

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/220036861>

La calidad de la carne en porcino

Article · January 2004

CITATIONS
0

READS
2,950

3 authors:



Jorge Ruiz Carrascal

Universidad de Extremadura

321 PUBLICATIONS 4,499 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Diana Martin

Universidad Autónoma de Madrid

60 PUBLICATIONS 696 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Sonia Ventanas

Universidad de Extremadura

82 PUBLICATIONS 1,552 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



PepTaste - Procesudvikling til eliminering af bismag ved hydrolyse af biprodukter fra slagteri anvendt som kvalitets-ernæring til ældre/småtpisende [View project](#)



Utility of oat extrudates and tempeh in meat products [View project](#)

II

LA CALIDAD DE LA CARNE EN PORCINO



J. Ruíz¹, D. Martín², S. Ventanas²

¹Profesor Titular de Universidad

²Doctorandos Becados por el plan de FPU

Tecnología de Alimentos, Facultad de Veterinaria UEx,

Campus Universitario s/n 10071, Cáceres

e-mail: jrui@unex.es

La calidad de la carne porcina no puede considerarse como algo unívoco, ya que diferentes sistemas de explotación y distintas finalidades tecnológicas pueden juzgar como parámetros de calidad características opuestas. Dentro de la calidad tecnológica, el ritmo de descenso del pH durante el *rigor mortis* determina la aparición de carnes con características anómalas e inadecuadas para el procesado, como son las PSE y las DFD. Este tipo de problemas se relaciona con la existencia de agentes estresantes en los momentos cercanos al sacrificio. Por otra parte, en relación con el contenido graso de la carne porcina, tras haberse conseguido una sustancial reducción del mismo, en los últimos años vuelve a apreciarse que el veteado sea suficiente, lo que ha llevado a emplear con frecuencia la raza Duroc por su elevado contenido en grasa intramuscular. Pero no sólo el contenido, sino también la composición de la grasa tiene una importancia vital sobre la calidad sensorial de la carne, ya que determina su fluidez a temperatura ambiente y la tendencia a oxidarse durante el almacenamiento o el procesado. Otro atributo relacionado con la calidad sensorial, la textura, se encuentra relacionado con el grado de contracción muscular, el contenido y naturaleza del colágeno y el grado de integridad de las miofibrillas. Especial importancia tiene en la actualidad la aparición de texturas anómalas en productos cárnicos como consecuencia de una actividad catepsínica exacerbada en la carne. En lo referente al aspecto, el color de la carne se debe a la presencia de mioglobina. Su contenido y forma química determinan la intensidad y el tinte del color. Por último, el aroma de la carne está ocasionado por infinidad de compuestos volátiles generados durante el cocinado o el procesado tecnológico.

INTRODUCCIÓN

LA mayoría de los textos que tratan sobre la calidad de la carne de cerdo se centran en los distintos puntos de vista al considerar la calidad (calidad higiénica, tecnológica, sensorial, etc.) y en aspectos relacionados con la caída del pH durante el desarrollo del *rigor mortis* y sus consecuencias. Siendo todo ello de gran interés, tal vez resulte necesario introducir nuevos puntos de vista. Por una parte, los distintos aspectos de la calidad, y más concretamente los referidos a la calidad tecnológica y sensorial, resultan bien diferentes dependiendo del tipo de producción porcina. Durante el pasado siglo tuvo lugar un paulatino abandono de los sistemas tradicionales de producción, siendo las razas locales sustituidas por razas de crecimiento más rápido, con mejores índices productivos y menor contenido graso. De esta manera se abarataron enormemente los costes de producción y se cambiaron sustancialmente las características de la carne producida (colores más claros y menor contenido graso fundamentalmente). Sin embargo, en los últimos años se ha venido produciendo una tendencia contraria, recuperándose sistemas de producción porcina tradicionales. Hay numerosos ejemplos de esta corriente: cerdo Ibérico en España, cerdo Corso o Gascón en Francia, cerdo Nero siciliano o casertano en Italia, Mangalika en Hungría, etc.¹ Como consecuencia, se obtienen carnes con muy variadas características y finalidades tecnológicas, por lo que considerar la calidad (tanto sensorial como tecnológica) como algo unívoco resulta una simplificación empobrecedora hoy en día¹. Bien es verdad que el grueso de la producción de

carne porcina mundial sigue los cánones de razas magras y sistemas encaminados a obtener rendimientos elevados. Sin embargo, tal vez por efecto de esos otros sistemas de producción más tradicionales (la carne de cuyos animales es generalmente más valorada por los consumidores) en los últimos años se han producido cambios en los sistemas globales de producción de carne porcina, con estrategias encaminadas a conseguir una carne con (por ejemplo) un veateado más evidente. Como consecuencia de todo ello, además del descenso postmórtem del pH otros parámetros han de ser considerados en la calidad de la carne porcina.

CONCEPTO DE CALIDAD DE LA CARNE

Cada eslabón de la cadena de producción, desde el ganadero al consumidor pasando por el industrial, se refiere a conceptos ligeramente diferentes cuando abordan el concepto de calidad (fig. 1). La producción cárnica (calidad productiva) atañe principalmente a ganaderos y mayoristas; las características tecnológicas (calidad tecnológica) fundamentalmente al industrial y la palatabilidad (calidad sensorial) al consumidor. Otros aspectos de la calidad, como el sanitario o el higiénico, siendo prioritarios, están casi totalmente asegurados en los sistemas actuales de comercialización y no serán tratados en este capítulo.

Entre las características determinantes de la calidad tecnológica de la carne se encuentra la capacidad de retención de agua (y por lo tanto, las pérdidas de peso durante el almacenamiento o el procesado), el potencial oxidativo (o susceptibilidad de sufrir procesos de enranciamien-

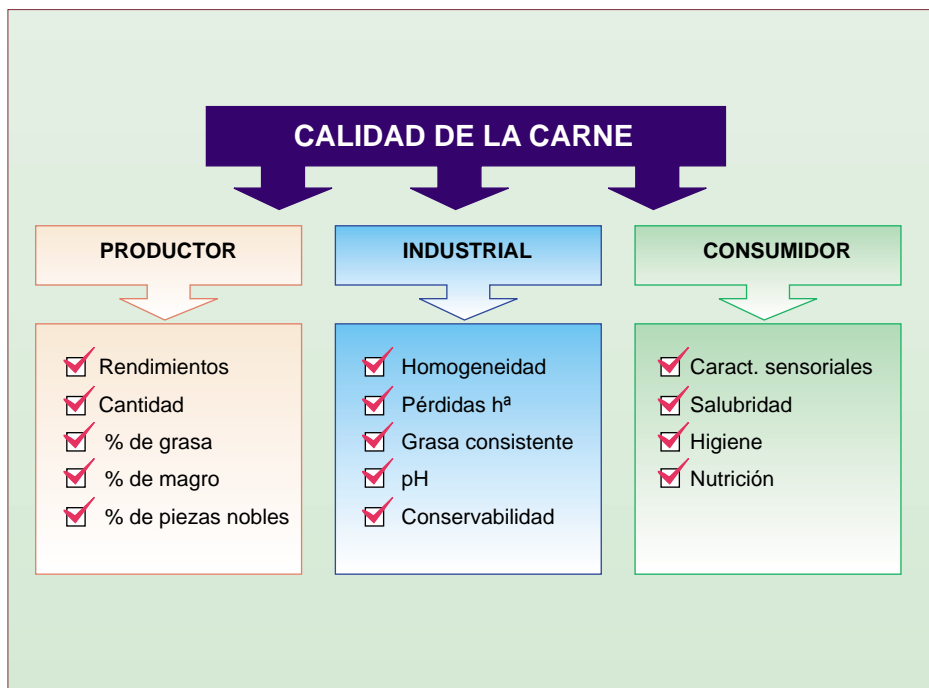


Fig. 1.— Principales características relacionadas con la calidad de la carne desde el punto de vista de diferentes eslabones en la cadena de producción-consumo.

to) la estabilidad del color (cuánto tiempo conserva el color fresco la carne) o la consistencia de la grasa². Algunas de estas características se encuentran indisolublemente relacionadas con la calidad sensorial de la carne. En gran medida, lo que finalmente determina que los consumidores elijan una carne o producto cárnico son las características sensoriales. La calidad sensorial está determinada por aquellos parámetros que percibe la persona durante el consumo del producto, incluyendo en este proceso desde la compra hasta la deglución del alimento. Por lo tanto, abarcaría atributos referentes al aspecto, a la textura, al sabor y al aroma del producto³.

En la actualidad existen otros condicionantes del consumo de carne, entre los que destaca el bienestar animal o

aspectos nutritivos y sanitarios. El consumidor valora cada vez más que el alimento incluya compuestos que resulten beneficiosos para su salud, aunque en algunos casos esta relación no esté completamente elucidada. Esta tendencia afecta igualmente al consumo de carne, siendo frecuente incluir en las etiquetas información acerca del contenido graso, los niveles de ácidos grasos de la familia n-3, ácidos grasos monoinsaturados, ácido linoleico conjugado, hierro...

EL pH Y CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

El pH y la capacidad de retención de agua (CRA) son parámetros determinantes de la calidad tecnológica de

la carne, ya que condicionan su aptitud para la transformación o su capacidad de conservación². La CRA hace referencia a la facultad de la carne para evitar la salida de agua de su interior. Entre un 65% y un 80% del peso del músculo es agua, y ésta se encuentra en su gran mayoría retenida por capilaridad en los espacios existentes entre los miofilamentos constituyentes de las miofibrillas.

La influencia del pH sobre la calidad de la carne se debe en gran parte a su relación con la estabilidad de las proteínas musculares. El punto isoeléctrico (pH en el que la carga neta de la molécula es nula) de las proteínas cárnicas se encuentra en torno a 5,5, cer-

cano al pH de la carne (que típicamente es de 5,5). A ese pH las fuerzas de repulsión entre las proteínas cárnicas son mínimas, ya que globalmente se encuentran compensadas las cargas positivas y negativas. Como consecuencia, el espacio entre los miofilamentos del músculo está reducido y la CRA es mínima⁴ (fig. 2). Valores de pH por encima o por debajo del punto isoeléctrico de las proteínas suponen la aparición de una carga neta negativa o positiva (respectivamente), con lo que aparecerán fuerzas de repulsión entre las mismas, aumentando la separación entre ellas y así la CRA.

El descenso anormalmente rápido del pH o la disminución insuficiente del

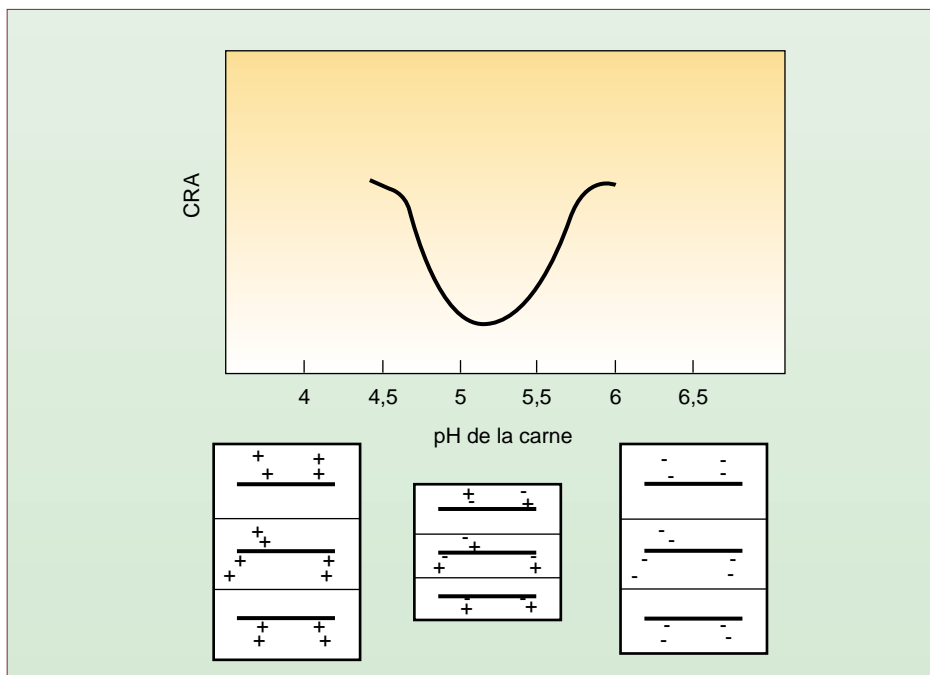


Fig. 2.— Relación entre el pH de la carne y la capacidad de retención de agua. Las estructuras de la parte inferior representan sarcómeros con los miofilamentos gruesos y delgados.



mismo tras el sacrificio son las causas de la aparición de las carnes conocidas como PSE (del inglés *pale*: pálido, *soft*: blando, *exudative*: exudativo) y DFD (del inglés *dark*: oscuro, *firm*: firme, *dry*: seco). Este tipo de carnes presentan problemas de aptitud para la conservación y transformación y su aceptabilidad por el consumidor es baja⁵.

En el desarrollo de estas características indeseables en la carne están implicados de una forma muy marcada aspectos relacionados con el manejo antemórtem de los animales y la susceptibilidad genética al estrés de los mismos⁶. En determinados animales, una situación de estrés agudo en los instantes previos al sacrificio conduce a una producción rápida de ácido láctico (y al consecuente descenso acelerado del pH). Estas circunstancias suponen la generación de carnes PSE. Cuando la situación de estrés del animal es más prolongada en el tiempo (por ejemplo, durante el transporte al matadero o en los corrales del mismo) se produce una depleción de las reservas de glucógeno, que se encontrarán ya agotadas en el momento del sacrificio. Como consecuencia, durante la instauración del *rigor mortis* no se genera la cantidad suficiente de ácido láctico para un adecuado descenso del pH de la carne (es decir, el pH final es más cercano a la neutralidad, típicamente superior a 6,2), originándose así carnes DFD.

Parece claro que es la velocidad de descenso del pH durante el *rigor mortis* la que juega un papel decisivo en la aparición de carnes PSE. Entre los factores que la determinan se encuentran el tipo de músculo (más rápido en músculos más glicolíticos) e incluso la zona del mismo (zonas con más fibras glicolíticas). Así, por ejemplo, la rápida caída

del pH que experimenta la carne de ciertas razas altamente seleccionadas como la Landrace ha sido relacionada con su elevada proporción de fibras glicolíticas en la musculatura⁷. La velocidad normal de descenso del pH hasta su valor final en ganado porcino se encuentra entre cuatro y ocho horas², a razón de 0,64 unidades/hora⁸. Situaciones extremas en las que dicha caída se ve acelerada hasta reducirse a un tiempo de 15-20 minutos suponen la coexistencia de valores de pH ácidos con temperaturas aún elevadas en el músculo. Esto conduce a una desnaturalización parcial de algunas proteínas, hecho que, junto con el valor final de pH, provoca la baja CRA que presentan las carnes PSE, ya que la CRA se encuentra íntimamente ligada a las proteínas. Parece ser que estas carnes son blandas y exudativas a causa de la desnaturalización de la miosina, mientras que el aspecto pálido sería debido al daño sufrido por las proteínas sarcoplasmáticas^{9,10}. No obstante, la desnaturalización de estas últimas se considera igualmente involucrada en el descenso de la CRA a pesar de que sólo un 3% del total del agua de la carne se encuentra retenido por estas proteínas¹¹, existiendo distintas teorías que explican este hecho como el cambio de la presión osmótica celular, consecuencia de la desnaturalización¹², o la precipitación de estas proteínas sobre las miofibrilares impidiendo la retención de agua por las mismas¹³.

Se conoce con bastante profundidad la relación existente entre la presencia del gen de la sensibilidad al halotano de los cerdos y la calidad de la canal y la carne¹⁴. La calidad cárnica de estos animales resulta inferior en lo que respecta a parámetros como la velocidad de descenso del pH, color y CRA, así como

una mayor frecuencia del desarrollo de características de carne PSE¹⁴. Las razas porcinas que presentan esta condición con mayor frecuencia son la Landrace y la Pietrain, estando las razas menos seleccionadas (como la Ibérica) básicamente libres. Aún no se encuentra perfectamente establecido en qué medida cada uno de estos factores (manejo antemórtem y genotipo) intervienen en el desarrollo de carnes PSE (fig. 3)⁵. Así, la calidad de la carne de cerdos halotanonegativos puede variar ampliamente en función de las condiciones y manejo en el sacrificio, mientras que cerdos halotanopositivos generarán carnes de una calidad inferior independientemente de la tecnología del sacrificio¹⁵.

En cuanto a las carnes DFD, los elevados valores de pH que presentan provocan una elevada CRA, de ahí que la superficie de la carne tenga una apariencia seca. El color más oscuro se debe a una menor reflexión de la luz por la carne, por encontrarse las miofibrillas más separadas, permitiendo difundir más luz hacia el interior. La presentación de este tipo de condición no está ligada a la genética porcina, relacionándose con el manejo previo al sacrificio. De hecho, en razas autóctonas poco seleccionadas como el cerdo Ibérico, se detecta un número importante de animales con pH finales ligeramente superiores a 6¹⁶. Los largos trayectos desde la explotación al matadero, operaciones

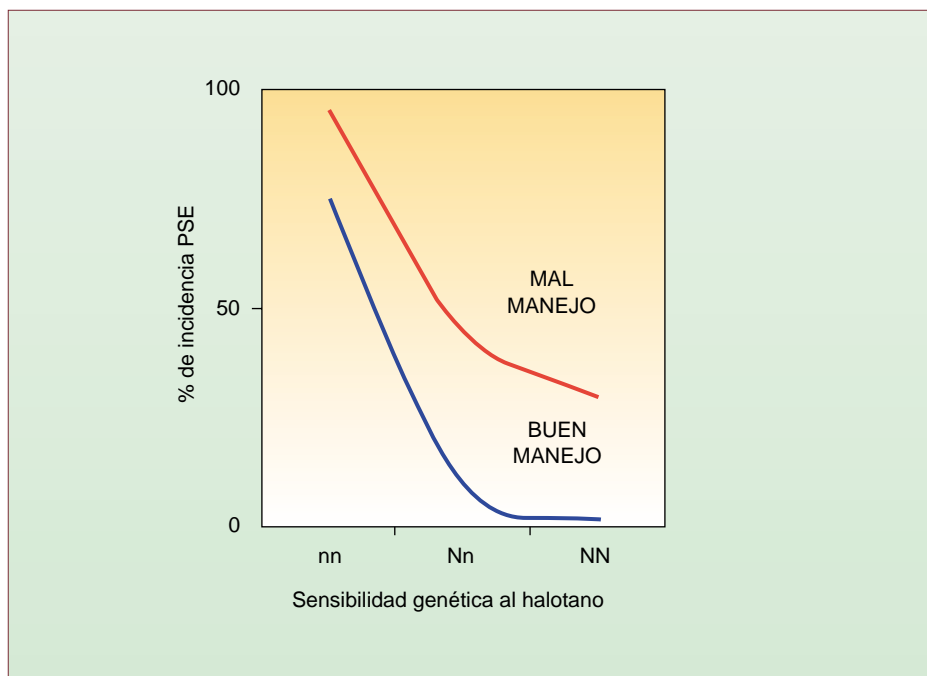


Fig. 3.— Influencia de la sensibilidad genética al halotano y de manejo sobre la incidencia de presentación de carnes PSE.



de carga y descarga realizadas con excesiva agitación, un inadecuado descanso al llegar al matadero o la mezcla de lotes de diferente procedencia aumentan la incidencia de este tipo de problemas, ya que contribuyen a la depleción de las reservas de glucógeno muscular del animal.

Dentro de una misma canal pueden existir músculos o zonas con características propias de los dos tipos de carnes, con gran variabilidad en las mismas y muchas posibilidades intermedias². Por otra parte, a las ya tradicionales categorías de carnes PSE y DFD, se han añadido recientemente otras como son las RSE (del inglés *red*: rojo, *soft*: blando, *exudative*: exudativo) o RFN (del inglés *red*: rojo, *firm*: firme, *non-exudative*: no exudativo). El mecanismo por el cual se desarrollan estas carnes no está perfectamente establecido, no obstante, la incidencia de las carnes RSE se encuentra en torno al 30% en países como EEUU¹⁷.

En lo referente a las consecuencias, el problema más serio que presenta la comercialización de la carne PSE como producto fresco es la presencia de un exudado muy intenso⁸. Por otro lado, la jugosidad y palatabilidad se reducen con la disminución de la CRA⁸. Además, se producen importantes mermas de peso durante el almacenamiento como consecuencia de la baja CRA, lo que supone pérdidas económicas importantes¹⁸. Asimismo, la presencia de colores excesivamente pálidos o de doble coloración (músculos que sufren la condición PSE y músculos que no) también afecta negativamente al aspecto. En cuanto a las carnes DFD, dado que el pH juega un papel importante sobre el crecimiento microbiano, los valores finales de pH más cercanos a la

neutralidad que los valores encontrados en una carne normal hacen que el deterioro por microorganismos sea mucho más rápido², de ahí que sea necesario extremar las condiciones higiénicas en la manipulación de estas carnes.

En lo referente a la aptitud para la transformación, las carnes PSE no van a ser aptas para ningún tipo de procesado debido a su baja capacidad para retener agua y a sus malas propiedades emulsificantes y gelificantes, consecuencia del daño sufrido por las proteínas musculares². Así, se ha observado una reducción del 45% en la fuerza de formación de gel de los extractos proteicos de las carnes PSE en comparación con los de carne normal¹⁹. Por lo tanto, su uso da lugar a productos de muy baja calidad sensorial, calificados como insípidos, exudativos y mal ligados⁸. En el caso de productos cárnicos crudos curados, como el jamón o el lomo, la utilización de estas carnes da lugar a piezas excesivamente secas y fibrosas, problemas de acortezamiento, de doble coloración, así como de un acentuado sabor salado debido a la mayor capacidad de solubilización de la sal en el mayor exudado superficial que presentan estos productos²⁰. En embutidos crudos madurados conducen igualmente a una excesiva deshidratación, una gelificación deficiente y un corte defectuoso^{2,8}. El uso de carnes DFD para el procesado en productos cárnicos crudos curados es también problemático, ya que la solubilización y difusión de la sal superficial al interior de la pieza está dificultada. A esto hay que añadir que la proliferación microbiana es más rápida por el elevado pH. Como consecuencia, es frecuente que las salazones elaboradas con carnes con pH elevados presenten putrefacciones en

profundidad. Por ello en la industria jamonera se suele poner un límite máximo de 6 o 6,2 de pH para emplear una materia prima para el procesado. Sin embargo, para la elaboración de productos cárnicos tratados por el calor, la utilización de carnes DFD en las que la CRA se encuentra aumentada puede llegar a considerarse una ventaja, reduciéndose las pérdidas durante el tratamiento térmico². Además, la menor desnaturalización que presentan las proteínas de las carnes DFD mejoran su aptitud para procesos tecnológicos de gelificación o emulsificación.

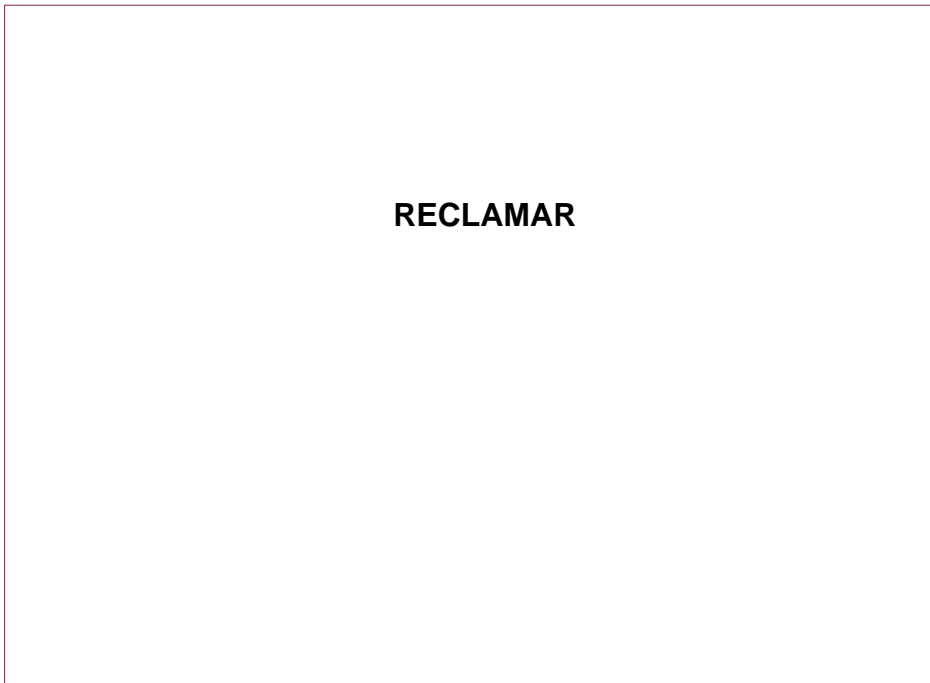
GRASA

El contenido, la composición y la distribución del tejido adiposo en la carne de cerdo determinan en gran medida la calidad sensorial, tecnológica y nutritiva de la misma. En el cerdo, la grasa se puede depositar a cuatro niveles: las cavidades corporales, la zona subcutánea y la localización inter e intramuscular. De éstas, la grasa localizada a nivel intramuscular, también denominada *grasa de veteado* o *de marmorización*, es la que presenta un mayor interés por su influencia en la calidad final de la carne. Esta grasa se localiza entre los fascículos musculares en forma de vetas más o menos irregulares (fig. 4).

La grasa intramuscular de la carne de cerdo se compone fundamentalmente de lípidos neutros (fundamentalmente triglicéridos) y lípidos polares. Dentro de los lípidos neutros también se encuentran pequeñas cantidades de colesterol, y en menor proporción ácidos grasos libres, vitaminas liposolubles y pequeñas cantidades de hidrocarburos. Los triglicéridos están formados por una molécula

de glicerol esterificada en sus tres posiciones por tres ácidos grasos. Los triglicéridos, en la carne, se localizan en el interior de las células del tejido graso (adipocitos) en forma de gotas de grasa (fig. 4), formando parte de las vetas de la grasa intramuscular. Entre los lípidos polares los mayoritarios son los fosfolípidos, que se localizan en las membranas celulares y de los orgánulos citoplasmáticos (fig. 4). Los fosfolípidos están constituidos por una molécula de glicerol esterificada en las posiciones 1 y 2 con dos ácidos grasos, mientras que en la posición 3 presenta un grupo ortofosfato que a su vez puede estar esterificado con moléculas de diferente naturaleza química. Desde el punto de vista cuantitativo las variaciones en el porcentaje en grasa intramuscular de la carne son debidas al acúmulo en la zona extrafascicular de adipocitos cuyo contenido son triglicéridos²¹. Así, el incremento de grasa intramuscular se debe a incrementos en el contenido en triglicéridos, mientras que las concentraciones de fosfolípidos, que son independientes del nivel lipídico, se mantienen más o menos constantes²² (fig. 5).

El aspecto de la carne viene determinado en gran medida por el contenido, la disposición y el tamaño de las vetas que conforman la grasa intramuscular o de infiltración. Por otra parte, la valoración y el concepto de calidad son totalmente diferentes e incluso opuestos en función de si se trata de carne de cerdo blanco o de carne de cerdo Ibérico. Si bien en el caso del cerdo blanco se ha venido valorando como factor de calidad una carne magra y con escaso contenido en grasa intramuscular, en el caso del cerdo Ibérico se espera y se aprecia encontrar un grado de veteado considerable. De hecho, en el primer



RECLAMAR

Fig. 4.— Representación de la disposición y estructura de los fosfolípidos y triglicéridos en la carne.

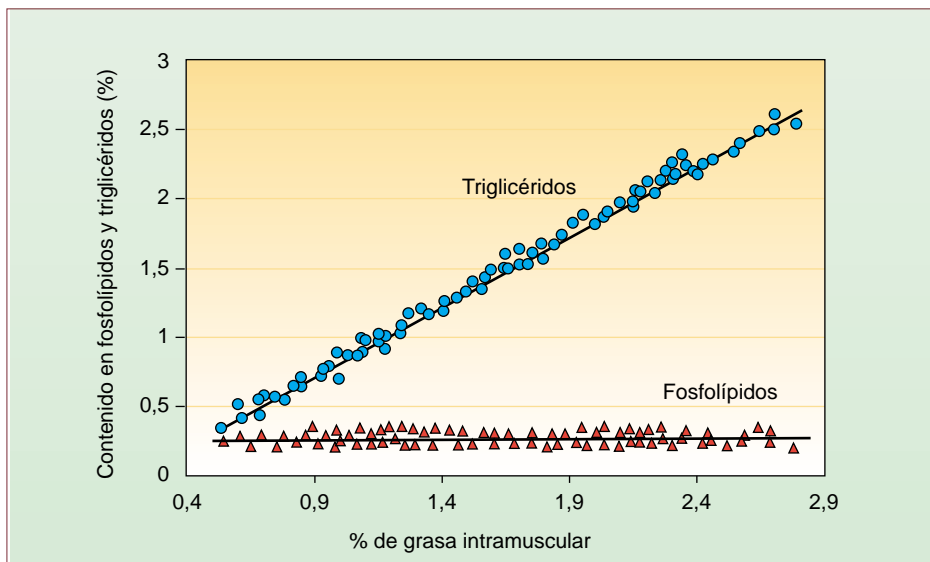


Fig. 5.— Relación entre el contenido en grasa intramuscular y el de triglicéridos y fosfolípidos. Adaptado de Wenk *et al.*³⁶

caso el contenido lipídico intramuscular no suele superar el 2% en fresco, mientras que para el cerdo Ibérico se llega a valores de hasta un 10% en materia fresca²³. No obstante, en los últimos años parece que el consumidor empieza a demandar una carne fresca de cerdo blanco con un veteado más evidente.

El contenido en grasa intramuscular es responsable, junto con otros factores como el contenido acuoso, de la sensación de jugosidad²⁴. La grasa contribuye a la jugosidad de la carne mejorando la lubricación del bolo alimenticio durante la masticación, evitando las pérdidas de agua durante el cocinado y estimulando la salivación. El efecto de lubricación durante la masticación es especialmente importante en el caso de

productos que han sufrido un proceso de secado, como el jamón, donde la grasa se convierte en el primer determinante de la jugosidad²⁵.

Del mismo modo, existe una relación entre el contenido en grasa intramuscular de la carne y su terneza (fig. 6). Parece ser que dicha relación tiene que ver con la mejora de la jugosidad, con el efecto protector sobre las proteínas cárnicas durante el cocinado (disminuyendo su coagulación y por lo tanto disminuyendo la dureza) y con una disminución global de la densidad de la carne. Otros autores han postulado que la grasa intramuscular, por situarse en el tejido conectivo perimisial, disminuye la resistencia del mismo a ser cortado durante la masticación²⁶.

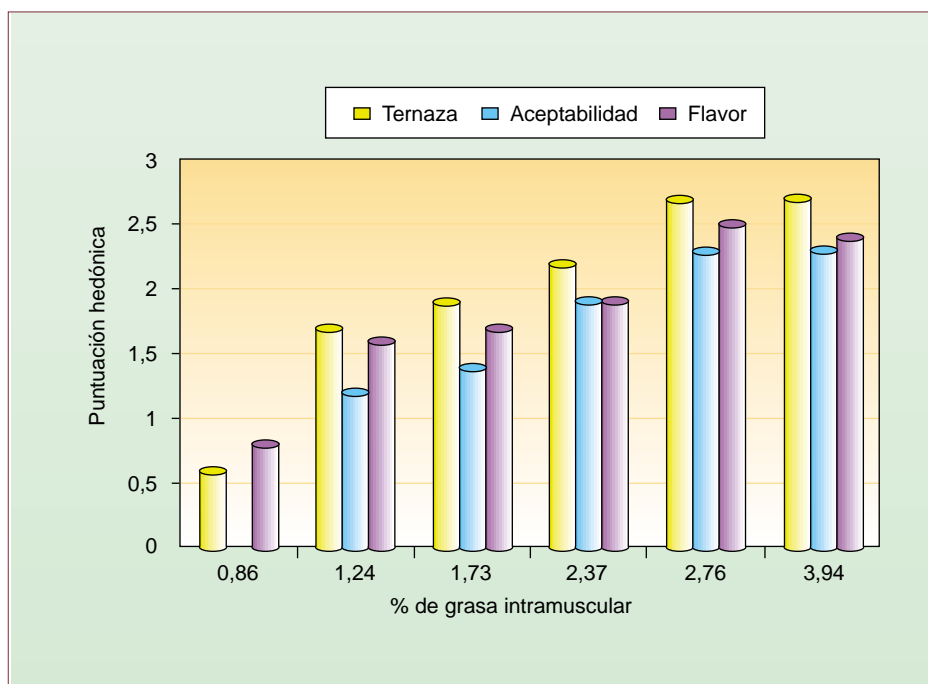


Fig. 6.— Influencia del porcentaje de grasa intramuscular sobre la terneza, la aceptabilidad y el flavor de carne de cerdo cocinada (medidos en una escala hedónica del 0 al 5). Adaptado de Warris⁴.



También hay que destacar el efecto de la grasa sobre el aroma de la carne. Por una parte, en la grasa existen compuestos aromáticos *per se*. Por otra, los componentes mayoritarios de la grasa, los ácidos grasos, son precursores de un buen número de compuestos volátiles responsables del aroma²⁷.

No obstante, y a pesar de su implicación positiva sobre el aspecto, la jugosidad y la terneza (fig. 6) y un veteado muy abundante no es valorado positivamente, ya que los consumidores consideran que este elevado contenido graso perjudica su salud²⁸.

En consecuencia, las estrategias encaminadas a disminuir el contenido graso en la carne pueden repercutir negativamente sobre atributos como la jugosidad, la textura y el “flavor” de la misma, propiciando carnes más secas, duras y fibrosas. No obstante, hay que tener en cuenta que la deposición de la grasa intramuscular parece tener lugar fundamentalmente en las últimas fases de cebo del animal, lo que implica que para que su contenido sea alto, el sacrificio de los animales debe llevarse a cabo a pesos elevados. En el caso del cerdo Ibérico el valor de los productos derivados justificaría la inversión que supone mantener a los animales hasta pesos cercanos a los 160 kg. Sin embargo, en el caso de carne de cerdo blanco para consumo en fresco, el sacrificio a pesos muy elevados implicaría un aumento de otros depósitos grasos de escaso valor.

Desde el punto de vista de la aptitud para la elaboración de productos de larga maduración como jamones, paletas o lomos, el contenido en grasa intramuscular es de enorme importancia puesto que influye decisivamente sobre la velocidad de desecación del producto y de penetración de la sal. De hecho, aquellas

piezas que presentan un mayor contenido en grasa intramuscular necesitan un periodo más prolongado para conseguir una pérdida de humedad adecuada y una óptima penetración de la sal. Así, en un estudio realizado en lomos de cerdo Ibérico²³, se observó que los lomos con un mayor contenido en grasa intramuscular presentaron un menor porcentaje de mermas. Este efecto se produce como consecuencia de la menor difusividad que presentan la sal y el agua en la grasa en relación con el magro²⁹.

Entre los diferentes factores que determinan el contenido en grasa intramuscular destaca la raza. Las razas menos seleccionadas hacia la producción cárnica tienden a presentar un mayor contenido de grasa intramuscular. El mejor ejemplo es el cerdo Ibérico. No obstante, dentro de las razas dedicadas a la producción de carne fresca también hay diferencias, siendo las razas Large-White y Pietrain las que menor contenido graso presentan⁴. En la actualidad se está empleando con frecuencia la raza Duroc para el cruce con razas de producción cárnica con la finalidad de aumentar el grado de veteado de la carne⁴.

La composición del tejido adiposo, principalmente la de la grasa intramuscular de la carne de cerdo, influye en aspectos relacionados con la consistencia y fluidez de la grasa, con el desarrollo del aroma de la misma o con la susceptibilidad a que se desarrollen procesos oxidativos.

El punto de fusión de los ácidos grasos es inversamente proporcional al número de insaturaciones que presentan y directamente proporcional a la longitud de la cadena. De esta forma, cuanto mayor es la proporción de ácidos grasos insaturados de los lípidos de la grasa intramuscular, menor será el punto de fu-

sión de la misma, de forma que a temperatura ambiente dicha grasa presentará una mayor fluidez, afectando a la textura y aspecto de la misma. Si la grasa presenta una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados, a temperaturas de refrigeración la grasa se encontrará en estado líquido. Esto no sólo afecta a la apariencia de la carne, sino que en el caso de las piezas empleadas en la producción de jamones o paletas, la grasa al formar una capa exterior hidrófoba dificulta la difusión de sal y agua, afectando de forma significativa al proceso de deshidratación de las piezas³⁰.

La oxidación lipídica es una de las reacciones que presenta un mayor interés desde el punto de vista de la calidad de la carne. Este tipo de procesos se inician tras el sacrificio del animal, momento en el que se inactivan los mecanismos biológicos de protección frente a la oxidación en vivo (cese del flujo sanguíneo, acumulación de ácido láctico en los tejidos, descenso del pH y cese de los mecanismos celulares capaces de controlar los procesos oxidativos)³¹. A medida que aumenta el número de dobles enlaces de los ácidos grasos crece la susceptibilidad de los mismos a sufrir procesos oxidativos, de manera que los ácidos grasos poliinsaturados son altamente sensibles mientras que los saturados apenas se oxidan³². Así, un incremento en la proporción de ácidos grasos insaturados en la composición de los lípidos del músculo hace que éste presente una menor estabilidad a las reacciones de oxidación. Esta es una de las razones que explica cómo los procesos oxidativos en el músculo se inician en la membranas de las células y de los orgánulos citoplasmáticos, donde se ubican los fosfolípidos que contienen una mucho mayor proporción

de ácidos grasos poliinsaturados³³, y además esta localización favorece la interacción con enzimas y compuestos como el hierro que actúan como catalizadores de la oxidación.

Como consecuencia de la oxidación lipídica se forman hidroperóxidos que posteriormente se descomponen dando lugar a un amplia variedad de compuestos volátiles y no volátiles con importantes repercusiones en el aroma y sabor de la carne. En la carne fresca, como consecuencia de este tipo de reacciones, se originan olores y sabores desagradables (olor a rancio, sabores anómalos, etc.), decoloración y pérdida de uniformidad en el color, consecuencia de la oxidación de determinados pigmentos de la carne, y alteraciones de la textura y apariencia de la carne al producirse exudado por ruptura de membranas celulares o por formación de enlaces cruzados entre proteínas, etc.³⁴. Durante el tratamiento térmico de la carne se disparan las reacciones de oxidación dando lugar a aromas indeseables conocidos como *warmed over flavor* (WOF). El término WOF se ha acuñado para describir el conjunto de aromas desagradables desarrollados cuando la carne cocinada recibe un nuevo tratamiento térmico tras un periodo prolongado de almacenamiento a refrigeración o congelación. Sería el aroma a rancio que presentan muchos productos precocinados tras recibir el tratamiento térmico previo a su consumo. El WOF característico de este tipo de productos y el perfil aromático derivado de la oxidación lipídica en carne cruda es diferente, pero se piensa que los compuestos responsables de dicho "flavor" son los mismos y la única variación es la relativa a las concentraciones³⁵. Si



bien tanto en la carne fresca como en la carne cocinada el desarrollo de las reacciones de oxidación tiene repercusiones negativas en la calidad de la carne, no ocurre así en los productos madurados, donde es deseable que exista cierto grado de oxidación para la formación de su sabor y aroma característico. En este sentido, gran parte de los compuestos aromáticos identificados en productos madurados derivados del cerdo ibérico como jamones o lomos provienen de la oxidación lipídica²⁷.

Existen diferentes estrategias encaminadas a evitar o reducir en lo posible el desarrollo de las reacciones de oxidación que desencadenan la aparición de estos aromas desagradables descritos anteriormente, entre las que destacan las basadas en modificaciones de la alimentación suministrada a los animales. En este sentido las estrategias pueden ir encaminadas en dos direcciones: bien modificando la composición en ácidos grasos de la dieta, disminuyendo la proporción de ácidos grasos insaturados, o bien suplementando la dieta con compuestos con efecto antioxidante, como es el caso de la vitamina E, que se deposita en las membranas celulares reduciendo la susceptibilidad de los fosfolípidos a la oxidación³⁶.

TEXTURA

La textura de la carne se define como un conjunto de sensaciones percibidas durante la masticación y deglución del alimento, consecuencia fundamentalmente de las propiedades físicas del mismo, entre las que destacan la densidad, la dureza, la plasticidad, la elasticidad y la consistencia o el tamaño de

las partículas³⁷. De entre todas ellas la dureza es uno de los principales criterios determinantes de la calidad de la carne para el consumidor. La dureza de la carne está determinada fundamentalmente por tres factores:

- Cantidad y naturaleza del tejido conectivo.
- Estado de contracción del músculo.
- Integridad de las proteínas que forman las miofibrillas musculares.

El tejido conectivo de la carne está constituido por una serie de láminas dispuestas en diferentes niveles de organización que rodean el músculo, los fascículos musculares y las fibras musculares individualmente. Estas láminas están formadas fundamentalmente por dos proteínas, colágeno y elastina, aunque parece que es la primera de ellas la más directamente relacionada con la textura⁴. El colágeno es una proteína constituida por subunidades de tropocolágeno organizadas de tal manera que forman una estructura en forma de fibras de gran resistencia a la tracción. Tanto las moléculas de tropocolágeno de una fibra de colágeno como las distintas fibras de colágeno que integran una lámina de tejido conectivo están interconectadas por una serie de enlaces cruzados² cuya presencia y estabilidad aumenta con diferentes factores, entre los que destaca la edad del animal (más cantidad a mayor edad) y el sexo (mayor en machos). Un mayor número de enlaces de este tipo se relaciona con una mayor estabilidad térmica del colágeno y una menor solubilidad del mismo. Tanto el contenido total de colágeno como la proporción de colágeno insoluble se han relacionado con la dureza de la carne.

Por otra parte, el diferente contenido en colágeno de las distintas piezas cárnicas es determinante tanto de la categoría de las mismas (las piezas con gran cantidad de colágeno son de categoría inferior) como del sistema de cocinado más adecuado para cada una de ellas. Así, las piezas más ricas en colágeno son adecuadas para guisos y estofados en los que los largos tiempos de cocción a elevadas temperaturas permiten la formación de gelatina a partir del colágeno, consiguiéndose de esta manera una disminución de la dureza de la carne. Sin embargo, en los cortes cárnicos con menos cantidad de colágeno, que coinciden con los de categoría más elevada, los métodos de cocinado indicados son aquellos que implican temperaturas muy elevadas durante tiempos

cortos (a la plancha, a la parrilla, etc.). Con este tipo de cocinado apenas se forma gelatina, pero en estas piezas esto no es un inconveniente ya que la dureza que en ellos causa el colágeno es mínima³⁸.

El estado de contracción del músculo se encuentra en relación directa con su dureza. Un aumento en la longitud del músculo con respecto a la longitud en reposo (es decir, un estiramiento), provoca un ligero aumento en la dureza, aunque a niveles que no llegan a ser perceptibles sensorialmente. Sin embargo, una disminución de la longitud del músculo (contracción) puede llegar a provocar un importante aumento de la dureza, llegando hasta niveles rechazables (fig. 7)³⁹. Este tipo de contracciones extremas se

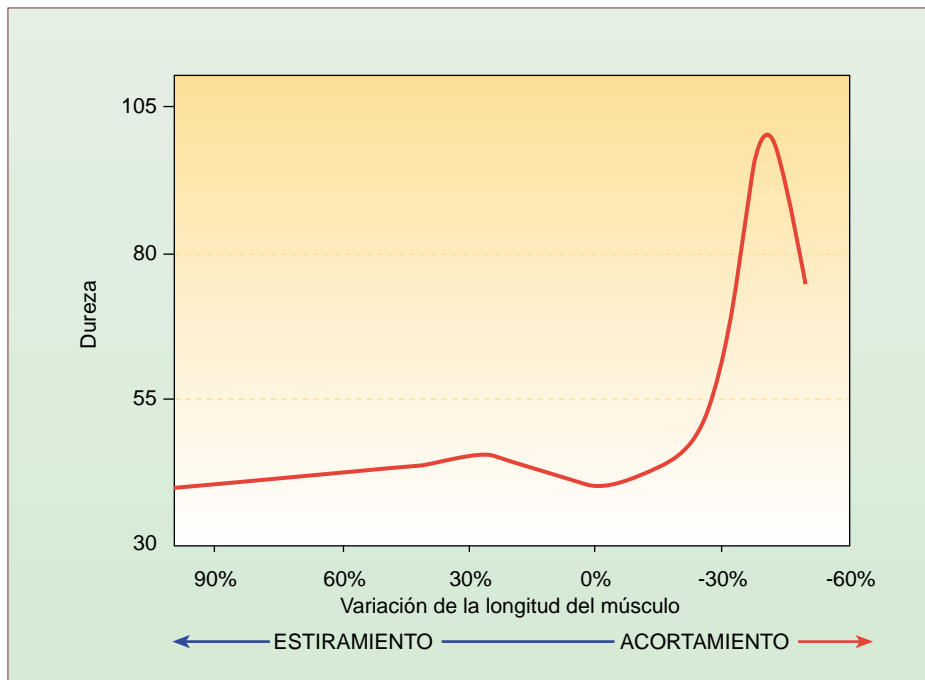


Fig. 7. — Representación de la dureza de la carne en una escala arbitraria en función del grado de estiramiento o contracción del músculo. Adaptado de Young *et al.*³⁹.



relaciona muy frecuentemente con la aplicación del frío a las canales de una manera muy intensa y rápida, apareciendo el fenómeno del rigor del frío, cuyos mecanismos bioquímicos son complejos. No obstante, este tipo de problemas aparece con mucha mayor frecuencia en carne de vacuno y ovino y mucho menos en carne de ganado porcino.

Por último, la integridad de las proteínas miofibrilares también va a determinar en gran medida la dureza de la carne. Una vez se sacrifica el animal y cesan en su actividad todos los sistemas fisiológicos, la actividad de las enzimas proteolíticas musculares provoca una paulatina degradación de las proteínas de la carne. Las enzimas implicadas en estos procesos son las proteasas neutras (calpaínas) y las proteasas ácidas (catepsinas). Para que estas enzimas puedan llegar a tener un efecto significativo sobre las proteínas del músculo, produciendo un ablandamiento del mismo, es necesario que transcurra un tiempo mínimo. Este tiempo durante el que las canales (o la carne) se mantiene en refrigeración antes del consumo se denomina *maduración de la carne* o *resolución del rigor mortis*. Un tiempo de maduración suficientemente largo permite que la carne sea más tierna. Por otra parte, los procesos proteolíticos no sólo conducen a un ablandamiento de la carne, sino que paralelamente dan lugar a la liberación de péptidos y aminoácidos que repercuten directamente sobre el sabor de la carne y actúan además como precursores en la formación de compuestos aromáticos durante el cocinado. De esta manera, la carne que es sometida a un periodo de maduración suficientemente prolongado presenta un sabor y un aroma más intenso y agradable³⁹.

De entre las enzimas proteolíticas citadas con anterioridad, parece que son las calpaínas las que tiene mayores repercusiones sobre la proteólisis que tiene lugar durante la maduración de la carne⁴⁰. No obstante, la carne de cerdo no precisa de una maduración muy prolongada para presentar un grado de ternura adecuado. Repercusiones más trascendentes en la carne de cerdo tiene otro grupo de enzimas proteolíticas: las catepsinas. Se trata de distintas enzimas lisosomales con actividad proteolítica cuyo pH óptimo de actuación es ácido. Si bien su importancia durante la maduración es inferior a la de las calpaínas, estas enzimas mantienen su actividad durante un periodo muy prolongado. De hecho, en jamones curados se ha detectado actividad después de un año de maduración⁴¹. Estas enzimas están por lo tanto muy ligadas a los procesos proteolíticos que tienen lugar durante la maduración del jamón, la paleta y el lomo curados. En general este tipo de procesos tiene implicaciones positivas (generación de aminoácidos y péptidos), pero de un tiempo a esta parte dicha actividad se ha vinculado a la aparición de un problema importante en la industria jamonera como es la aparición de texturas anómalamente blandas y pastosas. Parece que este problema tiene que ver con la reducción excesiva de los niveles de sal en el procesado del jamón (ya que el cloruro sódico disminuye la actividad de las catepsinas), con la utilización de cerdos con una actividad catepsina anormalmente elevada y con factores ligados a la instauración del *rigor mortis* y la disminución del pH²⁰.

COLOR

El aspecto es la propiedad sensorial en la que el consumidor se basa para

juzgar la calidad y frescura de la carne al elegir el producto durante la compra. Así, el consumidor asocia el color rojo brillante a carnes más frescas, mientras que la aparición de coloraciones marrones o parduzcas se relacionan con carnes poco frescas. El color de la carne se debe fundamentalmente a la presencia de un pigmento de naturaleza proteica, la mioglobina. Se trata de una proteína que presenta un grupo hemo en cuya constitución entra a formar parte un átomo de hierro (fig. 8). La cantidad de mioglobina existente en la carne es responsable de la intensidad del color de la misma (también llamado *saturación del color*), mientras que el estado en que se encuentre el hierro de la mioglobina (oxidado o reducido) y los ligan-

dos que se encuentren unidos a dicho átomo de hierro determinan el tinte, es decir, la tonalidad cromática que presenta la mioglobina y por lo tanto la carne (rojo vivo, púrpura, pardo). En la carne fresca las formas químicas que aparecen son la oximioglobina (hierro reducido y ligando una molécula de oxígeno), la metamioglobina (hierro oxidado ligando agua) y la deoximioglobina o mioglobina nativa (hierro reducido, sin ligandos) (fig. 8).

La proporción relativa de cada una de las formas químicas de la mioglobina en la carne fresca determina el tinte global de la carne. La oximioglobina presenta una coloración roja brillante asociada al color de la superficie de la carne fresca y se encuentra fundamental-

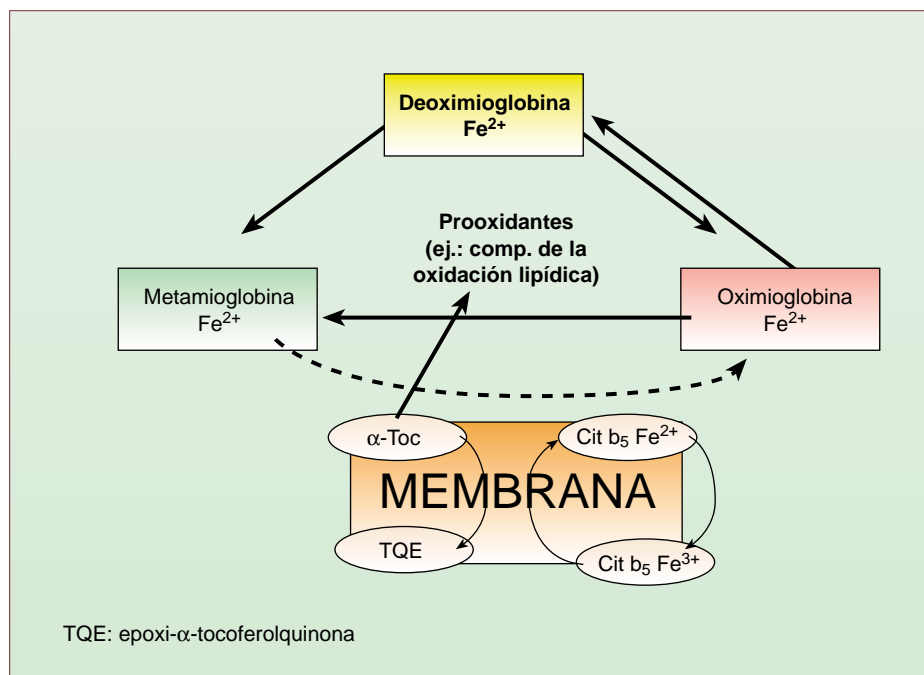


Fig. 8.— Representación de la mioglobina, de la relación entre las distintas formas químicas de la misma y del mecanismo propuesto para la reducción del hierro del grupo hemo⁴².



mente en la superficie de la misma. La deoximioglobina tiene una coloración purpúrea y se encuentra en la profundidad de la carne, donde el oxígeno no llega por difusión. Por último, la metamioglobina se asocia a bajas presiones parciales de oxígeno, a pH ácidos y a la presencia de condiciones prooxidantes, condiciones todas ellas paralelas a la pérdida de frescura de la carne. De hecho, la aparición de coloraciones parduzcas como consecuencia del incremento en la concentración de metamioglobina es uno de los indicadores más utilizados por el consumidor para determinar el grado de frescura de la carne. El tiempo durante el que se mantiene la coloración roja brillante de la carne fresca en la superficie es uno de los factores limitantes para la conservación de la carne en los expositores de los supermercados y carnicerías. La presencia de sustancias con actividad antioxidante en el músculo, principalmente tocoferoles, aumenta el periodo en el que la mioglobina se mantiene en estado reducido extendiendo el periodo de venta de la misma (fig. 8). Esto parece debido a dos efectos diferentes. Por una parte, la vitamina E disminuye el contenido en compuestos derivados de la oxidación lipídica, que a su vez actuarían como prooxidantes favoreciendo la formación de metamioglobina. Por otra, parece que la vitamina E permite la regeneración del citocromo b5 de la membrana, que a su vez parece estar implicado en la reducción de la metamioglobina a oximioglobina⁴². Este último aspecto es importante, ya que el paso de la forma oxidada de la mioglobina (metamioglobina) a las reducidas (deoxi y oximioglobina) no es reversible, sino que depende de la actividad enzimática, entre otras, de los citocromos de membrana.

Entre los factores que pueden afectar al color de la carne de cerdo destaca el sistema de explotación, que determina a su vez la edad de sacrificio y la actividad física. Cuanto mayor es la edad de sacrificio, mayor es el contenido en mioglobina⁴³ y, por otra parte, el ejercicio conlleva una adaptación del músculo, lo que produce asimismo un aumento del contenido en mioglobina⁴⁴. Existen también diferencias entre las distintas genéticas porcinas. En general, las razas menos seleccionadas poseen mayores contenidos de mioglobina a la misma edad de sacrificio.

AROMA Y SABOR

El “flavor” (sensación conjunta de aroma y sabor durante la degustación de un alimento) de la carne de cerdo cocinada se origina fundamentalmente durante el cocinado. De hecho, la carne cruda presenta un sabor ligeramente a sangre y un tanto ácido y apenas tiene aroma⁴⁵. Como consecuencia de las altas temperaturas que tienen lugar durante el cocinado se producen una serie de reacciones químicas de distinta índole (oxidación lipídica, reacciones de Maillard, degradación de algunos aminoácidos, reacciones de condensación, etc.) que dan lugar a una gran número de compuestos volátiles (se han identificado más de 500) que causan los distintos matices aromáticos que pueden percibirse en la carne cocinada⁴⁵. En el caso de los productos cárnicos elaborados con carne de cerdo, el complejo aroma que presentan es igualmente consecuencia de una complicada serie de reacciones que dan lugar a numerosos compuestos volátiles de diferente tipo. Entre estas reacciones destacan las

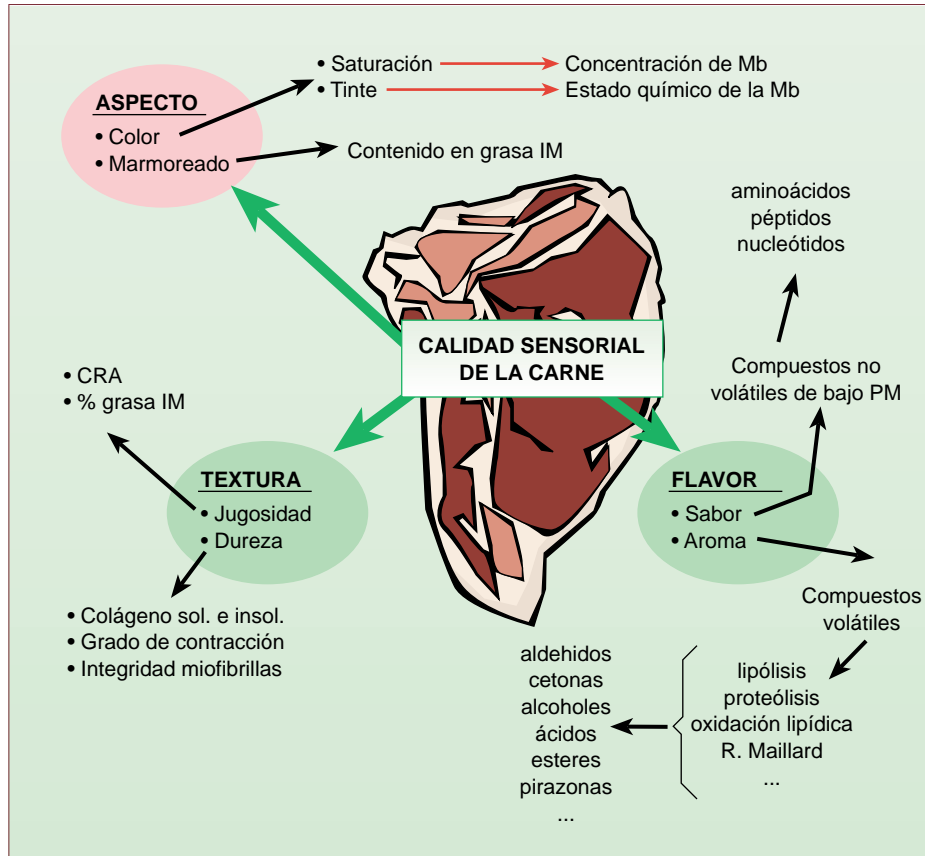


Fig. 9. — Parámetros relacionados con la calidad sensorial de la carne y parámetros fisicoquímicos que los determinan.

de oxidación lipídica, reacciones de Maillard, degradaciones de Strecker, degradación térmica de aminoácidos, reacciones de condensación, etc.²⁷.

Si bien los factores relacionados con el animal no parecen estar entre los principales responsables del “flavor” de la carne, sí que tienen una cierta influencia sobre el mismo, ya que determinan la cantidad de compuestos que actúan como precursores de las reacciones químicas que tienen lugar durante el cocinado. Así, la composición en ácidos grasos determinará el perfil de

compuestos formados a partir de la oxidación de los mismos. Por otra parte, la extensión de la proteólisis durante la maduración de la carne influirá en gran manera sobre la cantidad de compuestos derivados de aminoácidos que se formen en el cocinado.

Altos niveles de compuestos con actividad antioxidante en la carne, conseguidos a través de la suplementación de la dieta, pueden modular las reacciones de oxidación lipídica durante el cocinado, evitando niveles altos de compuestos con aromas a rancio³⁶. Esto resulta



de especial interés en productos precocinados en los que el tratamiento térmico inicial y previo a la conservación actúa disparando el desarrollo de la oxidación lipídica, dando lugar a aromas anormales a carne sobrecalentada conocidos como *WOF*. Este tipo de aromas se asocia a la presencia de compuestos procedentes de la oxidación de ácidos poliinsaturados como son el hexanal o el 2,4-decadienal⁴⁵.

Un problema relacionado con el aroma de la carne de cerdo es el denominado *olor sexual* o *a verraco*. Es un olor característico y muy desagradable propio de los cerdos machos enteros a partir de una determinada edad. No está completamente dilucidado si la causa de este olor es la presencia de la feromona 5- α -androstenona o si está causado por la presencia de escatol, un compuesto proveniente de la degradación microbiana del triptófano en el intestino grueso (o por ambas)⁴.

Este problema es una de las causas fundamentales que justifican que se castren los cerdos machos, con las repercusiones negativas que este procedimiento tiene sobre los rendimientos productivos y sobre el bienestar animal. De hecho, en algunos países se castra un número muy pequeño de animales por esta última causa.

Cabe concluir que existen numerosos factores que pueden afectar a las características sensoriales de la carne. En la figura 9 se esquematizan los atributos más sobresalientes desde el punto de vista de la calidad sensorial, así como los principales factores que los determinan. No obstante, todo ello resulta un simplificación, ya que las percepciones asociadas a la calidad sensorial son complejas y numerosas, y los parámetros fisicoquímicos implicados son muy variados y muestran además interacciones, muchas de las cuales están aún por definir.

BIBLIOGRAFÍA

1. López-Bote CJ. Meat Sci 1998; 49 Supl 1: S17-S27.
2. López-Bote C, Carmona JM, Soares M. En: Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos. Ed. Martín & Macías 2001. p. 539-68.
3. Pearson AM. En: AM Pearson, TR Dutson, editores. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Eds. Londres: Chapman & Hall, 1994. p. 1-33.
4. Warris PD. Ciencia de la Carne. Madrid: Acribia. 2003.
5. Grandin T. En: YH Hui, W Nip, R Rogers, O Young, editores. Meat Science and Applications. Nueva York: Marcel & Dekker 2001. p. 221-54.
6. Mitchell G, Heffron JJA. Adv Food Res 1982; 28: 167-230.
7. Rede R, Pribisch V, Rahelic S. Fleischwirtschaft 1986; 66: 898-907.
8. Ordóñez JA, Cambero MI, Fernández L, García ML, García Fernando G, de la Hoz L, Selgas MD. En: JA Ordóñez, editor. Tecnología de los Alimentos (II). Alimentos de Origen Animal. Síntesis; 1998. p. 169-86.
9. Staborsvik E, Fretheim K, Froystein T. J Sci Food Agric 1984; 35: 240-4.
10. Offer G. Meat Sci 1991; 30: 157-84.
11. Hamm R, Kolloidchemie des Fleisches. Publ Paul Parey. Berlín, 1972.
12. Tornberg E, Andersson A, von Seth G, Proc 39th ICoMST, Calgary, Canada, 1993.
13. Wismer-Pedersen J. En: F Price, SB Schweigert, editores. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Zaragoza: Acribia 1994. p. 125-38.

14. De Smet S, Pauwels H, Eeckhout W, Demeyer D, Vervaeke I, De Bie S, Van De Voorde G, Casteels M. *Pork Quality*; 1992.
15. Barton-Gade P. *Proc European Meeting of Meat Research Workers 1984*; 30: 8-9.
16. García Cachan MD. Tesis Doctoral. Universidad de León, 1992.
17. Kauffman RG, Cassens RG, Scherer A, Meeker DL. National Pork Producers Council Publication. Des Moines (IA); 1992.
18. Van Laack R. En: Xiong Y, Ho Ch, Shahidi F, editores. *Quality attributes of muscle foods*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. Nueva York; 1999. p. 309-18.
19. Camou JP, Sebranek JG. *Meat Sci* 1991; 30: 207-13.
20. Arnau J. En: *Jamón curado: tecnología y análisis de consumo*. I Simposio Internacional del Jamón Curado. Estrategias alimentarias. Madrid; 1998. p. 72-86.
21. Kauffman RG, Safari AH. *J Food Sci* 1967; 32: 283-9.
22. Sinclair AJ, O'Dea K. *Food Technol Australia* 1967; 39: 228-40.
23. Muriel E, Tesis de Licenciatura. Universidad de Extremadura, 2003.
24. Wood JD, Jones RCD, Francombe MA, Whelehan OP. *Anim Prod* 1986; 43: 535-8.
25. Ruiz J, Ventanas J, Cava R, Andrés AI, García C. *Food Res Int* 2000; 33: 91-5.
26. Essén-Gustavsson B, Karlsson A, Lundström K, Enfält AC. *Proc 38th ICoMST*, Clermont-Ferrand, Francia; 1992. p. 41-5.
27. Ruiz J, Muriel E, Ventanas J. En: Toldrá F, editor. *Research Advances in the Quality of Meat and Meat Products*. Research Signpost, Trivandrum, India; 2002. p. 289-309.
28. Miller RK, En: Kinsman DM, Kotula AW, Breidenstein BC, editores. *Muscle Foods*. New York-London: Chapman & Hall; 1994. p. 299-303.
29. Palumbo SA, Komanowsky M, Metzger V, Smith JL. *J Food Sci* 1977; 42: 1029-37.
30. Ruiz J, López-Bote C. En: Toldrá F, editor. *Research Advances in the Quality of Meat and Meat Products*. Research Signpost, Trivandrum, India; 2002. p. 255-71.
31. Morrisey PA, Buckley DJ, Sisk H, Lynch PB, Sheehy PJA. *Meat Sci* 1996; 44: 275-83.
32. Horwitt MK. *Am J Clin Nutr* 1986; 44: 973-80.
33. Ashgar A, Gray JI, Buckley DJ, Pearson AM, Booren AM. *Food Technol* 1988; 42: 102-8.
34. Buckley DJ, Gray JI, Asghar A, Price JF, Crackel RL, Booren AM, Pearson AM, Miller ER. *J Food Sci* 1989; 5: 1193-7.
35. St Angelo AJ, Vercellotti JR, Legendre MG, Vinnet CH, Kuan JW, James C, Dupuy HP. *J Food Sci* 1987; 52: 1163-8.
36. Wenk C, Leonhart M, Cheeder MRL. En: EA Decker, C. Faustman, CJ López-Bote, editores. *Antioxidants in muscle foods*. New York: John Wiley & Sons; 2000. p. 199-228.
37. Matz SA. *Food Texture*. Avi Publ Co. Connecticut; 1962.
38. Lawrie R. *Ciencia de la carne*. Zaragoza: Acribia; 1998.
39. Young OA, Lovatt SJ, Simmons NJ, Devine CE. En: YH Hui, W Nip, R Rogers, O Young, editores. *Meat Science and Applications*. Nueva York: Marcel & Dekker; 2001. p. 295-318.
40. Penny IF. En: R Lawrie, editor. *Developments in Meat Science (vol 1)*. Appl Sci Publ, Essex; 1980. p. 115-44.
41. Sanz Y, Santandreu MA, Toldrá F. En: Toldrá F, editor. *Research Advances in the Quality of Meat and Meat Products*. Research Signpost, Trivandrum, India; 2002. p. 143-56.
42. Faustman C, Wang KW. En: EA Decker, C. Faustman, CJ López-Bote, editores. *Antioxidants in muscle foods*. New York: John Wiley & Sons; 2000. p. 135-52.
43. Mayoral A, Dorado M, Guillén M, Robina A, Vivo J, Vázquez C, Ruiz J. *Meat Sci* 1999; 52: 315-24.
44. Andrés AI, Ruiz J, Mayoral AI, Tejada JF, Cava R. *Food Sci Technol Int* 2000; 6: 315-21.
45. MacLeod G. En: *Flavor of meat, meat products and seafoods*. Londres: Blackie Academic & Profesional; 1998. p. 27-60.