



Problemas sensoriales de los embutidos curado-madurados

Jacint Arnau Arboix

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

CONVERTIMOS IDEAS EN SOLUCIONES.



Su socio proveedor de soluciones para líneas y procesos.

¿Tienen una nueva idea de producto? Nosotros tenemos la solución adecuada. Desde la preparación del producto hasta la tecnología de embutición, porcionado y manipulación del producto. Beneficiéase de nuestros años de experiencia, de nuestra tecnología segura y de nuestro excelente servicio. Convirtamos juntos sus ideas en soluciones.

Más información en:
www.handtmann.com/food



handtmann
Ideas con futuro.

La elaboración de los embutidos cárnicos curado-madurados proviene de la tradición ancestral de conservar la carne mediante fermentación y/o secado. Actualmente, se pretende obtener productos con valor añadido, cómodos, nutritivos y que sean apreciados por su aspecto, textura, olor y flavor. A pesar de que en las últimas décadas se han realizado importantes avances en el conocimiento de los procesos de maduración y secado, los productos obtenidos no presentan siempre 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 embutidos curado-madurados.

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 embutidos curado-madurados. 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 embutidos curado-madurados. Finalmente, agradecer al equipo de profesionales del IRTA-Monells por el esfuerzo y dedicación en la mejora del conocimiento de los embutidos curado-madurados, 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 embutidos curado-madurados 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.

En este artículo, se actualiza la información publicada en 2011 sobre problemas de aspecto, textura, olor y sabor/flavor que pueden encontrarse en los embutidos curado-madurados (Arnaú, 2011). Deseo que su lectura sea útil y contribuya a mejorar la calidad de los embutidos curado-madurados en sus distintas formas de consumo.

<p>Introducción 1</p> <p>1. Problemas de aspecto 3</p> <p> 1.1. Embarrado 3</p> <p> 1.2. Problemas debidos al proceso de embutición 5</p> <p> 1.3. Problemas de nitrificación 6</p> <p> 1.3.1. Color verde-gris en el exterior 6</p> <p> 1.3.2. Insuficiente transformación del nitrato a nitrito 7</p> <p> 1.3.3. Halos de nitrificación 8</p> <p> 1.3.4. Insuficiente desarrollo de color en productos sin nitrificantes 8</p> <p> 1.4. Oxidación del color 9</p> <p> 1.4.1. Ingredientes 9</p> <p> 1.4.2. Proceso 9</p> <p> 1.4.3. Composición de la atmósfera modificada 10</p> <p> 1.5. Cambios debidos al colorante 12</p> <p> 1.5.1. Reducción del color 12</p> <p> 1.5.2. Cambios de matiz 12</p> <p> 1.6. Irisaciones 12</p> <p> 1.7. Decoloración de las especias de cobertura 13</p> <p> 1.8. Problemas de mohos 13</p> <p> 1.8.1. Crecimiento de mohos no deseables en productos con moho 13</p> <p> 1.8.2. Crecimiento de mohos en productos sin moho 13</p> <p> 1.8.3. Pérdida de moho en productos envasados al vacío o en atmósfera modificada 14</p> <p> 1.8.4. Decoloración amarilla bajo la tripa 15</p> <p> 1.8.5. Falta de moho en productos con moho 15</p> <p> 1.8.6. Degradación de la tripa por acción de los mohos 15</p> <p> 1.9. Manchas de origen microbiano 15</p> <p> 1.9.1. Manchas negras 15</p> <p> 1.9.2. Coloración violeta 17</p> <p> 1.9.3. Manchas azules 17</p> <p> 1.9.4. Coloración rosa de las tripas saladas 18</p> <p> 1.10. Aspecto limoso 18</p> <p> 1.10.1. Exudado limoso en el interior del embutido 18</p> <p> 1.10.2. Limo superficial 18</p> <p> 1.10.3. Delicuescencia 18</p> <p> 1.11. Exudado de grasa 19</p> <p> 1.11.1. En la superficie de piezas enteras 19</p> <p> 1.11.2. En la superficie de corte 19</p> <p> 1.11.3. En la superficie de lonchas envasadas en atmósfera modificada 19</p> <p> 1.12. Formación de precipitados 20</p> <p> 1.12.1. Precipitado de fosfato 20</p> <p> 1.12.2. Precipitado de creatina 21</p> <p> 1.12.3. Precipitado de lactato magnésico 22</p> <p> 1.12.4. Precipitado de lactato de calcio 23</p> <p> 1.12.5. Precipitado de sal (NaCl) 24</p> <p> 1.12.6. Precipitado de cloruro potásico (KCl) 24</p> <p> 1.12.7. Precipitado de tirosina 24</p> <p> 1.12.8. Precipitado de tripolfosfato de magnesio y sodio 24</p> <p> 1.12.9. Cristales de grasa 25</p> <p> 1.12.10. Hipoxantina 25</p> <p> 1.13. Desprendimiento de la tripa 25</p> <p> 1.14. Ácaros e insectos 26</p>	<p> 1.15. Agujeros 27</p> <p> 1.15.1. Por insuficiente vacío y/o temperatura demasiado baja 27</p> <p> 1.15.2. Por formación de gas 27</p> <p> 1.15.3. Por encostrado 28</p> <p> 1.16. Deformaciones del embutido 28</p> <p> 1.16.1. <i>Cupping</i> 28</p> <p> 1.16.2. Plegado insuficiente 29</p> <p> 1.16.3. Plegado excesivo 29</p> <p> 1.16.4. Empedrado superficial 30</p> <p> 1.17. Deformación del envase 30</p> <p> 1.18. Condensaciones 30</p> <p> 1.18.1. En piezas enteras o superficies de contacto 30</p> <p> 1.18.2. En el interior del envase 30</p> <p> 1.19. Pelos y cabellos 31</p> <p> 1.20. Defectos de ahumado 31</p> <p>2. Problemas de textura 32</p> <p> 2.1. Encostrado 32</p> <p> 2.2. Textura blanda 33</p> <p> 2.3. Falta de ligado 34</p> <p> 2.3.1. Ligado del magro 34</p> <p> 2.3.2. Ligado de la grasa 34</p> <p> 2.4. Gomosidad 35</p> <p> 2.5. Residuo de conectivo 35</p> <p> 2.6. Textura fibrosa 36</p> <p> 2.7. Mordida dura 36</p> <p> 2.8. Falta de crujencia 36</p> <p>3. Problemas de flavor 36</p> <p> 3.1. Producidos por ingredientes y procesos 37</p> <p> 3.1.1. Salado 37</p> <p> 3.1.2. Amargo 37</p> <p> 3.1.3. Ácido 38</p> <p> 3.1.4. Rancio 39</p> <p> 3.1.5. Olor de tripa 39</p> <p> 3.1.6. Olor a excrementos/mercaptanos/confinado 39</p> <p> 3.1.7. Olor a grasa de cordero 40</p> <p> 3.1.8. Notas defectuosas debidas al pimentón 40</p> <p> 3.1.9. Viejo 40</p> <p> 3.1.10. Defectos de ahumado 40</p> <p> 3.1.11. Olor/flavor sexual 40</p> <p> 3.1.12. Olor a tostado 40</p> <p> 3.1.13. Falta de aroma 40</p> <p> 3.2. Defectos de flavor producidos por microorganismos 40</p> <p> 3.2.1. Floral 41</p> <p> 3.2.2. Olor a amoníaco 41</p> <p> 3.2.3. Olor a queroseno 41</p> <p> 3.2.4. Olor a estireno 41</p> <p> 3.2.5. Olor a grasa cocida 41</p> <p> 3.2.6. Olor a podrido 41</p> <p> 3.2.7. Sensación picante 41</p> <p> 3.2.8. Otros olores extraños 42</p> <p>4. Conclusión 42</p> <p>5. Bibliografía 43</p>
---	---

PATROCINADO POR:

handtmann

Ideas con futuro.

1. Problemas de aspecto

1.1. Embarrado

Se entiende por embarrado la rotura de un número importante de células grasas (adipocitos) y la distribución de dicha grasa sobre las partículas de carne durante el tratamiento mecánico de la pasta (picado, amasado o embutido), lo cual confiere a la pasta un aspecto pálido y grasiento (imágenes 1a, b). Como causas del embarrado se pueden destacar:

- La adición de grasas blandas o de punto de fusión bajo. En este caso es conveniente disminuir la temperatura de picado de la grasa. Como regla general, la masa debe ser algo pegajosa después del coterado. La temperatura de la masa de los embutidos de picado fino, al final del picado en cutter, debe estar entre -3 y -4 °C (ligeramente por encima del punto de congelación de la fase magra aditivada)¹, y la de los de picado grueso debe estar entre -3 y 0 °C. La presencia en la grasa de una elevada proporción de formas beta de los triglicéridos frente a las formas alfa (lo cual aumenta con el tiempo de reposo en frío) seguramente disminuiría el embarrado y mejoraría la calidad del picado.
- Una temperatura media elevada o poco homogénea de la carne (unas partes calientes y otras frías) y unos elementos de picado o superficies de máquinas (picadora, amasadora, embutidora) insuficientemente refrigeradas (e.g. al iniciar la jornada). Se aconseja mantener los elementos de picado y embutido en frío, y enfriar la superficie de las máquinas, previo a su uso, para evitar el calentamiento de la primera masa que entre en contacto con ellas.
- Un tratamiento mecánico inadecuado: afilado inadecuado o mal ajuste de las cuchillas, mala ali-



Imagen 1a. Pasta embarrada.



Imagen 1b. Embarrado en el exterior del embutido.

mentación de la picadora, mal amasado, palas de embutidora gastadas, pastas poco fluidas, pastas recicladas procedentes de tripas rotas, calentamiento de las pastas dentro de la embutidora debido a las pausas, clipado inadecuado, etc.

- Excesiva extracción de proteína, debido a la combinación de la adición prematura de la sal con un tratamiento mecánico intenso. La extracción intensa de proteína, si bien facilita el embarrado, no debe confundirse con él, ya que las consecuencias en el producto son distintas (mayor ligado, gomosidad y adherencia de la pasta).
 - La obstrucción de la picadora por el uso de carnes tendinosas y de animales maduros (e.g. vacuno). El prepicado en cutter de estas carnes disminuye dicho problema. También lo disminuye el aumento del número de puntos de corte de la cuchilla y la disminución de la temperatura de la carne.
- Como consecuencia del embarrado, el color es más pálido y grasiento, se observa fusión de la grasa

¹ 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, $K_f = 1,853 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$). "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 1c. Exudado oleoso en embutido embarrado.



Imagen 1d. Exudado oleoso en embutido embarrado.

(**imágenes 1c, 1d**), disminuye el ligado de los componentes, el secado es más lento y puede producirse una reducción y decoloración de los colorantes azoicos (e.g. E-124) o una disminución del color nitrificado típico. El embarrado es muy negativo en los embutidos de calibre grande que se comercializan al corte, pero en embutidos de pequeño calibre, donde el color puede estabilizarse por otras vías (e.g. pimentón), y el ligado no es un aspecto clave de la calidad, un cierto embarrado puede contribuir a frenar el secado del producto y facilitar su disgregación al masticar.

El embarrado facilita las fermentaciones anómalas debido a que la difusión de los nutrientes (e.g. azúcares) a través de la capa de grasa es más lenta, y por tanto puede representar también un problema adicional de seguridad alimentaria (especialmente



Imagen 2a. Defecto de coloración ocasionado por la embutición.



Imagen 2b. Defecto de coloración ocasionado por la embutición.



Imagen 2c. Defecto de coloración ocasionado por la embutición.

si el contenido de azúcares y de sal es limitado). Por otro lado, el embarrado produce la degradación del color debido a que los cultivos iniciadores que lo estabilizan crecen mal en una estructura grasienta o tipo emulsión. Además, el embarrado reduce la adhesión de la tripa a la carne, y de las partículas de

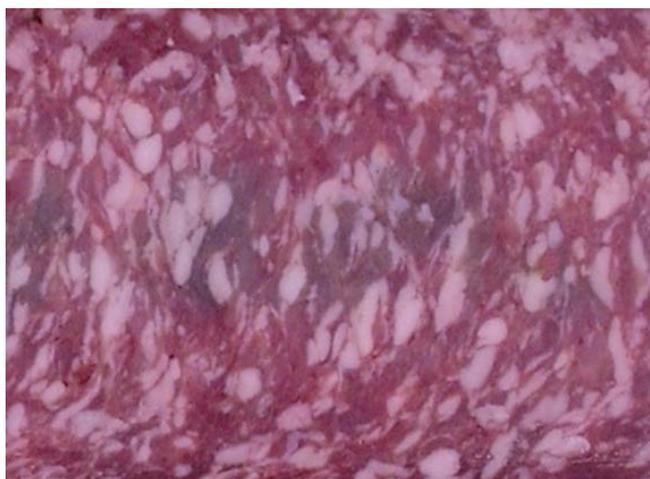


Imagen 2d. Defecto de coloración ocasionado por la embutición.

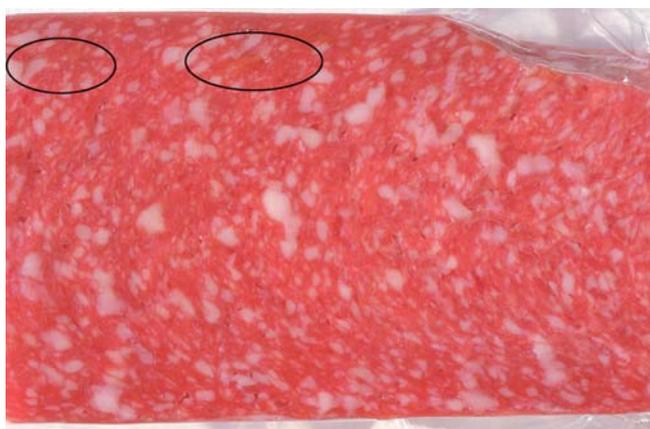


Imagen 2e. Defecto de coloración producido por contaminación por aceite del rotor durante la embutición.

carne entre sí o con la grasa, facilitando posteriormente la formación de huecos. Sin embargo, se ha observado que, en embutidos muy magros, la adición de una pequeña cantidad de aceite o grasa puede mejorar la calidad sensorial de los productos no ácidos (Mora-Gallego *et al.*, 2013).

1.2. Problemas debidos al proceso de embutición

Tal como se ha mencionado anteriormente, durante el embutido puede producirse un embarrado de la pasta debido a su fricción con los elementos de la embutidora. Este problema es especialmente evidente cuando se producen defectos de coloración seriados debidos al embarrado producido por algunas palas (**imágenes 2a, b, c, d**), a la contaminación del rotor por aceite (**imagen 2e**) o al efecto del porcionado/torsionado en embutidos de pe-



Imagen 2f. Defecto de coloración producido al porcionar/torsionar.

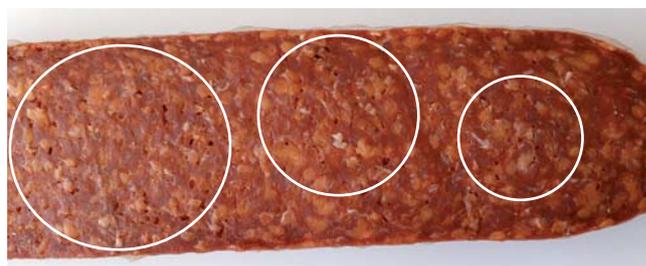


Imagen 2g. Falta de vacío durante la embutición.

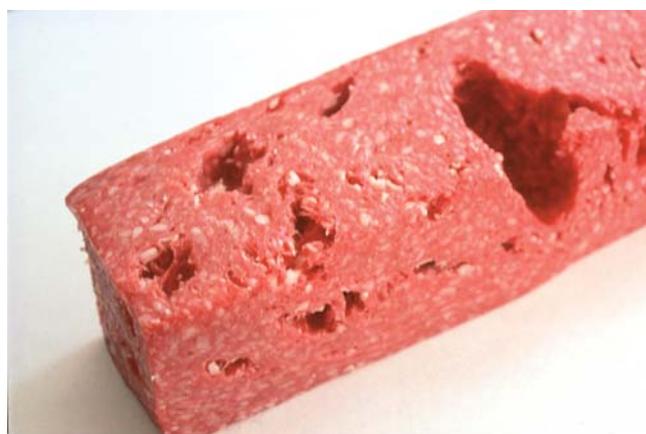


Imagen 2h. Agujeros debidos a problema de embutición.

queño calibre (**imagen 2f**). Estos problemas son más evidentes en embutidos cuyas pastas se endurecen mucho al reposar (antes de embutir) y que contienen colorantes azoicos (e.g. E-124). Estos colorantes, en pastas embarradas, pueden reducirse y perder el color debido a la acción de bacterias con capacidad azoreductasa. En algunos casos, la decoloración se observa después del estufaje y en otros durante el secado. Las embutidoras de pistón son las que generan un menor embarrado.

La aplicación de insuficiente vacío durante el amasado y la embutición, y el uso de pastas duras dificultan la extracción de aire, generan agujeros y dan



Imagen 2i. Pastas emulsionadas en la punta del embutido.



Imagen 2j. Pastas emulsionadas en la punta del embutido.



Imagen 2k. Defecto ocasionado durante el clipado.

lugar a un embutido menos compacto (lo cual implica también un mayor gasto de tripa) (**imágenes 2g, h**).

Dentro del rotor de la embutidora y del embudo de embutición se generan pastas muy adhesivas que pueden aparecer en determinadas zonas del embutido, especialmente en las puntas (**imágenes 2i, j**).



Imagen 3. Coloración grisácea/verdosa producida por el nitrito.

El clipado agresivo e inadecuado de embutidos de calibre grueso puede generar problemas de textura blanda en las puntas (**imagen 2k**) que, aunque acidifican bien, no absorben bien el humo y no adquieren la consistencia deseada.

1.3. Problemas de nitrificación

1.3.1. Color verde-gris en el exterior

Se produce en la superficie de los embutidos cuando el óxido nítrico (NO), procedente de la reducción del nitrito, reacciona con el oxígeno (O₂) dando dióxido de nitrógeno (NO₂), el cual posee una buena solubilidad en agua, forma con ella ácido nítrico (HNO₃) y produce una coloración grisácea/verdosa (**imagen 3**). Según Bondoc & Timkovich (1989) el compuesto responsable del color verde es la nitrimióglobina que se obtiene de la reacción de la metamióglobina con el nitrito a pH < 7. Este problema normalmente no se observa cuando se usa nitrato como agente nitrificante debido a que, cuando este se reduce a nitrito, en la superficie del embutido hay unos recuentos muy elevados de microorganismos que pueden consumir el oxígeno que se absorbe en la superficie, y se dificulta la reacción con el óxido nítrico procedente de la reducción del nitrito.

La coloración grisácea también ocurre cuando el pigmento de curado (nitrosilmióglobina) del magro en contacto con la tripa (**imagen 4a**) o el pimentón (**imagen 4b**) se oxidan. Para evitarlo debe mantenerse la superficie con una humedad suficientemente baja (evitando el encostrado) para reducir la absorción de



Imagen 4a. Oxidación superficial.



Imagen 4b. Oxidación superficial.



Imagen 4c. Estabilización del color producida por *S. xylosus/carnosus*.



Imagen 4d. Decoloración producida por absorción de oxígeno previo a estufaje (I), aspecto después de estufaje (II).

oxígeno, evitar el embarrado y utilizar cultivos microbianos con capacidad estabilizadora del color (e. g. *Staphylococcus xylosus*, *S. carnosus*) (imagen 4c). Debe tenerse en cuenta que *S. carnosus* es más tolerante a los ácidos que *S. xylosus*, y este es más proteolítico, tolerante a la sal y se desarrolla mejor a temperatura baja en medio poco ácido.

En productos mantenidos en frío y con humedad elevada (antes del estufaje), en los que no se produce acidificación, se puede dar cierta decoloración debido a la difusión hacia el interior de oxígeno, que no se consume ni por el óxido nítrico generado, ni por la microbiota presente. Posteriormente, cuando el embutido se somete a estufaje, esta decoloración desaparece rápidamente (imagen 4d).



Imagen 5a. Transformación deficiente de nitrato a nitrito.



Imagen 5b. Efecto de la adición de una solución de 0,1 g/l de nitrito a un embutido sin transformación de nitrato a nitrito.

1.3.2. Insuficiente transformación del nitrato a nitrito

En los embutidos curado-madurados a los que se añade sólo nitrato, debe evitarse una acidificación muy rápida, ya que cuando el pH es inferior a 5,4 apenas se produce la reducción del nitrato a nitrito por acción de las bacterias con capacidad nitrato-reductasa. Tal como se observa en la imagen 5a, se puede producir nitrificación en la zona externa, que es más propicia al crecimiento de bacterias con capacidad nitrato-reductasa (más aerobia y de pH superior), y en cambio no se produce nitrificación en las zonas más anaerobias y ácidas del interior. Una señal clara de insuficiente transformación de nitrato a nitrito (imagen 5b), se produce cuando tiene lugar un cambio de color de gris a rojo al aplicar al embutido una solución acuosa que contenga 0,1 g/l de nitrito.



Imagen 5c. Halo de nitrificación en lomo curado.



Imagen 5d. Embutido sin nitrificante.



Imagen 5e. Nitrificación heterogénea.



Imagen 5f. Nitrificación heterogénea.

1.3.3. Halos de nitrificación

Los halos de nitrificación, si bien son muy frecuentes en jamones curados con pH bajo (Arnau *et al.*, 2003; Arnau, 2022), no se observan en productos picados, pero pueden observarse ocasionalmente



Imagen 6. Prevención de la oxidación mediante extracto de romero.

en lomos curados de pH bajo a los que se ha añadido una baja cantidad de nitrito (**imagen 5c**).

1.3.4. Insuficiente desarrollo de color en productos sin nitrificantes

El desarrollo del color en los embutidos curado-madurados sin nitrificantes añadidos es un proceso lento (De Maere *et al.*, 2016), lo cual conduce a un color rojo menos intenso (**imagen 5d**), especialmente en procesos de elaboración rápidos. Si no se añaden nitrificantes pero estos están presentes en algunos de los ingredientes, el desarrollo del color se efectuará de forma análoga al de los productos con nitratos añadidos, por lo que es importante añadir cultivos que transformen el nitrato a nitrito (e.g. *S. xyloso* o *S. carnosus*) para lograr una nitrificación homogénea que evite manchas de oxidación superficial (**imágenes 5e, f**). En dichas manchas la nitrificación y el crecimiento microbiano son insuficientes para lograr consumir el oxígeno absorbido. Un aumento de la temperatura de secado reduciría la cantidad de oxígeno absorbido, facilitaría el crecimiento de la microbiota con capacidad nitroreductasa, la transformación del nitrato a nitrito y el desarrollo del color.

El desarrollo del color en productos cárnicos sin nitrificantes se produce por la formación paulatina del pigmento Zn-protoporfirina IX (ZnPP) (Wakamatsu *et al.*, 2004). La Zn-PP se forma en dos pasos: el primero por desmetalización del hierro atribuido a la acción del enzima ferroquelatasa (más activa a pH bajo) y el segundo por integración del Zn al grupo hemo. Aunque también se ha postulado una ruta adicional no enzimática (Becker *et al.*, 2012; Parolari *et al.*, 2016). El hierro extraído del grupo hemo se transforma en hidróxido de hierro (III) que precipita, y por tanto se inactiva. La reacción de transmetalización se estimularía por la proteólisis parcial de la globina y por



Imagen 7. Coloración de la grasa después de estufaje y a final de proceso.

la lipólisis (Bou *et al.*, 2020) y es inhibida por la presencia de nitrito y oxígeno (Wakamatsu 2007).

Un pH bajo de la materia prima, una baja concentración de nitrificantes (procedentes de la materia prima, agua e ingredientes) y de oxígeno y un aumento de la temperatura de secado y del tiempo de curación total facilitan el desarrollo del color cuando no se añaden nitrificantes de forma intencionada. Algunos autores sugieren que algunos microorganismos también pueden contribuir al desarrollo del color en productos cárnicos sin nitrificantes (Morita *et al.*, 1996; Wakamatsu *et al.*, 2020).

1.4. Oxidación del color

1.4.1. Ingredientes

El uso de carnes, grasas u otros ingredientes oxidados o fácilmente oxidables (e.g. carne de pavo) facilitan la oxidación del embutido en superficie y en menor medida en el interior del embutido. La adición de colorante (E-120) enmascara ligeramente la oxidación.

En los productos con pimentón también es común este problema, especialmente cuando se envasan con un residual de oxígeno elevado en el espacio de cabeza.

El uso de ácidos para tratar la tripa favorece la oxidación del pimentón durante el secado.

El reposo de la pasta facilita la absorción de los antioxidantes en la grasa, lo cual es interesante para frenar la oxidación de aquellas grasas que después de embutir queden colocadas en la superficie del embutido y por tanto estén más desprotegidas. El uso de antioxidantes liposolubles es muy útil para prevenir la oxidación. Así, por ejemplo, la adición de "Origanox" o extracto de romero desodorizado evita la oxidación del pimentón (imagen 6), y es una buena alternativa a los antioxidantes sintéticos tales como el butilhidroxitolueno (BHT) y el butilhidroxianisol



Imagen 8a. Decoloración del pimentón por acción del nitrito.



Imagen 8b. Quemadura de congelación.

(BHA) que en caso de que se añadan deberá hacerse previamente sobre la grasa del embutido.

La grasa absorbe paulatinamente las sustancias colorantes del pimentón, de tal forma que, mientras que después del estufaje apenas está coloreada, se observa una intensa coloración al final del proceso (imagen 7).

No es recomendable mezclar nitrito con pimentón, ya que se produce una degradación del color (imagen 8a).

1.4.2. Proceso

En el exterior del embutido, la oxidación del color puede verse inducida durante el proceso por el oxígeno, el cual se disuelve más fácilmente y en mayor cantidad si se rehumedece el embutido, si disminuye la temperatura ambiental, o si se producen quemaduras superficiales durante el almacenamiento de la carne en congelación (imagen 8b). Además, la oxidación externa del embutido se puede facilitar por el embarrado superficial, el uso de tripas que hayan sufrido procesos de oxidación y por el uso de envases con materiales con baja barrera al oxígeno (imágenes 9a, b).

En el interior se puede producir oxidación por entrada de oxígeno, especialmente después de cortar el embutido curado, lo cual está relacionado con un



Imagen 9a. Oxidación debida a un material baja barrera al oxígeno.



Imagen 9b. Oxidación debida a un material baja barrera al oxígeno.

deficiente ligado de la zona central, y/o menor crecimiento de cocos gram (+) catalasa (+). Así, por ejemplo, en los productos de pH elevado es frecuente el deterioro del color en el interior del embutido (**imágenes 10a, b**). Esto es debido a la entrada de oxígeno, que se produce cuando existe una tensión originada por una corteza reseca y un ligado insuficiente del interior del producto. En el exterior, durante el secado, se produce una pérdida de elasticidad de la zona superficial, que no responde a la contracción que exige el interior debido a la pérdida de agua. La solución a dicho problema debe afrontarse, entre otros, mediante una mejora del proceso de secado, identificando el momento en que se inicia la pérdida de elasticidad, lo cual tiene lugar unos días antes de que se perciba la decoloración al cortar.

Por otra parte, las bacterias productoras de peróxidos pueden oxidar el color en zonas cercanas a la superficie que posean ambiente microaerófilo (**imágenes 11a, b, c**) o en la superficie si se envasa al vacío.

En los lomos curados, en la zona cercana a la cabeza de lomo se produce con frecuencia agrisado debido al encostrado y separación de músculos, ya que estos tienen poca cohesión interna en dicha zona (**imagen 12**). Si se cuelga el lomo por la parte más caudal en lugar de hacerlo por la zona craneal o se usan mallas elásticas que presionen el producto se reduce dicho problema.

1.4.3. Composición de la atmósfera modificada

Los productos loncheados envasados en atmósfera modificada son especialmente sensibles a la oxida-



Imagen 10a. Oxidación en embutidos de pH elevado.



Imagen 10b. Oxidación en embutidos de pH elevado.

ción del color rojo típico del curado (nitrosilmioglobina) cuando incide la luz en presencia de oxígeno. Esta sensibilidad puede empezar a detectarse cuando el contenido de oxígeno del espacio de cabeza es superior al 0,1 % (normalmente el cambio se sitúa entre 0,1 y 1 % según el producto). Para evitar problemas de oxidación del color se recomienda reducir la absorción de oxígeno en el período previo al loncheado (no mojar el embutido después de pelar, evitar condensaciones y quemaduras de congelación), aumentar el nivel de vacío, reducir el espacio de cabeza (disminuir la relación gas:producto), utilizar absorbentes de oxígeno², utilizar materiales de envase alta

² El uso de absorbentes 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 absorbentes en base a hierro, pero tienen la desventaja de su baja aceptabilidad y de que precisan entre 10 h o varios días para lograr 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/SiO_x en que se depositó paladio, según la tecnología propuesta por Yildirim *et al.* (2015), y envasar en una mezcla gaseosa que contenía un 5 % de hidrógeno, lograron en 2 minutos disminuir de un 2 % a un 0,47 % de oxígeno, y en tan sólo 35 minutos el oxígeno disminuyó a valores inferiores a 0,05 %, en los que se mantuvo durante 21 días.



Imagen 11a. Oxidación del color en una zona intermedia del embutido.



Imagen 11b. Oxidación del color en una zona intermedia del embutido.



Imagen 11c. Oxidación de la zona superficial e interior del embutido.

barrera al oxígeno y que no sean transparentes, y almacenar en oscuridad hasta que se haya agotado el oxígeno del espacio de cabeza. 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 que le toque la luz. Durante el almacenamiento, la microbiota va consumiendo el oxígeno del espacio de cabeza en función



Imagen 12. Decoloración de la zona craneal del lomo.

del tipo y de su actividad. Sorheim *et al.*, (2017) observaron que la velocidad de consumo de oxígeno era más alta a 20 °C que a 4 °C, y que a baja temperatura era más rápido con luz que en oscuridad. 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 de oxígeno adecuados.

En algunos casos se observa la presencia de un elevado contenido de oxígeno debido a la existencia de fugas. Estas pueden deberse a:

- Soldadura deficiente: producida por presencia de suciedad en la zona de soldadura, arrugas, temperatura de soldado no adecuada, problemas de mantenimiento de las bandas de soldadura, contacto manual de la zona de soldadura por los operarios...
- Si se utilizan tintes en la zona de soldadura puede haber cambios en las condiciones de soldado, lo cual genera más problemas.
- 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).



Imagen 13a. Reducción del color rojo producido por el colorante E-124.



Imagen 13b. Reducción del color rojo producido por el colorante E-124 (después de estufaje).



Imagen 13c. Reducción del color rojo del E-124 por residuos de sulfito.

1.5. Cambios debidos al colorante

1.5.1. Reducción del color

Cuando se añaden colorantes azoicos (e.g. E-124) el color rojo puede desaparecer debido a una reducción del grupo diazo, lo cual se produce cuando en el interior del embutido, especialmente en las zonas emparedadas, tiene lugar el crecimiento de determinadas bacterias lácticas con capacidad azoreductora (**imágenes 13a, b**).

Por otra parte, la reducción del color también se puede producir cuando, junto con los colorantes azoicos (e.g. E-124), se añaden pequeñas cantidades de sulfito (presente en ocasiones en pequeñas cantidades



Imagen 13d. Efecto del pH en el color del colorante E-120 en papilla de soja (pH elevado de color violeta).



Imagen 13e. Efecto del pH en el color del colorante E-120 en papilla de caseinato (pH elevado de color violeta).

en alguno de los ingredientes). El sulfito reduce el grupo diazo y el color rojo desaparece (**imagen 13c**).

1.5.2. Cambios de matiz

El ácido carmínico (E-120) puede presentar diferentes coloraciones en función del pH, rojo a pH ácido y violeta a pH alcalino (**imágenes 13d, e**).

1.6. Irisaciones

Son coloraciones verde-amarillo-anaranjadas que suelen ser debidas a fenómenos ópticos de disper-

sión, interferencia y difracción microestructural (color estructural), que se presentan no solo en carne cruda o cocida, 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 que se consume energía de la luz. En los derivados cárnicos está relacionado con la microestructura del músculo entero, crudo o cocido, ya que en los productos de picado fino no se presenta iridiscencia (Wang, 1991).

Es común en chorizo de picado grueso y en lomo curado (**imagen 14**), y aumenta si se somete a tratamiento térmico. La incidencia aumenta a medida que disminuye la capacidad de retención de agua del músculo, si se hace un corte limpio del producto o se tratan los productos por alta presión (Fulladosa *et al.*, 2009), y disminuye con el contenido de grasa intramuscular, con la proteólisis, 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. La máxima iridiscencia 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. El diámetro de las fibras musculares y la longitud de los sarcómeros no afecta (Ruedt *et al.*, 2021).

1.7. Decoloración de las especias de cobertura

La decoloración de las especias de cobertura de verde a pardo se puede deber a la acción combinada de algunos enzimas, ácidos, oxígeno, luz y calor que favorecen la degradación de las clorofilas, de las cuales se sabe que la clorofila "a" se degrada más rápidamente que la clorofila "b". Una de las causas de la decoloración es la conversión de las clorofilas a feofitinas, que aumenta al disminuir el pH (Koca *et al.*, 2006), por lo que los embutidos que sean ácidos en superficie serán más sensibles a dicho problema.

1.8. Problemas de mohos

1.8.1. Crecimiento de mohos no deseables en productos con moho

Cuando en los embutidos curado-madurados se desea el crecimiento de mohos, se suele realizar una siembra previa por inmersión en una suspensión que



Imagen 14. Irisaciones.

contiene esporas de *Penicillium* seleccionados de forma que no produzcan micotoxinas. Esta suspensión se mantiene en estado de agitación para que la siembra sea homogénea.

Para evitar el crecimiento de microbiota indeseable se debe evitar la contaminación del producto (en fresco y en el secadero), para lo cual deberán diseñarse los circuitos adecuados para impedir el cruce con embutidos que tengan mohos indeseables y desinfectar los ambientes de pasillos y secaderos a los que estarán expuestos los embutidos. La adición de agua a la formulación puede facilitar el crecimiento del moho sembrado, pero también de aquellos mohos no deseables (e.g. *Mucor*). Con un ligero secado a inicio del proceso, si bien el crecimiento del moho inoculado será menor, su implantación será mejor, y se frenará el crecimiento de determinados mohos indeseables de crecimiento rápido (e.g. *Mucor*).

En los embutidos en los que no se realiza siembra, pero en los que se desea cobertura de moho, se produce un crecimiento que depende de la contaminación ambiental. Si la humedad relativa es elevada la microbiota ambiental que coloniza el embutido puede generar un aroma desagradable.

1.8.2. Crecimiento de mohos en productos sin moho

Para evitar el crecimiento de mohos en los embutidos se puede: tratar con antifúngicos (e.g. pimarcina, que es efectiva durante unas 3 semanas), evitar la contaminación del producto fresco, desinfectar los pasillos y secaderos, ahumar, evitar la contaminación durante el proceso con otros embutidos que



Imagen 15a. Microbiota fúngica defectuosa (*Aspergillus ochraceus*).



Imagen 15b. Microbiota fúngica defectuosa (*Mucor mucedo*).



Imagen 15c. Embutido con microbiota fúngica envasado al vacío.

tengan mohos indeseables (**imágenes 15a, b**), utilizar tripas de poliamida permeables a la humedad, evitar que los productos se toquen entre ellos o con las estructuras, mantener el producto a una temperatura y humedad relativa (HR) bajas (se puede acelerar la curva de mermas), y envasar el producto en una at-

mósfera sin oxígeno residual. La disminución de la HR ambiental al atemperar los embutidos en la fase previa al estufaje, de forma que no se alcance el punto de rocío, disminuye el riesgo de crecimiento prematuro de mohos y evita que una condensación de agua en superficie arrastre los antifúngicos añadidos.

El sorbato es efectivo para frenar el crecimiento de mohos, pero estos pueden metabolizarlo a 1,3-pentadieno, que confiere al embutido un aroma desagradable a queroseno, por lo que es importante asegurar que se adopten medidas complementarias para frenar su crecimiento. La principal ventaja de la pimaricina sobre el sorbato potásico es que no penetra tanto al interior del producto, y por tanto, no afecta a la fermentación, ni al desarrollo del color y el flavor. La pimaricina no tiene efecto en los cultivos iniciadores, mientras que el sorbato puede producir cierta inhibición frente a *Staphylococcus* y *Ko-curia*. El sorbato puede ser útil en productos ahumados, donde el riesgo de crecimiento de moho disminuye debido a la presencia de componentes antifúngicos del humo.

En embutidos con tripa cosida se acumula agua en el hilo (especialmente en la punta inferior del embutido), lo cual puede facilitar el crecimiento de moho en productos que se desean sin moho, por lo que debe asegurarse un secado adecuado al tipo de tripa.

En los productos loncheados, un bajo contenido de oxígeno en la atmósfera del envase frena/inhibe el crecimiento de moho. La composición del embutido puede determinar la velocidad de caída del contenido de oxígeno del espacio de cabeza dentro del envase. En modelos de laboratorio se ha visto que a alta a_w incluso con un 0,05 % de O_2 puede crecer el moho. Por otra parte, se ha observado que un 60-80 % de CO_2 frena considerablemente su crecimiento.

1.8.3. Pérdida de moho en productos envasados al vacío o en atmósfera modificada

La microbiota fúngica superficial tiende a desaparecer cuando los embutidos se envasan al vacío o en atmósfera modificada sin oxígeno. Este proceso es más rápido cuando el embutido está húmedo y aguanta más tiempo cuando está seco (**imagen 15c**). Si el producto está suficientemente seco y es estable a la oxidación se pueden utilizar materiales más sostenibles y de menor barrera al

oxígeno manteniendo la microbiota fúngica de forma aceptable.

1.8.4. Decoloración amarilla bajo la tripa

La decoloración amarillenta bajo la tripa (**imágenes 16a, b**), en productos con mohos, puede atribuirse a una intensa actividad metabólica del moho en condiciones de elevada actividad de agua superficial. Por ello es recomendable un secado suave al inicio, que evite la decoloración amarilla pero que permita el crecimiento del moho, y secar posteriormente en condiciones más enérgicas, y al final, realizar un secado más fuerte para estabilizar el moho y evitar al mismo tiempo que el producto se ablande y genere amoníaco, el cual puede hidrolizar las grasas. Para cada tipo de embutido debe optimizarse el proceso de secado para evitar este problema, el cual es más común en embutidos acidificados (ya que tienen menor capacidad de retención de agua) que en los no acidificados, por lo que, en aquellos, se precisa adaptar el secado para lograr al mismo tiempo la acidificación deseada y un crecimiento adecuado de la microbiota superficial.

1.8.5. Falta de moho en productos con moho

La falta de moho en el embutido o en partes de él puede ser debida a una siembra inadecuada de los mismos, al empujado del producto, a unas condiciones ambientales agresivas o a la presencia de desinfectantes en las estructuras/ambiente. Para asegurar una buena siembra de mohos, las esporas se deben mantener en suspensión mediante agitación o burbujeo de aire, y para lograr un buen crecimiento se debe mantener la HR suficientemente elevada (80-90 %), evitando superar el 95 %, ya que podría facilitar el crecimiento de mohos filamentosos de crecimiento rápido (e.g. *Mucor*) y de bacterias, y generar condensaciones que drenasen la flora sembrada o hiciesen aumentar el peso del embutido si la $HR > 100 \cdot a_{ws}$ (a_{ws} : actividad de agua superficial).

1.8.6. Degradación de la tripa por acción de los mohos

Las tripas celulósicas pueden verse atacadas por las celulasas de los mohos, lo cual dificulta su pelado. El ahumado hace que las tripas sean menos afectadas por los mohos (e.g. salami húngaro).



Imagen 16a. Decoloración amarilla bajo la tripa de un embutido con moho después de estufaje.

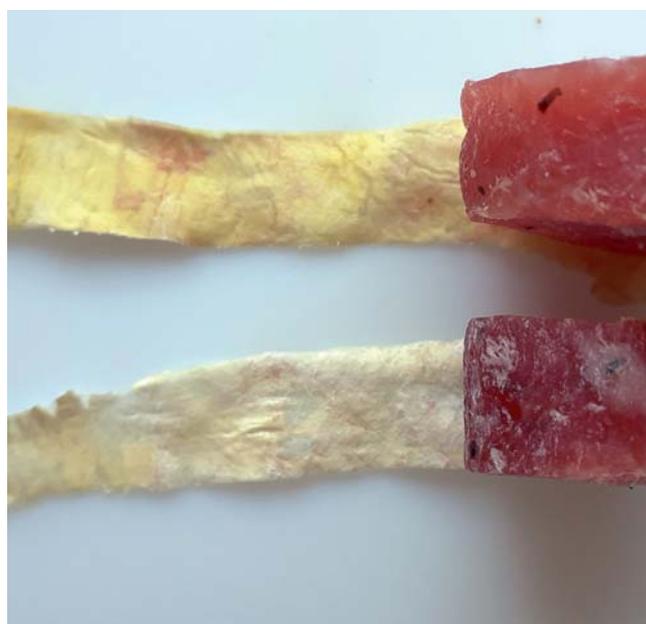


Imagen 16b. Decoloración amarilla bajo la tripa en la zona húmeda de un embutido con moho después de estufaje (zona húmeda amarilla, zona seca blanca).

1.9. Manchas de origen microbiano

1.9.1. Manchas negras

Si bien algunos mohos como *Cladosporium herbarum* (Leistner & Ayres, 1968) y *Cladosporium oxysporum* (Lozano-Ojalvo *et al.*, 2015) son de color oscuro y pueden producir pequeñas manchas negras, también, en ocasiones, se pueden observar, espe-



Imagen 17a. Manchas negras producidas por *Carnimonas nigrificans*.



Imagen 17b. Manchas negras producidas por *Carnimonas nigrificans*.



Imagen 17c. Manchas negras producidas por *Carnimonas nigrificans*.



Imagen 17d. Manchas negras y limo producidos por *Carnimonas nigrificans*.



Imagen 17e. Manchas marrones producidas por *Carnimonas nigrificans* que rápidamente pasan a negras.

cialmente en la fase más húmeda del proceso, manchas marrones que pasan rápidamente a negras (Hugas y Arnau, 1987) (**imágenes 17a, b, c, d**). Arnau y Garriga (1993) demostraron que dichas manchas negras se producían por acción de un microorganismo cuando crecía en un medio aerobio que contenía alguno de los siguientes azúcares: glucosa, maltosa, jarabes de glucosa o dextrinas. Este microorganismo fue clasificado como un género y especie nuevos, se le denominó *Carnimonas nigrificans* (Garriga *et al.*, 1998), y es capaz de producir reacciones de pardeamiento en soluciones acuosas de glucosa y glutamato a temperatura ambiente (Arnau & Garriga, 2000). Por otra parte, los ácidos, el nitrito, la cisteína, el sulfito y el metabisulfito inhiben dicho pardeamiento.

Para eliminar la problemática asociada a *Carnimonas nigrificans*, en primer lugar, se debe localizar su origen, que con frecuencia puede ser detectado por la situación y forma de las manchas. En segundo lugar, se deben incrementar las medidas higiénicas y utilizar desinfectantes de amplio espectro. Los amonios cuaternarios deben evitarse ya que pueden



Imagen 18. Coloración violeta producida por *Serratia rubidae*.

favorecer este problema al eliminar parte de la competencia de *C. nigrificans*. Los productos en proceso pueden constituir un foco de contaminación mientras la superficie esté húmeda, especialmente cuando tiene una coloración marrón o se observa limo blanco en la superficie (**imágenes 17c, d, e**) pero deja de ser un foco de contaminación en estadios más avanzados cuando la superficie está seca.

1.9.2. Coloración violeta

Es un problema común en alimentos amiláceos, pero poco común en embutidos curado-madurados. Es producido por *Serratia rubidae* (Flórez *et al.*, 2001) (**imagen 18**).

1.9.3. Manchas azules

La presencia de manchas de color azul en la superficie de la carne fresca de cerdo (**imagen 19**), pollo y conejo puede relacionarse con el crecimiento de *Pseudomonas libanensis* (en carne) y de *Pseudomonas fluorescens* (en mozzarella y carne) (Cantoni



Imagen 19. Coloración azul en carne fresca producida por *Pseudomonas libanensis*.

et al., 2001; Andreani *et al.*, 2015; Caputo *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2019; Cantoni & Chiappa, 2011), pero hasta ahora no se han observado al utilizar esta carne en la elaboración de embutidos curado-madurados, ni decoloraciones importantes ni referencias bibliográficas de ninguna problemática sensorial. Debe revisarse el programa de limpieza y desinfección y asegurarse de que se hace bien, evitando la formación de biofilms y el goteo debido a condensaciones. Las superficies deben secarse a la mayor brevedad posible. Conviene analizar el agua utilizada, ya que Dabboussi *et al.*, (1999) detectaron *Pseudomonas* en agua de manantial, y Cantoni & Chiappa, (2011) atribuyen el problema a su presencia en el agua de pozo o 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 solo en una de las líneas de trabajo, por lo que debe inspeccionarse a fondo cuáles son las diferencias respecto a las otras líneas que hacen que haya mayor incidencia. Generalmente se suele ver una incidencia mayor en los tejidos conjuntivo y adiposo que en el magro, quizás porque el pH de este suele ser inferior.



Imagen 20. Coloración rosácea producida por bacterias halófilas.

1.9.4. 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 (**imagen 20**) y olor a pies sucios que se transmiten al embutido.

1.10. Aspecto limoso

1.10.1. Exudado limoso en el interior del embutido

La presencia de exudado limoso, que forma hilos adherentes al separar determinados trozos de magro o de grasa ("*ropy slime*"), en embutidos curado-madurados, se considera que es un problema de contaminación por bacterias lácticas psicrótrofas capaces de producir polisacáridos de alto peso molecular (**imagen 21**), que, entre otros, protegen a los microorganismos del secado. A pesar de que no se observa ningún tipo de olor anormal, su presencia resulta desagradable. La producción de limo se ha relacionado, entre otros, con las condiciones de producción, formación de biofilms y el uso de sacarosa (Lulietto *et al.*, 2015). Es un problema muy frecuente en productos cocidos loncheados envasados en atmósfera modificada. En embutidos curado-madurados se ha observado una mayor incidencia en aquellos elaborados en frío y en pancetas enrolladas o dobles sin cultivos iniciadores añadidos, y apenas se ha observado en productos a los



Imagen 21. Exudado limoso en el interior del embutido.

que se añaden cultivos iniciadores y se estufan en caliente.

1.10.2. Limo superficial

El limo en la superficie del embutido (remelo) se forma cuando la velocidad de deshidratación es muy baja. Este defecto se puede producir durante el estufaje si la humedad es muy elevada. Para reducir este problema es aconsejable una fase de acondicionamiento previa de 1-6 horas con una HR del 60-70 % para evitar la condensación de agua en la superficie del producto. Posteriormente la HR puede aumentarse a 90-95 % para lograr una buena fermentación del magro externo. La duración de la fase de acondicionamiento depende de la densidad de llenado del secadero, del tipo de tripa y del diámetro del producto.

En los embutidos en los que se forma limo superficial se favorece el desarrollo de una microbiota incontrolada en superficie, se dificulta el crecimiento de la microbiota fúngica sembrada, se frena el secado y se producen desviaciones en el aroma del producto final.

1.10.3. Delicuescencia

En algunas ocasiones se observa un aspecto mojado en embutidos envasados en MAP (e.g. chorizos). Se observa especialmente en la zona curvada del embutido, desaparece al sacar el embutido del envase y mantenerlo a temperatura ambiente, y entonces se forma un precipitado blanquecino. Algunas de las sales cristalizadas en superficie pueden absorber agua (delicuescencia), lo cual le da este aspecto mojado.



Imagen 22. Exudado aceitoso en la punta del embutido.

1.11. Exudado de grasa

1.11.1. En la superficie de piezas enteras

El exudado de aceite/grasa en el exterior del embutido constituye un problema, especialmente en embutidos grasos (**imágenes 1c, d**). Dicho exudado se ve favorecido por la adición de grasas de bajo punto de fusión, el embarrado de la masa y una temperatura elevada. Las fracciones que tienen el menor punto de fusión son las que se separan con mayor facilidad. Dado que la mayor parte del agua del tejido graso está asociada con las membranas de los adipocitos, la disminución del contenido de agua produce tensiones en la membrana que pueden dañar su estructura y facilitar el exudado de grasa. Así, por ejemplo, el secado a una humedad relativa inferior al 75 % produce la rotura de los adipocitos y la consecuente exudación de grasa, especialmente en las puntas de los embutidos (**imagen 22**) (Arnau & Gou, 2001).

La aplicación de ingredientes o aditivos que a $HR < 75\%$ tienen una humedad de equilibrio superior al NaCl (e.g. lactato potásico) (Arnau *et al.*, 2012) frena el exudado, mientras que la adición de sustancias como el KCl, que precipita cuando la $a_w < 0,877$ (a 5 °C) puede favorecer el exudado. Por otra parte, el tratamiento de las tripas con ácidos puede favorecer el exudado de aceite al secar, y el crecimiento de levaduras en superficie (Sánchez-Molinero & Arnau, 2008a) que tape los poros de la tripa frena el exudado de aceite/grasa.

1.11.2. En la superficie de corte

Aparte del efecto anteriormente mencionado en la superficie, en el interior del embutido las tensiones producidas por el secado del magro pueden generar una presión elevada sobre la grasa que origine el



Imagen 23. Encostrado y exudado de aceite en la periferia del corte.

exudado de aceite en el 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 (**imagen 23**), que en la zona interna. La hidrólisis de los triglicéridos también puede contribuir a generar ácidos grasos que tengan un punto de fusión bajo y contribuyan a generar un aspecto oleoso (el punto de fusión del ácido linoleico es de -5 °C o inferior y el del ácido oleico de 15 °C).

Bucharles *et al.* (1987), (citado por Girard *et al.*, 1988), encontraron un perfil de fusión de los triglicéridos entre el 25 % y el 60 % (a -5 °C) y entre el 70 % y el 85 % a 20 °C, en función de la alimentación del animal. Por tanto, parece que el impacto tecnológico de la nutrición en la variación del punto de fusión de la grasa es más importante a las temperaturas en que se pican y amasan los embutidos curado-madurados que a las temperaturas más elevadas en que se realiza el estufaje y secado.

1.11.3. En la superficie de lonchas envasadas en atmósfera modificada

En los productos loncheados, la exposición a temperatura ambiente facilita la fusión de la grasa y confiere al producto un aspecto untuoso (**imagen 24**). Dicha fusión se ve favorecida por el uso de grasas insaturadas de bajo punto de fusión, el embarrado de la masa (debe adaptarse la temperatura de picado/amasado/embutido al tipo de grasa utilizada), oscilaciones de temperatura durante la congelación, largos períodos de congelación, merma elevada del



Imagen 24. Fusión de grasa.



Imagen 25a. Cristales de grasa.

producto (el secado produce contracciones en el mero que tensionan las partículas de grasa y favorecen la exudación de grasa), una temperatura elevada de secado o de almacenamiento de los envases y la presión sobre las lonchas por apilado o colapso del envase. Puede ser interesante evaluar el efecto de:

- 1) sustancias que absorban aceite, tales como las fibras o ingredientes naturales que contengan fibras;
- 2) proteínas hidratadas que estabilicen, en la superficie de corte, las partículas de grasa y las gotitas de aceite que se formen (caseinato, plasma, soja...);
- 3) sustancias hidrofílicas como las maltodextrinas, sorbitol, leche en polvo, gluconato... que aumentan el contenido de agua de las partículas de grasa, lo cual facilita la elaboración de productos que teniendo una misma actividad de agua tengan un mayor contenido de humedad en base desgrasada, lo cual estabiliza las membranas de los adipocitos, y al disminuir la merma reduce las tensiones de secado dentro el embutido.
- 4) substituir parte de la carne fresca por carne liofilizada, que reduce la merma y las tensiones de secado.
- 5) disminuir la temperatura de loncheado.

El aceite desprendido puede migrar después del loncheado y formar pequeños cristales blancos cuando los envases se almacenan en frío (**imágenes 25a, b**).

1.12. Formación de precipitados

1.12.1. Precipitados de fosfato

La formación de cristales de fosfato ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (**imágenes 26a, b, c**) se ve favorecida por un pH elevado (el



Imagen 25b. Cristales de grasa.

contenido de HPO_4^{2-} duplica su contenido por cada tres décimas de incremento de pH), una baja temperatura de almacenamiento y una elevada concentración de sodio y fosfato en relación con el contenido de agua del producto (Arnau *et al.*, 1993; 1997). Estos cristales se confunden a menudo con cristales de sal; sin embargo, su sabor es fresco, apenas salado y distinto al de la sal común. Conferen a los embutidos una crujencia similar a la que se esperaría si fueran cristales de hielo. Si el producto está envasado al vacío, al pasar de temperatura de refrigeración a ambiental, los cristales se disuelven en el agua de hidratación. La condensación de agua en el interior del envase, en los productos envasados en atmósfera modificada, favorece la formación de cristales de fosfato en la superficie del producto. En los lomos curados la zona más sensible a este problema es la cercana a la cabeza de lomo.



Imagen 26a. Cristales de fosfato.



Imagen 26b. Cristales de fosfato.

La disminución del pH del embutido, de la merma final del producto, de las relaciones P_2O_5 /humedad y sodio/humedad, el aumento de la temperatura de almacenamiento, y el envasado en atmósfera modificada con CO_2 pueden frenar la formación de cristales de fosfato. El lavado con agua caliente facilita la eliminación del fosfato en la zona superficial (**imagen 26d**).

1.12.2. Precipitados de creatina

La creatina es un compuesto presente de forma natural en la carne. Se sintetiza en el hígado, el páncreas y en los riñones a partir de la arginina, la glicina y la metionina. La creatina se degrada a creatinina, lo cual se realiza más rápidamente a pH bajo y temperatura elevada, y aumenta con el tiempo. El contenido de creatina en la carne de cerdo suele estar alrededor del 0,4% y es superior en los músculos blancos (más glu-



Imagen 26c. Cristales de fosfato.

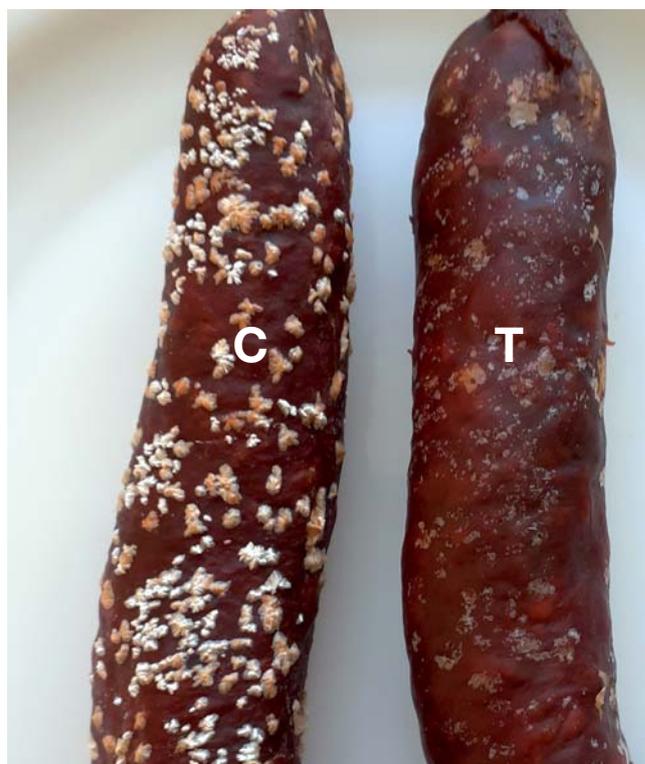


Imagen 26d. Aspecto de un chorizo con precipitado de fosfato (C) y después del lavado con agua tibia (T).

colíticos) que en los músculos rojos (Mora *et al.*, 2008). La administración de ácido guanidinoacético al animal aumenta el contenido de creatina en el músculo (Li *et al.*, 2018). Durante el secado la concentración de creatina aumenta hasta alcanzar concentraciones superiores a su solubilidad en fase acuosa. Dicha solubilidad depende de la temperatura (2,36 g/100 g de solución a 36 °C; 1,35 a 20 °C; 0,88 a 10 °C y 0,54 a 0,5 °C). Por tanto, es de esperar que se produzca su precipitación cuando se almacenan los embutidos a temperaturas de refrigeración (Arnau *et al.*, 2002). Cuando la $a_w > 0,4$ está en forma de monohidrato de creatina, la delicuescencia se produce a $a_w > 0,91$. Dicho precipitado está adherido a la tripa en forma de velo blan-



Imagen 27a. Precipitados de creatina (velo blanco).



Imagen 27b. Precipitados de creatina (velo blanco).



Imagen 27c. Precipitados de creatina (pintas).



Imagen 27d. Precipitados de creatina sobre la tripa de un embutido envasado al vacío.

co (**imágenes 27a, b**) y se observa con frecuencia en los embutidos que no poseen cobertura de mohos y se deshidratan de forma importante.

En ocasiones puede observarse en forma de pintas en la superficie de embutidos muy magros (**imágenes 27c, d**) o en el interior del producto cuando está seco, generando pequeñas fisuras. El encrostado y variaciones importantes de la temperatura de almacenamiento facilitan la formación de cristales de creatina. La creatina cristalizada es estable a $a_w < 0,90$, pero cuando está en solución lo es menos, especialmente a temperatura y actividad de agua elevadas (Uzzan, *et al.*, 2009).

Para disminuir este problema se recomienda:

- Seleccionar carnes provenientes de recortes que contengan músculos rojos y sean de animales a los que no se haya suministrado creatina o sus precursores.
- Facilitar la degradación de la creatina a creatinina mediante disminución del pH (pero puede aumentar la precipitación de lactatos de sales divalentes)

y aumentando el tiempo de proceso y el del que el producto está envasado antes de su consumo. También es interesante ver en qué medida distintos cultivos afectan a la metabolización de la creatina durante el proceso.

- Frotar los embutidos con aceite (e.g. aceite de girasol) con lo cual se da un cierto brillo y se disimula su aspecto blanquecino.

1.12.3. Precipitados de lactato magnésico

La precipitación de lactato magnésico se produce por la presencia simultánea de lactato y magnesio. Cuando se supera su solubilidad precipita en forma de concreciones en la superficie del embutido que pueden ser confundidas por mohos (**imágenes 28a, b, c**) (Arnau *et al.*, 2002). A diferencia de la creatina, un aumento de temperatura apenas disuelve este pre-

cipitado, debido a que la solubilidad del lactato magnésico aumenta menos con la temperatura que la de la creatina (de 7,19 g/100 ml de solución a 29,8 °C a 6,21 a 0,3 °C).

En piezas que han sido previamente congeladas, la condensación de agua en superficie, al descongelar, puede favorecer la disolución del lactato magnésico, que cristalizará posteriormente al secar. La humedad superficial presente en la superficie de piezas envasadas también puede favorecer la cristalización posterior al sacar el producto del envase.

El magnesio puede provenir de las especias, la carne, las tripas, la sal, el agua, los medios de cultivo para cultivos iniciadores y otros ingredientes. Su complejación mediante quelantes alimentarios (difosfato (4,5 g/kg) y hexametáfosfato (2,8 g/kg)) disminuiría el problema (Walz *et al.*, 2017), pero podrían aumentar los precipitados de fosfato en embutidos de pH elevado. La adición de tripolifosfato, cuyo uso como antiapelmazante está contemplado en la sal, facilita la precipitación del magnesio en forma de tripolifosfato de magnesio y sodio (Na_3MgTPP) en la masa del embutido y reduce el contenido de Mg libre.

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), de la fermentación de los azúcares y del que se pueda añadir. Así pues, una selección de magros más rojos y una menor producción de ácido láctico en el embutido frenaría el problema, pero aumentaría el riesgo de formación de cristales de fosfato. Según Walz *et al.*, (2018) las tripas naturales presentarían menos precipitado de lactato magnésico que las colágenas, quizás debido a las diferencias en el tamaño de poro promedio. 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).

1.12.4. Precipitados de lactato de calcio

La precipitación del lactato de calcio se produce por presencia simultánea de lactato y 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 en forma de con-



Imagen 28a. Precipitados de lactato magnésico.



Imagen 28b. Precipitados de lactato magnésico.



Imagen 28c. Precipitados de lactato magnésico.

creciones en la superficie del embutido que pueden ser confundidas por mohos (**imagen 28d**). Lo más probable es que el origen de calcio esté relacionado con las proteínas de la leche, el agua, la carne separada mecánicamente, el CaCl_2 en tripas de alginato (**imagen 28e**) u otros ingredientes. La reducción del contenido de lactato puede ser útil porque afecta de forma cuadrática al producto de solubilidad del lactato de calcio. El lactato proviene de la propia carne, de la fermentación de los azúcares y de otros ingredientes que se pueden añadir. Por lo tanto, una menor producción de ácido láctico en el embutido frenaría el problema, pero aumentaría el riesgo de formación de cristales de fosfato. Una merma ele-



Imagen 28d. Precipitados de lactato cálcico.



Imagen 28e. Precipitados de lactato cálcico.

vada facilita la precipitación del lactato de calcio. Dado que el D(-)-lactato cálcico es más insoluble que el L(+)-lactato cálcico, la racemización del L(+)-lactato a D(-)-lactato o la producción de D(-)-lactato produciría más problemas de cristalización superficial.

En algunos casos se observan precipitados mixtos de lactato de calcio y de magnesio.

1.12.5. Precipitados de sal (NaCl)

La cristalización del NaCl tiene lugar cuando se produce un secado muy rápido del embutido hasta valores de actividad de agua (a_w) inferiores a 0,75 (Comaposada *et al.*, 2000), lo cual es más común en algunos tipos de *snacks* cárnicos, o en zonas del embutido que quedan aisladas anatómicamente (**imagen 29**).



Imagen 29. Precipitados de sal.



Imagen 30. Precipitados de cloruro potásico.

1.12.6. Precipitados de cloruro potásico (KCl)

El KCl es una de las sustancias que ha sido propuesta como sustituto parcial del NaCl en embutidos con un contenido de sodio reducido (Gelabert *et al.*, 2003). La cristalización del KCl (**imagen 30**) tiene lugar cuando se produce un secado muy rápido de la superficie del embutido hasta valores de a_w inferiores a 0,877 a 5 °C ó $a_w < 0,843$ a 25 °C (Comaposada *et al.*, 2007).

1.12.7. Precipitados de tirosina

La presencia de precipitados de tirosina es muy común en jamón curado (**imagen 31a**) pero poco en embutidos curado-madurados. Un pH bajo, junto con un reducido contenido de sal, humedad elevada y temperatura elevada pueden favorecer su formación (**imágenes 31b, 31c**). En los productos en los que hay microbiota fúngica externa, cuando se envasan tiernos al vacío, se produce una proteólisis importante en la superficie que puede generar precipitados de tirosina.

1.12.8. Precipitados de tripolifosfato de magnesio y sodio

La adición de tripolifosfato pentasódico (Na_5TPP) al embutido puede generar la formación de pequeños cristales blancos de tripolifosfato de magnesio y sodio (MgNa_3TPP) si existe magnesio en el producto (**imagen 32**). Por otro lado, la reducción del contenido de sodio también es útil para prevenirlo, ya que



Imagen 31a. Pintas blancas de tirosina en jamón.



Imagen 31b. Velo blanco en lomo envasado junto con embutidos.



Imagen 31c. Pintas blancas de tirosina en salchichón.

afecta de forma cúbica al producto de solubilidad del $MgNa_3TPP$.

1.12.9. Cristales de grasa

En los productos en que se produzca fusión de grasa en la superficie de los productos loncheados, dicha grasa puede cristalizar a baja temperatura formando pequeños cristales de grasa (**imágenes 25a, b**).



Imagen 32. Precipitados de tripolifosfato de magnesio y sodio.

1.12.10. Hipoxantina

Después del sacrificio, el ATP se convierte rápidamente en adenosín difosfato (ADP) y adenosín monofosfato (AMP), que se transforma en inosín 5'-monofosfato (IMP). Este paulatinamente pasa a inosina, que se degrada a hipoxantina por acción autolítica o microbiana (Hernández-Cázares *et al.*, 2011). Mateo *et al.*, (1996) encontraron que el contenido de hipoxantina en el chorizo curado era superior a su solubilidad en agua (0,7 g/l a 23 °C), por lo que puede precipitar especialmente en las partes del producto que sean más secas y formar un velo blanco muy ligero conjuntamente con la creatina.

1.13. Desprendimiento de la tripa

En los embutidos curado-madurados se usan diferentes tipos de tripas en función del producto deseado. Mientras que para la elaboración de productos loncheados se desea que la tripa se separe fácilmente, en los productos que se venden como piezas enteras se desea que la tripa permanezca pegada al embutido, pero que su separación sea fácil y se produzca sin arrastre de pasta del embutido (*"cling"*).

La separación de la tripa del embutido durante el secado genera un microclima que facilita el crecimiento de mohos.

La adhesión de la masa a la tripa y su facilidad de pelado depende de:

- El tipo de tripa. Así, por ejemplo, existen algunas con tratamientos antiadherentes que facilitan el pelado en los productos destinados al loncheado. Las tripas frágiles se pelan mal, y las gruesas se pelan mejor que las finas. La tripa fresca pierde adherencia si se sala o deshidrata. La tripa de colágeno debido a su naturaleza proteica se adhiere a la carne mejor que la fibrosa.
- La cantidad de proteína soluble que interacciona con la tripa al secar. Una mayor extracción proteica en el amasado o la adición de algunas proteínas o hidrolizados favorecen la interacción entre la masa y la tripa en las tripas naturales y colágenas. Las proteínas previamente gelificadas (e.g. gel de cortezas) o las desnaturalizadas (e.g. proteína de carne en polvo) dificultan la ligazón.
- Los sólidos insolubles que frenan la interacción masa-tripa favorecen la separación.
- La presencia en la interfase tripa-masa de grasa y la de sus productos de hidrólisis (ácidos grasos) o la oleoresina de pimentón facilitan la separación.
- Embutido flojo de la pieza o que quede aire entre la tripa y la masa favorece la separación.
- La humedad de la tripa en producto acabado. Una baja humedad dificulta el pelado. Por eso, el humedecer la tripa es un sistema que puede utilizarse para facilitar el pelado.
- Oscilaciones elevadas de HR favorecen la hidratación y la separación de la tripa cuando la HR es alta, y el secado cuando la HR es baja.
- HR baja antes de estufaje favorece la adhesión de la tripa.
- Una consistencia elevada de la loncha evita que esta se rompa y se logra que la tripa se separe con mayor facilidad.
- La formación de precipitados de fosfato bajo la tripa favorece su separación.
- La fermentación rápida con HR alta favorece el ligado de la masa y disminuye la adhesión a la tripa.
- En el caso del lomo curado el enrocado de la pieza (*rigor mortis*) facilita la separación de la tripa, y la acción mecánica del masaje y la adición o extracción de proteínas en el masaje facilita la adhesión.

1.14. Ácaros e insectos

Los ácaros (**imagen 33a**) pueden observarse en algunas ocasiones en embutidos curado-madurados (**imagen 33b**), especialmente en los de larga cura-



Imagen 33a. Ácaro.



Imagen 33b. Embutido con ácaros.

ción. Existen distintos estudios sobre métodos para eliminar los ácaros (Arnau & Guerrero, 1994; Guerrero & Arnau, 1995; Lorenzo & Flores, 1988; Schmidt, 1996). Sin embargo, no existe ningún método que combine al mismo tiempo eficacia contra todos los estadios de desarrollo de los ácaros, facilidad de aplicación, inocuidad para el consumidor y ausencia de efectos dañinos en los embutidos. El mejor método de lucha sigue siendo la prevención a través del plan de limpieza, buenas prácticas del personal, disminución de la humedad relativa ambiental y aislamiento de los secaderos (Arnau *et al.*, 1987; Schmidt, 1996), que debe ser complementado con la monitorización, mediante trampas específicas, de la dinámica de las poblaciones de ácaros, ya que ello constituye una herramienta útil para la toma de decisiones sobre las medidas correctivas más apropiadas a adoptar en función de la contaminación detectada en cada secadero, y de la eficacia de dichas medidas correctivas en el control de los ácaros (Amoah *et al.*, 2016; Thind *et al.*, 2005).

En los almacenes, las tiendas y lineales es conveniente alejar los embutidos con moho que no estén envasados en bolsas herméticas y que se mantienen

a temperatura ambiente de aquellos productos de larga curación que son más susceptibles de contener ácaros (e.g. jamones enteros sin envasar, piezas de queso...), ya que se pueden contaminar con facilidad, bien sea por contacto o por el movimiento de los ácaros. Se ha calculado que *Tyrophagus putrescentiae* puede moverse unos 2,5 cm/min, es decir 1,5 m/h). Una forma alternativa de evitarlo es mantener los embutidos a temperatura de refrigeración.

Los embutidos sin envasar o envasados en bolsas perforadas emiten un olor que puede atraer a las moscas. Para evitarlo se aconseja mantener el embutido en lineal refrigerado y cerrado o bien envasarlo al vacío o en atmósfera modificada.

1.15. Agujeros

La presencia de agujeros en el embutido es un defecto frecuente que debe ser analizado cuidadosamente (localización, momento de aparición, características geométricas...) para poder hacer un diagnóstico preciso de las causas, entre las cuales podemos señalar las siguientes:

1.15.1. Insuficiente vacío y/o textura inadecuada al embutir

La presencia de aire es debida a un vacío insuficiente durante el amasado y embutición, y al uso de pastas muy duras, muy frías o con poca plasticidad (**imagen 2h**). Hay que tener en cuenta que la sal añadida disminuye el punto de congelación desde $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en carne fresca hasta aproximadamente $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (variable en función de la sal añadida y el contenido de agua). La masa se endurece y pierde plasticidad por debajo de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que se debe evitar embutir por debajo de su punto de congelación. La adición de CO_2 puede ayudar a desplazar el aire de la pasta y enfriarla adecuadamente. En los embutidos en los que se usa tan solo carne congelada, el embutido directo (sin un amasado previo al vacío que extraiga proteína y elimine aire) dificulta la cohesión del producto. Por lo que la adición en la cutter de una parte de carne fresca previamente picada favorece el ligado. En las piezas de picado grueso, el embutido de trozos aún congelados producirá una reducción de tamaño al descongelar, un error en el peso de la pieza, peor ligado y presencia de agujeros. En algunos casos un embutido inadecuado puede generar presencia de aire bajo la tripa. En tripas resistentes, el aumento de presión facilita la evacuación



Imagen 34a. Agujeros debidos a formación de gas.



Imagen 34b. Agujeros debidos a formación de gas.

de gases y el ligado. En general, un buen vacío presenta ventajas de producto, ya que la proteína es más funcional, se ahorran tripas y el peso es más constante.

1.15.2. Por formación de gas

La formación de gas puede producirse por la actividad metabólica de bacterias heterofermentativas (**imágenes 34a, b**), las cuales pueden provenir de la carne, adición de producto reprocesado, ingredientes y resiembra de cultivos en carne, y se favorecerá mediante la adición de agua. El aumentar la merma antes y después del estufaje reduce el problema (durante el estufaje también reduce el problema, pero puede generar problemas de fermentación o encostrado). En productos no ácidos, el reposo



Imagen 35a. *Cupping* de pepperoni.



Imagen 35b. *Cupping* de pepperoni en pizza.



Imagen 35c. Cortezas cocidas picadas, coloreadas, refrigeradas y picadas de nuevo antes de su uso.

de la pasta previo al embutido y el secado muy lento favorecen la formación de gas. Se recomienda en general embutir después del amasado, si la temperatura es adecuada, y, si se considera oportuno, especialmente en calibres grandes, hacer el reposo dentro de la tripa. Hay que mirar que el embutido, especialmente en el caso de embutición manual, quede compacto para evitar errores de criterio al

evaluar la textura de forma manual para saber si el embutido ha fermentado de forma correcta.

Cuando se envasan al vacío piezas ya curadas, que aún están tiernas, es frecuente que se produzca gas. Para evitarlo se recomienda aumentar la merma de curación, mantenerlas en refrigeración o realizar un tratamiento por altas presiones una vez envasado. Los productos curados envasados al vacío que tengan cierta porosidad, al ser tratados por alta presión sufrirán una migración de gas al exterior dando la impresión de que hayan perdido el vacío.

1.15.3. Por encostrado

El encostrado, en productos de pH elevado que no estén suficientemente ligados en su interior, genera tensiones, ya que la retracción no sigue la pérdida de masa originada por el secado, lo cual facilita la separación de la pasta en el interior (**imágenes 10a, b**). En este tipo de productos se recomienda reducir la velocidad de secado antes de que se inicie la formación de agujeros en el interior (aumentando el intervalo de HR o disminuyendo el tiempo de marcha de los secaderos). La adición de azúcar y lactato puede frenar el secado y el uso de transglutaminasa favorece el ligado.

1.16. Deformaciones del embutido

1.16.1. *Cupping*

El *cupping* es un problema frecuente en pepperoni. Al calentar las pizzas, las lonchas de pepperoni 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 de la pizza dando lugar a una forma de copa (**imágenes 35a, 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 debe procurarse que los azúcares añadidos se agoten en el proceso de fermentación. 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 hay *cupping*, ya que este efecto 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 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® (Quick-Dry-Slice Process) lo disminuye. El aumento del contenido de grasa, la adición de cortezas cocidas (**imagen 35c**) y carragenatos disminuyen el problema. El 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 precocidos el problema es menor si el colágeno se ha solubilizado, y será mayor si tan solo se ha desnaturalizado la miosina por efecto de cocción a unos 60 °C debido al aumento de la cohesividad (Newkirk *et al.*, 1995).

1.16.2. Plegado insuficiente

El plegado es común en los embutidos curado-madurados que no sufren acidificación (**imágenes 36a, 10a**). En este caso, suele considerarse un rasgo deseable. El plegado proviene de las tensiones que tienen lugar en la superficie, fruto del proceso de secado, especialmente si el producto está blando en su interior y duro en el exterior. Tiene lugar cuando se ha producido una merma importante y hay diferencias de consistencia entre el interior y el exterior. El plegado en un punto del embutido depende de la capacidad de retracción y de la velocidad de pérdida de peso local. Si el embutido acidifica, se produce el ligado de la pasta siempre que haya suficiente proteína extraída y no se haya producido embarrado, con lo cual la textura interna del embutido es más firme y dificulta el plegado de la pieza. Por lo que al reducir la acidificación se facilita el plegado. El plegado ideal se produce cuando la reducción de volumen es igual a la pérdida de masa dividido por la densidad del producto compactado en cada momento del proceso. Si la pérdida de volumen es inferior a la pérdida de masa/densidad se produce un encogimiento defectuoso, ya que aumenta la porosidad del interior del embutido.



Imagen 36a. Plegado del embutido.



Imagen 36b. Salchichón con un plegado intenso.

1.16.3. Plegado excesivo

En algunos productos el plegado excesivo (arrugado) se considera un problema (e.g. lomos), en cambio en otros se considera una característica del producto (**imagen 36b**). Se pueden plantear distintas estrategias para aumentar la consistencia interna y disminuir el plegado: eliminar las piezas de pH muy elevado, aumentar el contenido de sal, secar lentamente a baja temperatura y fermentar las piezas (disminución del pH) o tratar térmicamente para que coagulen las proteínas y mejore la consistencia de todo el embutido. Para disminuir la dureza externa se debe secar más lentamente, bien sea aumentando la HR o disminuyendo la temperatura. Por otro lado, el uso de mallas elásticas, el tensado de las tripas al embutir cuando estas lo permiten y el prensado final también ayudan a redondear el producto.

En embutidos acidificados en lugar de producirse un plegado del embutido, cuando el embutido se seca mucho, se produce un arrugado superficial. Para disminuirlo, aparte de secar más lentamente, se recomienda activar la proteína para lograr una buena adhesión tripa-producto y embutir con cierta presión para lograr un sobrellenado de la tripa.

En los productos sometidos a tratamiento térmico al final del proceso, el duchado durante algunos minutos reduce la formación de arrugas superficiales.



Imagen 36c. Empedrado superficial.

1.16.4. Empedrado superficial

El empedrado superficial del embutido (**imagen 36c**) se ve favorecido por un secado excesivo durante la fermentación y secado posterior, embutido flojo, elevada adhesividad de la pasta a la tripa y falta de elasticidad de la tripa. La fermentación correcta de la zona superficial facilita el ligado de las partículas de forma que al secar actúan como un todo, el embutido con buena presión permite recuperar el tamaño original de la tripa al secar y posteriormente la pérdida de volumen genera un arrugado de la tripa, pero se mantiene la forma cilíndrica.

1.17. Deformación del envase

En productos loncheados envasados en atmósfera modificada a los que se añade CO_2 se puede producir un colapso del envase, el cual está relacionado con la cantidad de CO_2 absorbido por el producto. La solubilidad del CO_2 en el músculo a 0°C es de $1.040\text{ mL CO}_2/\text{kg}$, mientras que la grasa tan solo absorbe $600\text{ mL CO}_2/\text{kg}$ a 0°C . La absorción de CO_2 sigue la ley de Henry, por lo que depende de la presión parcial del CO_2 en la atmósfera del 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 $^\circ\text{C}$ que se aumenta. 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 se genere una ligera sobrepresión (que no afecte a la soldadura) si bien hace aumentar la absorción de CO_2 ayuda a disminuir el colapso.

1.18. Condensaciones

1.18.1. En piezas enteras o superficies de contacto

La condensación en la superficie del producto o en las superficies en las que el producto contacte se produce cuando se alcanza el punto de rocío, lo

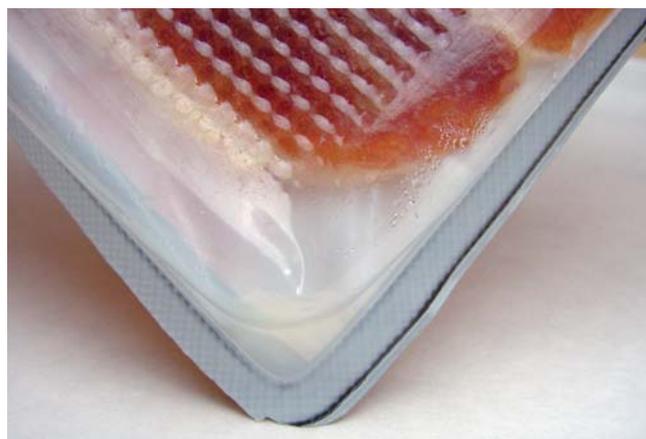


Imagen 37a. Condensación de agua en el interior del envase.

cual suele suceder, entre otros,

- i) al inicio del estufaje;
- ii) al aumentar la temperatura abruptamente en pasos intermedios del proceso;
- iii) al preparar el producto para lonchear; y
- iv) en la fase posterior al loncheado previa al envasado. Previo al dimensionamiento de los equipos de secado se propone reducir la entrada de aire caliente húmedo, reducir la generación de vapor (secar bien todas las superficies después de la limpieza y valorar el aporte de vapor por el personal) y mantener las superficies a una temperatura superior a la del punto de rocío.

1.18.2. En el interior del envase

La condensación en el interior del envase se produce cuando se alcanza el punto de rocío. En los lineales a menudo se colocan las bandejas de embutido en zonas con iluminación intensa, que pueden 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 puede producir un secado del embutido 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 a consecuencia de ello se produce un drenaje de jugos hacia el fondo del envase (**imagen 37a**). Con este proceso, se secan las puntas y las partes más finas de las zonas más calientes o de mayor espacio de cabeza, y simultáneamente aumenta la actividad de agua y disminuye la estabilidad microbiológica de la zona inferior en contacto con el agua de drenaje, especialmente si tiene



Imagen 37b. Difusión de los componentes del humo desde la zona superficial en salami húngaro.

lugar un abuso de temperatura. Por lo tanto, para mantener mejor la calidad del producto es conveniente mantener el envase horizontal, utilizar bandejas con hendiduras o que las lonchas se adecuen a la forma del envase, y finalmente una temperatura homogénea, lo cual se logra situando los focos de luz lejos del producto y utilizando lineales cerrables, o en el caso de lineales abiertos colocándolos en zonas donde apenas haya circulación de aire externo.

1.19. 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 po-



Imagen 37c. Defecto de ahumado debido a embarrado producido por clipadora.

ner tejido elástico en la apertura 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 apertura.

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 un sistema inclinado de soplado de aire a los operarios previo a la limpieza y otro previo a la entrada 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.

1.20. Defectos de ahumado

El ahumado afecta al color debido entre otros a la acción de los aldehídos (e.g. hidroxiacetaldehído) que reticulan por reacción con las proteínas. El color ahumado se estabiliza por el secado, produciéndose



Imagen 38a. Inicio de encostrado.



Imagen 38b. Encostrado en lomo embuchado.

una pérdida de color y migración de sus componentes hacia el interior cuando el producto seca lentamente (**imagen 37b**). Una temperatura elevada favorece la formación de un color más oscuro, 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 producir manchas de ahumado, y si se realiza a HR demasiado baja, el color es más oscuro. Por otro lado, el embarrado superficial puede dificultar la absorción de algunos componentes del humo y su reacción con la proteína cárnica (**imagen 37c**). Si la temperatura del humo es elevada y la HR muy baja, se produce des-

prendimiento de grasa que da lugar a un ahumado irregular. Una distribución irregular del humo y un secado irregular da lugar a un color de ahumado irregular.

2. Problemas de textura

2.1. Encostrado

Se entiende por encostrado la presencia de una zona superficial reseca en el embutido mientras que en su interior está aún tierno (**imágenes 38a, b**). Cuando se efectúa un secado muy rápido de la superficie, la migración del agua del interior no es suficiente para compensar la deshidratación superficial, y si esto tiene lugar durante un período demasiado prolongado se produce la formación de una costra reseca, en la que la difusividad del agua es más lenta.

La carne gelifica y es más dura, a alto contenido de agua, cuando el pH disminuye por debajo de 5,3. Pero cuando el contenido de agua disminuye, la carne de pH elevado adquiere una dureza mayor que la de pH bajo, debido a que a pH elevado hay menos proteólisis (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2006), lo cual la hace más sensible al encostrado. En los embutidos acidificados, el secado antes y durante el estufaje debe ser muy suave para evitar que frene la acidificación en la zona superficial (la a_w superficial debe ser superior a 0,92). Sin embargo, en los embutidos no acidificados es conveniente, para evitar el crecimiento de microbiota indeseada especialmente si se usan tripas naturales, secar rápidamente la superficie al inicio del proceso y posteriormente realizar un secado más suave durante el resto del proceso para evitar el encostrado. También debe evitarse el remelo ya que aumenta el pH superficial. La humedad relativa durante la fase de estufaje debería ser entre un 2% y un 5% inferior al valor de $a_w \times 100$ del interior del producto. En los productos grasos esta diferencia debe ser pequeña, mientras que en los magros puede ser mayor. Esta diferencia permite un secado rápido sin que se produzca encostrado. La composición del embutido afecta al contenido de agua en el equilibrio en la zona superficial, que alcanza un embutido secado a una HR determinada y, por tanto, afecta a la susceptibilidad que tiene al encostrado. Así, por ejemplo, a humedades ambientales inferiores al 75%, la adición de lactato potásico produce un mayor aumento del contenido de agua en el equilibrio que la adición de sal (Muñoz *et al.*, 2009). Una humedad ex-

cesivamente elevada en el estufaje debe también evitarse, ya que la condensación de agua en superficie podría arrastrar sales y disminuir, por ello, el contenido de agua en el equilibrio (**imagen 38c**).

En caso de que se produzca encostrado es recomendable:

- i) aumentar la humedad relativa para facilitar la homogeneización del producto;
- ii) disminuir la velocidad del aire para reducir la transferencia externa; y
- iii) disminuir la temperatura para reducir la transferencia externa, el crecimiento indeseado de microorganismos y aumentar el contenido de agua en el equilibrio.

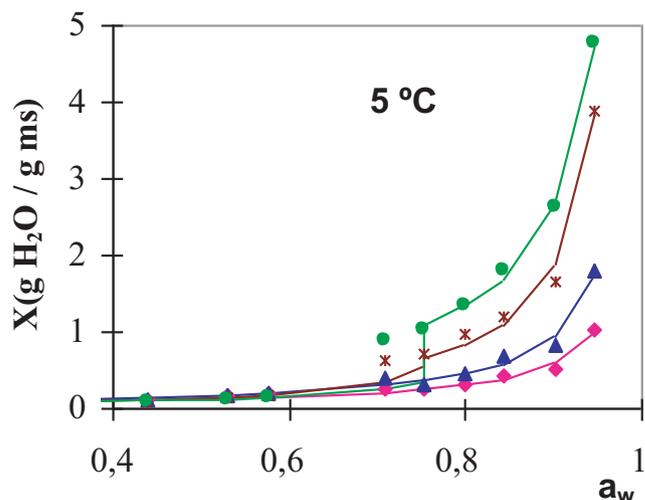
Las isotermas de sorción pueden ayudar a determinar las actividades de agua superficiales y las humedades ambientales críticas para evitar el encostrado. Así, por ejemplo, en la mayoría de los embutidos se observa una disminución brusca del contenido de humedad en el equilibrio cuando la a_w disminuye por debajo de 0,75.

Es decir, que por debajo de una HR ambiental del 75% se puede producir una disminución muy rápida del contenido de agua, y por tanto un incremento brusco de la dureza superficial del embutido. A menor contenido de sal, menor es el contenido de agua en el equilibrio a una temperatura y HR dadas (**imagen 38c**) y, por tanto al disminuir el contenido de sal aumenta la susceptibilidad al encostrado. Por otra parte, el encogimiento del magro genera tensiones sobre la grasa y facilita el aplastamiento de los adipocitos y el exudado de grasa en la zona encostrada (**imagen 23**), lo cual dificulta aún más la difusión del agua a través de la costra.

Se ha sugerido que la adición de fibras a los embutidos curados reduce su a_w y aumenta la velocidad de secado (Eim *et al.*, 2012). Estas fibras actuarían como pequeños canales secundarios por donde el agua podría migrar, facilitando un secado más rápido del interior del producto (de hasta un 25 %) sin que se produzca encostrado.

En los secaderos de embutidos curados se puede dar en ocasiones una falta de uniformidad en el secado, lo cual puede tener su origen en un funcionamiento defectuoso del equipo o en una falta de homogeneidad del producto.

Las causas por deficiente funcionamiento del equipo pueden estar asociadas a averías en el equipo,



NaCl (base seca): ◆ 0% ▲ 8% ✕ 20% y ● 31%

Imagen 38c. Isotermas de la carne a diferentes contenidos de sal (NaCl [base seca]: 0 %, 8 %, 20 % y 31 %).

a un diseño deficiente (e.g. obstáculos al paso del aire, poca distancia del producto al suelo o al conducto de impulsión, ancho insuficiente del pasillo lateral, dimensiones inadecuadas del secadero), o a un uso no adecuado (e.g. ventilación o barrido transversal inadecuados).

El funcionamiento defectuoso del equipo da lugar a defectos repetitivos en su localización en diferentes procesos. Mientras que una distribución aleatoria de los defectos puede tener relación con:

- i) una carga constituida por distintos tipos de embutidos;
- ii) embutidos que están en diferentes estados de secado;
- iii) embutidos con una composición (e.g. contenido de grasa) o grado de embarado distintos.

2.2. Textura blanda

En los embutidos acidificados se desea una textura firme, que es diferente de la que se obtiene en los de pH más elevado. En ocasiones la fermentación puede inhibirse por:

- i) la presencia de fagos en los cultivos microbianos (en este caso sería más probable que afectara a toda una partida);
- ii) residuos de antibióticos (fallos de fermentación alrededor de los trozos de carne afectados) o desinfectantes (e.g. en el caso de la embutidora afectaría a los primeros salchichones embutidos) o
- iii) falta de homogeneidad de la pasta (los factores



Imagen 39a. Falta de ligado.

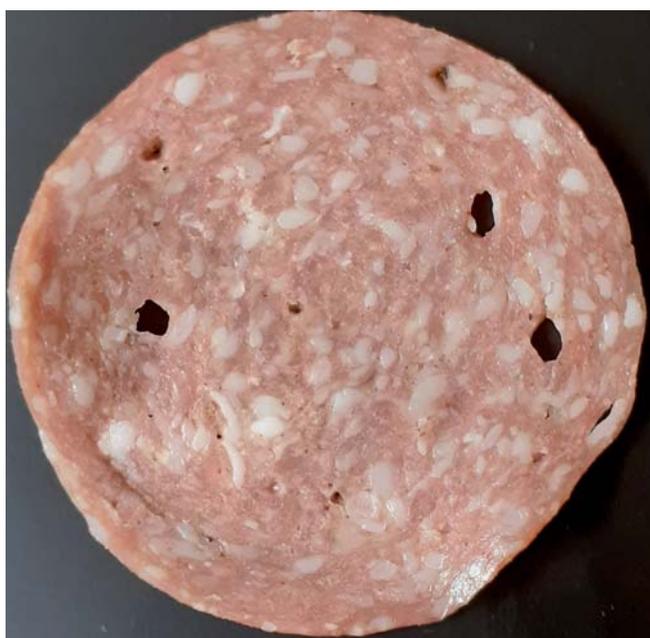


Imagen 39b. Desprendimiento de gránulos de grasa al lonchear.

que retrasan la fermentación, como por ejemplo los depresores de la a_w pueden estar en valores localmente altos).

A igual pH final de un embutido, una caída lenta de pH da lugar a una consistencia más blanda que una caída rápida, quizás debido a la acción de determinados enzimas proteolíticos, a cambios en la estructura, potencial redox, etc.

En el caso de embutición manual, debe procurarse que el embutido quede compacto para evitar errores de criterio al evaluar de forma manual si el embutido ha fermentado adecuadamente. Por otro lado, el en-

costrado contribuye a hacer que el embutido sea más blando en el interior, y un crecimiento importante de moho en el exterior aumenta el pH, especialmente en embutidos de calibre reducido, y los hace más blandos. Las exolipasas y exoproteasas se producen principalmente en casos de déficit de nutrientes en el microambiente que envuelve a los hongos.

En embutidos con microbiota fúngica externa, cuando se secan lentamente o se envasan al vacío cuando están aún tiernos, se produce una proteólisis importante en la superficie debida a la acción de proteasas fúngicas que confiere al embutido una textura blanda superficial.

El tratamiento térmico a temperatura superior a 40 °C después de la fermentación, en aquellos casos en que es factible, hace que el embutido sea más consistente.

2.3. Falta de ligado

2.3.1. Ligado del magro

La falta de ligado (**imagen 39a**) puede ser debida a una insuficiente extracción de proteínas durante el amasado, la presencia de sólidos insolubles como el pimentón, el embarrado, la falta de plasticidad de los trozos de carne (en picado grueso), el encostrado, la formación de gas y todos aquellos aspectos que dificulten la formación del gel antes del estufaje (e.g. falta de vacío) y las acciones mecánicas que puedan romper el gel después de la acidificación química (si se usa GdL) o del estufaje (si se usan cultivos iniciadores). En los embutidos acidificados el ligado se logra en toda la masa del embutido durante el estufaje, sin embargo, en los de pH elevado el ligado se logra durante el secado por disminución del contenido de agua. Por tanto, en este último caso tan sólo se logra un buen ligado cuando se ha producido un secado suficiente en el interior del embutido. La adición de transglutaminasa, si bien mejoraría el ligado, haría que el embutido fuera más difícil de masticar. Cuando se utilizan tripas resistentes a la presión (e.g. fibrosas) se puede ejercer una presión elevada que mejora el ligado.

2.3.2. Ligado de la grasa

Para lograr un buen ligado de la grasa, y evitar que se desprenda al lonchear (**imagen 39b**), se debe tener suficiente proteína extraída o añadida (e.g. gel de caseinato) y evitar el embarrado. Hay que tener en cuenta que la grasa fresca liga mejor que la conge-

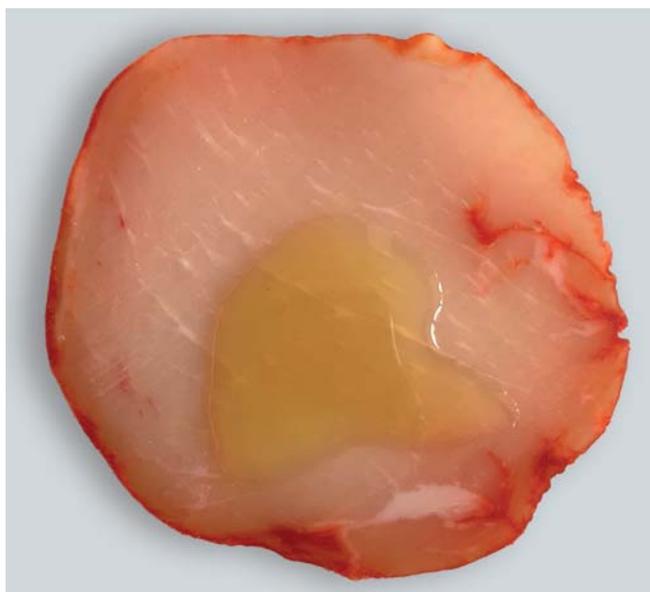


Imagen 40. La adición de aceite de oliva mejora la textura, aroma y jugosidad de los productos magros.



Imagen 41. Telillas de conectivo.

lada (especialmente cuando lo ha sido por largos períodos) 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 adhesión (los trozos grandes de grasa se separan más fácilmente que los pequeños y las formas esféricas lo hacen más que las otras formas), el amasado facilita la interacción proteína/grasa, el escaldado a 40-50 °C de los dados de grasa y su centrifugación posterior facilita la eliminación de la grasa superficial del dado y facilita el ligado con la proteína (e.g. en mortadela boloñesa).

En los productos fermentados semicocidos o cocidos una buena adhesión a la tripa dificulta la exudación de grasa y una mala capacidad de retención de agua ayuda a generar desprendimiento de grasa, ya que al perder agua se generan canales por donde la grasa también puede fluir.

El amasado a muy baja temperatura sin presencia de sales puede facilitar la formación de agregados de grasa de forma esférica (“pelotas”) que dificulten una buena distribución de los ingredientes, aditivos y cultivos. Estos agregados pueden afectar negativamente a la fermentación y a la seguridad alimentaria del producto. La adición de la sal directamente a la cinta que transporta la carne de la picadora a la amasadora mejora la distribución de la sal, disminuye el punto de congelación y reduce el riesgo de formación de agregados de grasa.

2.4. Gomosidad

Los embutidos muy magros suelen ser muy gomosos, y duros al secar. Para reducir este problema se aconseja consumirlos tiernos o bien favorecer una cierta proteólisis. También puede ser de interés disminuir la humedad inicial de la pasta añadiendo más grasa, proteína seca o azúcares, o bien producir un ligero embarrado que reduzca el ligado y facilite la masticación.

En los productos muy magros, la adición de aceite de oliva virgen sobre las lonchas de producto bien sea antes de envasar al vacío o al prepararlo para consumir mejora la textura en boca y el aroma (**imagen 40**).

2.5. Residuo de conectivo

La carne con tejido conectivo deja un residual que es visible al corte (**imagen 41**) y se nota al final de la masticación. Este residuo puede reducirse utilizando un separador de nervios en el picado, o pasando la carne por un separador tipo Baader. Por tanto, el añadir a la cutter una parte de carne fresca picada utilizando separador de nervios o carne Baader permitirá reducir este problema. El picado fino en cutter disminuye el tamaño y lo hace menos perceptible, y el amasado adicional de la carne picada en cutter también lo disimula.

2.6. Textura fibrosa

Se entiende por fibrosidad la percepción de fibras (partículas alargadas) durante el proceso de masticación. También se define como la propiedad geométrica de textura relativa a la percepción de partículas alargadas de orientación paralela (3.59, UNE 87-001-94).

La fibrosidad aumenta al cocer, tratar por alta presión, acidificar y secar, y disminuye a medida que aumenta la proteólisis.

2.7. Mordida dura

La dureza del embutido al morder/masticar se observa en embutidos de picado grueso y muy merma-dos o también cuando se aplica transglutaminasa.

2.8. Falta de crujencia

En los embutidos tipo *snack* se busca una cierta crujencia al morder/masticar el producto. La crujencia la puede dar la propia tripa, el grado de secado (a mayor merma mayor crujencia) y la piel producida por el ahumado. Los aldehídos y ácidos del humo junto con el secado apropiado son los responsables de la crujencia (“*snap*”, “*knack*”) de los productos ahumados.

3. Problemas de flavor

El flavor es una combinación compleja de sensaciones olfativas, gustativas y trigeminales percibidas durante la degustación, y que puede estar influido por las propiedades táctiles, térmicas, dolorosas e incluso por efectos cinestésicos. El flavor de los embutidos curado-madurados viene determinado por su composición química, estructura, microbiota de la materia prima, ingredientes, aditivos, cultivos iniciadores y el proceso que haya sufrido el embutido (Ordoñez *et al.*, 1999; Arnau *et al.*, 2003).

– *Gusto*

El sentido del gusto se sitúa 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.

– *Gusto umami*

El gusto umami (“delicioso” en japonés) es un sabor básico de los embutidos curado-madurados. A pesar de que 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 dan gusto umami. Por otra parte, existen sustancias que potencian el sabor umami (sinérgicos) como por ejemplo algunos péptidos y nucleótidos (isómeros 5': IMP, GMP).

El sabor umami estimula el apetito y el flujo salivar (facilita la 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 (Hierro *et al.*, 1999; Durá *et al.*, 2004), fruto de los procesos proteolíticos que tienen lugar de forma natural sobre las proteínas de la carne y de las reacciones que sufren las sustancias que de ellas se derivan, como por ejemplo la reacción de Maillard.

– *Gusto dulce*

El gusto dulce se considera una nota positiva, si es poco manifiesto suele estar relacionado con los azúcares residuales presentes en el embutido. También se asocia a la presencia de algunos péptidos que se producen en el proceso de maduración, especialmente en los productos de larga curación. Incluso la propia sal a baja concentración tiene sabor dulce.

– *Gusto a grasa*

Recientemente se ha localizado un receptor químico (CD36), en las papilas gustativas de la lengua, capaz de reconocer las moléculas de grasa (Lauge-rette *et al.*, 2005). Se ha detectado también que los individuos con mayor sensibilidad a este sabor tienden a consumir menos grasas que aquellos que no son capaces de detectarlo.

– *Gusto Kokumi*

Sabor asociado a ciertos γ -glutamil péptidos que activan un receptor de sensibilidad al calcio tam-

bién 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. Los γ -glutamil dipéptidos se han propuesto entre los componentes clave en la mejora de las propiedades sensoriales al aumentar el tiempo de curación (Sforza, *et al.*, 2006). Estos dipéptidos pueden formarse por reacción entre aminoácidos catalizada por γ -glutamyltranspeptidasas, observándose un aumento con el tiempo de curación.

Las tecnologías de procesado 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 embutidos curado-madurados.

3.1. Problemas de flavor producidos por ingredientes y procesos

3.1.1. Salado

El sabor salado suele ser debido a un exceso de sal en algún punto del producto y es debido fundamentalmente al catión sodio (Na^+). Si el proceso de secado es muy rápido se produce un gradiente de agua que hace que la sal migre hacia el interior del producto (para mantener la relación sal/agua) confiriéndole un sabor salado más intenso. El sabor salado se reduce si lo hace el gradiente de secado, bien sea mediante un secado más lento o mediante envasado al final del proceso, permitiendo su homogeneización. Por otra parte, el uso de tripas naturales gruesas insuficientemente desaladas (**imagen 29**) también contribuye a aumentar el contenido de sal del producto.

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 un determinado valor de sabor salado un aumento en el contenido de sal se nota más en productos grasos que en productos magros (Hammer, 1981). La adición de lactosa, maltodextrinas o sorbitol aumenta el sabor dulce y compensa el sabor salado.

En los embutidos muy secos se nota un aumento del sabor salado especialmente cuando la a_w disminuye por debajo de 0,75 (valor por debajo del cual

la sal cristaliza). Este problema ocurre en ocasiones en snacks y embutidos tipo "mini".

La aplicación de tratamientos térmicos y el procesado por altas presiones hacen aumentar el sabor salado sin que se modifique el contenido de sal.

En productos loncheados envasados en atmósfera modificada puede aumentar el sabor salado debido a la pérdida local de agua que sufren algunas lonchas, especialmente cuando el espacio de cabeza es elevado o se produce condensación dentro del envase (problema de puntas secas).

En el caso de los lomos curados, se tendrá una mayor o menor absorción de sal, según la clasificación realizada, la granulometría de la sal, el tiempo de masaje, la cantidad de salmuera formada y el tiempo de reposo antes de embuchar. En concreto las puntas, especialmente la parte cercana a la cabeza de lomo, por ser más delgadas, con mayor capacidad de retención de agua y mayor facilidad de separación de los músculos, pueden absorber más sal. Si el tiempo de maceración, antes de embuchar, se alarga se repartirá mejor la sal entre lomos y dentro del mismo lomo. El mantener el producto curado envasado al vacío durante varias semanas facilita la homogeneización tanto del contenido de agua como del de sal.

3.1.2. Amargo

El sabor amargo no suele ser común en embutidos curado-madurados. Puede darse si se produce una proteólisis intensa o se añaden cantidades importantes de sales de potasio o magnesio como sustitutos de la sal común. Una disminución de la actividad de agua del embutido por debajo de 0,877 a 5 °C o 0,843 a 25 °C puede hacer aumentar el sabor amargo, ya que a dichas a_w el KCl cristaliza. Para disminuir el sabor de las sales de potasio 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. Al final del proceso de secado un gradiente de contenido de agua entre el interior y el exterior del embutido puede generar un aumento del sabor amargo debido a la tendencia a igualar la relación K/agua entre diferentes partes del embutido. El envasado de las piezas al vacío durante varias semanas al final de la curación permite uniformizar el contenido de agua en todo el producto, reducir el potasio de las zonas centrales del embutido y disminuir el sabor amargo.



Imagen 42. Zona acidificada, en la parte externa del trozo de magro de picado grueso, después de estufaje.

3.1.3. Ácido

En los embutidos curado-madurados, si bien se desea una cierta acidificación que produzca el ligado de los componentes, se considera un defecto el que el flavor del embutido sea excesivamente ácido. En los productos acidificados se desea un sabor ácido suave, procedente de la fermentación de los azúcares por microorganismos homofermentativos para dar ácido láctico, y con poca presencia de ácidos volátiles que proceden de la vía heterofermentativa y que confieren olor ácido (e.g. acético). 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. Así, por ejemplo, la carne de caballo y ciervo/venado acidifica más que la de cerdo o vacuno. Mientras que el glucógeno de la carne de cerdo puede hacer disminuir el pH de 0,15 a 0,30 unidades, la carne de caballo puede hacer disminuir el pH de 0,7 a 0,8 unidades. El ácido láctico se genera, durante la fermentación, en la superficie de los magros (**imagen 42**), que es donde está la microbiota láctica, y posteriormente difunde hacia su interior. Este aspecto debe tenerse en cuenta, en los productos de picado grueso, al establecer el tiempo

que tardan en alcanzar un $\text{pH} < 5,3$ a una temperatura superior a $15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura crítica de inicio de crecimiento de *S. aureus*). Este tiempo (expresado en grados-hora) depende de la temperatura de fermentación (<https://www.meatsandsausages.com/sausage-types/fermented-sausage/standards>).

El tipo y la cantidad de azúcares, así como el tipo de cultivos iniciadores determinan en buena parte la acidificación de los embutidos. En los embutidos de cuter debe asegurarse que los cultivos, azúcares y sal se repartan de forma homogénea en los 360° de la artesa, y preferentemente sobre la zona cercana al eje de giro de ésta, ya que la homogeneización se realiza bien en la zona de corte, pero no entre zonas alejadas. Por otra parte, un elevado contenido de agua, un calibre grande, una tempera-

tura y humedad relativa de secado elevadas y la ausencia de microbiota externa facilitan la acidificación. En los embutidos en los que se produce un elevado gradiente de secado entre el exterior y el interior, el ácido migra hacia el interior (para equilibrar la relación ácido/agua) dando lugar a un producto más ácido de lo que hubiera sido con un secado homogéneo. Durante la comercialización de los productos envasados al vacío o en atmósfera protectora, si bien el gradiente de concentración de ácidos entre el interior y el exterior disminuye, el proceso de acidificación puede continuar si el embutido tiene un alto contenido de humedad. Dicha acidificación dentro del envase aumenta con la presencia de azúcares residuales fermentables y con la temperatura, y puede reducirse mediante la aplicación de un tratamiento de alta presión. Si se mantienen las piezas enteras de producto final envasadas al vacío a baja temperatura (e.g. $t < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), se produce una disminución de la sensación ácida, ya que al igualarse el contenido de agua entre el interior y el exterior del embutido disminuye el contenido de ácidos de la zona central (que es la que determina dicho sabor), debido a la tendencia a igualar la relación ácidos/agua entre el interior y el exterior, y por otra parte las bacterias lácticas en

estas condiciones apenas tienen capacidad de producir ácidos.

Si se añade gluconodelta lactona (GdL) al embutido, esta se convierte a ácido glucónico, el cual contribuye a la acidez del producto. Por cada gramo de GdL añadida el pH disminuye de 0,07 a 0,1 unidades. La adición combinada de GdL y cultivos iniciadores es una buena estrategia para reducir los recuentos de *L. monocytogenes* y especialmente *Salmonella*, reduciendo también el tiempo de procesado (https://www.jungbunzlauer.com/fileadmin/content/_PDF/PRINT_PROJECTS/Article_facts/JBL_AR_GdL_in_meat_2019-037.pdf).

Algunas bacterias lácticas pueden metabolizar la GdL a ácido láctico y acético, y especialmente el ácido acético puede interferir con la actividad de los cocos gram (+) catalasa (+), lo cual según Lücke (1998) puede facilitar el enranciamiento y tener consecuencias negativas para el color.

Para obtener embutidos madurados en los que no se desea acidificación se recomienda utilizar alguna o varias de las siguientes posibilidades: evitar carnes de pH bajo o con mucho glucógeno, no utilizar azúcares fermentables o hacerlo en cantidades pequeñas y repartidas homogéneamente (cuantos menos azúcares se añadan, más necesario es repartirlos bien junto con los cultivos), partir de una masa inicial con una actividad de agua baja ($< 0,95$) (i.e. alta relación sal/agua) y con recuentos iniciales de microbiota láctica bajos, añadir conservadores que frenen las bacterias lácticas (e.g. lactato, acetato...), utilizar tripas de calibre pequeño, disminuir la cantidad de pimienta y otras especies añadidas (contienen manganeso que es esencial para el crecimiento y actividades metabólicas de las bacterias lácticas [Kandler, 1983]), realizar el secado a baja temperatura y sembrar microbiota fúngica de cobertura que consuma ácido (Arnau, 2000). En los embutidos con zonas en que no se produzca acidificación (especialmente externas), se deberían validar los procesos frente a *S. aureus* para asegurar que no se pueda producir crecimiento hasta que la $a_w < 0,89$.

El uso de carnes de pH elevado y el frenar la disminución de pH mediante pequeñas dosis de antimicrobianos puede retrasar la acción de las bacterias lácticas y favorecer el crecimiento de Enterobacterias, lo cual tiene impacto en el aroma del producto.

El secado tipo QDS process® permite obtener productos fermentados con un sabor ácido mucho me-

nor que el sistema de elaboración tradicional (Comaposada *et al.*, 2007; <http://es.metalquimia.com/productos/familias-de-productos/qds-process/>), ya que la acidificación se para al finalizar el estufaje. En los embutidos semicocidos que posteriormente se usan como toppings es conveniente utilizar cultivos que aguanten el tratamiento térmico para proteger las lonchas frente al crecimiento de microbiota contaminante y/o patógena.

Para matizar el sabor ácido se pueden utilizar ingredientes con sabor dulce (maltodextrinas, sorbitol...), mezclas de IMP+GMP, sustancias umami o aromas antiácidos.

3.1.4. Rancio

El flavor rancio es una nota indeseable en los embutidos curado-madurados. 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 pueden conferir notas rancias si han estado almacenadas durante mucho tiempo en contacto con el aire. El pimentón si es rancio 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 y la adición de antioxidantes y de cultivos apropiados (i.e. *Staphylococcus xylosus* o *carneus*, levaduras...) a la masa, retrasan el enranciamiento, mientras que la luz, las temperaturas elevadas y el envasado en atmósfera con oxígeno lo favorecen.

3.1.5. Olor a tripa

El olor a tripa se debe al uso de tripas insuficientemente limpias o desodorizadas. El uso de una microbiota de cobertura adecuada (e.g. *Penicillium candidum*) reduce dicho olor. Las tripas naturales saladas deben almacenarse siempre a una temperatura inferior a 7 °C para evitar el crecimiento de halófilos que producen olores desagradables y coloraciones rosáceas (**imagen 20**).

3.1.6. Olor a excrementos / mercaptanos / confinado

El olor a excrementos o a cuadra puede ser debido a falta de limpieza de las tripas. Por otra parte, el olor a excremento de caballo se asocia a la degradación de la pimienta blanca.

En algunos embutidos (e.g. de pavo) se notan olores sulfídricos (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. El uso de envases activos y aromas frescos puede contribuir a reducir este problema.

3.1.7. Olor a grasa de cordero

El olor a cordero puede ser debido bien a problemas en la alimentación del cerdo (Arnau *et al.*, 1987) o al tipo de tripa reconstituida utilizada.

3.1.8. Notas defectuosas debidas al pimentón

El pimentón puede en ocasiones tener algunos defectos (e.g. rancio, paja, quemado, moho y hojas húmedas/tabaco) que se pueden conferir al producto elaborado.

3.1.9. Olor a viejo

El olor a viejo se observa cuando el tiempo de curación es muy prolongado. Puede verse favorecido por la presencia de ácaros, por la adición de carne arremelada, tripas viejas y exceso de humedad durante alguna fase del proceso.

Cuando los productos curados permanecen durante largos períodos envasados al vacío se genera un aroma atípico desagradable. En caso de que deban guardarse dichos productos envasados durante largos períodos, la mejor opción es congelarlos envasados. Con ello no se genera dicho aroma extraño y se reduce la pérdida del aroma natural del producto.

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/flavor sexual

El olor sexual (producido por 5 α -androst-16-en-3-ona) y el olor fecal (producido por escatol) se presentan en algunos embutidos en los que hay una elevada proporción de carne o grasa procedente de machos enteros. Este problema es mayor en aquellos embutidos que se calientan antes de consumirlos, y en los de picado grueso donde el efecto dilución es menor que en picado fino. En productos de picado fino elaborados en cutter, las partículas se dispersan mejor y las sustancias responsables del olor

se pueden diluir más rápidamente. De todas formas, la mejor solución para evitarlo es utilizar carne de animales castrados o hembras.

3.1.12. Olor a tostado

En salchichones madurados sin azúcares añadidos, con elevados recuentos de bacterias ácido-lácticas heterofermentativas, se han encontrado olores tostados similares a los que también se detectan en jamón curado (Arnau, 2022).

3.1.13. Falta de aroma

La falta de aroma se puede deber, bien a que se hayan generado pocos componentes volátiles durante el proceso (e.g. falta de fermentación), o a que se hayan perdido posteriormente. Para lograr un aroma adecuado hacen falta notas de especias, de fermentación producidas por bacterias lácticas y otras notas producidas por cocos gram + catalasa +, mohos, levaduras, así como reacciones relacionadas con los procesos proteolíticos y lipolíticos.

La adición de algunos aromas, que están disponibles comercialmente, permite obtener un producto equilibrado y con el flavor adecuado. Asimismo, la adición de unas gotas de un buen aceite de oliva virgen sobre las lonchas recién cortadas que maride con el producto protege de la oxidación, mejora la jugosidad y aporta intensidad de aroma en productos magros loncheados, tanto si se añade antes de envasar al vacío como antes de consumirlo.

Es importante tener en cuenta que se pierden sustancias aromáticas volátiles durante la conservación del producto congelado no envasado al vacío, y también se pierde aroma, en los procesos de envasado al vacío y en atmósfera modificada. Es por esta razón que los productos recién cortados tienen un aroma más intenso que los loncheados envasados, y que los productos envasados en atmósfera modificada suelen tener menor intensidad de aroma cuando se compara con el mismo producto envasado al vacío.

3.2. Problemas de flavor producidos por microorganismos

El aroma de los embutidos curado-madurados es debido en buena parte a los procesos de fermentación. Entre los defectos mencionados anteriormente que pueden ser modulados por los ingredientes y el proceso se encuentra la acidez volátil y la no volátil.

En este sentido, la microbiota propia de la carne y el tipo de cultivo microbiano utilizado van a ser claves para modularla. Además de la acidez excesiva pueden encontrarse en ocasiones alguno de los siguientes defectos:

3.2.1. Floral

Es un olor atípico que lo pueden generar algunas bacterias lácticas, y suele ser común en los embutidos curado-madurados poco ácidos, y en jamones curados (Sánchez-Molinero & Arnau, 2008b; Dirinck, Van Opstaele & Vandendriessche, 1997; Berdagué, Monteil, Montel & Talon, 1993). Es una nota que se intensifica al cabo de unas horas de cortar el embutido y mantenerlo en contacto con el aire. Uno de los compuestos responsables es el fenilacetaldehído, que es una sustancia que deriva del aminoácido fenilalanina. En embutidos poco ácidos se recomienda repartir de forma muy homogénea los azúcares, evitar el embarrado, hacer un estufaje a menor temperatura y durante más tiempo, y disminuir la temperatura de secado. El tratamiento por alta presión del producto envasado puede frenar el crecimiento de la microbiota que genera este problema.

3.2.2. Olor a amoníaco

Es un olor que se observa especialmente en embutidos de pH elevado con microbiota de cobertura y almacenados en condiciones de humedad elevada. También puede darse en embutidos poco mermados, envueltos en celofan o papel, almacenados en cajas a temperatura ambiente, en los que se forma una película de humedad entre la tripa y el envoltorio que facilita el crecimiento de microorganismos que desprenden amoníaco.

3.2.3. Olor a queroseno

El olor a queroseno puede ser debido a la presencia de trans-1,3-pentadieno (Marth *et al.*, 1966) procedente de la metabolización del sorbato/ácido sórbico por parte de algunos microorganismos, especialmente mohos (*Aspergillus* son más sensibles al sorbato que *Penicillium*) y levaduras (Casas *et al.*, 2004). Por lo tanto, el sorbato tan sólo sería interesante para frenar el crecimiento de mohos en embutidos en los que haya otras barreras que no permitan su crecimiento (ahumado, humedad baja, ausencia de oxígeno...). Se ha sugerido que la formación del trans-1,3 pentadieno precede al creci-

miento del moho (Marth *et al.*, 1966). Por tanto, en los productos envasados en atmósfera modificada en que se haya utilizado sorbato en la formulación debe disminuirse el volumen del espacio de cabeza y el residual de oxígeno (preferentemente a valores inferiores a 0,05%) para evitar que las levaduras y mohos generen este aroma desagradable, especialmente en las zonas del embutido en que el contenido de sorbato sea menor (centro del embutido).

3.2.4. Olor a estireno

Algunos mohos y levaduras son capaces de producir estireno a partir del cinamaldehído (Saxby, 1996). El cinamaldehído es el compuesto responsable del olor característico de la canela. Se ha observado también la presencia de estireno en quesos tipo Camembert (sin cinamaldehído) producidos a partir de determinadas cepas de *Penicillium camemberti* (Adda *et al.*, 1989).

3.2.5. Olor a grasa cocida

Es un olor que es común en embutidos cocidos escaldados no nitrificados que se comercializan a temperatura ambiente y sin envasar. En embutidos curados esta nota se puede atribuir a fenómenos de oxidación producidos por bacterias lácticas. Es más común en salami y salchichón que en chorizo (debido a las propiedades antioxidantes de sus especias) (Ferrini *et al.*, 2014). Mediante la adición de cultivos que contengan *Staphylococcus* este problema se suele eliminar.

3.2.6. Olor a podrido

Puede ser debido al crecimiento de Enterobacterias u otros microorganismos putrefactores que se han impuesto a las bacterias lácticas debido al uso de carne excesivamente contaminada, pH elevado, refrigeración deficiente, falta de sal o azúcares.

3.2.7. Sensación picante

La sensación picante es una característica esencial de algunos alimentos (e.g. cebolla, mostaza, pimienta, pimentón picante...). El sentido responsable de la sensación picante, que a menudo se lo denomina "sentido químico", es un sistema sensorial relacionado con el nervio trigeminal. Este sistema sirve para detectar sensaciones de irritación, dolor, calor y frío. La estimulación del nervio trigeminal en la boca o en la nariz se produce por diversas sustancias co-

mo la capsaicina, el alil isotiocianato, la piperina, el CO₂... Los ácidos y la sal a alta concentración también estimulan el nervio trigeminal. La contribución de la sensación picante a la aceptabilidad de los alimentos depende, entre otros, de la sensibilidad de la persona, de los rasgos de personalidad y de la tradición culinaria.

En los embutidos curado-madurados, la sensación picante puede considerarse en algunos casos una característica del producto debido a la adición de cantidades importantes de pimienta o pimentón picante.

La sensación picante puede verse afectada no sólo por los ingredientes añadidos sino también por el proceso de curación del embutido.

i) Materias primas e ingredientes:

- El tipo de materia prima podría afectar a dicha sensación, aunque no se han encontrado estudios científicos que lo evalúen. El contenido de grasa, su grado de insaturación y su grado de oxidación podrían ser los responsables de que se perciba más en los productos derivados del cerdo ibérico (Olmos, A. y Olmos, J. V., comunicación personal).
- Contenido de sal: al aumentar el contenido de sal se ha observado un incremento de la sensación picante, probablemente debido a la acción irritante que produce un elevado contenido de sal (Carstens *et al.*, 2002). Sin embargo, no debe confundirse el picante con el sabor salado. La irritación bucal constituye uno de los factores de fatiga sensorial que limitan el aumento del número de muestras o de sesiones en los paneles de evaluación sensorial de embutidos curado-madurados.
- Especies: la adición de especias como la pimienta y el pimentón picante es el factor más importante de aumento de la sensación picante en aquellos productos a los que se les añade en elevada cantidad.

ii) Proceso:

La sensación picante aumenta al aumentar el tiempo de curación. Por otra parte, en productos envasados al vacío que se mantengan a temperatura ambiente, la sensación picante suele aumentar.

3.2.8. Otros olores extraños

En ocasiones, en los embutidos se observan olores extraños correspondientes a fermentaciones des-

viadas. Por ejemplo, cuando hay baja cantidad de dextrosa disponible hay más posibilidades de que se produzca heterofermentación y mezcla de metabolitos (McLeod *et al.*, 2017). Este problema es común en los productos que han sufrido embarrado, debido a la dificultad que supone, a la difusión de los nutrientes de los microorganismos (e.g. azúcares), la presencia de una capa de grasa que envuelve los trozos de magro.

Dado que la microbiota de la materia prima determina en buena parte la calidad sensorial del producto, hay que tener en cuenta que cuanto más manipulada esté la carne mayor será su contaminación y mayores posibilidades hay de que surjan olores extraños. 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. Así mismo, 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 fermentación y el de producto final. A medida que el reprocesado procede de fases más avanzadas del proceso pasaremos de un simple aumento del embarrado y contaminación, a la adición de microbiota heterofermentadora y productos oxidados que afectarán negativamente a la calidad del producto.

4. Conclusión

Los embutidos curado-madurados 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 y envasado 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

- **Adda, J., Dekimpe, J., Vassal L. & Spinnier H.E.** (1989). Production de styrène par *Penicillium camemberti*. *Lait*, 69 (2) 115-120.
- **Amoah, B., Schilling, M. W. & Phillips, T. W.** (2016). Monitoring Tyrophagus putrescentiae (Acari: Acaridae) With Traps in Dry-Cured Ham Aging Rooms. *Environmental Entomology*, 45(4), 1029–1039. doi:10.1093/ee/nvw059
- **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.
- **Arnau, J.** (2000). Modulación de la acidificación en embutidos crudos curados madurados. *Eurocarne*, 88, 63-66.
- **Arnau, J.** (2011). Problemas de los embutidos crudos curados. *Eurocarne*, 194: 50-65.
- **Arnau, J.** (2022). Problemas sensoriales del jamón curado. *Eurocarne*, 194: 50-65.
- **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 Science Food and Agriculture*, 80(11), 1655-1658.
- **Arnau, J., & Gou, P.** (2001). Effect of air relative humidity on ham rind and subcutaneous salted fat during the resting period. *Meat Science*, 58(1), 65-68.
- **Arnau, J., Gou, P., & Alvarez, 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., Gou, P. y Comaposada, J.** (2003). Dry-cured ham and fermented meat products: formulating for flavour. *Brasilian J. of Food Technol.* 126-136.
- **Arnau, J., & Guerrero, L.** (1994). Physical methods of controlling mites in dry-cured ham. *Fleischwirtschaft*, 74(12), 1311-1313 (english) and 1334-1336 (german).
- **Arnau, J., Guerrero, L., & Gou, P.** (1997). Kristallisation von Phosphaten in Fleischprodukten (The precipitation of phosphates in meat products). *Fleischwirtschaft*, 77(10), 923-925.
- **Arnau, J., Guerrero, L., & Gou, P.** (2003). Effect of meat pH and the amount of added nitrite and nitrate on colour uniformity of dry-cured hams. *Fleischwirtschaft International*, 1, 31-32.
- **Arnau, J., Hugas, M., & Monfort, J. M.** (1987). Medidas preventivas para la lucha contra los parásitos del jamón curado. In *IRTA (Ed.)*, Jamón Curado: Aspectos Técnicos (pp. 215-219). Girona, Spain: GRAFIS-SANT, S.A.
- **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.
- **Bampi, M., Schmidt, F. C., & Laurindo, J. B.** (2019). A fast drying method for the production of salted-and-dried meat. *Food Science and Technology*, 39, 526-534.
- **Becker, E. M., Westermann, S., Hansson, M. & Skibsted, L. H.** (2012). Parallel enzymatic and non-enzymatic formation of zinc protoporphyrin IX in pork. *Food chemistry*, 130(4), 832-840.
- **Berdagué, J. L., Monteil, P., Montel, M. C., & Talón, R.** (1993). Effects of starter cultures on the formation of flavour compounds in dry sausage. *Meat Science*, 35, 275-287.
- **Berardo, A., Claeys, E., Vossen, E., Leroy, F., & De Smet, S.** (2015). Protein oxidation affects proteolysis in a meat model system. *Meat science*, 106, 78-84.
- **Bondoc, L. & Timkovich, R.** (1989). Structural characterization of nitrimyoglobin. *The J. of Biological Chem.* 264(11): 6134-6145.
- **Bou, R. Llauger, M., Arnau, J., Olmos, A. & Fulladosa, E.** (2020). Effects of post mortem pH and salting time on Zinc-protoporphyrin content in nitrite-free Serrano dry-cured ham. *Food Res. Int.* 133. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109156>.
- **Brown, K.L. & Holah, J.T.** (2006). Guidelines for preventing hair contamination of food. N° 48. *Campdem & Chorleywood Food Research Association Group*. ISBN: 0905942779.
- **Cantoni, C., & Chiappa, F.** (2011). batteri produttori

- di pigmenti blu e chiazature di alimenti. https://www.otalombardialiguria.it/wp-content/uploads/2016/04/Pigmenti-blu_QsA_giugno11.pdf
- **Cantoni, C., Milesi, S., Pirani, S., Iacumin, L., & Comi, G.** (2008). Cause della chiazatura blu di prodotti carnei. *Industrie Alimentari*, 47(476), 29-32.
 - **Cantoni, C., Stella, S., Comi, G., & Coccolin, L.** (2001). A new superficial alteration of raw hams: the blue spots. *Industrie Alimentari*, 408, 1226-1229.
 - **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.
 - **Carstens, E., Carstens, M. I., Dessirier, J. M., O'Mahony, M., Simons, C. T., Sudo, M., & Sudo, S.** (2002). It hurts so good: oral irritation by spices and carbonated drinks and the underlying neural mechanisms. *Food Quality and Preference*, 13(7-8), 431-443.
 - **Casas, E., B. de Ancos, M. J. Valderrama y Peinado, J. M.** (2004). Pentadiene production from potassium sorbate by osmotolerant yeasts. *Int. J. Food Microbiol.* 94:93-96.
 - **Comaposada, J., Arnau, J., & Gou, P.** (2007). Sorption isotherms of salted minced pork and of lean surface of dry-cured hams at the end of the resting period using KCl as substitute for NaCl. *Meat Science*, 77(4), 643-648.
 - **Comaposada, J., Arnau, J., Garriga, M., Xargayó, M., Bernardo, J., Corominas, M., Gou, P., Lagares, J., y Monfort, J.M.** (2007). Secado rápido de productos cárnicos crudos curados. Tecnología Quick-Dry-Slice process (QDS process). *Eurocarne*, 157: 45-51.
 - **Comaposada, J., Gou, P., & Arnau, J.** (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55(3), 291-295.
 - **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.
 - **De Maere, H., Fraeye, I., De Mey, E., Dewulf, L., Michiels, C., Paelinck, H., & Chollet, S.** (2016). Formation of naturally occurring pigments during the production of nitrite-free dry fermented sausages. *Meat science*, 114, 1-7.
 - **Dey, A., & Neogi, S.** (2019). Oxygen scavengers for food packaging applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 26-34.
 - **Dirinck, P., Van Opstaele, F., & Vandendriessche, F.** (1997). Flavour differences between northern and southern European cured hams. *Food Chemistry*, 59(4), 511-521.
 - **Durá, M. A., Flores, M., & Toldrá, F.** (2004). Effect of *Debaryomyces* spp. on the proteolysis of dry-fermented sausages. *Meat science*, 68(2), 319-328.
 - **Eim, V.S., García-Pérez, J.V., Rosselló, C., Femenia, A. & Simal, S.** (2012). Influence of the addition of dietary fiber on the drying curves and microstructure of a dry fermented sausage (Sobrassada). *Drying Technology*, 30:2, 146-153, doi: 10.1080/07373937.2011.628428.
 - **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(2A), 688-694.
 - **Flórez, P., Pedregal, E., Botas, M., Olmo, N., & Benezet, A.** (2001). Coloración anormal de un embutido por causas microbiológicas. *Alimentaria*, 326, 45-48.
 - **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.
 - **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.
 - **Gelabert, J., Gou, P., Guerrero, L., & Arnau, J.** (2003). Effect of sodium chloride replacement in some characteristics of fermented sausages. *Meat Science*, 65(2), 833-839.
 - **Girard, J.P., Bout, J. & Salort, D.** (1988). Lipides et qualités des tissus adipeux et musculaires de porc facteurs de variation. Journées de la Rech. *Porcine en France* 20, 255-278.
 - **Guerrero, L., & Arnau, J.** (1995). Dry cured hams. Chemical methods to control mites. *Fleischwirtschaft*, 75(4), 449-450 (english) and 482-483 (german).
 - https://www.jungbunzlauer.com/fileadmin/content/_PD

- F/PRINT_PROJECTS/Article_facts/JBL_AR_GdL_in_meat_2019-037.pdf. Microbiological safety of raw-fermented sausages with Glucono-delta-Lactone. *Facts. Jungbunzlauer*.
- **Hammer, G.F.** (1981). Zur Salzigkeit einiger Fleisch-erzeugnisse unter variierter Kochsalzzugabe. *Fleisch-wirtschaft*, 61(4): 609-613.
 - **Hernández-Cázares, A. S., Aristoy, M. C., & Toldrá, F.** (2011). Nucleotides and their degradation products during the processing of dry-cured ham, measured by HPLC and an enzyme sensor. *Meat science*, 87(2), 125-129.
 - **Hierro, E., de la Hoz, L., & Ordóñez, J. A.** (1999). Contribution of the microbial and meat endogenous enzymes to the free amino acid and amine contents of dry fermented sausages. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(3), 1156-1161.
 - **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. In *IRTA (Ed.), Jamón Curado: Aspectos Técnicos* (pp. 179-182). Girona, Spain: GRAFIS-SANT, S.A.
 - **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.
 - **Kandler, O.** (1983) Carbohydrate metabolism in lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 49, 209-224.
 - **Kinoshita, S., Yoshioka, S., & Miyazaki, J.** (2008). Physics of structural colors. *Reports on Progress in Physics*, 71(7), 076401.
 - **Koca, N., Karadeniz, F., Burdurlu, H.S.** (2006). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched peas. *Food Chem.* 100(2): 609-615.
 - **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.
 - **Kumar, P., Verma, A. K., Kumar, D., Umaraw, P., Mehta, N., & Malav, O. P.** (2019). Meat Snacks: A novel technological perspective. In *Innovations in Traditional Foods* (pp. 293-321). Woodhead Publishing
 - **Leistner, L., & Ayres, J. C.** (1968). Molds and meats. *Fleischwirtschaft*, 48, 62-65.
 - **Li, J., Zhang, L., Fu, Y., Li, Y., Jiang, Y., Zhou, G., & Gao, F.** (2018). Creatine monohydrate and guanidinoacetic acid supplementation affects the growth performance, meat quality, and creatine metabolism of finishing pigs. *J. Agric. Food Chem.* 66, 38, 9952-9959.
 - **Lozano-Ojalvo, D. Rodríguez A., Cordero, M., Bernáldez, V., Reyes-Prieto, M., & Córdoba, J.J.** (2015). Characterisation and detection of spoilage mould responsible for black spot in dry-cured fermented sausages. *Meat Science*, 100, 283-290.
 - **Lorenzo, P., & Flores, J.** (1988). Ein aktuelles Problem ohne zufriedenstellende Lösung: Der Milbenfall bei Rohschinken. *Fleischerei*, 39(9), 779-782.
 - **Iulietto, M. F., Sechi, P., Borgogni, E. & Cenci-Gog, B. T.** (2015) Meat spoilage: a critical review of a neglected alteration due to ropy slime producing bacteria. *Italian Journal of Animal Science*, 14:3, 4011. DOI: 10.4081/ijas.2015.4011.
 - **Lücke, F. K.** (1998). Fermented sausages. In: Wood, B.J.B. (Ed.), *Microbiology of Fermented Foods. Blackie Academic and Professional*, London, pp. 441-483.
 - **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).
 - **Marth, E.H., Capp, C.M., Hesenzahl, L., Jackson, H.W. & Hussong, R.V.** (1966). Degradation of potassium sorbate by *Penicillium* species. *Journal of Dairy Science*, 49, 1197-1205.
 - **Mateo, J., Domínguez, M. C., Aguirrezábal, M. M., & Zumalacárregui, J.** (1996). Taste compounds in chorizo and their changes during ripening. *Meat science*, 44(4), 245-254.
 - **McLeod, A., Mosleth, E.F., Rud, I., dos Santos, F.B., Snipen, L., Liland, K.H., Axelsson, L.** (2017). Effects of glucose availability in *Lactobacillus sakei* metabolic change and regulation of the proteome and transcriptome. *PLoSOne*, 12(11): e0187542. Doi: 10.1371/journal.pone.0187542.
 - **Mora-Gallego, H., Serra, X., Guàrdia, M. D., Miklos, R., Lametsch, R., & Arnau, J.** (2013). Effect of the type of fat on the physicochemical, instrumental and sensory characteristics of reduced fat non-acid fermented sausages. *Meat Science*, 93(3), 668-674.
 - **Mora, L., Sentandreu, M. A., & Toldrá, F.** (2008). Contents of creatine, creatinine and carnosine in porcine muscles of different metabolic types. *Meat Science*, 79(4), 709-715.
 - **Morita, H., Niu, J., Sakata, R., & Nagata, Y.** (1996).

- Red pigment of Parma ham and bacterial influence on its formation. *Journal of Food Science*, 61(5), 1021-1023.
- **Muñoz, I., Arnau, J., Costa-Corredor, A., & Gou, P.** (2009). Desorption isotherms of salted minced pork using K-lactate as a substitute for NaCl. *Meat Science*, 83(4), 642-646.
 - **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.
 - **Ordoñez, J.A., Hierro, E.M., Bruna, J.M. & De la Hoz, L.** (1999). Changes in the components of dry-fermented sausages during ripening. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39(4):329-367.
 - **Parolari, G., Aguzzoni, A. & Toscani, T.** (2016). Effects of processing temperature on color properties of dry-cured hams made without nitrite. *Foods*, 5(2), 33.
 - **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.
 - **Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P.** (2006). Effect of pH(24), NaCl content and proteolysis index on the relationship between water content and texture parameters in *biceps femoris* and *semimembranosus* muscles in dry-cured ham. *Meat Science*, 72(2), 185-194.
 - **Sánchez-Molinero, F., & Arnau, J.** (2008a). Effect of the inoculation of a starter culture and vacuum packaging (during resting stage) on the appearance and some microbiological and physicochemical parameters of dry-cured ham. *Meat Science*, 79(1), 29-38.
 - **Sánchez-Molinero, F., & Arnau, J.** (2008b). Effect of the inoculation of a starter culture and vacuum packaging during the resting stage on sensory traits of dry-cured ham. *Meat Science*, 80(4), 1074-1080.
 - **Saxby, M.J.** (1996). Food taints and off-flavours. *Blackie Academic & Professional*. ISBN: 075 140263 X, pp 41-71.
 - **Schmidt, U.** (1996). Die Milbenbekaempfung in der Fleischwirtschaft. *Mitteilungsblatt - Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach*, 133, 262-267.
 - **Sforza, S., Galaverna, G., Schivazappa, C., Marchelli, R., Dossena, A. & Virgili, R.** (2006). Effect of Extended Aging of Parma Dry-Cured Ham on the Content of Oligopeptides and Free Amino Acids. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 9422-9429.
 - **Sørheim, O., Måge, I. & Larsen, H.** (2017). Determination of critical levels of residual oxygen to minimize discoloration of sliced packaged Norwegian salami under light display. *Meat Science*, 129: 88-92.
 - **Ten Cate, C. L.** (1969). Fettschwitzen bei Rohwurst: Schrumpfspannungen während des Eintrockens. *Fleischwirtschaft*, 5, 583-893.
 - **Thind, B.B.** (2005). A new versatile and robust mite trap for detection and monitoring of storage mites in the cereal and allied industries. *Experimental and Applied Acarology*, 35, 1-17.
 - **Uzzan, M., Nechrebeki, J., Zhou, P. & Labuza, T.** (2009). Effect of water activity and temperature on the stability of creatine during storage. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 35(8): 1003-1008.
 - **Wakamatsu, J., Nishimura, T., & Hattori, A.** (2004). A Zn-porphyrin complex contributes to bright red color in Parma ham. *Meat Science*, 67(1), 95-100.
 - **Wakamatsu, J. I., Okui, J., Hayashi, N., Nishimura, T., & Hattori, A.** (2007). Zn protoporphyrin IX is formed not from heme but from protoporphyrin IX. *Meat science*, 77(4), 580-586.
 - **Wakamatsu, J. I., Kawazoe, H., Ohya, M., Haya-kawa, T., & Kumura, H.** (2020). Improving the color of meat products without adding nitrite/nitrate using high zinc protoporphyrin IX-forming microorganisms. *Meat science*, 161, 107989.
 - **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), Pages 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).
 - **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. e



Handtmann
Customized
Solutions

MI **IDEA.**
MI **SOLUCIÓN.**



HANDTMANN CUSTOMIZED SOLUTIONS

PERSONALIZAMOS PARA TI.

Soluciones personalizadas adaptadas a sus necesidades.

Cuando las soluciones estandarizadas alcanzan sus límites, es hora de encontrar enfoques más personalizados. Con las **HANDTMANN CUSTOMIZED SOLUTIONS** podemos abordar sus necesidades individuales y requisitos especiales con aún más flexibilidad.

Más información en:

www.handtmann.com/food |   

handtmann
Ideas con futuro.