones entre personal de curados y cocidos sin que haya cambio de indumentaria.
- Establecer controles para detectar productos con el envase inicial dañado (lo cual implicaría una contaminación adicional de dicha pieza).
- Seguir un orden de loncheado de menos a más carga bacteriana.
- El personal debe utilizar ropa y calzado específico y estar formado en manipulación higiénica y procedimientos de limpieza y desinfección. No tocar los guantes con la mano, excepto la parte correspondiente a la muñeca. No tocarse la cara con los guantes. No coger cosas del interior de los vestidos mientras se está en sala blanca. Cambiar ropa sucia y desgastada. Potenciar los hábitos higiénicos personales.

ii) Frenar el crecimiento de microorganismos dentro de las salas blancas

- Establecer procedimientos adecuados de limpieza/desinfección/secado, monitorización y mantenimiento.
- Desinfectar todas las superficies: desmontar los equipos, limpiarlos, desinfectarlos y secarlos rápidamente.
- Disminuir la temperatura y HR ambiental y mantener el ambiente seco. Evitar condensaciones que goteen sobre los materiales o productos.

iii) Reducir los aportes de microorganismos al producto en la manipulación en sala blanca.

- Minimizar los contactos del producto antes y después de loncheo y del material del interior del envase con otras superficies (e.g. poner producto sobre mesas, apilar bandejas...).
- Gestión adecuada de los flujos de materiales, personas y desechos.
- Minimizar la formación de aerosoles y partículas en suspensión (e.g. uso de aire comprimido).
- Consolidar hábitos de higiene personal dentro y fuera de la sala blanca y de manipulación del producto.

b) Inhibir el crecimiento microbiano en el producto cocido.

Para ello, la disminución de la temperatura es una medida muy efectiva. Sin embargo, Korkeala *et al.* (1990) observaron que todas las cepas de *L. Sake* productoras de limo eran capaces de crecer en agar MRS a temperaturas por debajo de 0 °C. La concentración de sal y nitrito no es suficiente para inhibir el crecimiento de las bacterias lácticas deteriorantes. La adición de un 2 % de lactato sódico inhibe de forma importante el crecimiento de las lácticas en paté (Debever, 1989) y bologna (Brewer *et al.*, 1992), y la combinación con otras sales de ácidos orgánicos como el acetato, diacetato y sorbato es útil para alargar la vida útil (Drosinos *et al.*, 2006; Mellefont & Ross, 2007). El etil lauroil arginato (E-243) también se ha sugerido como un posible candidato para frenar el crecimiento de microorganismos (Ma *et al.*, 2020; Shen & Taylor, 2020). El uso de cultivos también es una alternativa a considerar para mejorar la conservación de algunos productos cocidos (Korkeala & Björkroth, 1997).

⁶ https://www.parker.com/literature/dornick%20hunter%20Industrial%20Division/Literature%20%20Documents/174004425_ES_FOOD_GRADE_COMPRESSED_AIR_MSB.PDF
https://www.beko-technologies.com/fileadmin/beko-technologies.com/ES/whitepapers/Libro_Blanco_del_aire_comprimido_en_alimentacion-BEKO_TECHNOLOGIES_2021.pdf.



Imagen 40a. Coloración azul en carne fresca producida por *Pseudomonas libanensis*.

La teoría de obstáculos (“*hurdle effect*”) (Leistner & Rahman, 2020) es útil para establecer barreras y buscar efectos sinérgicos de los procesos combinados que frenen el crecimiento de los microorganismos. Leistner *et al.* (1979) establecieron el concepto de productos autoestables y desarrollaron ocho gamas de productos con características de productos frescos, que podían guardarse a temperatura ambiente (6 días a 30 °C), de los cuales cinco de ellos eran productos cárnicos cocidos (Hechelmann *et al.*, 1991). Así, por ejemplo, en embutidos cocidos a temperaturas inferiores a 100 °C si bien no se eliminan las esporas de *Clostridium* y *Bacillus* durante el tratamiento térmico, una ligera reducción de la a_w permite que germinen las esporas, pero no permite que crezcan las células vegetativas, que van muriendo. Con lo cual los recuentos de esporas disminuyen especialmente si se mantienen en un ambiente no refrigerado, debido a un agotamiento metabólico que finalmente produce una autoesterilización. En estos casos, el uso de sistemas de envasado en los que haya cierto espacio de cabeza, de forma que se puedan producir condensaciones durante la refrigeración, podría dar lugar a incrementos locales de a_w que facilitarían el crecimiento de esporulados, por lo que se recomienda usar tripas plásticas y hacer un buen vacío al embutir (Leistner & Rahman, 2020).

c) Tratamiento del producto envasado (descontaminación).

Las bacterias lácticas deteriorantes pueden crecer con facilidad en los productos cocidos reenvasados, ya que dichas bacterias son psicrotrofas, microaerófilas y resistentes al nitrito, la sal y el humo. Sin embargo, su inactivación se puede conseguir mediante el tratamiento térmico del producto envasado, con lo cual se alarga la vida útil (Franz, 1996; von Holy *et al.*, 1991). Así,



Imagen 40b. Coloración azul en carne fresca producida por *Pseudomonas libanensis*.

por ejemplo, von Holy *et al.* (1991) incrementaron cuatro veces la vida útil al tratar salchichas tipo frankfurt envasadas al vacío al sumergir los envases a 80 °C durante 20 minutos, aunque hay que tener en cuenta que las esporas de *Bacillus* y *Clostridium* pueden sobrevivir a tratamientos de 70 °C (Nielsen & Zeuthen, 1984; Kokubo *et al.*, 1986). Franz & von Holy, (1996) observaron, en los productos no pasteurizados, claros síntomas de deterioro sólo cuando se alcanzaron recuentos de 10^8 ufc/g (e.g. menor adherencia del envase al producto, olores desagradables y exudado de aspecto lechoso), pero en los productos pasteurizados, a recuentos equivalentes, los síntomas de deterioro fueron menores, lo cual podría indicar un cambio en la microbiota láctica deteriorante.

Al disminuir la temperatura de almacenamiento de los productos cocidos se produce una mejora en la vida útil, especialmente cuando esta es inferior a 0 °C y se acerca al punto de congelación del producto. La disminución del punto de congelación se logra gracias al descenso crioscópico producido por los solutos incorporados⁷.

⁷. Según la Ley de Blagden, la depresión del punto de congelación (ΔT_F) de soluciones diluidas es proporcional a la cantidad de sales disueltas.

$$\Delta T_F = K_F \cdot b \cdot i$$

donde:

K_F es la constante crioscópica, que depende de propiedades del solvente (para el agua, $K_F = 1,853 \text{ K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$). “b” es la molalidad (moles de soluto por kilogramo de agua). “i” es el factor van’t Hoff (número de partículas iónicas por molécula de soluto, $i=2$ en el caso de NaCl). Por ejemplo, en una masa que contuviese un 50 % de agua y se añadiesen 26 g/kg de sal, se produciría un descenso de su punto de congelación de 3,3 °C. Teniendo en cuenta que el de la carne se sitúa entre -0,8 y -1,2 °C el de la masa se situaría entre -4,1 y -4,5 °C.



Imagen 40c. Coloración azul en carne fresca producida por *Pseudomonas libanensis*.

Conociendo la vida útil a una temperatura determinada, Sinell (2004) propuso una ecuación, i.e. $D = D_0 \times 10^{(T_0 - T)/20}$ que permite conocer con bastante precisión la vida útil a otra temperatura. En la ecuación D_0 es la vida útil a una temperatura determinada T_0 .

El tratamiento por altas presiones (e.g. 600 MPa durante 6 min) es una tecnología alternativa al tratamiento térmico, que la hace especialmente útil para evitar problemas de origen microbiológico en los productos loncheados, cuya calidad se ve afectada negativamente por el tratamiento térmico (Balamurugan *et al.*, 2018; Garriga *et al.*, 2004).

1.18.2. Manchas azules

La presencia de manchas de color azul en la superficie de la carne fresca de cerdo (**imágenes 40a-c**), pollo y conejo puede relacionarse con el crecimiento de *Pseudomonas libanensis* (en carne) y de *Pseudomonas fluorescens* (en mozzarella y carne) (Cantoni *et al.*, 2001; Andreani *et al.*, 2015; Caputo *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2019; Cantoni & Chiappa, 2011), pero no se han encontrado referencias de que dichos microorganismos crezcan en productos cocidos envasados al vacío o en MAP sin oxígeno. Debe revisarse el programa de limpieza y desinfección y asegurarse de que se realizan

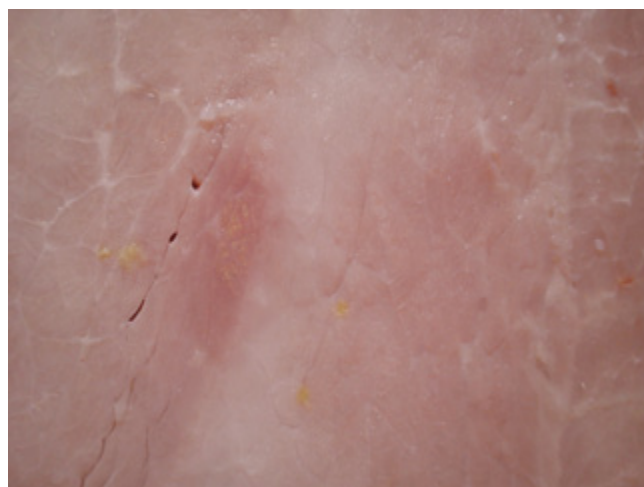


Imagen 40d. Colonias de color amarillo en jamón cocido.



Imagen 40e. Coloraciones amarillas producidas por microorganismos.

correctamente, evitando la formación de biofilms, el goteo debido a condensaciones, y secar las superficies. Debe analizarse el agua utilizada, ya que Dabboussi *et al.*, (1999) detectaron *Pseudomonas* en agua de manantial, y Cantoni & Chiappa, (2011) lo atribuyeron a su presencia en el agua de pozo o en el agua de red utilizada, probablemente ligado a un periodo de precipitaciones copiosas, ya que es un microorganismo presente en el ambiente vegetal. En ocasiones se da sólo en una de las líneas de trabajo, por lo que debe inspeccionarse a fondo cuáles son las diferencias respecto a las otras líneas que provocan una mayor incidencia. Generalmente, se suele ver una incidencia mayor en el tejido conjuntivo y en la grasa que en el magro, quizás porque el pH de éste suele ser inferior.



Imagen 40f. Coloración rosácea producida por bacterias halófilas.

1.18.3. Manchas rosadas

En condiciones de elevada temperatura y humedad relativa y en ausencia de microbiota competitiva, en salchichas con elevado contenido de almidones puede producirse el crecimiento de *Serratia marcescens* que produce un pigmento denominado prodigiosina (Sutherland *et al.*, 1987) que provoca la aparición de manchas rosadas.

1.18.4. Manchas amarillas

Las manchas de color amarillo de las **imágenes 40d-e** tienen un origen microbiano. En la muestra de la **imagen 40d** se determinó que la microbiota predominante era *Leuconostoc*. Aparte de las medidas higiénicas, un aumento del valor de pasteurización y la adición de acetato y etil-lauroil-arginato (LAE) puede contribuir a frenar el problema.

1.18.5. Manchas negras

Tal como se ha visto en el apartado 1.6.2, (**imágenes 23e-h**) una de las causas de formación de manchas negras es el crecimiento de *Carnimonas nigrificans*. Se han descrito decoloraciones negro-azuladas en jamón ibérico y quesos producidas por *Pseudomonas fluorescens* (Andrade *et al.*, 2012) y en carne de vacuno por *Pseudomonas carnis* (Lick *et al.*, 2020).

1.18.6. Coloración rosa de las tripas saladas

En las tripas saladas, cuando se mantienen a temperaturas superiores a 7 °C, se puede producir un crecimiento de bacterias halófilas que generan una coloración rosácea de la tripa (**imagen 40f**).



Imagen 40g. Crecimiento de mohos en un embutido cocido durante el proceso de secado.

1.18.7. Remelo

Se entiende por remelo la formación de un limo superficial, especialmente en productos embutidos en tripas naturales, cuando la velocidad de deshidratación es muy baja, lo cual afecta negativamente al aroma del producto final. Para evitarlo se debe mantener el embutido en condiciones de baja HR y temperatura y con buena circulación de aire a su alrededor. Por otra parte, el uso de sustancias conservadoras en la masa o en la superficie del embutido contribuye a retrasar el problema.

1.18.8. Crecimiento de moho

En los embutidos cocidos secados se produce crecimiento de moho cuando el secado tiene lugar en condiciones húmedas (**imagen 40g**). Para evi-



Imagen 41a Equipo para clasificar jamones en base al pH.

tarlo es conveniente secar rápidamente la superficie del embutido los dos primeros días.

Cuando se produce crecimiento de moho y hay presencia de ácaros en el secadero, el producto puede presentar una cierta población de ácaros en superficie. Para reducir la problemática, en el caso de productos que se vendan sin envasar, se recomienda realizar un fregado superficial con un trapo empapado de aceite y evitar mantener los productos apilados. En el secadero se deben establecer métodos de monitorización y lucha contra los ácaros para reducir el problema (Arnau, 2022a).

2. Textura

La textura de los productos cocidos depende de las materias primas, de los ingredientes no cárnicos, del proceso de elaboración y del tratamiento posterior que hayan sufrido.

El efecto de la materia prima en la textura viene condicionado por el contenido de tejido conjuntivo y su grado de reticulación, por el contenido de grasa (Cofrades *et al.*, 1997) y su composición, por el estado de las proteínas de la carne (pH (**imagen 41a**), grado de oxidación (Bao & Ertbjerg, 2019), características PSE, grado de desnaturalización y proteólisis, y por la longitud de los sarcómeros que depende de la tensión que sufre el músculo en la canal (e.g. suspensión pélvica (*tenderstretching*) (**imagen 41b**), corte vertebral entre las vértebras torácicas (12/13 (*tendercut*) Ludwig *et al.*, 1997; Sørheim & Hildrum, 2002 (**imagen 41c**), situación del músculo en la canal...) y la velocidad de refrigeración (endurecimiento por el frío o por rigor) (Ertbjerg & Puolanne, 2017)). En general, la oxidación de las proteínas aumenta la dureza de la carne bien sea

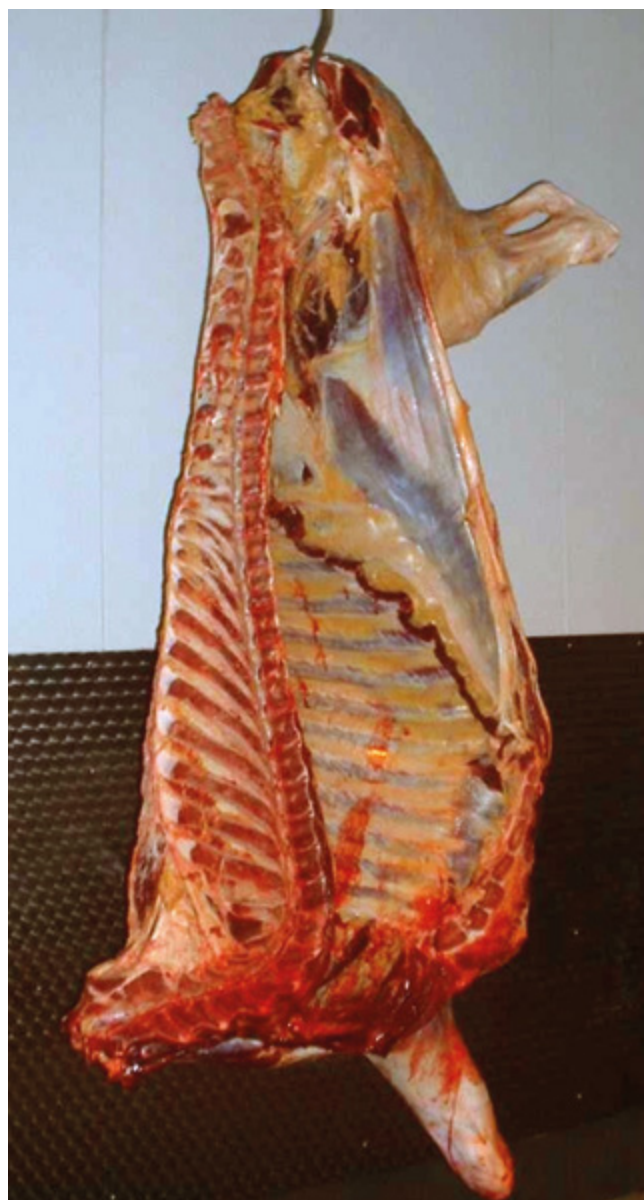


Imagen 41b. Suspensión pélvica en prerigor (45-90 min. *post-mortem*): mejora la ternura en algunos músculos, (equivalente a 21 días de maduración).

por entrecruzamiento de proteínas o una reducción de la proteólisis en las proteínas que tienen una función estructural (Bao & Ertbjerg, 2019).

Dentro de los ingredientes podemos destacar aquellos que afectan directamente a la textura de las proteínas cárnicas (sal, fosfatos, transglutaminasa), los que dan textura por sí mismos tras hidratación, tratamiento térmico y refrigeración (proteínas no cárnicas, hidrocoloides, almidones, féculas y fibras) y el agua (que a bajas dosis ejerce un efecto positivo y a altas dosis diluye y debilita la textura).

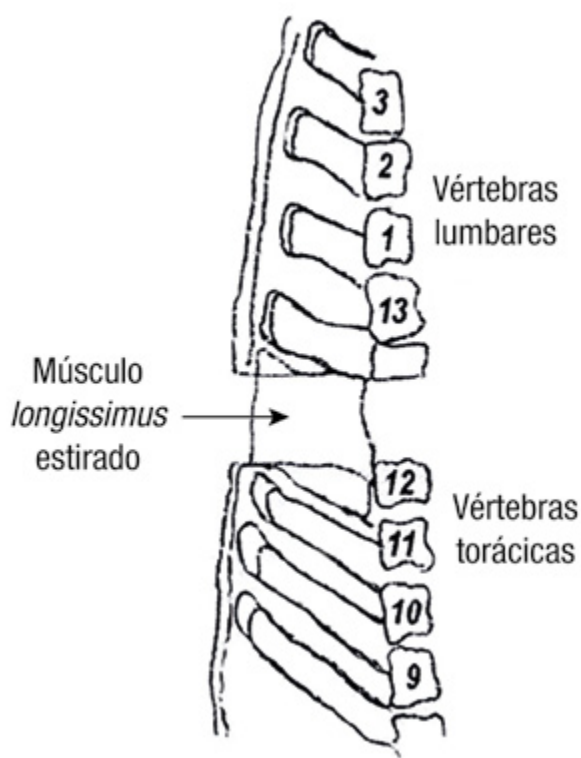


Imagen 41c. El corte vertebral entre las vértebras torácicas 12 y 13 en estado prerigor mejora la terneza del lomo (Claus, 2002).

Dentro de los factores de proceso podemos señalar como factores importantes que afectan a la textura: i) la distribución homogénea de los ingredientes añadidos para evitar que haya zonas sin aditivar en las que las proteínas de la carne no den la funcionalidad deseada, ii) la extracción de las proteínas miofibrilares durante el masaje, picado y amasado, que se considera clave tanto para lograr una buena emulsión/ligado de la grasa como para obtener una gelificación proteica al cocer, iii) nivel de vacío (Tantikarnjathep *et al.*, 1983), iv) el proceso de cocción y su duración, v) la velocidad de enfriamiento y la temperatura y tiempo de almacenamiento antes de su consumo y vi) los tratamientos térmicos o de alta presión posteriores al envasado, así como el tipo de loncheado y las condiciones en las que se consuma el producto cárnico.

Durante el proceso de cocción tienen lugar una serie de transformaciones en las proteínas de la carne que han sido revisadas por diversos autores (Tornberg, 2005; Baldwin, 2012; Santhi *et al.*, 2017; Domínguez-Hernández, *et al.*, 2018).

Las proteínas de la carne se pueden subdividir en tres grandes grupos: miofibrilares (miosina, ac-

tina...), sarcoplasmáticas (enzimas, mioglobina...) y tejido conjuntivo (colágeno, elastina...), que tienen un comportamiento diferente durante el tratamiento térmico. Mientras que la miosina, la actina y el colágeno se contraen al cocer, las proteínas sarcoplasmáticas se expanden.

Dentro de las proteínas miofibrilares, la miosina es la que representa un porcentaje mayor, seguida de la actina. Las cabezas globulares de la miosina empiezan a desnaturalizarse a 40 °C (Warner, Kaufman, & Greaser, 1997) y por encima de 53 °C tiene lugar una desnaturalización total de la miosina (Berhe *et al.*, 2014; Brüggemann *et al.*, 2010). Por otra parte, la actina se desnaturaliza a temperaturas superiores, entre 68 y 80 °C (Berhe *et al.*, 2014).

La agregación y gelificación de las proteínas sarcoplasmáticas empieza a unos 40 °C y continúa hasta unos 60 °C. Antes de que se hayan inhibido, algunos de los enzimas de la propia carne pueden mejorar su terneza. Así, por ejemplo, según Tornberg (2005) entre 55 y 60 °C algunas colagenasas siguen activas y aumentan la terneza después de 6 h de cocción.

El tejido conjuntivo inicia su retracción a unos 57 °C (Brüggemann *et al.*, 2010), pero la contracción es más importante a partir de 65 °C. Paulatinamente el colágeno se solubiliza y transforma en gelatina.

El tratamiento térmico en el que el producto se mantiene durante períodos prolongados entre 50 y 65 °C ("*low-temperature long-time (LTLT) cooking*") mejora la terneza y el aroma, y da un aspecto más cocido que a tiempos cortos (Domínguez-Hernández *et al.*, (2018).

A continuación, se detallan los principales problemas de textura que se encuentran en los productos cárnicos tratados por el calor.

2.1. Ligado

2.1.1. Desligado del magro

La falta de ligado puede ser debida al uso de carne en la que la proteína se haya desnaturalizado (e.g. carnes PSE, acidificación...) o haya perdido propiedades funcionales (e.g. quemadura de congelación), a un pulido incorrecto en productos elaborados a partir de piezas, a una insuficiente extracción de proteínas por formulación deficiente o falta de masaje/amasado, la presencia de sólidos insolubles, el embarrado, la falta de plasticidad de los trozos de

carne, la formación de gas, la acidificación durante la cocción (e.g. cocciones largas a baja temperatura con recuentos de bacterias lácticas elevados de inicio) y todos aquellos aspectos que dificulten la formación de un gel cohesivo durante la cocción y enfriamiento. La adición de transglutaminasa (ver 2.2) y proteínas funcionales mejoran el ligado, especialmente en los jamones sin fosfatos añadidos. El reposo después de la cocción durante 1-2 semanas permite una mayor estructuración de la grasa tanto intramuscular como intermuscular (Himawan *et al.*, 2006), que pasa de formas alfa a beta, mejorando la integridad de la loncha (e.g. bacon). Si la textura es pastosa puede ser debido a una falta de proteínas funcionales que den un buen ligado, o a un exceso de fécula. En los productos reestructurados en frío (e.g. alginato) se debe extraer proteína para que se produzca una buena coagulación y no se separen las fases en la cocción debido a la contracción de los trozos de carne.

2.1.2. Desligado de la grasa

Ver 1.10.4

2.1.3. Cohesión de la loncha: loncheabilidad

La loncheabilidad se podría definir como la facilidad de loncheado manual o mecánico para obtener unas lonchas de un espesor definido a una temperatura dada. En el loncheado mecánico se relaciona con el porcentaje de lonchas correctas, es decir, de espesor homogéneo, que no se arruguen o desgarran durante el loncheado. A medida que disminuye el espesor de la loncha la loncheabilidad disminuye, por lo que se podría establecer un espesor mínimo para alcanzar una loncheabilidad óptima para cada producto (Gou *et al.*, 2008). La loncheabilidad mejora si la temperatura de la pieza o de su parte externa está por debajo de su punto de congelación; para lograrlo se suele pasar por un túnel de congelación que endurece la parte externa del producto y de esta forma puede aguantar el proceso de loncheado sin que se produzcan desgarros ni desfibrado. Así pues, es conveniente que los contenidos de humedad y de sal sean homogéneos en las distintas zonas de la pieza para que tengan un punto de congelación similar. Para el loncheado a temperatura superior al punto de congelación (e.g. en el punto de venta), la homogeneidad de textura ayuda a obtener lonchas homogéneas, y el dismi-

nuir la temperatura por debajo del punto de solidificación de la grasa también contribuye a mejorar la loncheabilidad.

La loncha debe mantener una buena cohesión durante su vida útil, para lo cual es importante que tanto el magro como la grasa del producto estén bien ligados. El reposo durante varios días/semanas antes del loncheado mejora la cohesión de las lonchas, especialmente en los productos grasos.

En los productos con un elevado contenido de salmuera añadida, la adición de emulsión de corteza cruda contribuye a dar consistencia al producto al enfriar.

Los jamones cocidos presentan muchos problemas de cohesión de las lonchas, dependiendo de la consistencia de los músculos y la cohesión entre ellos

Los jamones cocidos están entre los productos que presentan más problemas de cohesión de las lonchas. En ellos, ésta depende de la cohesión entre los músculos y de la consistencia de los diferentes músculos. La cohesión entre músculos depende de las proteínas miofibrilares extraídas, que gelifican al cocer y realizan un efecto encolante. La extracción proteica se favorece por acción de algunos ingredientes de la salmuera (i.e. sal y fosfatos) y por la tenderización y masaje. La realización de multitud de cortes aumenta la superficie de contacto entre los músculos, facilita la rotura de fibras y disminuye los problemas de carnes exudativas, con lo cual disminuye el número de lonchas defectuosas por falta de cohesión o de consistencia del músculo (Xargayó *et al.*, 2007). La adición de TGasa mejora la cohesión de las lonchas.

Las lonchas tienden a adherirse unas con otras si sufren cierta presión (e.g. envasado al vacío, colapso del envase en MAP, tratamiento por alta presión) lo cual da la impresión de falta de cohesión de las lonchas. La grasa si no está bien emulsionada tiende a aumentar la adhesión de las lonchas, y el uso de kappa carragenato con goma de garrofín al dar un gel más rígido facilita la separación de las lonchas.



Imagen 41d. Desfibrado de carne sometida a un proceso de cocción largo que gelatiniza el tejido conectivo ("pulled").

2.1.4. Desgranado/desfibrado de la carne

En algunos productos cárnicos cocidos se busca que la carne se disgregue fácilmente, para poderla utilizar como *topping* (e.g. pizza), en otros casos se desea que se desfibre con facilidad para lograr un efecto "pulled" (imagen 41d).

Para lograr una buena separación de las partículas de carne se recomienda utilizar una carne con poco conectivo, realizar un asado exterior para desarrollar productos de Maillard y cocido interno hasta unos 65 °C, picar al grano deseado y añadirle en la amasadora los demás ingredientes (e.g. cebolla cocida, especias, sal, fosfatos u otro sinérgico antioxidante y aroma) que junto al asado frenen la formación de sabores a WOF (ver 3.1.4), se embute y cuece de nuevo.

Para obtener el efecto *pulled* se debe cocer la carne durante periodos largos a temperaturas moderadas/bajas, preferentemente al vacío, hasta que se disuelva el tejido conectivo, dando lugar a una

carne tierna y melosa. Posteriormente, la carne se desmigaja mediante maquinaria específica⁸.

Para facilitar la disolución del tejido conjuntivo puede ser útil inyectar previamente la carne con una solución que facilite la disolución del colágeno al cocer y con enzimas colagenasas (e.g. actinidina) (Hofer *et al.*, 2018).

2.1.5. Adhesividad entre lonchas

En los productos envasados en atmósfera modificada (MAP) sin oxígeno, que contiene CO₂, las lonchas frecuentemente se adhieren entre sí. Al intentar separar una loncha, las demás tienden a seguirla debido a esta adhesión. Como posibles causas a evaluar, se propone tener en cuenta:

- Temperatura de cocción: Es posible que la desnaturalización proteica haya sido parcial o en el caso de que se haya añadido transglutaminasa⁹ (TGasa), esta no se haya desactivado completamente. Si esta es la causa, una cocción a una temperatura interna más elevada debería favorecer la separación de las lonchas.
- Dosis y tipo de carragenato: Los geles, una vez cortados, tienden a adherirse nuevamente entre sí debido al contacto y a cierta presión. En este sentido, el carragenato iota debería dar mejores resultados que el kappa, ya que este tiene más tendencia a soltar jugos, que pueden favorecer la formación de nuevas uniones.
- Féculas: La retrogradación de las féculas gelatinizadas, en aquellos productos que las contengan, puede facilitar la adhesión.
- Triglicéridos: Estos pueden cristalizar a baja temperatura en la interfase entre lonchas y pasar de formas inestables (α y β') a formas más estables (β), lo que facilita la unión entre las lonchas. Esta adhesión disminuye al atemperar las lonchas antes de su separación, debido a la fusión de algunos cristales de grasa.
- Deshidrataciones locales: En las puntas o zonas con mayor espacio de cabeza y temperatura elevada se produce deshidratación, lo cual puede afectar a la adhesión de las lonchas. El agua evaporada se condensa en otras zonas del envase donde la temperatura es más baja, y puede descender por gravedad.

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=nK1UNTWUBi4>

⁹ <http://www.cookingbuddies.com/pdf/ActivaGenInfo.pdf>

- Presión en el envase: Las zonas presionadas por el colapso del envase (debido a la absorción del CO₂), el encajado o la presión ejercida por los operarios pueden aumentar la adhesión. El tratamiento por altas presiones aumenta la adhesividad.
- Actividad microbiana: Esta puede generar cierta acidificación y la unión de la proteína miofibrilar (e.g., actina) no desnaturalizada, o la formación de limo adhesivo.
- Corte limpio: Un corte limpio produce menos fibras sueltas y puede reducir la adhesividad.

2.2. Mordiente cárnico

Un buen mordiente del producto se asocia con una buena calidad. Puede incluso darse el caso de que el producto tenga buena textura para ser loncheado, pero le falte mordiente cárnico, esto es debido a falta de proteínas cárnicas, lo cual se puede mitigar mediante:

- Adición de más carne.
- Aumento de la funcionalidad mediante un buen masaje inicial para extraer el máximo posible de proteína cárnica, no añadir toda la salmuerita de una vez, y añadir el almidón al final con el agua necesaria. El trabajar la carne con una cantidad de sal cercana al 5 % no sólo aumenta la capacidad de retención de agua y el ligado de la grasa, sino que también contribuye a dar la estructura y el mordiente adecuados.
- Substitución de parte del tripolifosfato por pirofosfato tetrasódico/tetrapotásico.
- Optimización de las mezclas de hidrocoloides: e.g. combinar el carragenato con goma garrofín.
- Adición de proteínas funcionales (e.g. plasmáticas).
- Añadir tejido conjuntivo finamente picado (e.g. cortezas, telillas), pero no en exceso.
- Añadir transglutaminasa (TGasa) en el amasado final tras activar la proteína superficial de los trozos de carne y modificar el proceso una vez embutido para que la TGasa pueda actuar de forma más efectiva (aumentar el vacío, flexibilizar la carne para reducir tensiones, reducir embarrado y el porcentaje de grasa no ligada, aumentar el tiempo de permanencia a la temperatura de actividad óptima de la TGasa).
- Procurar que la temperatura de mezclado no supere los 7-8 °C.

- En productos con mucha grasa el hacer una preemulsión de la misma permite que queden más proteínas cárnicas para la formación de una estructura gelificada.

En los productos de músculo entero la textura reseca puede deberse a factores relacionados con la materia prima y los ingredientes añadidos y a una excesiva pérdida de agua durante la cocción

2.3. Crujencia

En los embutidos tipo *snack* y en las salchichas cocidas se busca una cierta crujencia (“*snap*”, “*knack*”) al morder o masticar el producto. La crujencia puede provenir de la propia tripa (las tripas naturales proporcionan mayor crujencia debido a su elasticidad y resistencia), del grado de secado (a mayor merma mayor crujencia), de la piel producida por el ahumado y de la formulación (Bartenschläger-Blässing, 1979). Las salchichas pasteurizadas tienen mayor crujencia que las esterilizadas. La adición de telillas y tendones picados mejora la crujencia de las salchichas (Savić & Savić, 2016), y la sustitución de parte de las cortezas por dichas telillas también mejora la crujencia. Los aldehídos y ácidos del humo, junto con un secado apropiado, son en buena parte responsables del *snap/knack* característico de los productos ahumados.

El método de cocción influye en la crujencia, ya que al asar a la parrilla o freír en sartén se potencia la crujencia al secar y tensar la tripa, mientras que al hervir o cocer al vapor se ablandan las tripas y se reduce la crujencia. La calidad de la emulsión cárnica también es esencial: una mezcla bien emulsionada contribuye a una mordida firme, mientras que una emulsión que genere una textura pastosa reduce el “*snap*”.

Cuando las tripas son muy duras o el tratamiento de ahumado es excesivo, la piel se vuelve difícil de masticar y tiende a separarse de la masa interna, lo que genera una pérdida de crujencia. El uso de hemopigmentos en la masa permite obtener un

color adecuado reduciendo el tiempo de ahumado necesario.

2.4. Plasticidad/gomosidad

La textura gomosa suele ser debida a un exceso de masaje, que produce una elevada solubilización de proteínas, que al cocer da una consistencia gomosa. El exceso de algunas proteínas funcionales o carragenatos también pueden producir esta sensación de plasticidad. Un exceso de cortezas también genera una textura gomosa. En productos picados, la reducción del contenido de magro y/o conectivo o la reducción del nivel de vacío al cuterar ayuda a reducir dicho problema¹⁰.

La jugosidad viene determinada por la temperatura alcanzada durante la cocción y el contenido de grasa intramuscular

2.5. Acortezado

Un producto (e.g. salchicha tipo frankfurt) se considera acortezado cuando al consumirlo hay una fase dura externa excesiva y una blanda en el interior. Esto es debido a un exceso de deshidratación del producto durante su estufaje, ahumado y posterior cocción, para lo cual se deben adecuar los programas de las distintas fases. Si el problema es debido a un excesivo tiempo de espera antes de cocción de algunos carros, se deberían uniformizar los productos dentro del horno justo antes de hacer el estufaje mediante HR cercana al 100 % hasta que los productos estén homogéneos.

2.6. Textura reseca, estropajosa, falta de ternera

En la mayoría de los productos cocidos una textura reseca se considera un problema. En los productos de músculo entero puede deberse a factores relacionados con la materia prima y los ingredientes añadidos y a una excesiva pérdida de agua durante la cocción. La adición de transglu-

taminasa puede generar una textura más difícil de masticar, especialmente si no se inhibe totalmente durante el tratamiento térmico. Así por ejemplo, la transglutaminasa mantiene cierta actividad residual cuando se calienta 10 min a 65 °C (Kütemeyer *et al.*, 2005), pero pierde su actividad al calentar unos minutos a 70 °C (Motoki & Seguro, 1998).

En la carne, el contenido de grasa afecta a la textura, ternera, flavor y jugosidad. Incluso algunos autores sugieren que se requiere un umbral mínimo de grasa para asegurar que la carne cocida sea aceptable (DeVol *et al.*, 1988; Fortin *et al.*, 2005). La maduración de la carne (Wood *et al.*, 1996, Wheeler *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2006), la velocidad de caída del pH (Gardner *et al.*, 2005), el tipo de músculo (Klont *et al.*, 1998; Melody *et al.*, 2004), y la raza (van Laack *et al.*, 2001) también afectan a la textura. Lonergan *et al.* (2007) observaron que el pH final tiene un papel importante en la textura de la carne de lomo de cerdo. Un aumento del contenido de grasa intramuscular mejoró ligeramente la textura y ternera del lomo de cerdo cuando los valores de pH eran intermedios (entre 5,5 y 5,8). Sin embargo, un aumento del contenido de grasa no mejoró la calidad de la carne cuando el pH era muy bajo (< 5,5) debido a la baja calidad que presentaron, o cuando el pH era elevado (> 5,8) ya que en este caso se observó siempre una buena calidad.

La adición de ingredientes que mejoren la capacidad de retención de agua y unas condiciones de cocción menos agresivas mejorarán la textura de la carne (ver 1.9).

En las salchichas cocidas es importante que la tripa sea tierna y masticable. Esto depende de la especie y edad del animal. La tripa de vaca, debido a su grosor, es la menos tierna, aunque es más adecuada para una embutición rápida, y la de cerdo es menos tierna que la de ovino. Las tripas de los animales de más edad suelen ser menos tiernas, pero más resistentes a la embutición.

2.7. Jugosidad

La jugosidad es una característica de los derivados cárnicos cocidos que se atribuye por un lado al líquido desprendido por el derivado al inicio de la masticación y por otro lado a la estimulación de la salivación ocasionada por la grasa (Juárez *et al.*, 2012; Winger & Hagyard 1994). Viene determinada

¹⁰ <http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/diss/2003/fu-berlin/2001/281/kap4.pdf>

por la temperatura alcanzada durante la cocción y el contenido de grasa intramuscular. La jugosidad disminuye al aumentar la temperatura alcanzada en el intervalo entre 55 y 85 °C (Bowers *et al.*, 1987). La disminución tiene lugar en dos intervalos diferentes, un primero entre 60 y 65 °C, y un segundo entre 80 °C y 85 °C. Martens *et al.*, (1982) observaron que la carne cruda era percibida como seca, se produjo un aumento de la jugosidad de 37 °C a 48 °C, una disminución ligera de 45 °C a 63 °C, una disminución drástica entre 63 y 73 °C y después una disminución ligera entre 73 °C y 79 °C. Según dichos autores la mayor disminución de jugosidad fue consecuencia de la desnaturalización de la actina. La inyección de salmuera mejora la jugosidad. La sal también aumenta la jugosidad, por ejemplo, al pasar de 0,5 % a 1-2 % (Brewer *et al.*, 1984). Por otro lado, el uso de carne de cerdo DFD es más jugosa que la normal, y esta que la PSE. El impacto de la maduración, estudiado en vacuno, ha mostrado un efecto limitado (Mitchell *et al.*, 1991). La jugosidad es una propiedad que se evalúa mediante paneles sensoriales y determina entre un 10 % y un 40 % de la variabilidad de la textura (Dransfield *et al.*, 1984; Hutchings and Lillford, 1988).

2.8. Untabilidad

La untabilidad es la facilidad con la que un producto se puede extender en una capa fina y uniforme sobre una superficie. En los productos untables (e.g. paté de hígado) la grasa se cuece en primer lugar, en caldera o en la propia cúter, se pica y después se le añade líquido y un agente emulsionante para obtener la fracción de grasa caliente. Después, a dicha fracción, se le añade el hígado junto con la sal y el nitrito para obtener la masa final de aspecto líquido viscoso. Dicha masa es una emulsión de aceite en agua, en que las gotitas de aceite y grasa están dispersas en una fase continua líquida en la que las proteínas del hígado rodean las partículas de grasa. Después de la cocción y enfriamiento se obtiene el producto untable. El tipo de ingredientes y la cantidad usada afecta a la estabilidad de las emulsiones en productos untables. Así, por ejemplo, Hammer (1981a, 1988a, b) observó que para reducir la separación de gelatina era conveniente aumentar el contenido de grasa, y para evitar la separación de grasa se debía aumentar la cantidad de hígado.

Según Steen *et al.* (2014a) una disminución de la proporción de hígado/grasa da lugar a la formación de una microestructura más heterogénea con presencia de zonas emulsionadas y no emulsionadas. Por otra parte, Xiong *et al.* (2020) observaron una mejor capacidad emulsionante utilizando hígados normales de pollo en lugar de hígados pálidos. Según Nuckles *et al.* (1990), las proteínas del hígado de cerdo contienen 76,1 % de proteínas solubles en agua, 14,8 % de proteínas solubles en sal y un 9 % de proteínas insolubles. Según Steen *et al.*, (2016) tanto las primeras como las segundas poseen buenas propiedades emulsionantes y espumantes, pero las propiedades gelificantes son limitadas.

Cuando la distribución de sal es heterogénea, el sabor salado de la loncha lo determina el punto más salado de la misma

Para conseguir la untabilidad es necesario trabajar la masa por encima del punto de fusión de la grasa y siempre por debajo de la temperatura de gelificación o desnaturalización de las proteínas, con ello se logra cierta emulsión y una buena retención de la grasa que evita que se produzcan desprendimientos. La estructura de los productos untables inicia su fijación durante la cocción y termina durante el enfriamiento cuando se produce la cristalización de la grasa (Katsaras *et al.*, 1987; Cheong and Fischer, 1993; Delgado-Pando *et al.*, 2011). La dureza de un sistema lipídico es, entre otras cosas, función de su contenido de grasa sólida y de los factores microestructurales asociados a él. Además, hay que tener en cuenta que a pesar de que la grasa se calienta para preparar el paté, algunos adipocitos pueden permanecer intactos tras el procesado (Steen *et al.*, 2014b) contribuyendo a la granulosidad del producto.

2.9. Residuo de conectivo

La carne con tejido conectivo deja un residual que es visible al corte y se nota al final de la masticación (**imagen 41e**). Este residuo puede reducirse



Imagen 41e. Paleta cocida con abundante tejido conjuntivo.

utilizando un separador de nervios en el picado, o pasando la carne por un separador tipo Baader. Por tanto, el añadir a la cúter una parte de carne fresca picada utilizando separador de nervios o carne Baader permitirá reducir este problema. El picado fino en cúter disminuye el tamaño y lo hace menos perceptible, y el amasado posterior de la carne picada en cúter también lo disimula visualmente. En los productos en base a hígado el separador tipo Baader permite además eliminar la red de vasos sanguíneos y conductos biliares.

2.10. Harinosidad

La harinosidad suele estar producida por la adición de una elevada cantidad de fécula, almidón o harina. La temperatura de cocción debe ser apropiada al tipo de almidón utilizado

2.11. Presencia de huesos en carne MDM

La presencia de pequeñas partículas de hueso es debida al uso de carne recuperada mecánicamente (MDM) que los contenga.

2.12. Sensación astringente

Algunos productos cárnicos presentan cierta astringencia que se manifiesta tras su consumo. En jamón cocido, Serra *et al.* (2019) encontraron que el uso de carne en *postrigor* daba lugar a un producto más astringente que cuando se usaba carne *prerigor*. Se trata de sensaciones táctiles relacionadas con la película salivar. Así, por ejemplo, los polifenoles interaccionan con las proteínas salivares para formar complejos polifenol-proteína que precipitan, alterando la estructura de la película salivar y la lubricación oral. De forma similar, algunas personas sensibles afirman notar una sensación parecida en la raíz de los dientes en productos con fosfatos añadidos, lo cual podría ser debido al efecto del tripolifosfato sódico (STPP) en la película salivar observado por Ash *et al.* (2014) o a una disolución incompleta de dichos fosfatos añadidos. Por otra parte, Smith *et al.* (1984) detectaron notas metálicas y a jabón en productos a los que se les añadió STPP.

3. Flavor

El flavor es una combinación compleja de sensaciones olfativas, gustativas y trigeminales percibidas durante la degustación, que puede estar influido por las propiedades táctiles, térmicas, dolorosas e incluso por efectos cinestésicos. El flavor de los productos cocidos viene determinado por su composición química, estructura, microbiota, ingredientes, aditivos y el proceso de cocción/ahumado/horneado que haya sufrido el producto.

La matriz cárnica está constituida por agua, proteínas, lípidos e hidratos de carbono y micronutrientes que incluyen vitaminas (especialmente del grupo B), minerales, péptidos, nucleótidos y sus metabolitos. Durante el tratamiento térmico se producen numerosas reacciones químicas que dan lugar a distintas sustancias, algunas de las cuales son volátiles y afectan al aroma, otras son no volátiles y afectan al sabor y otras son potenciadores del sabor o aroma. El tipo de tratamiento térmico afecta al flavor del producto cárnico. Por ejemplo, los sabores del caldo se incorporan en parte al producto durante la cocción, y durante el horneado se desarrollan gran cantidad de compuestos de la reacción de Maillard, especialmente en superficie. En productos de cierta calidad y, sobre todo, los que tienen una capa de piel y grasa, se han detectado

cambios en las características sensoriales durante el periodo posterior a la cocción. De manera simple podría decirse que el producto “se asienta”, dando lugar a una textura más suave y a un mejor aroma. Por eso se recomienda esperar el tiempo óptimo antes de la comercialización, que dependerá de cada tipo de producto.

El aroma de la carne deriva de productos de la reacción de Maillard (i.e., reacción de pardeamiento no enzimático entre grupos amino (e.g. aminoácidos) y grupos carbonilo (e.g. azúcares reductores y carbonilos procedentes de la oxidación de los lípidos), de la oxidación de los lípidos (especialmente fosfolípidos), de la degradación de Strecker y de la degradación de la tiamina y de los carbohidratos. Los productos de oxidación pueden producir aromas agradables como los que se obtienen en los productos fritos, pero algunas reacciones dan lugar a notas negativas. Así pues, existe un delicado equilibrio entre los volátiles generados en la reacción de Maillard y las reacciones de oxidación, las interacciones entre ellas y con el oxígeno. Este equilibrio es el que hace inclinar la balanza hacia un flavor cárnico deseable o hacia un flavor oxidado/recalentado indeseable (*warmed-over flavor*) (Afzal, et al., 2022; Flores, 2017).

Gusto

El sentido del gusto se sitúa fundamentalmente en la cavidad bucal, especialmente en la lengua, donde se encuentran los receptores específicos. Los gustos o sabores básicos descritos son: el dulce, el salado, el ácido, el amargo y el umami. Últimamente también se evalúa como posible sabor básico el de la grasa, aunque aún no está aceptado como tal. Otros candidatos a sabores son el sabor a calcio, metálico, kokumi y carbohidratos (Hartley et al., 2019).

Los receptores de gusto se encuentran, además, en diferentes partes del cuerpo y tienen dos funciones principales: 1) los *inputs* sensoriales afectan a lo que pensamos, decidimos y cómo nos comportamos frente a determinados alimentos tanto de forma consciente como inconsciente, 2) los *inputs* sensoriales afectan a la fisiología y al proceso metabólico, e informan de los nutrientes y toxinas una vez ingeridas. Estas dos funciones sirven para crear nuestras preferencias y hábitos alimentarios (Breslin, 2013).

Gusto umami

El gusto umami (delicioso en japonés) es un sabor básico, y si bien se asocia generalmente al glutamato monosódico libre, hay otras sustancias como las sales del ácido aspártico y otros aminoácidos, así como numerosos péptidos y productos de la reacción de Maillard que también proporcionan gusto umami. Por otra parte, existen sustancias que potencian el sabor umami (sinérgicos) como, por ejemplo, algunos péptidos y nucleótidos (IMP, GMP).

El sabor umami estimula el apetito y el flujo salivar (facilita masticación, deglución y limpieza de la boca), favorece la digestión, proporciona saciedad, indica al cuerpo la presencia de aminoácidos accesibles y contribuye a generar una sensación satisfactoria. Los compuestos con sabor umami contribuyen a equilibrar el sabor, hacerlo más sabroso y persistente. Aumentan el sabor salado (a bajas dosis de sal) y el dulce, disminuyen el amargo y matizan el ácido. La estimulación de los receptores umami (presentes en todo el tubo digestivo) puede afectar a la absorción de nutrientes, ya que da información al cerebro y prepara el tracto digestivo para digerir proteínas. Además, sirve de ayuda a las personas con problemas de hipogeusia e hiposalivación.

Así pues, el sabor umami, lo proporcionan los aminoácidos libres y péptidos añadidos o que se generan durante la maduración, fruto de los procesos proteolíticos que tienen lugar de forma natural sobre las proteínas de la carne, hígado... y de las reacciones que sufren las sustancias que de ellas se derivan, como, por ejemplo, la reacción de Maillard que se produce durante la cocción.

Gusto dulce

El gusto dulce se considera una nota positiva, si es poco manifiesto, y suele estar relacionado con los azúcares residuales presentes en el producto. Incluso la propia sal a baja concentración proporciona sabor dulce.

Gusto a grasa

Se ha localizado un receptor químico (CD36), en las papilas gustativas de la lengua, capaz de reconocer las moléculas de grasa (Laugerette et al., 2005). Se ha detectado también que los individuos con mayor sensibilidad a este sabor tienden a con-

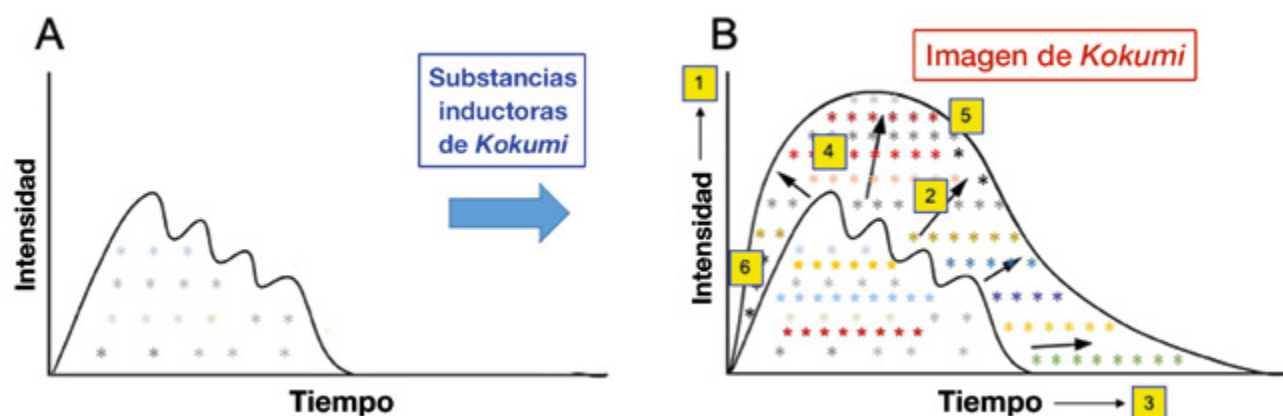


Imagen 42a. Representación teórica de *kokumi* con 6 características relacionadas. Bajo la influencia de sustancias *kokumi* el producto cocido con notas umami y de otras sustancias sápidas (A) mejora en palatabilidad mediante los atributos *kokumi* (B). 1. Intensidad, 2. Sensación de plenitud en boca, 3. Persistencia de la sensación, 4. Riqueza/complejidad, 5. Armonía/equilibrio/redondo, 6. Aumento brusco de intensidad. (Yamamoto & Inui-Yamamoto, 2023).

sumir menos grasas que aquellos que no son capaces de detectarlo.

Gusto *kokumi*

Sabor asociado a ciertas sustancias que activan un receptor de sensibilidad al calcio también sensible al glutatión. Es un conjunto de sensaciones características de los alimentos con sabores ricos, intensos y armónicos. Aún no está aceptado como sabor básico. En la **imagen 42a** se observa una representación teórica del *kokumi* y de sus características. Bajo la influencia de sustancias *kokumi* los productos cocidos con notas umami y otras sustancias sápidas mejoran en palatabilidad mediante los atributos *kokumi* en términos de: intensidad, sensación de plenitud en boca, persistencia de la sensación, riqueza de matices/complejidad, armonía/equilibrio, aumento inicial de la intensidad. Algunas sustancias *kokumi* no tienen sabor, pero su efecto se observa cuando se añaden a alimentos complejos que tengan umami. Es entonces cuando se expresa el concepto *kokumi*, ya que las sustancias umami facilitan la interacción de las sustancias *kokumi* con los receptores *kokumi* (Yamamoto & Inui-Yamamoto, 2023). El *kokumi* es un aspecto cuantitativo del flavor en términos de riqueza/complejidad, armonía, plenitud en boca y persistencia, que se puede obtener mediante la adición de ciertos aromas “kokumi” o a través de cocciones largas debido a la generación de sustancias *kokumi*.

Las tecnologías de procesamiento actuales, a pesar de tener cierta variabilidad, permiten obtener una gran diversidad de productos seguros y sabrosos,

aunque en ocasiones, se observan desviaciones de las características sensoriales deseadas. A continuación, se detallan los principales problemas de flavor que se encuentran en los productos cárnicos tratados por el calor.

3.1. Problemas de flavor/sabor producidos por ingredientes y procesos

3.1.1. Olor y sabor ácidos

En los derivados cárnicos cocidos, el olor y sabor ácidos suelen considerarse un problema. Una excepción a ello sería el caso de los embutidos curado-madurados cocidos. El problema se detecta por un lado en el olor ácido que se presenta al abrir el envase y por otro en el flavor ácido en boca.

La carne contribuye al sabor ácido mediante el ácido láctico producido en la glucólisis *post mortem* y por la cantidad de glucógeno, glucosa y glucosa-6-fosfato aportados por la carne que junto a los azúcares añadidos pueden ser transformados en ácidos por la microbiota acidificante presente en el producto. Así pues, la carne en “pre-rigor” tiene un sabor menos ácido que la carne en “post-rigor”. El problema de acidificación puede ocurrir durante el proceso de cocción si este es muy lento y el producto tiene un diámetro considerable, pero es especialmente importante en los productos loncheados o en los productos cocidos reenvasados a los que no se les aplica un tratamiento térmico después del envasado o en los que el tratamiento térmico es insuficiente. Además, los lineales comerciales tienen con frecuencia temperaturas que a menudo son inadecuadas para frenar el crecimen-

to de la microbiota acidificante. De cara a disminuir el problema de acidificación los productos cocidos se lonchean en salas blancas, donde deben tomarse medidas para prevenir la contaminación de las lonchas (Ver 1.18.1).

La acidificación dentro del envase aumenta con el contenido de azúcares residuales fermentables y con la temperatura de almacenamiento, y puede reducirse mediante la aplicación de un tratamiento de alta presión en productos envasados al vacío o en MAP flexible. El uso de conservadores que frenen el crecimiento de las bacterias lácticas, tales como el etil-lauroil-arginato (LAE) (Coronel-León *et al.*, 2016; Magrinyà *et al.*, 2015) y las sales sódicas y potásicas del lactato y acetato es también de utilidad para reducir el problema.

Por tanto, realizar un tratamiento térmico adecuado, mantener la cadena de frío, disminuir la temperatura de almacenamiento a valores próximos a su punto de congelación, evitar recontaminaciones, limitar la dosis de azúcares, usar conservadores adecuados, tratar por alta presión y adecuar la vida útil de los productos reducen el riesgo de acidificación de los derivados cárnicos cocidos.

3.1.2. Sabor salado

La función gustativa principal de la sal es la de potenciador del sabor, y el sabor salado se considera impropio en la mayoría de productos cocidos. La sal ayuda a enmascarar el sabor metálico y amargo y potencia el umami (Zhao *et al.*, 2016).

El sabor salado viene determinado por factores del propio producto tales como el contenido de sal común u otras sales sódicas (e.g. lactato sódico,...), la temperatura a la que ha sido tratado térmicamente el producto y a la que se sirve, el grado de unión que presentan los iones sodio y cloruro con el producto, la heterogeneidad en la distribución de sal dentro del mismo, el contenido de grasa, la estructura del producto y la sensibilidad del consumidor al gusto salado, la cual se acentúa si disminuye la ingesta de sal en la dieta. Algunos estudios sugieren que ciertos aromas pueden aumentar el sabor salado a través de cambios de la percepción del sabor inducidos por el olor (Lawrence *et al.*, 2009). Así, por ejemplo, se ha observado que el aroma a queso (Pionnier *et al.*, 2004) y el de salsa de soja (Djordjevic *et al.*, 2004) aumentan la percepción de la intensidad del sabor salado.

Cuando la distribución de sal es heterogénea, el sabor salado de la loncha lo determina el punto más salado de la misma.

Parece obvio que todo aquello que facilite la disolución de la sal dará lugar a un sabor salado de forma más rápida. La disolución de la sal está relacionada con la textura y estructura del alimento y de cómo éstas cambian al masticar.

El olor a recalentado se produce fundamentalmente en carnes precocinadas no nitrificadas que se vuelven a calentar en presencia de oxígeno

Cuando se añade lactato sódico se recomienda disminuir el contenido de sal, de forma que por cada 6 g de lactato sódico se disminuye un gramo de sal. Los azúcares, maltodextrinas o sorbitol aumentan el sabor dulce que compensa en parte el sabor salado.

En productos con un alto contenido de grasa, la intensidad del sabor salado es menor que en productos magros a una misma concentración de sal. Sin embargo, a una determinada intensidad de sabor salado, un aumento en el contenido de sal se percibe más en productos grasos que en productos magros (Hammer, 1981b).

En salchichas cocidas tipo frankfurt el enfriamiento utilizando salmuera facilita la absorción de sal y contribuye a aumentar su contenido, así como el sabor salado. Por otra parte, la comercialización de salchichas en salmuera permite aumentar el contenido de sal en la masa inicial, lo cual mejora la funcionalidad de las proteínas cárnicas (fuerza de gel y capacidad emulsionante), y puede reducirse su contenido posteriormente si se añade menos sal a la salmuera de envasado.

En el envasado en atmósfera modificada puede aumentar el sabor salado debido a la pérdida local de agua que sufren las puntas de las lonchas, especialmente cuando el espacio de cabeza es elevado. Esto aumenta la heterogeneidad en el contenido de sal, que tiene como consecuencia un aumento del sabor salado.

3.1.3. Sabor amargo

El sabor amargo no suele ser común en productos cocidos. Puede darse si se produce una proteólisis intensa o se añaden cantidades importantes de sales de potasio o de magnesio como sustitutos de la sal común. El cloruro potásico es uno de los sustitutos más habituales de la sal común, por lo que, para disminuir su sabor se pueden añadir otras sales, especias, azúcares, polioles, productos con sabor umami, aromas o aniones de gran tamaño que compensen el sabor amargo o lo enmascaren (Cepanec *et al.*, 2017; Tan *et al.*, 2022; Nurmilah *et al.*, 2022).

También se puede detectar un sabor amargo en productos que contengan hígado, si se adiciona un elevado porcentaje de éste, o la limpieza de los conductos biliares es insuficiente. Se recomienda lavar bien los hígados y/o extraer los conductos biliares mediante sistemas mecánicos (e.g. Baader).

3.1.4. Recalentado (*warmed-over flavor*)

El olor a recalentado (en inglés *warmed-over flavor*, *WOF*) se produce, fundamentalmente, en carnes precocinadas, no nitrificadas, que se vuelven a calentar en presencia de oxígeno. Si bien el término “*warmed-over flavor*” es el más usado en la literatura científica, algunos autores han sugerido cambiar el nombre por el de deterioro del flavor de la carne (“*meat flavor deterioration*”, *MFD*). Se describe en términos de viejo, cartón, rancio... y se relaciona con el deterioro oxidativo de la carne (Mielche *et al.*, 1994; Brewer *et al.*, 2007; Pegg *et al.*, 2014). Está provocado por la oxidación catalizada por hierro de los ácidos grasos insaturados, aunque hay evidencias de que la degradación de las proteínas también puede contribuir a ello, especialmente en lo referente a la desaparición de notas positivas de flavor cárnico. La oxidación de los lípidos es debida fundamentalmente a que el hierro está más disponible al desnaturalizarse las proteínas por el calor, y los fosfolípidos son la fracción más afectada, ya que tienen un alto contenido de ácidos grasos insaturados y una mayor proximidad física a las hemoproteínas y al hierro no hémico al desnaturalizarse las membranas. La transformación del Fe (II) a Fe (III) se ve favorecida por el calor y es una de las causas de la rápida oxidación en carnes cocidas. La incorporación de hierro u otros metales (e.g. iones Cu) a través del agua o los elementos de corte faci-

litan el sabor a recalentado. Así pues, debe tenerse cuidado en la conservación de agujas de inyección, placas y elementos de corte, realizar un buen secado de las máquinas después del lavado, mantener un buen estado de conservación de las máquinas y evitar el goteo sobre la carne de condensaciones producidas sobre elementos metálicos. Por tanto, tal como es de esperar, la adición de quelantes de dichos iones metálicos (e.g. polifosfatos) y antioxidantes reducen el sabor a recalentado. La nitrificación estabiliza el hierro al cocer, de forma que no se produce sabor a recalentado. La inhibición de la oxidación puede ser debida a que el nitrito previene el desprendimiento del hierro del hemo, porque estabiliza los lípidos insaturados de la membrana, hace que el hierro no esté disponible para catalizar la oxidación de los lípidos y liga los radicales libres vía óxido nítrico. El ascorbato/isoascorbato y sus ácidos hacen un efecto sinérgico con otros antioxidantes (e.g. tocoferoles) y con los sinérgicos antioxidantes (e.g. fosfatos, citrato) frente a la oxidación. El uso de ingredientes oxidados y la presencia de restos de desinfectantes oxidantes facilitará el flavor a recalentado. La adición de sal a los derivados frescos y a los destinados a conservar en congelación también facilita la oxidación y el desarrollo del flavor a recalentado (Buckley *et al.*, 1989; Kanner, 1994).

El flavor a recalentado se detecta también en los preparados de carne en los que hay una cantidad importante de metamioglobina. En estos casos incluso se detecta en fresco o justo después de cocer, es decir, no hace falta recalentar de nuevo. Toda acción que suponga un daño a la estructura celular (e.g. picado, deshuesado, masaje, cocción) facilitará los fenómenos oxidativos. Dentro de una misma especie, el sabor a recalentado es mayor en músculos rojos que en blancos debido al mayor contenido de hierro y de fosfolípidos en los rojos. Se han observado diferencias entre especies, de forma que las carnes que contienen grasas más poliinsaturadas y menos antioxidantes tienden a oxidarse más fácilmente (pavo > pollo > cerdo > buey > cordero) y a desarrollar flavor a recalentado (Cross *et al.*, 1987). La suplementación con vitamina E alarga la frescura del flavor, inhibe el WOF y mejora la terneza y jugosidad, ya que se almacena en las membranas celulares previniendo la oxidación de los fosfolípidos.

Los productos que permanecen durante tiempo en contacto con una fuente de calor (e.g. en *catering* y restaurantes) desarrollan de forma rápida el sabor a recalentado, por lo que debe reducirse al mínimo necesario el tiempo entre cocinado y consumo.

Los productos de reacción de Maillard, que se producen durante la cocción, reducen el sabor a recalentado, por lo que el asado y la adición de azúcares reductores/aminoácidos libres, el aumento del pH y la disminución de la a_w superficial disminuirán el problema de WOF si la temperatura de cocción es adecuada. Por tanto, al aumentar la temperatura, si bien aumentan también los fenómenos de oxidación, aumenta la reacción de Maillard y, en consecuencia, según la composición y condiciones dominará la acción antioxidante de la reacción de Maillard o la prooxidante del aumento de temperatura. Así, por ejemplo, el calentamiento por microondas favorece la oxidación comparado con el asado.

La reacción de Maillard se produce fundamentalmente en la superficie del producto, y representa una protección frente a la oxidación, por lo cual es recomendable mantener la integridad de dichos productos tanto como se pueda. El loncheado permite el contacto con el oxígeno y hace que la protección que se tenía se pierda, especialmente si no se envasa inmediatamente en atmósfera sin oxígeno.

Los extractos de levaduras y productos derivados también presentan propiedades antioxidantes debido a la presencia de glutatión, productos de reacción de Maillard y aminoácidos sulfurados.

Las sustancias que enmascaran otras notas como la metálica pueden enmascarar las notas de recalentado. Las notas ahumadas, especiadas o picantes captan la atención del consumidor, ya que dominan en el paladar. En las piezas enteras, el marinado es útil para incorporar ingredientes que prevengan o enmascaren el WOF.

Dado que el oxígeno facilita los procesos de oxidación, se recomienda tener un buen nivel de vacío en los procesos que tienen lugar antes de cocción y reducir el oxígeno presente en las salmueras de inyección para evitar la oxigenación de la carne inyectada y la posterior oxidación del pigmento (**imágenes 7e, 7g**). Además, hay que tener en cuenta que en los productos elaborados envasados en

MAP es difícil tener un residual de oxígeno muy bajo en el espacio de cabeza. En este caso, para proteger la carne de la oxidación, puede ser útil recubrirla con una salsa que puede reforzarse con antioxidantes. También pueden utilizarse absorbentes de oxígeno o adicionar cultivos que reduzcan el contenido de oxígeno.

Por tanto, para disminuir el sabor a recalentado se debe inhibir la oxidación lipídica y de las proteínas, para lo cual se recomienda utilizar carnes muy frescas preferentemente con dietas suplementadas con vitamina E (Ashgar *et al.*, 1991) y con un contenido de ácidos grasos poliinsaturados limitado, evitar el contacto con oxígeno durante el procesado y envasado (e.g. cubrir con salsas y utilizar materiales de envasado alta barrera al oxígeno), evitar la luz, cocinar o recalentar al vacío/sin contacto con oxígeno, reducir el tiempo entre la cocción y el consumo, ligar el hierro u otros metales con nitrito y/o quelantes, evitar utilizar ingredientes que contengan metales prooxidantes, añadir antioxidantes o generarlos durante la cocción (reacción de Maillard) y utilizar sustancias enmascaradoras del flavor a recalentado (Brewer & Decker, 2007).

3.1.5. Rancio

El flavor rancio es una nota indeseable en la mayoría de los productos cárnicos cocidos. Su aparición se favorece con el uso de carne con grasas insaturadas y que contenga pocos antioxidantes, especialmente si se ha mantenido congelada por un largo período de tiempo. Las tripas naturales pueden conferir notas rancias si han estado almacenadas durante mucho tiempo en contacto con el aire. El pimentón si está oxidado también puede conferir notas defectuosas al embutido. El vacío, los films alta barrera al oxígeno, un residual de oxígeno inferior a 0,15 % en el espacio de cabeza, una baja relación gas/producto, el uso de nitrificantes, el ahumado, la generación de productos de la reacción de Maillard y la adición de antioxidantes a la masa retrasa el enranciamiento, mientras que la luz, las temperaturas elevadas y el envasado en atmósfera con oxígeno lo favorecen. En los envases con atmósfera modificada de loncheados finos es más difícil tener un buen nivel de vacío que en los de loncheado estándar, y al sacar del envase su mayor relación superficie/volumen facilita el enranciamiento.

En los embutidos cocidos tradicionales que posteriormente se someten a un proceso de secado (**imagen 26g**), la presencia de una ligera nota rancia en el exterior del embutido se puede considerar algo propio del producto.

3.1.6. Oxidación del aroma por falta de nitrito

Cuando se elabora jamón cocido sin nitrito, no hay suficiente protección antioxidante, por lo que se producen compuestos de oxidación que afectan a su aroma y le confieren un sabor de carne cocida refrigerada. La ausencia de nitrito favorece la oxidación de los ácidos grasos y la producción de aldehídos, que enmascaran el olor de los compuestos sulfurados responsables del aroma típico del jamón cocido (Thomas, 2014). El nitrito es un excelente antioxidante (Macdonald *et al.*, 1980a, b) que actúa según diversos mecanismos:

- Por reacción con el oxígeno. Frena reacciones radicalarias.
- Por reacción con el hierro de la mioglobina: limita la liberación de hierro libre prooxidante estabilizando el pigmento (Sebranek & Bacus, 2007), y además puede estabilizar el hierro libre.
- Por estabilización de los componentes de la membrana lipídica (Gray & Pearson, 1984).
- Por formación de derivados nitrosados, como la S-nitrosocisteína, que posee propiedades antioxidantes (Andrée *et al.*, 2010).

Según Macdonald *et al.* (1980b), 50 mg·kg⁻¹ de nitrito añadido son suficientes para tener una protección antioxidante suficiente en jamón cocido. Sebranek & Bacus (2007) observaron que la adición de 50 mg·kg⁻¹ de nitrito reducían la oxidación entre el 50 % y el 64 % en relación a la carne no nitrificada. La adición de 100 mg·kg⁻¹ redujo la oxidación entre el 57 % y el 72 %, y cuando se añadieron 200 mg·kg⁻¹ la reducción fue del 91 %. La adición de 40 mg·kg⁻¹ de nitrito permite producir un aroma distinto del de la carne no nitrificada (Pegg *et al.*, 2000), pero se precisan al menos 50 mg·kg⁻¹ de nitrito para el desarrollo del aroma típico de jamón cocido (Macdonald *et al.*, 1980c).

La oxidación se ve afectada por los procesos a los que se ven sometidos los productos cocidos, especialmente si no se añaden antioxidantes: picado, coterado y masaje (mayor si es sin vacío),

cocción y enfriamiento (afectado por el nivel de vacío y la permeabilidad al oxígeno del material de envase).

Según Thomas (2014) la acción conjunta de la adición de tiamina y de antioxidantes (e.g. ascórbico, catequina y quercetina) permitieron obtener jamones no nitrificados con un aroma y estabilidad oxidativa similar a la del jamón cocido nitrificado.

3.1.7. Olor a grasa cocida oxidada

Es un olor que es común en embutidos cocidos escaldados no nitrificados que sufren un período de secado y que normalmente se comercializan a temperatura ambiente y sin envasar. En embutidos curados esta nota se atribuye a fenómenos de oxidación producidos por bacterias lácticas (Ferrini *et al.*, 2014). Para evitar dicho problema, en productos cocidos destinados a secar, es recomendable evitar el uso de carnes y tripas oxidadas, secar, almacenar a baja temperatura y adicionar ingredientes con función antioxidante.

3.1.8. Orina de gato

La presencia de óxido de mesitilo como impureza en el barniz de la costura lateral de las latas, puede ser responsable, tras reaccionar con el H₂S que está presente de forma natural en la carne o se forma en la cocción, de la generación de 4-mercapto-4-metilpentan-2-ona, que es el compuesto responsable del olor a orina de gato (Aylward *et al.*, 1967; Patterson & Rhodes, 1967). El olor se ha observado en carne almacenada en un local recién pintado, en cerveza, en jamón “*cook-in*” (Franz *et al.*, 1990), en otros alimentos ricos en sulfuros y en agua residual. Para prevenir el problema deberían eliminarse del proceso de envasado los precursores directos del óxido de mesitilo, como el alcohol de diacetona, y los indirectos como la acetona, y debería considerarse la capacidad potencial de deshidratación del polímero etilenoimono (Mottram, 1998).

3.1.9. Olor a tripa

El olor a tripa se debe al uso de tripas insuficientemente limpias o desodorizadas. Además, las tripas naturales saladas deben almacenarse siempre a una temperatura inferior a 7 °C para evitar el crecimiento de halófilos que pueden producir olores desagradables y coloraciones rosáceas (**imagen 40e**).

3.1.10. Defectos de ahumado

El uso, para el ahumado, de maderas enmohecidas o impregnadas de determinadas sustancias pueden conferir un aroma desagradable al producto.

3.1.11. Olor a confinado

En algunos embutidos (e.g. pavo) se notan olores sulfhídricos (olor a confinado) al abrir el envase, fruto de la presencia de mercaptanos. Una vez el producto se ha ventilado, el olor deja de notarse. Mantener el producto en el mismo envase de cocción durante unas dos semanas antes de lonchear, permite que dichos compuestos reaccionen con otras sustancias y disminuya el problema. Además, el uso de envases activos y aromas frescos puede contribuir a reducir dicho problema.

3.1.12. Tostado

El sabor a tostado es fruto de la reacción de Maillard que se produce al cocer, siendo la reacción más importante en la parte externa, especialmente cuando se hace a alta temperatura. El hígado, debido a su contenido en glucosa, favorece la reacción de Maillard y la aparición de notas tostado/quemado indeseadas durante el tratamiento térmico de esterilización (Jaud & Fischer, 1994) que pueden intensificarse con los aminoácidos presentes o añadidos (Hilmes & Fischer, 1997a). La adición de 0,15 % de N-Acetil-L-Cisteína a la emulsión reduce dichas notas defectuosas (Hilmes & Fischer, (1997b); Hilmes *et al.*, (1998)).

3.1.13. Olor sexual

El olor desagradable que presenta la carne de algunos machos enteros (**imágenes 42b, c**) es debido fundamentalmente a la presencia de 5 α -androst-16-en-3-ona (olor a urinario de hombres) (Patterson, 1967) y/o escatol (olor fecal) (Hansson *et al.*, 1980), aunque se han encontrado otras sustancias como la 4-fenil-3-buten-2-ona que podrían potenciar el olor a macho entero en muestras con contenido limitado de androstenona y escatol (Rius & García-Regueiro, 2001). Es un problema que se presenta también, en ocasiones, en piezas y embutidos cocidos en los que hay una elevada proporción de carne o grasa procedente de machos enteros. Este problema es mayor en aquellos productos que se calientan antes de consumirlos y en

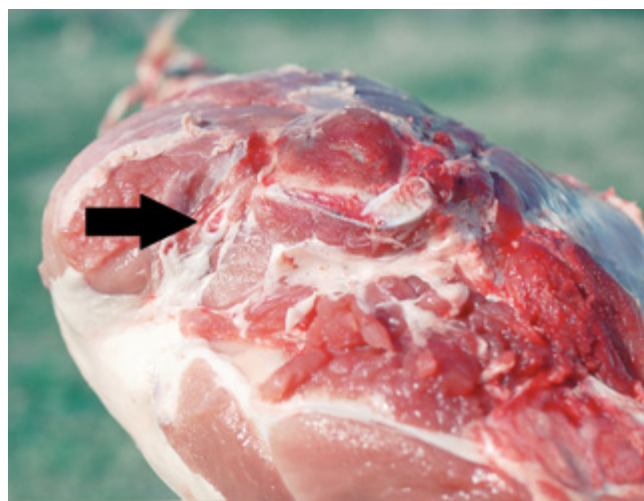


Imagen 42b. Aspecto de un jamón de macho.

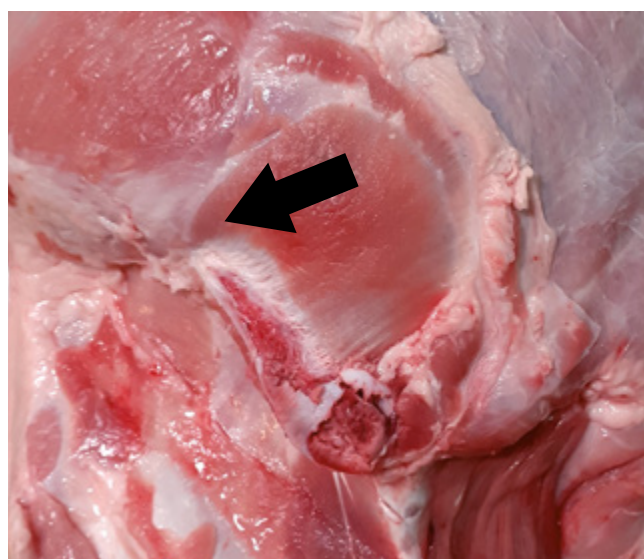


Imagen 42c. Aspecto de un jamón de hembra.

los de picado grueso donde el efecto dilución es menor que en picado fino. En productos de picado muy fino las sustancias responsables del olor se pueden diluir más rápidamente y el problema desaparece si el contenido medio de dichas sustancias en el producto final es inferior al umbral de detección. Si bien la mejor solución para evitar el problema del olor sexual es utilizar carne de hembras o de animales castrados, algunos autores (Squires *et al.*, 2020; Font-i-Furnols *et al.*, 2020; Weiler *et al.*, 2021; Egea *et al.*, 2020; Martínez *et al.*, 2016; Škrlep *et al.*, 2020; Aluwé *et al.*, 2011; Van Wagenberg *et al.*, 2013) han planteado diversas soluciones que permitirían paliar el problema. La dilución recomen-

dada en salchichas es de 1:10 (1 parte de carne + magros de machos enteros descartados por olor sexual y 10 partes de carne + magros de animales sin olor). El efecto enmascarador del olor sexual debido al ahumado tradicional es mayor que el del humo líquido. Dicho efecto enmascarador aumenta con la intensidad de ahumado y el uso de determinadas especias. El aumento del tiempo o la temperatura de cocción y la fermentación no son útiles para reducir el problema del olor sexual (www.boar-taint.dk).

3.1.14. Olor a cuadra de cerdos

El olor a cerdo/cuadra es similar al de los cerdos vivos. De los varios centenares de sustancias detectadas en el ambiente y que se han relacionado con el olor a cuadra de cerdo, las que tienen un mayor impacto son los ácidos carboxílicos de cadena corta (e.g. ácido isovalérico), los compuestos azufrados (e.g. metilmercaptano), los fenoles (e.g. p-cresol (olor a estiércol seco), los indoles (indol y escatol) y las aminas. Por tanto, no debe confundirse el problema del olor a cuadra (aromáticamente complejo y asociado tanto a hembras como a machos, independientemente de si son o no castrados) con el del olor sexual (asociado a los machos enteros y a unas sustancias muy concretas). Si bien se han realizado diversos estudios para reducir el impacto ambiental de los olores derivados de la cría de cerdos y de la gestión de sus residuos (Ni *et al.*, 2012; Koziel *et al.*, 2007; Qu *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2014; Korczyński *et al.*, 2011), apenas se han encontrado estudios publicados en los que se evalúe el impacto directo de dichos olores en la calidad de la carne de cerdos castrados y hembras y de posibles métodos para reducir dicho impacto. Es interesante el estudio de Hansen *et al.* (1994) en el que se afirma que el escatol puede ser absorbido a partir del estiércol, así pues, los cerdos sucios, independientemente del sexo pueden acumular escatol en la grasa, especialmente en el período cálido. Estudios realizados utilizando escatol radiactivo confirmaron que se podía absorber a través de la piel, particularmente en el área de la panceta y a través de los pulmones especialmente a temperatura elevada (Hansen, 1998). De forma análoga es de esperar que otros compuestos relacionados con el olor a cuadra puedan también absorberse especialmente en períodos cálidos.

El olor a cuadra es un problema que se detecta con mayor frecuencia en productos que contienen pieles de cerdo. La limpieza de las pieles (e.g. con una solución de ácido láctico), el lavado de hígados, el ahumado, la oxidación durante el procesamiento, la reacción de Maillard y la aromatización adecuada reducen este olor. Sería interesante realizar estudios para evaluar el impacto: i) del tiempo de ayuno, ii) de la limpieza de los animales durante los últimos días de vida, en el transporte y antes del aturdido, iii) del tipo de escaldado y la frecuencia de renovación del agua de inmersión y iv) del lavado de las canales antes y después de la evisceración en la incidencia e intensidad del olor.

3.1.15. Falta de sabor/aroma

En los productos envasados en tripa natural y cocidos en caldera se produce una pérdida importante de sal y otras sustancias sápidas si la cocción se hace con agua nueva. Para evitarlo se debe corregir la sal y usar caldos aromatizados. Alternativamente, se pueden utilizar tripas impermeables o cocer en horno. En las salchichas tipo frankfurt en salmuera puede ocurrir que pierdan sabor debido a que los ingredientes de dichas salmueras de gobierno no estén bien equilibrados con los ingredientes de las salchichas.

Cuando se conserva un producto cocido sin envasar durante mucho tiempo en congelación, se produce la pérdida paulatina de componentes volátiles responsables del aroma, lo cual reduce la intensidad del mismo.

En el proceso de envasado al vacío se produce una pérdida de volátiles, la cual aumenta con la intensidad de vacío y su duración. Por otra parte, en el envasado en atmósfera protectora se detecta una mayor pérdida de aroma que cuando se envasa al vacío. En las lonchas muy finas, la elevada superficie de contacto con la atmósfera facilita la pérdida de volátiles responsables del aroma, por lo cual se recomienda un consumo rápido una vez abierto el envase.

3.1.16. Evolución del sabor/aroma

Durante el proceso de cocción tienen lugar diferentes reacciones que generan diversas sustancias que contribuyen al aroma del producto. Una vez enfriado el producto, algunas de las sustancias generadas durante la cocción sufren reacciones

posteriores y precisan de cierto tiempo para equilibrarse entre las partes magras y grasas en función del coeficiente de partición de cada substancia y de su movilidad en la estructura del producto. Por otra parte, se producen cambios de estructura en las fracciones grasas que pueden afectar a la sensación en boca del producto. Así, por ejemplo, en los jamones cocidos en lata es común mantener el producto durante varias semanas macerando para que el aroma se enriquezca y se equilibre.

La reducción del contenido de oxígeno en la masa del embutido mediante la aplicación industrial de vacío al proceso de amasado y embutido final y el uso de materiales alta barrera al oxígeno disminuye la oxidación de la grasa, del aroma y del color, por lo que mejora la estabilidad sensorial a lo largo de la vida comercial, especialmente en los productos más sensibles (e. g. aquellos en los que se busca tener etiquetas limpias y poseen pocos ingredientes no cárnicos y pocos antioxidantes).

La evolución de la microbiota del embutido afectará a la evolución de las características sensoriales durante la vida útil del producto (ver apartado 1.18).

3.1.17. Otros olores extraños

En ocasiones, en los embutidos cocidos se observan olores extraños correspondientes a oxidaciones o crecimientos microbianos indeseados. La microbiota de la materia prima puede afectar a la calidad sensorial del producto, por lo que debe utilizarse carne lo más fresca posible y tener en cuenta que cuanto más manipulada esté la carne, mayor será su contaminación y mayores posibilidades de que surjan olores extraños debidos a crecimiento microbiano y a procesos oxidativos. Así, por ejemplo, la contaminación de piezas enteras es inferior a la de los magros, y dentro de estos, los que están más contaminados son los magros de cabeza, diafragma, magros de matadero y la carne separada mecánicamente. Por otra parte, los recortes de panceta de cerdas reproductoras y las papadas pueden estar también más contaminadas. Se debe realizar un programa adecuado de limpieza/desinfección y secado posterior de superficies, eliminación de biofilms y condensaciones para evitar contaminaciones indeseables. El mal estado de las tripas naturales debido a un crecimiento microbiano puede generar olores putrefactos que se transmitan al embutido.

Asimismo, se debe realizar un buen mantenimiento de maquinaria y utensilios para evitar la presencia de superficies oxidadas en contacto con la carne. El reprocesado es una de las fuentes de contaminación que pueden generar desviaciones en la calidad del producto. Dentro del reprocesado podemos distinguir el reprocesado fresco (roturas en la embutición, puntas), el de los productos cocidos manipulados y el de productos que han sufrido procesos de oxidación o crecimiento microbiano indeseado. Los productos que han sufrido procesos de oxidación o crecimiento microbiano pueden afectar negativamente al aroma del producto. Finalmente, es importante señalar que la irradiación altera el aroma de la carne, pero los efectos negativos se pueden reducir en parte disminuyendo la temperatura antes de irradiar (congelando) y envasando sin oxígeno (Brewer, 2009).

4. Conclusión

Los productos cárnicos cocidos poseen una gran riqueza de matices sensoriales. Un mayor conocimiento del efecto de la materia prima, la microbiota, los distintos ingredientes y aditivos y las variables de proceso, de envasado y comercialización en la apariencia, textura, olor y flavor permitiría reducir algunos de los problemas que se encuentran en estos productos y mejorar su calidad sensorial.

5. Bibliografía

- **Afzal, A., Saeed, F., Afzaal, M., Maan, A. A., Ikram, A., Hussain, M., ... & Anjum, W.** (2022). The chemistry of flavor formation in meat and meat products in response to different thermal and non-thermal processing techniques: an overview. *Journal of Food Processing and Preservation*, e16847.
- **Ahn, D.U. & Maurer, A.J.** (1990). Poultry meat color: kinds of heme pigments and concentrations of the ligands. *Poultry Sci.* 69:157-165.
- **Ahn, D. U., & Maurer, A. J.** (1989a). Effects of added pigments, salt, and phosphate on color, extractable pigment, total pigment, and oxidation-reduction potential in turkey breast meat. *Poultry science*, 68(8), 1088-1099.
- **Ahn, D. U., & Maurer, A.** (1989b). Effects of sodium chloride, phosphate, and dextrose on the heat stability of purified myoglobin, hemoglobin, and cy-

- tochrome c. *Poultry Science*, 68(9), 1218-1225.
- **Ahn, D. U., & Maurer, A. J.** (1989c). Effects of added nitrite, sodium chloride, and phosphate on color, nitrosoheme pigment, total pigment, and residual nitrite in oven-roasted turkey breast. *Poultry Science*, 68(1), 100-106.
 - **Aluwé, M., Bekaert, K. M., Tuytens, F. A. M., Vanhaecke, L., De Smet, S., De Brabander, H. F., ... & Millet, S.** (2011). Influence of soiling on boar taint in boars. *Meat Science*, 87(3), 175-179.
 - **Andersen, H.J., Bertelsen, G., Boegh-Soerensen, L., Shek, C.K., Skibsted, L.H.** (1988). Effect of light and packaging conditions on the color stability of sliced ham. *Meat Sci* 22:283-92.
 - **Andersen, H. J., Bertelsen, G., Ohlen, A., & Skibsted, L. H.** (1990). Modified packaging as protection against photodegradation of the colour of pasteurized, sliced ham. *Meat science*, 28(1), 77-83.
 - **Andersen, H. J., & Skibsted, L. H.** (1992). Kinetics and mechanism of thermal oxidation and photooxidation of nitrosylmyoglobin in aqueous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(10), 1741-1750.
 - **Andrade, M. J., Rodas, E., Durbán, A., Moya, A., & Córdoba, J. J.** (2012). Characterization and control of microbial black spot spoilage in dry-cured Iberian ham. *Food Control*, 23(1), 128-136.
 - **Andrée, S., Jira, W., Schwind, K. H., Wagner, H., & Schwägele, F.** (2010). Chemical safety of meat and meat products. *Meat Science*, 86(1), 38-48.
 - **Andreani, N. A., Carraro, L., Martino, M. E., Fondi, M., Fasolato, L., Miotto, G., Magro, M., Vianello, F., & Cardazzo, B.** (2015). A genomic and transcriptomic approach to investigate the blue pigment phenotype in *Pseudomonas fluorescens*. *International journal of food microbiology*, 213, 88-98.
 - **Anifantaki, K., Metaxopoulos, J., Kammenou, M., Drosinos, E. H., & Vlassi, M.** (2002). The effect of smoking, packaging and storage temperature on the bacterial greening of frankfurters caused by *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides*. *Italian journal of food science*, 14(2), 135-144.
 - **Ardö, Y.** (2006). Flavour formation by amino acid catabolism. *Biotechnol. Adv.* 24, 238-242.
 - **Arnau, J.** (2022a). Problemas sensoriales del jamón curado. https://eurocarne.com/daal/a1/informes/a2/Problemas_Sensoriales_Jamon.pdf
 - **Arnau, J.** (2022b). Problemas sensoriales de los embutidos curado-madurados. https://eurocarne.com/daal/a1/informes/a2/Defectos_embutidos_low.pdf
 - **Arnau, J. & Garriga, M.** (1993). "Black spot" in cured meat products. ("Black spot" bei Pökelfleischprodukten). *Fleischwirtschaft*, 73(12), 1393-1394 (english) and 1412-1413 (german).
 - **Arnau, J. & Garriga, M.** (2000). The effect of certain amino acids and browning inhibitors on the "black spot" phenomenon produced by *Carnimonas nigrificans*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(11), 1655-1658.
 - **Arnau, J., Gou, P., & Álvarez, F.** (2002). White precipitates formed on the surface of "chorizo", 48th International Congress of Meat Science and Technology - ICoMST 2002 (Vol. I, pp. 300-301). Rome, Italy.
 - **Arnau, J., Guerrero, L. & Gou, P.** (1997b). Kristallisation von Phosphaten in Fleischprodukten (The precipitation of phosphates in meat products). *Fleischwirtschaft*, 77(10), 923-925.
 - **Arnau, J., Maneja, E., Guerrero, L. & Monfort, J. M.** (1993). Phosphate crystals in raw cured ham. Bildung von Phosphatkristallen bei Rohschinken. *Fleischwirtschaft*, 73(8), 859-860 (english) and 875-876 (german).
 - **Arnau, J., Muñoz, I., & Gou, P.** (2012). The effect of air relative humidity on the appearance and structure of subcutaneous pork fat unsalted or treated with NaCl, KCl or K-lactate. *LWT-Food Science and Technology*, 47(1), 133-137.
 - **Arteaga-Vázquez, M. & Soto-Salanova, M.F.** (2009). El síndrome del hueso negro y su influencia en la calidad de la carne. *Selecciones Avícolas*.
 - **Asghar, A., Gray, J.I., Booren, A.M., Gomaa, E. Abouzied, M.N., Miller, E.R. and Buckley, D.J.** (1991). Influence of supranutritional dietary vitamin E levels on subcellular deposition of alpha-tocopherol in the muscle and on pork quality. *J. Sci. Food Agric.* 57:31-41.
 - **Ash, A., Mulholland, F., Burnett, G. R., & Wilde, P. J.** (2014). Structural and compositional changes in the salivary pellicle induced upon exposure to SDS and STP. *Biofouling*, 30(10), 1183-1197.
 - **Ashby, B. H., James, G. M., & Kramer, A.** (1973). Effects of freezing and packaging methods on freezer burn of hams in frozen storage. *Journal of Food Science*, 38(2), 258-260.
 - **Ashby, B. H., & James, G. M.** (1974). Effects of freezing and packaging methods on shrinkage and

- freezer burn of pork bellies in frozen storage. *Journal of Food Science*, 39(6), 1136-1139.
- **Ayansola, H., Yu, X., Lei, J., Liao, C., Guo, Y., Zhang, B., & Wang, B.** (2022). Restricted Feeding Regimens Improve White Striping Associated Muscular Defects In Broiler Chickens. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1194475/v1>
 - **Aymerich, M., Garriga, M., Costa, S., Monfort, J., & Hugas, M.** (2002). Prevention of ropiness in cooked pork by bacteriocinogenic cultures. *International Dairy Journal*, 12(2-3), 239-246.
 - **Aylward, F., Coleman, G., & Haisman, D. R.** (1967). Catty odours in food: the reaction between mesityl oxide and sulphur compounds in foodstuffs. *Chemistry & Industry*, 37, 1563-1564.
 - **Balamurugan, S., Inmanee, P., Souza, J. D., Strange, P., Pirak, T., & Barbut, S.** (2018). Effects of high pressure processing and hot water pasteurization of cooked sausages on inactivation of inoculated *Listeria monocytogenes*, natural populations of lactic acid bacteria, *Pseudomonas* spp., and coliforms and their recovery during storage at 4 and 10° C. *Journal of food protection*, 81(8), 1245-1251.
 - **Baldan, A.** (2004). Adhesively-bonded joints and repairs in metallic alloys, polymers and composite materials: Adhesives, adhesion theories and surface pretreatment. *Journal of materials science*, 39(1), 1-49.
 - **Baldi, G., Soglia, F., & Petracci, M.** (2021). Spaghetti meat abnormality in broilers: current understanding and future research directions. *Frontiers in Physiology*, 12, 715.
 - **Baldo, G. A. D. A., Paz, I. A., García, E. A., Amadori, M. S., Alves, M. C. F., Molino, A. D. B., ... & Santos, L. S. D.** (2014). Revisão: síndrome do osso negro em frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 8(2), 97-103.
 - **Baldwin, D. E.** (2012). Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1(1), 15-30.
 - **Bao, Y., & Ertbjerg, P.** (2019). Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(22), 3564-3578.
 - **Barbut, S.** (2009). Pale, soft, and exudative poultry meat—Reviewing ways to manage at the processing plant. *Poultry Science*, 88(7), 1506-1512.
 - **Bartenschläger-Blässing, E. M.** (1979). Technical, organoleptic and bacteriological properties and histological characteristics of sausages in natural casings (sheep small intestine) and in synthetic casing. I. Determining the acceptability and thermal stability of sausages in sheep small intestines and fibrous casings. *Fleischwirtschaft* 59(3): 293-294.
 - **Berhe, D. T., Engelsens, S. B., Hviid, M. S., & Lametsch, R.** (2014). Raman spectroscopic study of effect of the cooking temperature and time on meat proteins. *Food Research International*, 66, 123-131.
 - **Bekhit, A. E. D., & Faustman, C.** (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat science*, 71(3), 407-439.
 - **Bilgili, S. F., & Hess, J.** (2008). Green muscle disease. Reducing the incidence in broiler flock. *Ross Tech*, 8(48), 3.
 - **Bishnoi, S., Yadav, S., & Sheoran, N.** (2017). Effect of tumbling on processing of muscle foods: A review. *The Pharma Innovation*, 6(11, Part C), 157.
 - **Björkroth, J., & Korkeala, H.** (1997). Ropy slime-producing *Lactobacillus sake* strains possess a strong competitive ability against a commercial biopreservative. *International Journal of Food Microbiology*, 38(2-3), 117-123.
 - **Böhner, N., Hösl, F., Rieblinger, K., & Danzl, W.** (2014). Effect of retail display illumination and headspace oxygen concentration on cured boiled sausages. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(2), 131-139.
 - **Böhner, N., & Rieblinger, K.** (2016). Impact of different visible light spectra on oxygen absorption and surface discoloration of bologna sausage. *Meat science*, 121, 207-209.
 - **Bondoc, L. L., & Timkovich, R.** (1989). Structural characterization of nitrimyoglobin. *Journal of Biological Chemistry*, 264(11), 6134-6145.
 - **Borch, E., Kant-Muermans, M.L., Blixt, Y.** (1996). Bacterial spoilage of meat and cured meat products. *Int. J. Food Microbiol.* 33, 103-120.
 - **Bowers, J. A., Craig, J. A., Kropf, D. H., & Tucker, T. J.** (1987). Flavor, color, and other characteristics of beef longissimus muscle heated to seven internal temperatures between 55 and 85 C. *Journal of Food Science*, 52(3), 533-536.
 - **Breslin, P. A.** (2013). An evolutionary perspective on food and human taste. *Current Biology*, 23(9), R409-R418.
 - **Brewer, S.** (2004). Irradiation effects on meat color—a review. *Meat Science*, 68(1), 1-17.
 - **Brewer, M. S.** (2009). Irradiation effects on meat flavor: A review. *Meat Science*, 81(1), 1-14.
 - **Brewer, M. S., & Decker, E.** (2007). What is warmed-

- over flavor. *American Meat Science Association Fact Sheet*.
- **Brewer, M. S., Field, R. A., Williams, J. C., Miller, G. J., Cross, H. R., & Secrist, J. L.** (1984). Qualities of chunked and formed lamb roasts. *Journal of Food Science*, 49(5), 1376-1379.
 - **Brewer, M. S., F. McKeith, S. E. Martin, A. W. Dallmeyer, and S. Y. Wu** (1992). Some effects of sodium lactate on shelf-life, sensory, and physical characteristics of vacuum-packaged beef bologna. *J. Food Qual.* 15, 369-382.
 - **Brewis, D. M., & Briggs, D.** (1981). Adhesion to polyethylene and polypropylene. *Polymer*, 22(1), 7-16.
 - **Briskey, E. J., & Wismer-Pedersen, J.** (1961). Biochemistry of Pork Muscle Structure. 1. Rate of Anaerobic Glycolysis and Temperature Change versus the Apparent Structure of Muscle Tissue. *Journal of Food Science*, 26(3), 297-305.
 - **Brown, K.L. & Holah, J.T.** (2006). Guidelines for preventing hair contamination of food. N° 48. Campdem & Chorleywood Food Research Association Group. ISBN: 0905942779.
 - **Brown, W. D., & Mebine, L. B.** (1969). Autoxidation of oxymyoglobins. *Journal of biological Chemistry*, 244(24), 6696-6701.
 - **Brüggemann, D. A., Brewer, J., Risbo, J., & Bagatoli, L.** (2010). Second harmonic generation microscopy: A tool for spatially and temporally resolved studies of heat induced structural changes in meat. *Food biophysics*, 5(1), 1-8.
 - **Buckley, D.J., Gray, J.I., Ashghar, A., Price, J.F., Crackel, R.L., Booren, A.M., Pearson, A.M. and Miller, E.R.** (1989). Effects of dietary antioxidants and oxidized oil on membraneal lipid stability and pork product quality. *J. Food Sci.* 54, 1193-1197
 - **Campbell, J. F. and Mandigo R. W.** (1978), 'Properties of restructured pork patties as affected by cooking method, frozen storage and reheating method', *J. Food Sci.* 43, 1648-1651.
 - **Campbell, J. F., Neer, K. L. & Mandigo, R. W.** (1977), 'Effects of portion thickness and cooking temperature on the dimensional properties and composition of restructured pork', *J. Food Sci.* 42, 179-181. doi:10.1111/j.1365-2621.1977.tb01246.x
 - **Cantoni, C., Stella, S., Comi, G., & Cocolin, L.** (2001). A new superficial alteration of raw hams: the blue spots. *Industria Alimentari*, 408, 1226-1229.
 - **Cantoni, C., & Chiappa, F.** (2011). Batteri produttori di pigmenti blu e chiazze di alimenti. https://www.otalombardialiguria.it/wp-content/uploads/2016/04/Pigmenti-blu_QsA_giugno11.pdf
 - **Caputo, L., Quintieri, L., Bianchi, D. M., Decastelli, L., Monaci, L., Visconti, A., & Baruzzi, F.** (2015). Pepsin-digested bovine lactoferrin prevents Mozzarella cheese blue discoloration caused by *Pseudomonas fluorescens*. *Food microbiology*, 46, 15-24.
 - **Carpenter, J. A. & Saffle, R.L.** (1963). Chemical and physical factors involved in frankfurter peelability <https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/1963/chemical-and-physical-factors-involved-in-frankfurter-peelability.pdf?sfvrsn=2>
 - **Carpi, G., Squarcina, N., Gola, S., Rovere, P., Pedrielli, R., & Bergamaschi, M.** (1999). Application of high pressure treatment to prolong the refrigerated shelf-life of sliced cooked ham. *Industria Conserve*, 74, 327 - 339.
 - **Cepanec, K., Vugrinec, S., Cvetković, T., & Ranilović, J.** (2017). Potassium chloride-based salt substitutes: a critical review with a focus on the patent literature. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 881-894.
 - **Chaillou, S., Chaulot-Talmon, A., Caekebeke, H., Cardinal, M., Christieans, S., Denis, C., ... & Champomier-Verges, M. C.** (2015). Origin and ecological selection of core and food-specific bacterial communities associated with meat and seafood spoilage. *The ISME journal*, 9(5), 1105-1118.
 - **Cheong, S. H., & Fischer, A.** (1993). Rasterelektronenmikroskopische Deutung der Wirkungsweise von Emulgatoren auf die Fettstabilisierung bei feinerkleinerter Leberwurst. *Fleischwirtschaft*, 73, 677-683.
 - **Clardy, C. B., & Dawson, P. L.** (1995). Film type effects on meat-to-film adhesion examined by scanning electron microscopy. *Poultry Science*, 74(6), 1053-1057.
 - **Claus, J. R.** (2002). The Tendercut process. Available: <http://www.wisc.edu/animalsci/faculty/claus/tendercut.html>
 - **Claus, J. R., Shaw, D. E., & Marcy, J. A.** (1994). Pink color development in turkey meat as affected by nicotinamide, cooking temperature, chilling rate, and storage time. *Journal of Food Science*, 59(6), 1283-1285.
 - **Claus, J. R., & Jeong, J. Y.** (2018). Processing conditions and endpoint temperature effects on de-

- velopment of pink defect without pink-generating ligands in cooked ground turkey breast. *Poultry Science*, 97(2), 667-675.
- **Clavero, R.** (2010). Solving Microbial Spoilage Problems in Processed Foods. In: Kornacki J. (eds) Principles of Microbiological Troubleshooting in the Industrial Food Processing Environment. Food Microbiology and Food Safety. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5518-0_3
 - **Cofrades, S., Carballo, J. & Jiménez-Colmenero, F.** (1997). Heating rate effects on high-fat and low-fat frankfurters with a high content of added water. *Meat Sci.* 47: 105-114.
 - **Comi, G., & Iacumin, L.** (2012). Identification and process origin of bacteria responsible for cavities and volatile off-flavour compounds in artisan cooked ham. *International journal of food science & technology*, 47(1), 114-121.
 - **Cornforth, D. P.; Calkins, C. R.; Faustman, C.** (1991). Methods for identification and prevention of pink color in cooked meat. Proc. Annu. Reciprocal Meat Conf., *Am. Meat Sci. Assoc.* 1991, 44, 53-58.
 - **Cornforth, D. P., Rabovitser, J. K., Ahuja, S., Wagner, J. C., Hanson, R., Cummings, B., & Chudnovsky, Y.** (1998). Carbon monoxide, nitric oxide, and nitrogen dioxide levels in gas ovens related to surface pinking of cooked beef and turkey. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(1), 255-261.
 - **Cornforth, D.P., Vahabzadeh, F., Carpenter, C.E., and Bartholomew, D.T.** (1986). Role of reduced hemochromes in pink color defect of cooked turkey rolls. *J. Food Sci.* 51:1132-1135.
 - **Cornish, D. G., & Froning, G. W.** (1974). Isolation and purification of turkey heme proteins. *Poultry Science*, 53(1), 365-377.
 - **Coronel-León, J., López, A., Espuny, M. J., Beltrán, M. T., Molinos-Gómez, A., Rocabayera, X. & Manresa, A.** (2016). Assessment of antimicrobial activity of Na-lauroyl arginate ethylester (LAE®) against *Yersinia enterocolitica* and *Lactobacillus plantarum* by flow cytometry and transmission electron microscopy. *Food Control*, 63, 1-10.
 - **Cross, H.R., Leu, R., and Miller, M.F.** (1987). Scope of warmed-over flavor and its importance to the meat industry. In "Warmed-Over Flavor of Meat", A.J. St.
 - **Cunningham, F. E.** (1975). Acceptability and use of frozen poultry – A review. *World's Poultry Science Journal*, 31(2), 136-148. doi:10.1079/WPS19750011
 - **Cunningham, F. E., and Lohmeyer, P.** (1972). Freezing rate influences acceptability of frozen parts. *Poultry Meat*, 23(8): 18-25.
 - **Dabboussi, F., Hamze, M., Elomari, M., Verhille, S., Baida, N., Izard, D., & Leclerc, H.** (1999). *Pseudomonas libanensis* sp. nov., a new specie isolated from Lebanese spring waters. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 49(3), 1091-1101.
 - **Dalvi-Isfahan, M., Jha, P. K., Tavakoli, J., Daraei-Garmakhany, A., Xanthakis, E., & Le-Bail, A.** (2019). Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage. *Journal of Food Engineering*, 255, 50-60.
 - **Damo, F.** (2014). Estudo da aderência da proteína de embutidos cárneos em tripas plásticas. Universidade Federal de Santa Catarina.
 - **Debevere, J. M.** (1989). The effect of sodium lactate on the shelf life of vacuum-packed coarse liver pate. *Fleischwirtschaft* 69:223-224.
 - **Delgado-Pando, G., Cofrades, S., Rodríguez-Salas, L., & Jiménez Colmenero, F.** (2011). A healthier oil combination and konjac gel as functional ingredients in low-fat pork liver pâté. *Meat Science*, 88, 241-284.
 - **DeVol, D. L., F. K. McKeith, P. J. Bechtel, J. Novakofski, R. D. Shanks, and T. R. Carr.** (1988). Variations in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 66:385-395.
 - **Dey, A., & Neogi, S.** (2019). Oxygen scavengers for food packaging applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 26-34.
 - **Diez, A. M., Björkroth, J., Jaime, I., & Rovira, J.** (2009). Microbial, sensory and volatile changes during the anaerobic cold storage of morcilla de Burgos previously inoculated with *Weissella viridescens* and *Leuconostoc mesenteroides*. *International Journal of Food Microbiology*, 131(2-3), 168-177.
 - **Djordjevic, J., Zatorre, R. J. & Jones-Gotman, M.** (2004). Odor-induced changes in taste perception. *Experimental Brain Research*, 159(3), 405-408.
 - **Dobson, B.N., & Cornforth, D. P.** (1992). Nonfat dry milk inhibits pink discoloration in turkey rolls. *Poultry Science*, 71, 1943-1946.
 - **Dominguez-Hernandez, E., Salaseviciene, A., & Ertbjerg, P.** (2018). Low-temperature long-time cooking of meat: Eating quality and underlying mechanisms. *Meat Science*, 143, 104-113.

- **Dransfield, E., Francombe, M.A. and Whelehan, O.P.** (1984a) Relationships between sensory attributes in cooked meat. *J. Text. Stud.* 15, 33.
- **Drosinos, E. H., Mataragas, M., Kampani, A., Kritikos, D., & Metaxopoulos, I.** (2006). Inhibitory effect of organic acid salts on spoilage flora in culture medium and cured cooked meat products under commercial manufacturing conditions. *Meat Science*, 73(1), 75-81.
- **Durek, J., Bolling, J. S., Knorr, D., Schwägele, F., & Schlüter, O.** (2012). Effects of different storage conditions on quality related porphyrin fluorescence signatures of pork slices. *Meat Science*, 90(1), 252-258.
- **Dušková, M., Kameník, J., & Karpíšková, R.** (2013). *Weissella viridescens* in meat products—a review. *Acta Veterinaria Brno*, 82(3), 237-241.
- **Dušková, M., Kameník, J., Lačanin, I., Šedo, O., & Zdráhal, Z.** (2016). Lactic acid bacteria in cooked hams—Sources of contamination and chances of survival in the product. *Food Control*, 61, 1-5.
- **Egea, M., Álvarez, D., Peñaranda, I., Panella-Riera, N., Linares, M. B., & Garrido, M.D.** (2020). Fat Replacement by Vegetal Fibres to Improve the Quality of Sausages Elaborated with Non-Castrated Male Pork. *Animals* 10 (10):1872.
- **Estévez, M., Geraert, P. A., Liu, R., Delgado, J., Mercier, Y., & Zhang, W.** (2020). Sulphur amino acids, muscle redox status and meat quality: More than building blocks—Invited review. *Meat Science*, 163, 108087.
- **Ertbjerg, P., & Puolanne, E.** (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat science*, 132, 139-152.
- **Faustman, C., & Cassens, R. G.** (1990). The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *Journal of Muscle Foods*, 1(3), 217-243.
- **Faustman, C.; Sun, Q.; Mancini, R.; Suman, S. P.** (2010). Myoglobin and Lipid Oxidation Interactions: Mechanistic Bases and Control. *Meat Sci.*, 86 (1), 86-94.
- **FDA (Food and Drug Administration).** (2011) FDA Food Code 2009: Chapter 3 – Food, Section 3-4 Destruction of Organisms of Public Health Concern. 401.11 Raw Animal Products.
- **Feiner, G.** (2016). *Salami Practical Science and Processing Technology*. Academic Press Publications. ISBN: 978-0-12-809598-0.
- **Ferrini, G., Arnau, J., Guàrdia, M. D., & Comaposada, J.** (2014). The effect of thermal processing condition on the physicochemical and sensory characteristics of fermented sausages dried by Quick-Dry-Slice process®. *Meat science*, 96(2), 688-694.
- **Fleming, B. K., Froning, G. W., & Yang, T. S.** (1991). Heme pigment levels in chicken broilers chilled in ice slush and air. *Poultry Science*, 70(10), 2197-2200.
- **Flores, M.** “The eating quality of meat: III—Flavor.” *Lawrie’s Meat Science*. Woodhead Publishing, 2017. 383-417.
- **Font-i-Furnols, M., Martín-Bernal, R., Aluwé, M., Bonneau, M., Haugen, J. E., Mörlein, D., ... & Škrlep, M.** (2020). Feasibility of on/at line methods to determine boar taint and boar taint compounds: An overview. *Animals*, 10(10), 1886.
- **Fortin, A., Robertson, W. M., & Tong, A. K. W.** (2005). The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat. *Meat science*, 69(2), 297-305.
- **Fox, J. B. Jr.** (1987). The pigments of meat. Chap. 5 in *The Science of Meat and Meat Products*, 3rd ed. J. F. Price and B. Schweigert, (Ed.), p. 148. Food and Nutrition Press, Inc., Westport, CT.
- **Franz, R., Kluge, S., Lindner, A., & Piringer, O.** (1990). Cause of catty odour formation in packaged food. *Packaging Technology and Science*, 3(2), 89-95.
- **Franz, C. M. A. P., & Von Holy, A.** (1996). Thermotolerance of meat spoilage lactic acid bacteria and their inactivation in vacuum-packaged Vienna sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 29(1), 59-73.
- **Freixenet, L.** (1994). Spray injection of meat. Influence of the brine pressure in the quality of the injected products. *A Hus (Hungary)*.
- **Froning, G.W. and Hartung, T.E.** (1967). Effect of dietary nitrates and nitrites on color of chicken meat. *Poultry Sci.* 46:1261.
- **Froning, G.W., Daddario, J., Hartung, T.E., Sullivan, T-Wand Hill, R.M.** (1969a). Color of poultry meat as influenced by dietary nitrates and nitrites. *Poultry Sci.* 48:668-674.
- **Froning, G.W., Mather, F.B., Daddario, J., and Hartung, T.E.** (1969b). Effect of automobile exhaust fume inhalation by poultry immediately prior to slaughter on color of meat. *Poultry Sci.* 48:485-487.
- **Froning, G. W., Babji, A. S., & Mather, F. B.** (1978). The effect of preslaughter temperature, stress, struggle and anesthetization on color and textural characteristics of turkey muscle. *Poultry Science*, 57(3), 630-633.

- **Fulladosa, E., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J.** (2009). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science*, 82(2), 213-218.
- **Gardner, M. A., Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M.** (2005, August). Prediction of fresh pork quality using indicators of protein degradation and calpain activation. In *Proceedings, 51st international congress of meat science and technology* (Vol. 51).
- **Garriga, M., Ehrmann, M., Arnau, J., Hugas, M. & Vogel, R. F.** (1998). *Carnimonas nigrificans* gen., nov., sp. nov., a bacterial causative agent for black spot formation on cured meat products. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48, 677-686.
- **Garriga, M., Grebol, N., Aymerich, M., Monfort, J. & Hugas, M.** 2004. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5, 451-457.
- **Gaze, J.E., Shaw, R. & Archer, J.** (1998). Identification and Prevention of Hazards Associated with Slow Cooling of Hams and Other Large Cooked Meats and Meat Products, Review no. 8, Project no. 16286, Campden & Chorleywood Food Research Association, 1998.
- **Ghorpade, V. M., Cornforth, D. P., & Sisson, D. V.** (1992). Inhibition of red discoloration in cooked, vacuum packaged bratwurst. *Journal of food science*, 57(5), 1053-1055.
- **Gibis, M., & Weiss, J.** (2013). Formation of heterocyclic amines in salami and ham pizza toppings during baking of frozen pizza. *Journal of food science*, 78(6), C832-C838.
- **Girard, B., Vanderstoep, J., & Richards, J.F.** (1989). Residual pinkness in cooked turkey and pork muscle. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 22(4), 372-377.
- **Girard, B., Vanderstoep, J., & Richards, J.F.** (1990). Characterization of the residual pink color in cooked turkey breast and pork loin. *Journal of Food Science*, 55, 1249- 1254.
- **Goehring, B. L.** (2015). Investigation of factors that influence belly quality and of cooked bacon characteristics. Kansas State University.
- **Gooding, J. P., Holmer, S. F., Carr, S. N., Rincker, P. J., Carr, T. R., Brewer, M. S., ... & Killefer, J.** (2009). Characterization of striping in fresh, enhanced pork loins. *Meat Science*, 81(2), 364-371.
- **Gou, P., Morales, R., Serra, X., Guàrdia, M. D., & Arnau, J.** (2008). Effect of a 10-day ageing at 30 °C on the texture of dry-cured hams processed at temperatures up to 18 °C in relation to raw meat pH and salting time. *Meat science*, 80(4), 1333-1339.
- **Gram, L., Ravn, L., Rasch, M., Bruhn, J.B., Christensen, A.B., Givskov, M.** (2002). Food spoilage – interactions between food spoilage bacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 78, 79-97.
- **Grant, G.F. & McCurdy, A.R.** (1986) Effect of curing agents on the growth of *Lactobacillus viridescens* in model meat systems. *Can Inst Food Sci Technol J* 19:78-81.
- **Grant, G. F., McCurdy, A. R., & Osborne, A. D.** (1988). Bacterial greening in cured meats: a review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 21(1), 50-56.
- **Gray, J. I., & Pearson, A. M.** (1984). Cured Meat Flavor. In E. M. M. C.O. Chichester & B. S. Schweigert (Eds.), *Advances in Food Research*, vol. Volume 29 (pp. 1-86): Academic Press.
- **Gudrun, S.** (2019). Symptomer koblet til kvalitetsavvik i skinke. <https://www.animalia.no/no/gomorning/ravare-og-foredling/symptomer-koblet-til-kvalitet-savvik-i-skinke/>
- **Guerra, I. C. D., Félex, S. S. S., Meireles, B. R. L. M., Dalmás, P. S., Moreira, R. T., Honório, V. G., ... & Madruga, M. S.** (2011). Evaluation of goat mortadella prepared with different levels of fat and goat meat from discarded animals. *Small Ruminant Research*, 98(1-3), 59-63.
- **Hague, M. A., Warren, K. E., Hunt, M. C., Kropf, D. H., Kastner, C. L., Stroda, S. L., & Johnson, D. E.** (1994). Endpoint temperature, internal cooked color, and expressible juice color relationships in ground beef patties. *Journal of Food Science*, 59(3), 465-470.
- **Hammer, G. F.** (1981a). Zur Verbesserung der Leberwurstherstellung. *Fleischwirtschaft*, 61, 524-531.
- **Hammer, G.F.** (1981b). Zur Salzigkeit einiger Fleischerzeugnisse unter variierter Kochsalzzugabe. *Fleischwirtsch.*, 61(4): 609-613.
- **Hammer, G. F.** (1988a). Technologische Wirkung von veresterten Monoglyceriden und Ei bei feinzerkleinerten Leberwurst. *Fleischwirtschaft*, 68, 1224-1231.
- **Hammer, G. F.** (1988b). Technologische Wirkung von Caseinat und Fremdwasser bei fein zerkleinerten Leberwurst. *Fleischwirtschaft*, 68, 1336-1347.

- **Han, Y., Jiang, Y., Xu, X., Sun, X., Xu, B., & Zhou, G.** (2011). Effect of high pressure treatment on microbial populations of sliced vacuum-packed cooked ham. *Meat Science*, 88(4), 682-688.
- **Hansen, L. L.** (1998). Influence of environmental factors and antibiotics on skatole in pigs. In W. K. Jensen (Ed.), *Skatole and boar taint* (pp. 137-150). Roskilde, Denmark: Danish Meat Research Institute.
- **Hansen, L., Larsen, A. E., Jensen, B. B., Hansen-Møller, J., & Barton-Gade, P.** (1994). Influence of stocking rate and faeces deposition in the pen at different temperatures on skatole concentration (boar taint) in subcutaneous fat. *Animal Science*, 59(1), 99-110.
- **Hanson, R. E.** (2014). Smoking and Cooking Equipment. Devine, C., & Dikeman, M. (Eds.). *Encyclopedia of meat sciences*. Elsevier, 3, 131-142.
- **Hansson, K. E., Lundstrom, K., & Fjelkner-Modig, S.** (1980). The importance of androstenone and skatole for boar taint. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 10(4), 167-173.
- **Hao, X. D., Wang, C. C., Lan, L., & Van Loosdrecht, M. C. M.** (2008). Struvite formation, analytical methods and effects of pH and Ca²⁺. *Water Science and Technology*, 58(8), 1687-1692.
- **Hartley, I. E., Liem, D. G., & Keast, R.** (2019). Umami as an 'alimentary' taste. A new perspective on taste classification. *Nutrients*, 11(1), 182.
- **Hatch, V., & Stadelman, W. J.** (1972). Bone darkening in frozen chicken broilers and ducklings. *Journal of Food Science*, 37(6), 850-852.
- **Heath, J. L., & Owens, S. L.** (1992). Effect of heating variables and storage on color of chicken cooked and stored in polyester pouches. *Poultry science*, 71(10), 1773-1780.
- **Heaton, K. M., Cornforth, D. P., Moiseev, I. V., Egbert, W. R., & Carpenter, C. E.** (2000). Minimum sodium nitrite levels for pinkening of various cooked meats as related to use of direct or indirect-dried soy isolates in poultry rolls. *Meat science*, 55(3), 321-329.
- **Hechelmann, H., Kasprowiak, R., Reil, S., Bergmann, A. & Leistner, L.** (1991). Stable meat products with fresh product characteristics for troupes. *Informe del Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Alemania)*.
- **Hilmes, C., & Fischer, A.** (1997a). Role of amino acids and glucose in development of burnt off-flavours in liver sausage during heat processing. *Meat Science*, 47(3-4), 249-258.
- **Hilmes, C., & Fischer, A.** (1997b). Inhibitory effect of sulfur-containing amino acids on burnt off-flavours in canned liver sausages. *Meat science*, 46(2), 199-210.
- **Hilmes, C. & Gibis, Monika & Fischer, A.** (1998). Reduction of burnt off-flavours in canned liver sausages. *Fleischwirtschaft*, 78, 901-904.
- **Himawan, C., Starov, V. M., & Stapley, A. G. F.** (2006). Thermodynamic and kinetic aspects of fat crystallization. *Advances in colloid and interface science*, 122(1-3), 3-33.
- **Hofer, L., Kristensen, L., & Tørngren, M.** (2018). Reducing cooking time of sous vide cooked pulled pork using proteolytic enzymes. https://digicomst.ie/wp-content/uploads/2020/05/2018_07_39.pdf
- **Holownia, K., Chinnan, M. S., & Reynolds, A. E.** (2003). Pink color defect in poultry white meat as affected by endogenous conditions. *Journal of Food Science*, 68(3), 742-747.
- **Hoogenkamp, H.** (1989). Topping it off. *Meat Process*. 28 (9): 84, 86, 88, 90.
- **Hugas, M. & Arnau, J.** (1987). Aparición de manchas de color marrón en la corteza y grasa del jamón durante el post-salado. En IRTA (Ed.), *Jamón Curado: Aspectos Técnicos* (pp. 179-182). Girona, Spain: GRAFIS-SANT, S.A.
- **Hunt, M. C., Sørheim, O., & Slinde, E.** (1999). Color and heat denaturation of myoglobin forms in ground beef. *Journal of Food Science*, 64(5), 847-851.
- **Hunt, M. C., King, A., Barbut, S., Clause, J., Cornforth, D., Hanson, D., ... & Weber, M.** (2012). AM-SA meat color measurement guidelines. American Meat Science Association, Champaign, Illinois USA, 61820, 1-135.
- **Hutchings, J.B. and Lillford, P.J.** (1988) The perception of food texture — the philosophy of the breakdown path. *J. Text. Stud.* 19, 103.
- **Hutter, S., Rüegg, N., & Yildirim, S.** (2016). Use of palladium based oxygen scavenger to prevent discoloration of ham. *Food Packaging and Shelf Life*, 8, 56-62.
- **Hygreeva, D., & Pandey, M. C.** (2016). Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products through high pressure processing technology-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 175-185.
- **IFIP.** (2010). Etude de l'impact des conditions de salage-salaison et de traitement thermique sur la formation et la stabilité de la couleur de produits cuits

- (jambons) ou étuvés (poitrines et lardons). IFIP, INA-PORC.
- **Innun, A.** (2015). Effects of Salt, Blood Concentration and Cooking Temperature on the Quality of Edible Blood Gel. *International Journal of Food Engineering*, 1(1).
 - **Iulietto, M. F., Sechi, P., Borgogni, E., & Cenci-Goga, B. T.** (2015). Meat spoilage: a critical review of a neglected alteration due to rosy slime producing bacteria. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3), 4011.
 - **James, C., Barlow, K. E., James, S. J., & Swain, M. J.** (2006). The influence of processing and product factors on the quality of microwave pre-cooked bacon. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 835-843.
 - **Jaud, D. and Fischer, A.** (1994). Zum brennerigen Hoherhitzungsgeschmack bei feinzerkleinerter Leberwurst, Kohlenhydrate aus Schweinelebern als mögliche Ursache. *Fleischwirtschaft* 74, 680-687.
 - **Jolley, P. D. & Rangeley, W. R. D.** (1986), 'Practical factors influencing the shape of a cooked, flaked and formed beef product', *Proc European Meeting Meat Research Workers*, 32, 353-356.
 - **Jones, R. C., Dransfield, E., Robinson, J. M., & Crosland, A. R.** (1985). Correlation of mechanical properties, composition and perceived texture of beefburgers. *Journal of Texture Studies*, 16(3), 241-262.
 - **Joseph, P., Suman, S. P., Li, S., Beach, C. M., & Claus, J. R.** (2010). Mass spectrometric characterization and thermostability of turkey myoglobin. *LWT-Food Science and Technology*, 43(2), 273-278.
 - **Joseph, P., Suman, S. P., Li, S., Claus, J. R., Fontaine, M., & Steinke, L.** (2011). Primary structure of turkey myoglobin. *Food Chemistry*, 129(1), 175-178.
 - **Juárez, M., Aldai, N., López-Campos, Ó., Dugan, M. E. R., Uttaro, B., & Aalhus, J. L.** (2012). Beef texture and juiciness. *Handbook of Meat and Meat Processing*, 9, 177-206.
 - **Kaess, G., & Weidemann, J. F.** (1969). Freezer burn of animal tissue. 7. Temperature influence on development of freezer burn in liver and muscle tissue. *Journal of Food Science*, 34(5), 394-397.
 - **Kandler, O.**, 1983. Carbohydrate-metabolism in lactic-acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 49, 209-224.
 - **Kanner, J.** 1994. Oxidative process in meat and meat products: quality implications. *Meat Sci.* 36(1):169-189.
 - **Katsaras, K., Linke, H., & Hammer, G.** (1987). Morphology of spreadable sausages of liver sausage type. *Fleischwirtschaft*, 67, 949-951
 - **Khalil, S., Saenbungkhor, N., Kesnava, K., Sivapirunthep, P., Sitthigripong, R., Jumanee, S., & Chaosap, C.** (2021). Effects of Guanidinoacetic Acid Supplementation on Productive Performance, Pectoral Myopathies, and Meat Quality of Broiler Chickens. *Animals*, 11(11), 3180.
 - **Killday, K. B., Tempesta, M. S., Bailey, M. E., & Metral, C. J.** (1988). Structural characterization of nitrosylhemochromogen of cooked cured meat: implications in the meat-curing reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36(5), 909-914.
 - **Kindstedt, P. S., & Polowsky, P. J.** (2021). Invited review: Crystals in cheese: More than a curiosity. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1233-1250.
 - **King, D. A., Hunt, M. C., Barbut, S., Claus, J. R., Cornforth, D. P., Joseph, P., ... & Weber, M.** (2023). American meat science association guidelines for meat color measurement. *Meat and Muscle Biology*, 6(4).
 - **King, D. A., Shackelford, S. D., Schnell, T., Pierce, L., Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., & Wheeler, T. L.** (2018). Characterizing the ham halo condition: A color defect in fresh pork biceps femoris muscle. *Meat and Muscle Biology*, 2(1).
 - **King, D. A., Shackelford, S. D., Nonneman, D., Rohrer, G. A., & Wheeler, T. L.** (2020). Sire variation in the severity of the ham halo condition. *Meat and Muscle Biology*, 4(1).
 - **King, N. J., & Whyte, R.** (2006). Does it look cooked? A review of factors that influence cooked meat color. *Journal of food science*, 71(4), R31-R40.
 - **Kinoshita, S., Yoshioka, S., & Miyazaki, J.** (2008). Physics of structural colors. *Reports on Progress in Physics*, 71(7), 076401.
 - **Kirkpatrick, L. T., Elgin, J. M., Matarneh, S. K., Wicks, J. C., Daniels, R. P., Yen, C. N., ... & Gerard, D. E.** (2022). Inherent factors influence color variations in semimembranosus muscle of pigs. *Meat Science*, 185, 108721.
 - **Kitchell A.G. & Shaw, B.G.** (1975). Lactic acid bacteria in fresh and cured meat. In *Lactic Acid Bacteria in Beverages and Food* ed. Carr, J.G., Cutting, C.V. & Whiting, G.C., pp. 209-220. London: Academic Press.
 - **Klont, R. E., Brocks, L., & Eikelenboom, G.** (1998). Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*, 49, S219-S229.

- **Kokubo, Y., Matsumoto, M., Terada, A., Saito, M., Shinagawa, K., Konuma, H., & Kurata, H.** (1986). Incidence of clostridia in cooked meat products in Japan. *Journal of food protection*, 49(11), 864-867.
- **Korczyński, M., Opaliński, S., Sówka, I., Szoltyś, M., Cwynar, P., & Kołacz, R.** (2011). Odour nuisance at pig farm. In Animal hygiene and sustainable livestock production. Proceedings of the XVth International Congress of the International Society for Animal Hygiene, Vienna, Austria, 3-7 July 2011, Volume 3 (pp. 1139-1141). Tribun EU.
- **Korkeala, H. J., Mäkelä, P. M., & Suominen, H. L.** (1990). Growth temperatures ofropy slime-producing lactic acid bacteria. *Journal of Food Protection*, 53(9), 793-795.
- **Korkeala, H., Suortti, T., & Mäkelä, P.** (1988). Ropy slime formation in vacuum-packed cooked meat products caused by homofermentative *Lactobacilli* and a *Leuconostoc* species. *International journal of food microbiology*, 7(4), 339-347.
- **Korkeala, H. J., & Björkroth, K. J.** (1997). Microbiological spoilage and contamination of vacuum-packaged cooked sausages. *Journal of food protection*, 60(6), 724-731.
- **Koziel, J. A., Cai, L., Lo, Y. C., & Hoff, S. J.** (2007, April). Characterization of volatile organic compounds and odourants associated with swine barn particulate matter. In *International Conference How to improve air quality* (pp. 23-24).
- **Kreyenschmidt, J., Hübner, A., Beierle, E., Chonsch, L., Scherer, A., & Petersen, B.** (2010). Determination of the shelf life of sliced cooked ham based on the growth of lactic acid bacteria in different steps of the chain. *Journal of applied microbiology*, 108(2), 510-520.
- **Kücükpınar, E., & Langowski, H. C.** (2012). Adhesion Aspects in Packaging. *Journal of adhesion science and technology*, 26(20-21), 2317-2324.
- **Kumar, H., Franzetti, L., Kaushal, A., & Kumar, D.** (2019). *Pseudomonas fluorescens*: A potential food spoiler and challenges and advances in its detection. *Annals of Microbiology*, 69(9), 873-883.
- **Kuttappan, V. A., Hargis, B. M., & Owens, C. M.** (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poultry Science*, 95(11), 2724-2733.
- **Kütemeyer, C., Froeck, M., Werlein, H. D., & Watkinson, B. M.** (2005). The influence of salts and temperature on enzymatic activity of microbial transglutaminase. *Food Control*, 16(8), 735-737.
- **Laine, M., Roy, B., & Baberian, R.** (2000). "White points" in foie gras: the critical cooling stage. *Vian-des et Produits Carnes* 21(5): 168-171.
- **Lanari, M. C., Schaefer, D. M., & Scheller, K. K.** (1995). Dietary vitamin E supplementation and discoloration of pork bone and muscle following modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 41(3), 237-250.
- **Larsen, H., Westad, F., Sørheim, O., & Nilsen, L. H.** (2006). Determination of critical oxygen level in packages for cooked sliced ham to prevent color fading during illuminated retail display. *Journal of food science*, 71(5), S407-S413.
- **Larroure-Thiveyrat, C., Pepin, M., Leroy-Se´trin, S., Montel, M.C.** (2003). Effect of *Carnobacterium piscicola* on aroma formation in sausage mince. *Meat Sci.* 63, 423-426.
- **Laugurette, F., Passilly-Degrace, P., Patris, B., Ni-ot, I., Febbraio, M., Montmayeur, J. P., & Besnard, P.** (2005). CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions. *The Journal of Clinical Investigation*, 115(11), 3177-3184.
- **Lawrence, T. E., Hunt, M. C., & Kropf, D. H.** (2002). A research note: Surface roughening of precooked, cured beef round muscles reduces iridescence 1. *Journal of Muscle Foods*, 13(1), 69-73.
- **Lawrence, G., Salles, C., Septier, C., Busch, J. & Thomas-Danguin, T.** (2009). Odour-taste interactions: A way to enhance saltiness in low-salt content solutions. *Food Quality and Preference*, 20(3), 241-248.
- **Ledesma, E., Rendueles, M., & Díaz, M.** (2015). Characterization of natural and synthetic casings and mechanism of BaP penetration in smoked meat products. *Food Control*, 51, 195-205.
- **Ledward, D. A.** (1970). Metmyoglobin formation in beef stored in carbon dioxide enriched and oxygen depleted atmospheres. *Journal of Food Science*, 35(1), 33-37.
- **Ledward, D. A.** (1972). Metmyoglobin reduction and formation in beef during aerobic storage at 1 °C. *Journal of Food Science*, 37(4), 634-635.
- **Lee CM, Patel KM.** 1984. Textural characteristics of commercial frankfurters with special reference to juiciness. *Journal of Texture Studies* 15:6-7.
- **Lee, M. L., Gray, J. I., & Pearson, A. M.** (1983). Effects of frying procedures and compositional factors on the temperature profile of bacon. *Journal of Food Science*, 48(3), 817-819.

- **Lee, S. H. and Cassens, R. G.**, Nitrite binding sites on myoglobin, *J. Food Sci.*, 41, 969, 1976.
- **Leistner, L., & Rahman, M. S.** (2020). Hurdle Technology (Combined Methods) for Food Preservation: Applications. In *Handbook of Food Preservation* (pp. 241-258). CRC Press.
- **Leistner, L., Wirth, F., & Vukovic, I.** (1979). SSP (Shelf Stable Products)-meat products with future. Lecture. *Fleischwirtschaft*.
- **Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C.** (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat. *Meat science*, 91(2), 93-98.
- **Li, L., Belloch, C. & Flores, M.** (2021). The Maillard Reaction as Source of Meat Flavor Compounds in Dry Cured Meat Model Systems under Mild Temperature Conditions. *Molecules*, 26(1), 223.
- **Lick, S., Kröckel, L., Wibberg, D., Winkler, A., Blom, J., Bantleon, A., ... & Kalinowski, J.** (2020). *Pseudomonas carnis* sp. nov., isolated from meat. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 70(3), 1528-1540.
- **Liu, Z., Powers, W., & Mukhtar, S.** (2014). A review of practices and technologies for odor control in swine production facilities. *Applied Engineering in Agriculture*, 30(3), 477-492.
- **Lonergan, S. M., Stalder, K. J., Huff-Lonergan, E., Knight, T. J., Goodwin, R. N., Prusa, K. J., & Beitz, D. C.** (2007). Influence of lipid content on pork sensory quality within pH classification. *Journal of animal science*, 85(4), 1074-1079.
- **López, M. S. M.** (2017). Efecto del sistema de aturdimiento con CO₂, tiempo de desangrado y estimulación eléctrica post-mortem en la calidad de la carne de pavo (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba). <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/14897/2017000001617.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- **Ludwig, C. J., Claus, J. R., Marriott, N. G., Johnson, J., & Wang, H.** (1997). Skeletal alteration to improve beef longissimus muscle tenderness. *Journal of animal science*, 75(9), 2404-2410.
- **Lyon, B. G., & Lyon, C. E.** (1986). Surface dark spotting and bone discoloration in fried chicken. *Poultry Science*, 65(10), 1915-1918.
- **Ma, Q., Davidson, P. M., & Zhong, Q.** (2020). Properties and potential food applications of lauric arginate as a cationic antimicrobial. *International Journal of Food Microbiology*, 315, 108417.
- **Maga, J. A.** (1994). Pink discoloration in cooked white meat. *Food Reviews International*, 10(3), 273-286.
- **Mäkelä, P. M., Korkeala, H. J., & Laine, J. J.** (1992). Survival of rosy slime-producing lactic acid bacteria in heat processes used in the meat industry. *Meat Science*, 31(4), 463-471.
- **Mancini, R.** (2007). Iridescence: A rainbow of colors, causes, and concerns. In Beef Facts: Product Enhancement, 1-4. National Cattlemen's Beef Association, Centennial, USA. <https://www.beefresearch.org/resources/product-quality/fact-sheets/iridescence> (Accessed February 8, 2021).
- **Mancini, R. A., Hunt, M. C., Hachmeister, K. A., Kropf, D. H., & Johnson, D. E.** (2004). Ascorbic acid minimizes lumbar vertebrae discoloration. *Meat Science*, 68(3), 339-345.
- **Mancini, R. A., Hunt, M. C., Hachmeister, K. A., Kropf, D. H., & Johnson, D. E.** (2005). Exclusion of oxygen from modified atmosphere packages limits beef rib and lumbar vertebrae marrow discoloration during display and storage. *Meat Science*, 69(3), 493-500.
- **Mancini, R. A., Hunt, M. C., Seyfert, M., Kropf, D. H., Hachmeister, K. A., Herald, T. J., & Johnson, D. E.** (2007). Comparison of ascorbic acid and sodium erythorbate: Effects on the 24 h display colour of beef lumbar vertebrae and longissimus lumborum packaged in high-oxygen modified atmospheres. *Meat Science*, 75(1), 39-43.
- **Mancini, R.A., Suman, S.P., Konda, M.K.R., & Ramanathan, R.** (2009). Effect of carbon monoxide packaging and lactate enhancement on the color stability of beef steaks stored at 1 °C for 9 days. *Meat science*, 81, 71-76.
- **Mancini, R. A., Ramanathan, R., Suman, S. P., Dady, G., & Joseph, P.** (2011). Effects of succinate on ground beef color and premature browning. *Meat Science*, 89(2), 189-194.
- **Martens, H., Stabursvik, E., & Martens, M.** (1982). Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins1. *Journal of Texture studies*, 13(3), 291-309.
- **Martin, J. L., Lhommeau, T., & Beraha, P.** (2010). Impact du salage et de la cuisson sur la couleur des jambons et lardons. *TechniPorc, La revue technique de l'Institut Français du Porc, The Technical Journal of the French Pork Institute*, 33(5), 19-26.
- **Macdonald, B., Gray, J. I., Kakuda, Y., & Lee, M. L.** (1980a). Role of nitrite in cured meat flavor - chemical-analysis. *Journal of Food Science*, 45(4), 889-

- 892.
- **Macdonald, B., Gray, J. I., & Gibbins, L. N.** (1980b). Role of nitrite in cured meat flavor - antioxidant role of nitrite. *Journal of Food Science*, 45(4), 893-897.
 - **Macdonald, B., Gray, J. I., Stanley, D. W., & Usborne, W. R.** (1980c). Role of Nitrite In Cured Meat Flavor - Sensory Analysis. *Journal of Food Science*, 45(4), 885-888.
 - **McDonald, K., & Sun, D. W.** (2000). Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. *Journal of food engineering*, 45(2), 55-65.
 - **Magrinyà, N., Terjung, N., Loeffler, M., Gibis, M., Bou, R., & Weiss, J.** (2015). Influence of fat addition on the antimicrobial activity of sodium lactate, lauric arginate and methylparaben in minced meat. *International Journal of Food Microbiology*, 215, 86-94.
 - **Martínez, B., Rubio, B., Viera, C., Linares, M. B., Egea, M., Panella-Riera, N. & Garrido, M. D.** (2016). Evaluation of different strategies to mask boar taint in cooked sausage. *Meat Sci.* 116:26-33.
 - **Melody, J. L., Lonergan, S. M., Rowe, L. J., Huiatt, T. W., Mayes, M. S., & Huff-Lonergan, E.** (2004). Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. *Journal of animal science*, 82(4), 1195-1205.
 - **Mellefont, L. A., & Ross, T.** (2007). Effect of potassium lactate and a potassium lactate-sodium diacetate blend on *Listeria monocytogenes* growth in modified atmosphere packaged sliced ham. *Journal of food protection*, 70(10), 2297-2305.
 - **Michalski, M. C., Desobry, S., & Hardy, J.** (1997). Food materials adhesion: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 37(7), 591-619.
 - **Mielche, M. M., & Bertelsen, G.** (1994). Approaches to the prevention of warmed-over flavour. *Trends in Food Science & Technology*, 5(10), 322-327.
 - **Milbourne, K.** (1983). Thermal tolerance of *Lactobacillus viridescens* in ham. *Meat Science*, 9(2), 113-119.
 - **Mihalyi-Kengyel, V. & Körmendy, L.** (1973) Behaviour of polyphosphates during the storage of meat products. *Acta Aliment.*, 2 (1), 69.
 - **Minvielle, B., Le Strat, P., Le Bret, B., Houix, Y., Boulard, J., & Clochfert, N.** (2001). Viandes déstructurées. Facteurs de risque. Caractérisation colorimétrique, biochimique et histologique. *Techni Porc*, 24, 21-28.
 - **Mitchell, G. E., Giles, J. E., Rogers, S. A., Tan, L. T., Naidoo, R. J., & Ferguson, D. M.** (1991). Tenderizing, ageing, and thawing effects on sensory, chemical, and physical properties of beef steaks. *Journal of Food Science*, 56(5), 1125-1129.
 - **Mol, J. H. H., Hietbrink, J. E., Mollen, H. W., & Van Tinteren, J.** (1971). Observations on the microflora of vacuum packed sliced cooked meat products. *Journal of Applied Bacteriology*, 34(2), 377-397.
 - **Møller, J. K., Jensen, J. S., Olsen, M. B., Skibsted, L. H., & Bertelsen, G.** (2000). Effect of residual oxygen on colour stability during chill storage of sliced, pasteurised ham packaged in modified atmosphere. *Meat science*, 54(4), 399-405.
 - **Montel, M.C., Masson, F., Talon, R.** (1998). Bacterial role in flavour development. *Meat Sci.* 49, S111-S123.
 - **Mota, M. M.** (2013). Diferentes níveis vitamínicos na dieta de frangos de corte (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
 - **Motoki, M., & Seguro, K.** (1998). Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in food science & technology*, 9(5), 204-210.
 - **Mottram, D. S.** (1998). Chemical tainting of foods. *International journal of food science & technology*, 33(1), 19-29.
 - **Mounsdon, R.K. & Jolley, P. D.** (1987). The changing shape of burgers. *British Journal of Photography*, 414, 415, 433.
 - **Mudalal, S.** (2019). Incidence of white striping and its effect on the quality traits of raw and processed turkey breast meat. *Food science of animal resources*, 39(3), 410.
 - **Müller, W. D.** (1999). Woher kommen die schwärze flecken? *Fleischwirtschaft* 1, 54-55.
 - **Nannerup, L. D., Jakobsen, M., van den Berg, F., Jensen, J. S., Møller, J. K., & Bertelsen, G.** (2004). Optimizing colour quality of modified atmosphere packed sliced meat products by control of critical packaging parameters. *Meat science*, 68(4), 577-585.
 - **Nash, D. M., Proudfoot, F. G., & Hulan, H. W.** (1985). Pink discoloration in cooked broiler chicken. *Poultry Science*, 64(5), 917-919.
 - **Nawaz, A. H., Zheng, J. H., Zhang, W. L., Jian, W. F., Hai, J. Z., Amoah, K., & Zhang, L.** (2022). Breast muscle myopathies in broiler: mechanism, status and their impact on meat quality. *Annals of Animal Science*, 22(2), 551-560. <https://doi.org/10.2478/aos-2021-0076>
 - **Neraal, R., & Hamm, R.** (1977a). On the enzymatic breakdown of tripolyphosphate and diphosphate in minced meat II. occurrence of tripolyphosphatase in

- muscular tissue. *Zeitschrift für Lebensmittel-untersuchung und-forschung*, 163(1), 18-20.
- **Neraal, R., & Hamm, R.** (1977b). On the enzymatic breakdown of tripolyphosphate and diphosphate in minced meat. III. Occurrence of diphosphatases in muscular tissue. *Zeitschrift für Lebensmittel-untersuchung und-forschung*, 163(2), 123-125.
 - **Newkirk, K.A., Hand, L.W., & Sutton, D.S.** (1995). Cooking treatment, mixing time, and mixing temperature affect pepperoni cupping. *J. of Food Sci.* 60(3): 583-586.
 - **Newton, K. G., & Gill, C. O.** (1981). The microbiology of DFD fresh meats: A review. *Meat Science*, 5(3), 223-232.
 - **Ni, J. Q., Robarge, W. P., Xiao, C., & Heber, A. J.** (2012). Volatile organic compounds at swine facilities: A critical review. *Chemosphere*, 89(7), 769-788.
 - **Nielsen, H. J., & Zeuthen, P.** (1984). Growth of pathogenic bacteria in sliced vacuum-packed Bologna-type sausage as influenced by temperature and gas permeability of packaging film. *Food Microbiology*, 1(3), 229-243.
 - **Nishino, H., Tanaka, M., and Yokoyama, M.** (1991). Studies on adhesion of fish meat products to casing in retort sterilized sausage. IV. Effect of surface properties of plastic casings on meat adhesion of retort sterilized fish sausage, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(4): 667-671.
 - **Nishino, H., Tanaka, M., and Yokoyama, M.** (1990). Studies on adhesion of fish meat products to casing in retort sterilized sausage. III. The influence of different fats and starches on meat adhesion to casing, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56(11): 1853-1857.
 - **Niven, Jr, C. F., Buettner, L. G., & Evans, J. B.** (1954). Thermal tolerance studies on the heterofermentative lactobacilli that cause greening of cured meat products. *Applied Microbiology*, 2(1), 26-29.
 - **Nuckles, R. O., Smith, D. M., & Merkel, R. A.** (1990). Meat by-product protein composition and functional properties in model systems. *Journal of Food Science*, 55(3), 640-643.
 - **Nurmilah, S., Cahyana, Y., Utama, G. L., & Ait-Kaddour, A.** (2022). Strategies to Reduce Salt Content and Its Effect on Food Characteristics and Acceptance: A Review. *Foods*, 11(19), 3120.
 - **Obuz, E., & Kropf, D. H.** (2002). Will blade tenderization decrease iridescence in cooked beef semitendinosus muscle? 1. *Journal of Muscle Foods*, 13(1), 75-79.
 - **Offer, G.** (1991). Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, 30(2), 157-184.
 - **O'Hare, L. A., Leadley, S., & Parbhoo, B.** (2002). Surface physicochemistry of corona-discharge-treated polypropylene film. *Surface and Interface Analysis: An International Journal devoted to the development and application of techniques for the analysis of surfaces, interfaces and thin films*, 33(4), 335-342.
 - **Ohlinger, K. N., Young, T. M., & Schroeder, E. D.** (1998). Predicting struvite formation in digestion. *Water Research*, 32(12), 3607-3614.
 - **Oliver, M. A., Polo, J., Panella, N., Arnau, J., Contreras, M., Morera, S., Ruiz, J., & Gil, M.** (2006). Effect of natural stabilised pork haem pigment on the colour, colour stability and texture of cooked hams from pale, soft and exudative meat. *Food science and technology international*, 12(5), 429-435.
 - **Pascual, A., Trocino, A., Birolo, M., Cardazzo, B., Bordignon, F., Ballarin, C., ... & Xiccato, G.** (2020). Dietary supplementation with sodium butyrate: growth, gut response at different ages, and meat quality of female and male broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1134-1145.
 - **Pascual-Guzmán, A., Trocino, A., Susta, L., & Barbut, S.** (2021). Comparing three textural measurements of chicken breast fillets affected by severe wooden breast and spaghetti meat. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 465-471.
 - **Patterson, R. L. S.** (1967). A possible contribution of phenolic components to boar odour. *J. Sci. Food Agric.*, 18, 8-10
 - **Patterson, R. L., & Rhodes, D. N.** (1967). Catty odours in food: their production in meat stores from mesityl oxide in paint solvents. *Chemistry & Industry*, 47, 2003-2004.
 - **Pegg, R. B., Shahidi, F., & Fox Jr, J. B.** (1997). Unraveling the chemical identity of meat pigments. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 37(6), 561-589.
 - **Pegg, R. B., Fisch, K. M., & Shahidi, F.** (2000). The replacement of conventional meat curing with nitrite-free curing systems. *Fleischwirtschaft*, 80(5), 86-89.
 - **Pegg, R. B., Kerrihard, A. L., & Shahidi, F.** (2014). Warmed-Over Flavor. In *Encyclopedia of Meat Sciences* (pp. 410-415). Elsevier Inc.
 - **Peirson, M. D., Guan, T. Y., & Holley, R. A.** (2003).

- Thermal resistances and lactate and diacetate sensitivities of bacteria causing bologna discoloration. *International journal of food microbiology*, 86(3), 223-230.
- **Person, R.C., D.R. McKenna, D.B. Griffin, F.K. McKeith, J.A. Scange, K.E. Belk, G.C. Smith, and J.W. Savell.** (2005). Benchmarking value in the pork supply chain: processing characteristics and consumer evaluations of pork bellies of different thicknesses when manufactured into bacon. *Meat Science*. 70: 121-131.
 - **Petersen, G. V., Carr, D. H., Davies, A. S. & Pickett, B. T.** (1986). The effect of different methods of electrical stunning of lambs on blood pressure and muscular activity. *Meat Science*, 16(1), 1-15.
 - **Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A., & Cavani, C.** (2013). Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. *Poultry Science*, 92(6), 1670-1675.
 - **Phillips, A.L., Mancini, R., Sun, Q., Lynch, M.P., & Faustman, C.** (2001). Effect of erythorbic acid on cooked color in ground beef. *Meat Science*, 57, 31-34.
 - **Piette, J. P., Ligneau, L., Leblanc, C., Marcotte, M., & Deschênes, L.** (1998). Influence of processing on adherence of a highly extended ham to its cooking bag. *Meat science*, 48(1-2), 101-113.
 - **Pin, C., de Fernando, G.D.G., Ordonez, J.A.** (2002). Effect of modified atmosphere composition on the metabolism of glucose by *Brochothrix thermosphacta*. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 4441-4447.
 - **Pionnier, E., Nicklaus, S., Chabanet, C., Mioche, L., Taylor, A. J., Le Quéré, J. L. & Salles, C.** (2004). Flavor perception of a model cheese: relationships with oral and physico-chemical parameters. *Food Quality and Preference*, 15(7-8), 843-852.
 - **Pocius, A.V.** (1997). In: adhesion and adhesives Technology. Munich: Hanser Publishers, pp. 150-157.
 - **Ponnampalam, E. N., Hopkins, D. L., Bruce, H., Li, D., Baldi, G., & Bekhit, A. E. D.** (2017). Causes and contributing factors to “dark cutting” meat: Current trends and future directions: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 400-430.
 - **Purcell, C. S., & Hickey, C. H.** (1922). Note on an occurrence of struvite in canned shrimps. *Analyst*, 47(550), 16-18.
 - **Qiumin, M. P., Davidson, M., and Zhong, Q.** (2020). Properties and potential food applications of lauric arginate as a cationic antimicrobial. *International Journal of Food Microbiology*, 315, 108417.
 - **Qu, G., & Feddes, J. J.** (2004). Development of artificial swine odor. In 2004 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
 - **Raimondi, S., Luciani, R., Sirangelo, T. M., Amaretti, A., Leonardi, A., Ulrici, A., ... & Rossi, M.** (2019). Microbiota of sliced cooked ham packaged in modified atmosphere throughout the shelf life: Microbiota of sliced cooked ham in MAP. *International journal of food microbiology*, 289, 200-208.
 - **Real Decreto 474/2014**, de 13 de junio, por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos. BOE» núm. 147, de 18 de junio de 2014, páginas 46058-46078.
 - **Reuter, G.** (1975). Classification problems, ecology and some biochemical activities of *lactobacilli* of meat products. In *Lactic Acid Bacteria in Beverages and Foods* ed. Carr, J.G., Cutting, C.V. and Whiting, G.C. pp. 221-229. London: Academic Press.
 - **Richardson, M., Posati, L. P., & Anderson, B. A.** (1980). Composition of foods. In *Sausage and luncheon meats (Raw, Processed, Prepared)*. Handbook No. 8-7. United States Department of Agriculture, Science and Education Administration Washington, DC.
 - **Rius-Solé, M. A., & García Regueiro, J. A.** (2001). Role of 4-phenyl-3-buten-2-one in boar taint: identification of new compounds related to sensorial descriptors in pig fat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5303-5309.
 - **Robles, C.C.** (2004). The effect of fresh and frozen bellies on bacon processing characteristics and bacon quality. Master's Thesis. University of Nebraska, Lincoln, NE.
 - **Rosinski, M. J., Barmore, C. R., Dick, R. L. and Acton, J. C.** (1989a). Film sealant and vacuum effects on two measures of adhesion at the sealant-meat interface in a cook-in packaging system for processed meat. *Journal of Food Science*, 54, 863-866.
 - **Rosinski, M. J., Barmore, C. R., Bridges, Jr, W. C., Dick, R. L., & Acton, J. C.** (1989b). Phosphate type and salt concentration effects on shear strength of and packaging film adhesion to processed meat from a cook-in packaging system. *Journal of food science*, 54(6), 1422-1425.
 - **Rosinski, M. J., Barmore, C. R., Dick, R. L. and Acton, J. C.** (1990). Film-to-meat adhesion strength

- with a cook-in-the-film packaging system for a poultry meat product. *Poultry Science* 69, 360-362.
- **Rozier, J. & Durand, P.** (1969). Un curieux phénomène de cristallisation des phosphates dans un jambon blanc. *Rec. Med. Vet.* 145, 483.
 - **Ruedt, C., Gibis, M., Barbut, S., & Weiss, J.** (2021). Colour change with longitudinal compression supports hypothesis of multilayer interference as cause for meat iridescence. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(1), 250-258.
 - **Ruedt, C., Gibis, M., & Weiss, J.** (2021). Influence of muscle type and microstructure on iridescence in cooked, cured pork meat products. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15832>
 - **Ruedt, C., Gibis, M., & Weiss, J.** (2022). Effect of varying salt concentration on iridescence in pre-cooked pork meat. *European Food Research and Technology*, 1-12.
 - **Rybarczyk, A., Karamucki, R. D., Drozd, R., Polasik, D., Lupkowska, A., & Michalecka, A.** (2015). Influence of selected factors upon the blood loss from the carcasses of pigs free of the stress susceptibility gene (RYR1T). *Animal Science Papers and Reports*, 33(2), 177-184.
 - **Saffle, R. L.** (1968). Meat emulsions. *Advances in food research*, 16, 105-160.
 - **Salas-Pérez, P.J.** (2002). Differences among breeds, diets, slaughter weights and sex type in the shattering of bacon slices. M.S. Thesis. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE.
 - **Saldana, G., & Meyer, R.** (1981). Effects of added calcium on texture and quality of canned jalapeno peppers. *Journal of Food Science*, 46(5), 1518-1520.
 - **Samelis, J., Kakouri, A., Georgiadou, K.G., Metaxopoulos, J.** (1998). Evaluation of the extent and type of bacterial contamination at different stages of processing of cooked ham. *J. Appl. Microbiol.* 84, 649-660.
 - **Samelis, J., Kakouri, A., Rementzis, J.** (2000). Selective effect of the product type and the packaging conditions on the species of lactic acid bacteria dominating the spoilage microbial association of cooked meats at 4 C. *Food Microbiol.* 17, 329-340.
 - **Sammel, L. M., Claus, J. R., Greaser, M. L., & Richards, M. P.** (2006). Investigation of mechanisms by which sodium citrate reduces the pink color defect in cooked ground turkey. *Meat science*, 72(4), 585-595.
 - **Santhi, D., Kalaikannan, A., & Sureshkumar, S.** (2017). Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(10), 2021-2027.
 - **Sather, A. P., Jones, S. D. M., Robertson, W. M., & Zawadski, S.** (1995). Sex effects on fat hardness meter readings of market weight pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 75(4), 509-515.
 - **Savic, Z. & Savic, I.** (2016). Sausage casings (2nd Edition). Wien, Austria, Victus International GmbH
 - **Scheeder, M., & Hugenschmidt, G.** (2011). A Pragmatic Approach to Avoid Destructured Zones in Cooked Ham. In 57th International Congress of Meat Science and Technology, Ghent, Belgium.
 - **Schinckel, A. P., Mills, S. E., Weber, T. E., & Eggert, J. M.** (2002). A review of genetic and nutritional factors affecting fat quality and belly firmness. Proc Natl Swine Improv Fed Annu Mtg, Nashville, TN, 27, 89-113.
 - **Schmidt, S. J., & Lee, J. W.** (2009). How does the freezer burn our food? *Journal of Food Science Education*, 8(2), 45-52.
 - **Sebranek, J. G., Rust, R. E., Nusbaum, R. P., & Schlorholtz, S. M.** (1993). Identification of insoluble transparent crystals isolated from home-canned beef 1. *Journal of Muscle Foods*, 4(1), 81-87.
 - **Sebranek, J. G., & Bacus, J. N.** (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: What are the issues? *Meat Science*, 77, 136-147.
 - **Sepe, H.A., Faustman, C., Lee, S., Tang, J., Summan, S.P., & Venkitanarayanan, K.S.** (2005). Effects of reducing agents on premature browning in ground beef. *Food Chemistry*, 93, 571-576.
 - **Serra, X., Gou, P., Brun, A. & Arnau, J.** (2019). Pre-rigor processing of cooked ham without added phosphates reduces technological quality problems. 65th *International Congress of Meat Science Technology*, ICoMST 2019.
 - **Sheard, P. R., Taylor, A. A., Savage, A. W. J., Robinson, A. M., Richardson, R. I., & Nute, G. R.** (2001). Factors affecting the composition and amount of 'white exudate' from cooked bacon. *Meat Science*, 59(4), 423-435.
 - **Sheard, P. R.** (2002). Processing and quality control of restructured meat. Meat processing. Improving quality. Kerry, J.; Kerry, J. & Ledward, D. (Eds.). Pp. 333-358. Woodhead Publishing Limited. England.
 - **Shen, C., & Taylor, T. M.** (2020). Lauric Arginate Ethyl Ester. In *Antimicrobials in Food* (pp. 357-372). CRC Press.

- **Sinell, H. J.** (Ed.). (2004). Einführung in die Lebensmittelhygiene. Georg Thieme Verlag.
- **Škrlep, M., Tomašević, I., Mörlein, D., Novaković, S., Egea, M., Garrido, M.D., Linares, M.B., Peñaranda, I., Aluwé, M., Font-i-Furnols, M.** (2020). The use of pork from entire male and immunocastrated pigs for meat products – an overview with recommendations. *Animals* 10, 1754.
- **Smit, G., Smit, B.A., Engels, W.J.M.**, 2005. Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS Microbiol. Rev.* 29, 591-610.
- **Smith, D. P., & Northcutt, J. K.** (2004). Induced red discoloration of broiler breast meat: i. Effect of blood, bone marrow and marination. *International Journal of Poultry Science*, 3(4), 248-252.
- **Smith, L. A., Simmons, S. L., McKeith, F. K., Bechtel, P. J., & Brady, P. L.** (1984). Effects of sodium tripolyphosphate on physical and sensory properties of beef and pork roasts. *Journal of Food Science*, 49(6), 1636-1637.
- **Soglia, F., Mudalal, S., Babini, E., Di Nunzio, M., Mazzoni, M., Sirri, F., ... & Petracci, M.** (2016). Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science*, 95(3), 651-659.
- **Soglia, F., Baldi, G., Laghi, L., Mudalal, S., Cavani, C., & Petracci, M.** (2018). Effect of white striping on turkey breast meat quality. *Animal*, 12(10), 2198-2204.
- **Soladoye, O. P.** (2017). Predicting the physicochemical properties of pork belly and the effect of cooking and storage conditions on bacon sensory and chemical characteristics (Doctoral dissertation, University of Saskatchewan).
- **Soladoye, P. O., Shand, P. J., Aalhus, J. L., Gariépy, C., & Juárez, M.** (2015). Pork belly quality, bacon properties and recent consumer trends. *Canadian Journal of Animal Science*, 95(3), 325-340.
- **Soltanizadeh, N., & Kadivar, M.** (2012). Role of globin moiety in the chemical structure of curing pigment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(18), 4718-4724.
- **Sørheim, O., & Hildrum, K. I.** (2002). Muscle stretching techniques for improving meat tenderness. *Trends in Food Science & Technology*, 13(4), 127-135.
- **Spencer, J. V., Sauter, E. A., & Stadelman, W. J.** (1961). Effect of freezing, thawing and storing broilers on spoilage, flavor and bone darkening. *Poultry Science*, 40(4), 918-920.
- **Squires, E. J., Bone, C., & Cameron, J.** (2020). Pork production with entire males: Directions for control of boar taint. *Animals*, 10(9), 1665.
- **Stabursvik, E., Fretheim, K., & Frøystein, T.** (1984). Myosin denaturation in pale, soft, and exudative (PSE) porcine muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35(2), 240-244.
- **Steen, L., Fraeye, I., Goemaere, O., Sifre, L., Goderis, B., Paelinck, H., & Foubert, I.** (2014a). Effect of salt and liver/fat ratio on microstructure, emulsion stability, texture and sensory mouth feel of liver paste. *Food and bioprocess technology*, 7(10), 2855-2864.
- **Steen, L., Fraeye, I., De Mey, E., Goemaere, O., Paelinck, H., & Foubert, I.** (2014b). Effect of salt and liver/fat ratio on viscoelastic properties of liver paste and its intermediates. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2), 496-505.
- **Steen, L., Glorieux, S., Goemaere, O., Brijs, K., Paelinck, H., Foubert, I., & Fraeye, I.** (2016). Functional properties of pork liver protein fractions. *Food and Bioprocess Technology*, 9(6), 970-980.
- **Stiles, M. E.** (1996). Biopreservation by lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 70(2), 331-345.
- **Streeter, E. M., & Spencer, J. V.** (1973). Cryogenic and conventional freezing of chicken. *Poultry Science*, 52(1), 317-325.
- **Stufft, K., J. Elgin, B. Patterson, S. K. Matarneh, R. Preisser, H. Shi, E. M. England, T. L. Scheffler, E. W. Mills, and D. E. Gerrard.** (2017). Muscle characteristics only partially explain color variations in fresh hams. *Meat Science* 128 (Supplement C):88–96. doi:10.1016/j.meatsci.2016.12.012.
- **Suman, S.P., Faustman, C., Lee, S., Tang, J., Sepe, H.A., Vasudevan, P., Annamalai, T., Manojkumar, M., Marek, P., & Venkitanarayanan, K.S.** (2005). Effect of erythorbate, storage and high-oxygen packaging on premature browning in ground beef. *Meat Science*, 69, 363-369.
- **Suman, S.P., Li, S., Beach, C.M., & Claus, J.R.** (2010). Mass spectrometric characterization and thermostability of turkey myoglobin. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 273-278.
- **Suman, S.P., Li, S., Claus, J.R., Fontaine, M., & Steinke, L.** (2011). Primary structure of turkey myo-

- globin. *Food Chemistry*, 129, 175-178.
- **Suman, S. P., Mancini, R. A., Joseph, P., Ramathan, R., Konda, M. K. R., Dady, G., ... & López-López, I.** (2010). Color-stabilizing effect of lactate on ground beef is packaging-dependent. *Meat Science*, 84(3), 329-333.
 - **Suman, S. P., Nair, M. N., Joseph, P., & Hunt, M. C.** (2016). Factors influencing internal color of cooked meats. *Meat Science*, 120, 133-144.
 - **Sun, C., Zhang, D., & Wadsworth, L. C.** (1999). Corona treatment of polyolefin films—A review. *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, 18(2), 171-180.
 - **Sutherland, J. P., Varm, A. H. & Evans, M.G.** (1987). *Colour Atlas of Food Quality Control*. CRC Press. P.60.
 - **Sutton, A.H.** (1973). The hydrolysis of sodium triphosphate in cod and beef muscles. *J. Food Technol.* 8, 185.
 - **Swatland, H. J.** (1984). Optical characteristics of natural iridescence in meat. *Journal of Food Science*, 49(3), 685-686.
 - **Tamilmani, P., & Pandey, M. C.** (2016). Thermal analysis of meat and meat products: A review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123, 1899-1917.
 - **Tan, H. L., Tan, T. C., & Easa, A. M.** (2022). The use of salt substitutes to replace sodium chloride in food products: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(11), 6997-7007.
 - **Tanikawa, E., Nagasawa, Y., & Sugiyama, T.** (1957). The formation of Magnesium-Ammonium-Phosphate crystals in canned sea foods: IX. Method for Preventing the Formation of the Crystals during the Processing of the Cans. Research report from the Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 8(3), 195-209.
 - **Tansman, G. F., Kindstedt, P. S., & Hughes, J. M.** (2017). Minerals in food: Crystal structures of ikaite and struvite from bacterial smears on washed-rind cheese. *The Canadian Mineralogist*, 55(1), 89-100.
 - **Tantikarnjathep, K., Sebranek, J. G., Topel, D. G. and Rust, R. E.** (1983). Use of vacuum during formation of meat emulsions. *J Food Sci.* 48: 1039-1041.
 - **Ten Cate, C. L.** (1969). Fettauschwitzungen bei Rohwurst: Schrumpfspannungen während des Eintrockens. *Fleischwirtschaft*, 5, 583-893.
 - **Terlizzi, F. M., R. R. Perdue, and L. L. Young,** (1984). Processing and distributing cooked meats in flexible films. *Food Technol.* 38(3):67-71, 73.
 - **Thomas Caroline** (2014). Préservation de l'arôme dans un jambon cuit non nitrifié. Alimentation et Nutrition. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II. Français. ffNNT: 2014CLF22522ff. fftel-02800482.
 - **Tijare, V. V., Yang, F. L., Kuttappan, V. A., Alvarado, C. Z., Coon, C. N., & Owens, C. M.** (2016). Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science*, 95(9), 2167-2173.
 - **Toth, L., & Potthast, K.** (1984). Chemical aspects of the smoking of meat and meat products. In *Advances in food research*, 29, 87-158). Academic Press.
 - **Tornberg, E. V. A.** (2005). Effects of heat on meat proteins—Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3), 493-508.
 - **Vanderhout, R. J., Leishman, E. M., Abdalla, E., Barbut, S., Wood, B. J., & Baes, C. F.** (2022). Genetic parameters of white striping and meat quality traits indicative of pale, soft, exudative meat in turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Frontiers in Genetics*, 305.
 - **Van Laack, R. L. J. M., Stevens, S. G., & Stalder, K. J.** (2001). The influence of ultimate pH and intramuscular fat content on pork tenderness and tenderization. *Journal of animal science*, 79(2), 392-397.
 - **Van Rooyen, L. A., Allen, P., & O'Connor, D. I.** (2017). The application of carbon monoxide in meat packaging needs to be re-evaluated within the EU: An overview. *Meat Science*, 132, 179-188.
 - **Van Wagenberg, C. P. A., Snoek, H. M., Van Der Fels, J. B., Van Der Peet-Schwering, C. M. C., Vermeer, H. M., & Heres, L.** (2013). Farm and management characteristics associated with boar taint. *Animal*, 7(11), 1841-1848.
 - **Vasilopoulos, C., Ravyts, F., De Maere, H., De Mey, E., Paelinck, H., De Vuyst, L., Leroy, F.** (2008). Evaluation of the spoilage microbiota in modified-atmosphere packaged artisan-type cooked ham using culture-dependent and culture independent approaches. *J. Appl. Microbiol.* 104, 1341-1353.
 - **Vasilopoulos, C., De Maere, H., De Mey, E., Paelinck, H., De Vuyst, L., & Leroy, F.** (2010). Technology-induced selection towards the spoilage microbiota of artisan-type cooked ham packed under modified atmosphere. *Food Microbiology*, 27(1), 77-84.
 - **Velarde, A., Gispert, M., Faucitano, L., Manteca, X. & Diestre, A.** (2000). The effect of stunning meth-

- od on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Science*, 55(3), 309-314.
- **Velleman, S. G.** (2020). *Pectoralis major* (breast) muscle extracellular matrix fibrillar collagen modifications associated with the wooden breast fibrotic myopathy in broilers. *Frontiers in Physiology*, 11, 461.
 - **Vendeuvre, J. L.** (1984). Un exemple de variabilité de la composition chimique du jambon cuit: la teneur en phosphate. *Viandes et Produits Carnés*, 5(2), 54-56.
 - **von Holy, A. and Holzapfel, W.H.** (1991) Shelf life extension of vacuum packaged Vienna sausages by in-package pasteurization. Proc. 37th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Kulmbach, Germany, pp. 563-566.
 - **von Holy, A., D. Miessner, and W. H. Holzapfel.** (1991). Effects of pasteurization and storage temperature on vacuum-packaged vienn a sausage shelf-life. *South Afr. J. Sci.* 87:387-390
 - **Voutila, L., Linqvist, N., Ruusunen, M., Puolanne, E.** (2006). A procedure to accelerate the chilling rate of porcine *semimembranosus* muscle. 52nd International Congress of Meat Science and Technology, 13th-18th August, Dublin, Ireland, 595-598.
 - **Wagner, J. R., & Anon, M. C.** (1985). Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins. *International Journal of Food Science & Technology*, 20(6), 735-744.
 - **Walz, F.H., Gibis, M., Schrey, P., Herrmann, K., Reichert, C.L., Hinrichs, J., & Weiss, J.** (2017). Inhibitory effect of phosphates on magnesium lactate efflorescence formation in dry-fermented sausages. *Food Research International*, 100 (Part 1), 352-360.
 - **Walz, F.H., Gibis, M., Lein, M., Herrmann, K., Hinrichs, J., & Weiss, J.** (2018). Influence of casing material on the formation of efflorescences on dry fermented sausages *LWT*, 89, 434-440.
 - **Walz, F.H., Gibis, M., Lein, M., Herrmann, K., Hinrichs, J., & Weiss, J.** (2019). Impact of smoking on efflorescence formation on dry-fermented sausages. *Food Structure*, 20, 100-111.
 - **Wang, H.** (1991). Causes and solutions of iridescence in precooked meat (Doctoral dissertation, Kansas State University).
 - **Warner, R. D., Kauffman, R. G., & Greaser, M. L.** (1997). Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat Science*, 45, 339-352.
 - **Warriss, P. D., & Akers, J. M.** (1980). The effect of sex, breed and initial carcass pH on the quality of cure in bacon. *International Journal of Food Science & Technology*, 15(6), 629-636.
 - **Wazer, J. R. V.** (1958). Phosphorus and Its Compounds: Chemistry. Interscience Publishers, Incorporated.
 - **Weiler, U., Font-i-Furnols, M., Tomasevič, I., & Bonneau, M.** (2021). Alternatives to piglet castration: from issues to solutions. *Animals*, 11(4), 1041.
 - **Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., & Koohmaraie, M.** (2000). Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. *Journal of Animal Science*, 78(4), 958-965.
 - **Whitehead, C. C.** (2010). Update on current European broiler bone problems. Proceedings of the 21st Annual Australian Poultry Science Symposium, Sydney, New South Wales, 22-25.
 - **Whitney, M. H., Shurson, G. C., Johnston, L. J., Wulf, D. M., & Shanks, B. C.** (2006). Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *Journal of Animal Science*, 84(12), 3356-3363.
 - **Winger, R. J., & Hagyard, C. J.** (1994). Juiciness—its importance and some contributing factors. In *Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products* (pp. 94-124). Boston, MA: Springer US.
 - **Wood, J. D., Brown, S. N., Nute, G. R., Whittington, F. M., Perry, A. M., Johnson, S. P., & Enser, M.** (1996). Effects of breed, feed level and conditioning time on the tenderness of pork. *Meat Science*, 44(1-2), 105-112.
 - **Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., ... & Whittington, F. M.** (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat science*, 78(4), 343-358.
 - **Wu, W., Jerome, D. and Nagaraj, R.** (1994) Increased redness in turkey breast muscle induced by Fusarial culture materials. *Poultry Science*, 73, 331-335.
 - **Xargayó, M., Lagares, J., Fernández, E., Borrell, D., & Sanz, D.** (2007). Optimización del rendimiento del loncheado por medio de la tenderización. **eu-rocarne: La revista internacional del sector cárnico**, (161), 65-74.
 - **Xargayó, M., Lagares, J., Fernández, E. & Sanz,**

- D.** (2009). Compactación de la carne durante la embutición: un nuevo avance en la automatización de los productos cocidos de alta calidad. *euocarne: La revista internacional del sector cárnico*, 180, 58-65.
- **Xargayó, M., Lagares, J., Fernández, E., Gumà, J., Sanz, D., & Brugué, J. M.** (2013). SprayPlusSystem, evolución de la inyección de productos cárnicos cocidos. *euocarne: La revista internacional del sector cárnico*, 215, 90-96.
 - **Xargayó, M., Lagares, J., Fernández, E., Gumà, J., & Garcia, M.** (2018). Productos cocidos de muy alto rendimiento: TRIPLEX la inyección Exponencial. Disponible en: <https://www.metalquimia.com/es/cocidos/publicaciones/>
 - **Xargayó, M., Fernández, E., Riera, B., García, M., Cabezas, A., & Lagares, J.** (2020). Descongelación de alto rendimiento: D-Icer. *Cárnica 2000*, 47(411), 38-52.
 - **Xiong, G., Chen, X., Gao, X., Yin, C., Xu, X., & Qi, J.** (2020). Comparison on the emulsion properties of normal colour and discolouration fresh chicken liver. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 551-559.
 - **Yamamoto, T., & Inui-Yamamoto, C.** (2023). The flavor-enhancing action of glutamate and its mechanism involving the notion of *kokumi*. *npj Science of Food*, 7(1), 3.
 - **Yamazaki, M., Shen, Q. W., & Swartz, D. R.** (2010). Tripolyphosphate hydrolysis by bovine fast and slow myosin subfragment 1 isoforms. *Meat Science*, 85(3), 446-452.
 - **Yang, S., Wang, J., Wang, Y., & Luo, Y.** (2016). Key role of collagen fibers orientation in casing-meat adhesion. *Food Research International*, 89, 439-447.
 - **Yi, J., & Richter-Addo, G. B.** (2012). Unveiling the three-dimensional structure of the green pigment of nitrite-cured meat. *Chemical Communications*, 48(35), 4172-4174.
 - **Yildirim, S., Röcker, B., Rüegg, N., & Lohwasser, W.** (2015). Development of palladium-based oxygen scavenger: optimization of substrate and palladium layer thickness. *Packaging Technology and Science*, 28(8), 710-718.
 - **Young, L. L., Lyon, C. E., Northcutt, J. K., & Dickens, J. A.** (1996). Effect of time post-mortem on development of pink discoloration in cooked turkey breast meat. *Poultry Science*, 75(1), 140-143.
 - **Yu, D.** (2011). Department of Agricultural, Food and Nutritional Science (Doctoral dissertation, University of Alberta).
 - **Zaid, A., Abu-Khalaf, N., Mudalal, S., & Petracci, M.** (2020). Differentiation between normal and white striped turkey breasts by visible/near infrared spectroscopy and multivariate data analysis. *Food science of animal resources*, 40(1), 96.
 - **Zagdoun, M.** (2020). Caractérisation de l'influence de facteurs environnementaux sur l'écologie microbienne du jambon cuit tranché (Doctoral dissertation, université Paris-Saclay).
 - **Zagdoun, M., Coeuret, G., N'Dione, M., Champomier-Vergès, M. C., & Chaillou, S.** (2020). Large microbiota survey reveals how the microbial ecology of cooked ham is shaped by different processing steps. *Food Microbiology*, 91, 103547.
 - **Zampiga, M., Soglia, F., Baldi, G., Petracci, M., Strasburg, G. M., & Sirri, F.** (2020). Muscle abnormalities and meat quality consequences in modern turkey hybrids. *Frontiers in Physiology*, 11, 554.
 - **Zhang, W. G., Lonergan, S. M., Gardner, M. A., & Huff-Lonergan, E.** (2006). Contribution of post-mortem changes of integrin, desmin and μ -calpain to variation in water holding capacity of pork. *Meat Science*, 74(3), 578-585.
 - **Zhang, Y., Puolanne, E., & Ertbjerg, P.** (2021). Mimicking myofibrillar protein denaturation in frozen-thawed meat: Effect of pH at high ionic strength. *Food Chemistry*, 338, 128017.
 - **Zhao, C. J., Schieber, A. & Gänzle, M. G.** (2016). Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations—A review. *Food Research International*, 89, 39-47.
 - **Zhu, Z., Geng, Y., & Sun, D. W.** (2019). Effects of operation processes and conditions on enhancing performances of vacuum cooling of foods: A review. *Trends in food science & technology*, 85, 67-77. **e**

Metalquimia

MEAT THE NEXT

Breakthrough Technologies
for an Exponential Protein Demand

