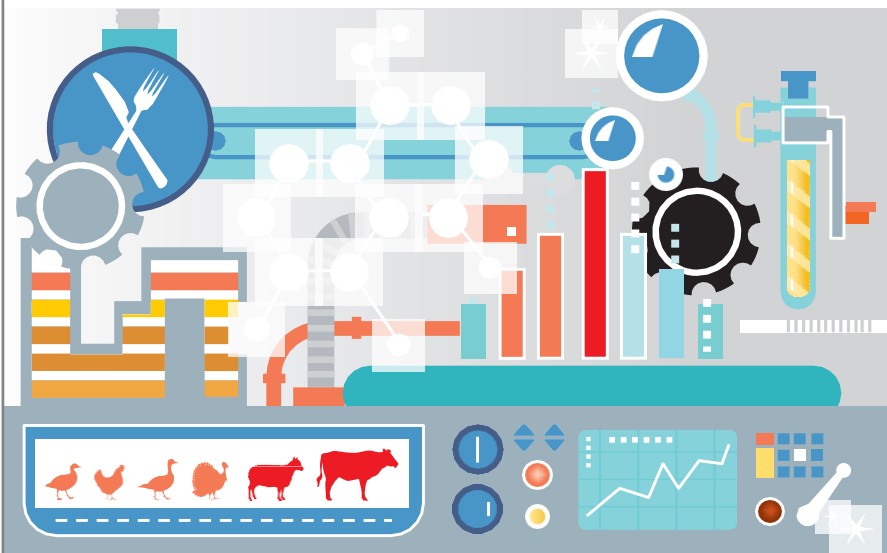


Capítulo 17

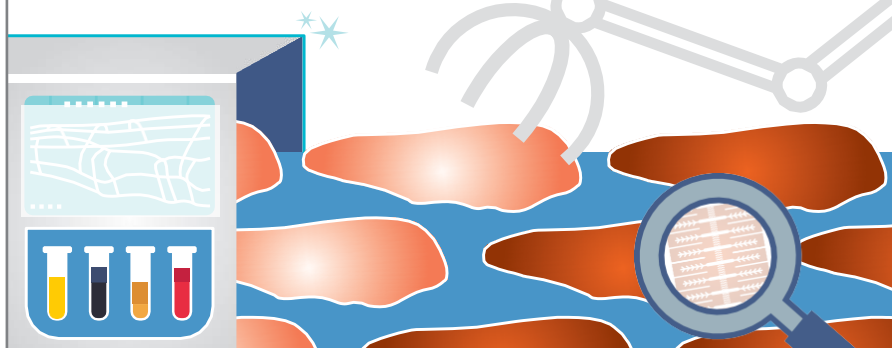
EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE AGUA/GRASAS Y DEL COLOR



La ciencia del procesamiento avícola y de carnes

Shai Barbut PhD

Universidad de Guelph



Capítulos

1. AUTOMATIZACIÓN
2. PERSPECTIVA GLOBAL
3. ESTRUCTURA* Y FISIOLÓGÍA MUSCULAR
4. MANEJO DE AVES VIVAS*
5. PROCESAMIENTO PRIMARIO DE AVES DE CORRAL*
6. HACCP EN PROCESAMIENTO PRIMARIO*
7. INSPECCIÓN Y CLASIFICACIÓN*
8. ATURDIDO*
9. PORCIONADO, DESHUESADO Y LA COMPOSICIÓN DE CARNE FRESCA*
10. PRODUCTOS PROCESADOS – EQUIPOS
11. TRATAMIENTO TÉRMICO, ENFRIAMIENTO Y MÉTODOS DE CONSERVACIÓN
12. HACCP EN OPERACIONES DE CARNE COCINADA
13. PRINCIPIOS DEL PROCESAMIENTO DE CARNE
14. REBOZADO Y EMPANADO – LA PRODUCCIÓN SEGÚN HACCP
15. MICROBIOLOGÍA Y SANEAMIENTO
16. EVALUACIÓN DE TEXTURA Y ATRIBUTOS SENSORIALES
17. EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE AGUA/GRASAS Y DEL COLOR
18. TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS

* Temas centrados en las aves de corral. Los otros capítulos están relacionados tanto con las carnes rojas como con las aves de corral.

Prefacio

El objetivo del libro de La ciencia del procesamiento avícola y de carnes es brindar a los estudiantes y los empleados de la industria una perspectiva integral de la industria moderna avícola y cárnica y del procesamiento de tanto carnes rojas como aves de corral. Se hace hincapié en los conceptos básicos además de los avances recientes como la automatización (p.ej., el aumento en la velocidad de las líneas de procesamiento avícola de 3,000 a 13,000 aves por hora en los últimos 40 años) y la inocuidad del alimento (p.ej., HACCP en las áreas de procesamiento primario y posterior). El libro también incluye capítulos que explican las bases de la biología muscular, la gelificación de las proteínas, la transferencia de calor y masas, la microbiología y los atributos sensoriales de la carne para que el lector entienda los conceptos científicos esenciales del procesamiento de carne. El libro de La ciencia del procesamiento avícola y de carnes se basa en más de dos décadas de experiencia en docencia universitaria, y está diseñado para ser usado como un libro de texto por estudiantes, además de un recurso para profesionales en la industria. El libro está disponible en línea, sin costo, para cualquier interesado. Mediante este formato he podido incluir varias fotos, ilustraciones y gráficas en color para apoyar al lector.

Este libro está dedicado a mis estudiantes antiguos y actuales que me han inspirado a aprender más y llevar a cabo proyectos de investigación más desafiantes. Veo esto como una oportunidad para devolver al campo del que he recibido tanto como estudiante y como miembro del profesorado. Al mirar atrás, reconozco que he aprendido mucho de mi consejero de MSc y PhD, Dr A. Maurer, quien fue el estudiante de Dr. R. Baker, el padre del procesamiento avícola en Norteamérica. También me gustaría agradecer al Dr. H. Swatland, con quien he trabajado durante casi 20 años, por incontables discusiones científicas desafiantes.

Escribir La ciencia del procesamiento avícola y de carnes fue un proceso largo, que también incluyó la revisión por pares de cada capítulo. Agradezco la ayuda de todos mis colegas, pero me hago responsable por cualquier inexactitud en el libro. Si tienen comentarios o sugerencias, agradecería que me los hicieran llegar (sbarbut@uoguelph.ca), ya que tengo previsto revisar y actualizar algunos capítulos anualmente.

Me gustaría agradecer a las muchas personas que me han ayudado durante el proceso de escritura. A Deb Drake que introdujo todo el material para el libro, a Mary Anne Smith que ayudó con la edición, y a ArtWorks Media por el diseño y la edición electrónica del libro. Agradezco profundamente la ayuda de mis colegas que revisaron los capítulos y proporcionaron discusiones útiles. Entre ellos Mark B., Ori B., Sarge B., Gregory B., Joseph C., Mike D., Hans G., Theo H., Melvin H., Myra H., Walter K., Roland K., Anneke L., Massimo M., Johan M., Erik P., Robert R., Uwe T., Rachel T., Jos V., Keith W., y Richard Z. También me gustaría agradecer a mi familia por su amor y su apoyo durante el proceso.

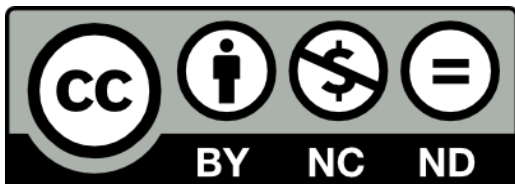
Sobre el autor

Shai Barbut es un profesor en el departamento de Ciencia de Alimentos de la Universidad de Guelph en Ontario, Canadá. Recibió su MSc y PhD en la Universidad de Wisconsin en Ciencia de carnes y Ciencia de alimentos. Se especializa en el procesamiento primario y posterior de aves de corral y de carnes rojas. Sus investigaciones se centran en los factores que afectan la calidad de la carne, además de la gelificación proteica con un énfasis en las relaciones entre estructura y función, las propiedades reológicas y la seguridad de los alimentos. Shai Barbut ha publicado más de 200 artículos de investigación revisados por pares y es el autor de Procesamiento de productos avícolas – Una guía industrial. Es miembro del Instituto de Tecnólogos de Alimentos y ha recibido premios de la Asociación de la Ciencia de la Carne, la Asociación de la Ciencia Avícola y el Instituto Canadiense de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Está involucrado en varios comités gubernamentales, además de proyectos de investigación académicos e industriales.

© 2020 Shai Barbut

Este trabajo está licenciado bajo las licencias Creative Commons que se indican a continuación. Para ver una copia de estas licencias, visite creativecommons.org. Brevemente, esta licencia le permite descargar el trabajo y compartirlo con otros siempre y cuando se de crédito al propietario de los derechos de autor.

No se puede cambiar el contenido de ninguna manera o utilizarlo comercialmente. Salvo lo dispuesto en estas licencias, ninguna parte de este libro puede ser reproducida, transmitida de forma alguna, ni por ningún medio, electrónico o mecánico, sin la autorización previa por escrito del propietario de los derechos de autor, excepto en el caso de breves citas incorporadas en reseñas críticas y ciertos otros usos no comerciales permitidos por la ley.



A partir del 1 de julio de 2015, este libro estará sujeto a una licencia CC-BY-NC-ND. Este libro contiene información de fuentes auténticas y respetadas y se enumeran una amplia variedad de referencias. Se han hecho esfuerzos razonables para publicar datos e información fiables, pero el autor no puede asumir la responsabilidad de la validez de todos los materiales o de la consecuencia de su uso.

Library and Archives Canada Catalogación en la Publicación

Barbut, Shai, autor

Snoeijenbos, Michelle, traducción al español

La ciencia del procesamiento avícola y de carnes/ Shai Barbut, PhD.

Incluye referencias bibliográficas.

Emitido en formato impreso y electrónico.

ISBN 978-0-88955-673-7 (pdf).

1. Procesamiento avícola. 2. Industria cárnica y comercio I. Título

TS1968.B37 2016 664`.93

C2015-903906-1 C2015-903907-X

EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE AGUA/GRASAS Y DEL COLOR

17.1 Introducción

Los consumidores buscan productos alimenticios atractivos en apariencia, textura y sabor. Es muy importante cumplir con las expectativas del consumidor, especialmente cuando hay una selección amplia de productos disponibles en el mercado. Obviamente existen otros factores que afectan las decisiones de compra (p.ej., precio, marca), pero si, por ejemplo, el color del producto es desagradable o hay líquido suelto en el empaque, es probable que el consumidor no lo compre. El hecho de que muchos productos son pre-empacados resalta la importancia de la presentación. Los cortes de carne fresca y los productos procesados dependen de sus proteínas (i.e., proteínas solubles en sal; ver el capítulo 3) para la retención de agua/grasa y pigmentos de color solubles en agua. Por lo tanto, es muy importante estudiar y entender las relaciones entre las proteínas y la retención de agua/grasa y color. Se han desarrollado varios métodos en el pasado, pero su estandarización permitiría la comparación de resultados de diferentes laboratorios. Se proporcionarán ejemplos.

17.2 Capacidad de retención de agua

17.2.1 Retención de agua en carnes frescas y cocinadas

La carne magra contiene aproximadamente 75% de agua retenida dentro de las estructuras musculares (fibras musculares y sus componentes asociados). Esta alta cantidad de agua es retenida gracias a enlaces químicos (p.ej., enlaces de hidrógeno) y fuerzas físicas (p.ej., fuerzas capilares). En productos más elaborados (más procesados), el agua normalmente varía entre 55 – 80% y la proteína entre 10 – 18%. En ciertos países, como Canadá, se requiere un mínimo de 11% de proteína; de lo contrario, se deben incluir frases como “de imitación” en el nombre del producto. Debido a que las proteínas son las responsables de la retención de agua, es extremadamente

importante garantizar que tengan propiedades funcionales. La capacidad de retención de agua (CRA) de las proteínas está influenciada por factores como el tipo de músculo, las condiciones de rigor (p.ej., carne blanda y exudativa; ver el capítulo 16), las condiciones de procesamiento (p.ej., tiempo y temperatura de almacenamiento, congelamiento, *tumbling*), y los aditivos (p.ej., fosfato alcalino, sal). La determinación de la CRA es importante para tanto los cortes de carne vendidos directamente al consumidor como para los productos que pasan a ser procesados por la industria. En ambos casos, el aumento del rendimiento es el resultado deseable.

En la literatura científica existen varios términos que describen el fenómeno de CRA como la retención de agua, la inmovilización del agua, la capacidad de hidratación, la absorción del agua, potencial de succión e hinchamiento. En este capítulo, se utilizará el término CRA. La estructura y conformación molecular específica de la proteína puede tener un efecto significativo sobre la CRA, como se ha descrito en muchas publicaciones (Mohsenin, 1986; Kinsella et al., 1989; Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). A través de los años, se han sugerido diferentes métodos para estimar la capacidad de retención de agua de sistemas de proteínas cárnicas y no-cárnicas (Hamm, 1960; Honikel y Hamm, 1994; Honikel, 1998; Hermansson, 1986; Trout, 1988; Barbut, 1996; Tornberg, 2013).

En esta sección, se discuten los métodos principales utilizados en la carne y en productos cárnicos y se resaltan algunos como potenciales métodos estándares para aplicaciones específicas. Como se indicó en la introducción, la existencia de diferentes métodos y el uso de diferentes condiciones de ensayos (p.ej., fuerza centrífuga, velocidad y tiempo) han dificultado la comparación de resultados entre diferentes laboratorios.

Ubicación del agua en la carne – Fennema (1985), Kinsella et al. (1989) y Puolanne y Halonen (2010) describen en detalle los tipos de agua en un sistema de proteínas en alimentos. Ellos distinguen entre seis categorías básicas.

- a. Agua estructural – unida fuertemente a la molécula proteica e inaccesible para reacciones químicas.
- b. Agua de hidratación – se encuentra alrededor de los residuos apolares de los amino ácidos
- c. Agua monocapa – La primera capa de agua absorbida por los grupos proteicos; podría ser accesible para algunas reacciones

- d. Agua incongelable – no se congela con la primera transición aguda de temperatura
- e. Agua capilar – retenida por las fuerzas de tensión superficial
- f. Agua de hidratación hidrodinámica – rodea sueltamente las proteínas

Por razones prácticas, el agua que se retiene dentro de una matriz proteica como la carne se puede dividir en tres categorías principales:

a. Agua estructural/ligada – incluye el agua directamente unida a las moléculas proteicas que no está disponible como solvente. En músculo de alimentos, generalmente equivale a 5-10 g de agua por 100 g de proteína. En este caso, las moléculas polares de agua se ligan con las cadenas laterales cargadas de los amino ácidos (Fennema, 1985). En la práctica, esto representa aproximadamente 10% del agua fuertemente unida como un capa monomolecular a la estructura de los filamentos gruesos y delgados (Zayas, 1996).

b. Agua inmovilizada/de hidratación – representa solo unas pocas capas de moléculas de agua unidas al agua ligada (normalmente por enlaces de hidrógeno). La unión se debilita gradualmente a medida que aumenta la distancia de los grupos proteico cargados. En alimentos musculares, el agua inmovilizada normalmente equivale 20-60 g de agua por 100 g de proteína (Fennema, 1985). En la práctica, esto representa aproximadamente 10-20% de la segunda capa externa a la primera capa (Zayas, 1996).

c. Agua libre – es retenida principalmente por fuerzas superficiales y se puede extraer de la carne con relativa facilidad. El objetivo del procesador es mantener esta agua al interior del producto ya que es muy importante para el procesamiento de carne y normalmente representa 50-60% del agua en el músculo. En general, Zayas (1996) indicó que solo 40-80 g de los 280-380 g de agua/100 g de proteína está directamente ligada a una proteína y los 240-300 g agua/ 100 g proteína restantes se encuentran en la red de filamentos delgados y gruesos. Esto resalta el hecho de que una cantidad sustancial de agua solo está “atrapada” por la red de filamentos, y durante la conversión de músculo a carne esta agua puede salir como pérdidas por goteo, etc. Por lo tanto, los procesadores deben esforzarse por conservar la mayor parte del agua “atrapada”.

Factores que afectan la retención del agua – diferentes aspectos afectan la cantidad de agua y el grado de unión del agua para cada categoría; p.ej., la estructura y las propiedades moleculares de las proteínas cárnicas, el pH, el

tipo y la concentración de proteínas, el número de grupos cargados expuestos, la concentración de sal y la temperatura. El pH es un factor muy importante que influencia la carne fresca, y más adelante la carne procesada (p.ej., la adición de sal/fosfatos alcalinos afecta el pH y las cargas de las cadenas laterales de los aminoácidos). Hasta cierto grado, el procesador puede controlar el pH, como se explica más adelante (ver la Fig. 17.2.1.1).

No hay duda de que la estructura molecular básica de las proteínas está relacionada con la CRA. Las proteínas constan de una cadena doblada de amino ácidos unidos por enlaces peptídicos. El orden lineal de los aminoácidos representa la estructura primaria de una proteína. La conformación tridimensional de la cadena representa las estructuras secundarias y terciarias. Finalmente, la estructura cuaternaria se refiere a la disposición geométrica de varias cadenas de aminoácidos que normalmente están unidas por enlaces no covalentes (p.ej., la estructura 3D de la mioglobina en este capítulo). Las cadenas laterales de los aminoácidos individuales sobresalen de la cadena principal de la molécula proteica y pueden tener una carga positiva, negativa o neutra dependiendo del aminoácido y del pH del ambiente. El pH del músculo vivo es cerca de 7.0.

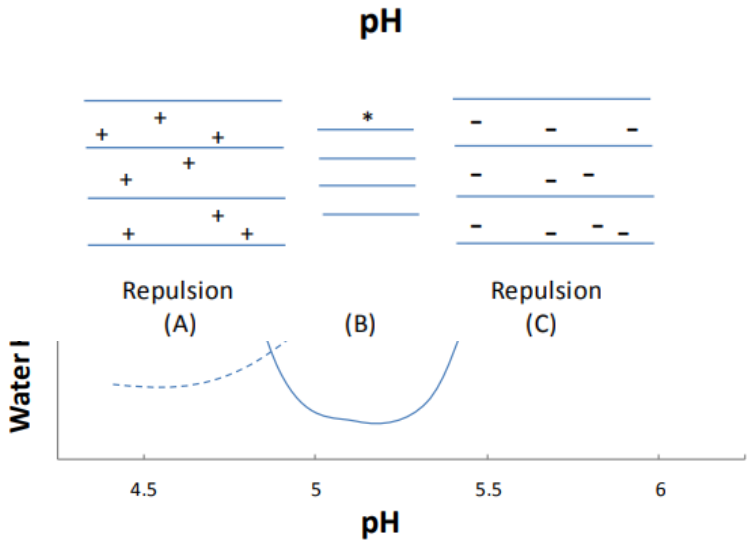


Figura 17.2.1.1 Efecto del pH en la cantidad de agua inmovilizada en la carne. El pH afecta la distribución de los grupos cargados de miofilamentos y la cantidad de espacio entre ellos. (A) Un exceso de cargas positivas en los filamentos. (B) un equilibrio de cargas negativas y positivas. (C) Un exceso de cargas negativas. Adaptado de Price y Schweigert (1987). (Water Holding Capacity = Capacidad de Retención de Agua; Meat = carne; Salt = sal; Repulsion = repulsión).

Sin embargo, después del sacrificio, el pH baja debido a la acumulación de ácido láctico en el músculo (ver el capítulo 3). Esta disminución en pH resulta en una disminución en el número de grupos reactivos con carga en las proteínas que, de lo contrario, estarían disponibles para unirse con el agua. El cambio en el pH causa una reducción en la CRA (Fig. 17.2.1.1), la cual puede ser el resultado de tres factores principales (Aberle et al., 2001):

a. Efecto de la carga neta - se refiere al número de grupos de aminoácidos con carga que están disponibles para la unión con moléculas de agua. Durante la conversión de músculo a carne, la formación de ácido láctico resulta en una reducción en el pH que se acerca al punto isoelectrico (pI) del músculo, aproximadamente 5.1. Es importante notar que este es un valor promedio obtenido a partir de proteína musculares principales (miosina – pI de 5.4 y actina – pI de 4.7; Zayaz, 1996). En el pI, el número de grupos con carga negativa y con carga positiva es igual y la carga neta de la proteína es de cero. Como resultado, las cadenas laterales tienen menos grupos disponibles para la unión con el agua; esto se conoce como el efecto de la carga neta (ver también la próxima sección sobre el efecto estérico). Por lo tanto, al pH de un músculo pre-rigor (aproximadamente 7.0) habrá más agua unida a las proteínas musculares que al pH pos-rigor de aproximadamente 5.4 (ver también Huff-Lonergan y Lonergan, 2005).

b. El efecto estérico – la mayoría del agua al interior de las células musculares vivas está ubicada dentro de las miofibrillas (i.e., hasta 85%). Gran parte de esta agua es retenida por fuerzas capilares que surgen de la capa única de filamentos gruesos y delgados (ver el capítulo 3). A medida que el músculo entra en rigor, se forman enlaces cruzados entre los filamentos gruesos y delgados, lo que causa una reducción en el espacio disponible para el agua (Offer y Trinick, 1983). Estudios más recientes que utilizan la resonancia magnética nuclear (RMN) han mejorado nuestro entendimiento de la relación entre la estructura celular y la distribución del agua (Bertram et al., 2002). Se ha sugerido que una reducción en el volumen de la región miofibrilar combinada con el encogimiento lateral de las miofibrillas inducido por pH puede llevar a la expulsión de agua del espacio miofibrilar al espacio extramiofibrilar (i.e., esto puede explicar la pérdida por goteo de un músculo que entra en rigor). El efecto estérico hace referencia a la repulsión de cadenas laterales con cargas similares (las cargas iguales se repelan). Entender los espacios entre proteínas causados por la repulsión de cargas es beneficioso para el procesador, que luego puede

agregar ingredientes como fosfatos alcalinos para ajustar el pH, agregar cargas y aumentar la CRA. Al hacer esto, se crean espacios más grandes para las moléculas de agua. Esto puede ocurrir a ambos lados del punto isoelectrónico, donde una alta proporción de grupos con carga positiva o con carga negativa puede resultar en mayor repulsión.

c. Intercambio iónico – ocurre durante el proceso de madurado de la carne (después de la terminación del rigor mortis). La degradación enzimática de las estructuras celulares resulta en la redistribución de iones y a medida que los iones divalentes (p.ej., el calcio) son reemplazados por iones monovalentes (p.ej., el sodio), se liberan algunos grupos laterales cargados de los aminoácidos y aumenta la CRA. El ion de calcio se menciona acá porque es liberado durante el proceso pos-mortem y es capaz de unirse a dos grupos laterales con carga negativa, así neutralizándolos. Cuando el calcio es reemplazado por iones monovalentes, las proteínas serán capaces de ligar más agua.

Para los productos elaborados, el cloruro de sodio es el ingrediente que más se usa. Esto es principalmente para aumentar la CRA (Fig. 17.2.1.1; ver el movimiento de la curva CRA hacia la izquierda) debido a que se solubilizan las proteínas miofibrilares (también conocidas como la fracción de las proteínas musculares soluble en sal; ver el capítulo 3) y se adicionan iones negativos de cloruro al sistema. Existe, sin embargo, un nivel máximo de sal que se puede utilizar para aumentar la CRA. Un aumento en la concentración de sal de 0 a 5% aumenta dramáticamente la CRA, pero a concentraciones mayores de 5%, ocurre lo opuesto. Esto ocurre debido al efecto de “salado” donde las proteínas se aglomeran de tal forma que las cadenas laterales de sus aminoácidos no están disponibles para ligar agua.

17.2.2 Medición de la capacidad de retención de agua (CRA)

Es importante que la industria de alimentos/cárnica sea capaz de medir la CRA y predecir el comportamiento del alimento/carne en aplicaciones específicas (p.ej., almacenamiento, cocción). De hecho, varios de los programas de formulación al mínimo costo (i.e., programas computarizados usados para calcular ingredientes; ver el capítulo 13) tienen un valor asignado a la ligación de agua. A través de los años, se han desarrollado y utilizado varios métodos para medir la CRA por parte de la industria y los científicos. Los métodos se pueden dividir en:

- a. Monitoreo del comportamiento de una muestra de carne

- b. Aplicación de presión
- c. Evaluación de la microestructura
- d. Sensores ópticos
- e. Estudio del comportamiento de la molécula de agua

a. Comportamiento de una muestra de carne – una forma simple y económica para evaluar cómo se comportará la carne fresca en términos de CRA. Para evaluar la CRA durante el almacenamiento, normalmente se coloca una muestra pequeña (p.ej., 10-100 g) en una bolsa plástica cerrada donde se recoge el goteo (p.ej., el tejido se cuelga de un gancho y se coloca en la bolsa plástica; son importantes la geometría de la muestra y la dirección del corte aplicado relativo a la orientación de las miofibras). Una posible desventaja de este método es que los datos analíticos se ven muy afectados por la calidad de la carne y el tiempo de almacenamiento, por lo que los resultados no predicen el comportamiento de un lote específico a menos que se estandaricen los tiempos de recolección de datos. Sin embargo, este es un ensayo muy popular y los valores de pérdidas por goteo están reportados en muchas publicaciones de investigación. Para la evaluación de la CRA durante la cocción, la carne cruda/masa de carne se coloca en una jarra/tubo de ensayo y se calienta a la temperatura deseada a una tasa específica mientras se monitorean las pérdidas por cocción (p.ej., durante el calentamiento o después del enfriamiento de la muestra).

b. Aplicación de presión – esta es una de las estrategias más populares para la estimación rápida de CRA. Se aplica una fuerza externa, alta o baja, mediante el prensado o el centrifugado para extraer un volumen de agua. Sin embargo, es importante notar que cuando se utilizan diferentes condiciones, es difícil comparar resultados entre grupos de investigación. Un ejemplo del efecto del uso de diferentes condiciones de ensayo para la prueba de centrifugación se puede ver en la Tabla 17.2.2.1 (nota: al final de esta sección se da una recomendación para la estandarización de la prueba).

Tabla 17.2.2.1 Método de centrifugado – efecto de la fuerza g, tiempo, temperatura y el nivel de sal en los resultados de la capacidad de retención de agua (CRA) de carne magra. De Zhang et al. (1995).

Test conditions	Mean value of WHC			
	Overall	Centrifugal force (g)		
		959	8,630	34,500
Test time (min)				
7.5	4.0 ^a	23.7 ^a	4.1 ^a	-15.7 ^a
15.0	1.1 ^b	25.0 ^{ab}	-3.7 ^b	-17.9 ^b
22.5	1.2 ^b	27.0 ^b	-4.9 ^b	-18.5 ^b
Test temperature (°C)				
2	6.5 ^a	28.3 ^a	6.0 ^a	-14.9 ^a
10	1.8 ^b	26.6 ^a	-3.3 ^b	-18.0 ^b
20	-1.9 ^c	20.7 ^b	-7.1 ^c	-19.2 ^c
Salt concentration (M)				
0.0	-2.2 ^c	19.3 ^c	-4.7 ^c	-21.3 ^c
0.3	1.9 ^b	25.3 ^b	-1.9 ^b	-17.6 ^b
0.6	6.6 ^a	31.0 ^a	2.1 ^a	-13.2 ^a
Centrifugal force (g)				
959	25.2 ^a	—	—	—
8,630	-1.5 ^b	—	—	—
34,500	-17.4 ^c	—	—	—
Mean values (n = 5) followed by the same superscript letter in a column are not significantly different at the 95% level				

La fuerza centrífuga (alta o baja) se aplica colocando la muestra de carne en un tubo de ensayo. Se han reportado varias condiciones de ensayo (fuerza-g, tiempo, temperatura) para diferentes alimentos y también para el mismo alimento. Se han reportado rangos en el tamaño de las muestras de carne desde 1.5 a 20 g (una variación de valores 13 veces mayores) y fuerzas de 1,500 a 190,000 g (127 veces). Estas variaciones permiten comparaciones relativas de los parámetros de tratamiento pero no permiten una comparación apropiada de los resultados entre diferentes laboratorios. Zhang et al. (1995) diseñaron un experimento para ilustrar las diferencias en los resultados obtenidos utilizando fuerzas g bajas, medianas y altas a tres tiempos, temperaturas y niveles de sal diferentes. La prueba estaba basada en un procedimiento de ensayo relativamente común (Wardlaw et al., 1973) que es utilizado por científicos de la carne alrededor del mundo. Según este ensayo, se adicionan 16 ml de una solución salina (0.6M) a una muestra de 10 g de

carne y se incuba durante 30 minutos a una temperatura de refrigeración antes de su centrifugación. La CRA se expresa como el porcentaje del agua agregada que fue retenida (valor positivo) o la cantidad de agua original liberada (valor negativo) por la muestra después de la centrifugación. La solución salina se agrega para solubilizar las principales proteínas cárnicas (miosina, actina) y también para evaluar la capacidad potencial de la carne para retener agua agregada durante el procesamiento secundario (i.e., la sal es el aditivo más común utilizado en la industria para aumentar la retención de agua). A una fuerza-g alta, se libera agua de la muestra (Tabla 17.2.2.1), pero a una fuerza g baja se retuvo algo de la salmuera agregada. Según el análisis estadístico, se recomendaron las siguientes condiciones para el análisis de muestras de carne fresca: 8,630 g durante 7.5 minutos a 20°C a todas las concentraciones de sal (0-0.6 M). Este estudio, además de otras investigaciones, han demostrado que un aumento en la fuerza g no causa un aumento lineal en los valores de CRA obtenidos.

El método de prensado también ha sido utilizado durante mucho tiempo para evaluar la cantidad de “agua extraíble” en un producto. En este ensayo, la muestra de carne (fresca/cocinada) se comprime entre dos placas paralelas; se aplica fuerza mediante un peso agregado a la placa superior o mediante el uso de una prensa hidráulica/analizador de texturas. El agua liberada normalmente es recolectada sobre un papel filtro seco, pesado previamente (Trout, 1988; Zhang et al. 1993). Dependiendo de la presión, la muestra se comprime en una capa delgada de la cual se ha extraído la mayoría del agua libre. En la literatura se han reportado varias condiciones de ensayo para la evaluación de muestras de carne. Varían en fuerza de 0.01 a 44 kN, en tamaño de muestra de 0.3 a 1.5 g, en temperatura de 4 a 23°C, en tiempo de compresión de 1 a 20 minutos y en diferentes tipos de papel filtro. Zhang et al (1993) evaluaron las condiciones de ensayo como la fuerza aplicada, el tamaño de la muestra, el tiempo de compresión y la sal en muestras de carne de res molida. Después de analizar los datos, ellos recomiendan las siguientes condiciones: tamaño de muestra de 1 g, fuerza de compresión de 20 kN, tiempo de compresión de 2 min. Los autores demuestran que estas condiciones también se pueden utilizar para estudiar parámetros de procesamiento como la adición de sal (i.e., en la industria cárnica se utiliza comúnmente un nivel de sal de 0-2%).

Una advertencia necesaria es que las unidades de expresión pueden ser confusas, como lo confirman las diferencias de expresión encontradas en la literatura reportada. Dependiendo de lo que se usa para el numerador y el denominador y otras partes del cálculo, es posible que valores “altos” de

CRA en realidad indiquen una CRA baja y viceversa. La selección de fórmulas para el cálculo de la CRA se hace según la forma en que se utilizarán los datos y las relaciones que se desean presentar.

Cuando se trata de evaluar la CRA de geles de proteínas cárnicas, se debe tener cuidado de no destruir la estructura del gel durante el ensayo (p.ej., altas compresiones o fuerzas g pueden causar la ruptura/colapso de la muestra). También es importante prevenir la reabsorción de agua al final de la prueba (es decir, mientras se espera que la centrífuga disminuya su velocidad y se detenga). Hermansson y Lucisano (1982) estudiaron el efecto de la fuerza g en las proteínas plasmáticas gelificadas inducidas por calor (5% a pH 9.0, calentado hasta 82°C). Midieron la cantidad de exudado de muestras de 1.2 y 5 g centrifugadas a 5100, 9750 y 30000 g. Las fuerzas más altas resultaban en mayores pérdidas de agua. Por ejemplo, la muestra de 2 g perdió 3.8, 6.6 y 38.3% de agua al ser centrifugada a 5100, 9750 y 30000 g, respectivamente. Las fuerzas g bajas (465, 790, 1045 y 1290 g) también se evaluaron, pero en un diseño experimental que incluía una malla para soportar la muestra por encima del fondo del tubo de ensayo; i.e., para prevenir la reabsorción de agua al final de la prueba. Esto se llamó el ensayo de malla (o canasta). Estas muestras tuvieron una pérdida de agua de 20-22% con todas las fuerzas g. Hermansson y Lucisano (1982), y después Kocher y Foeding (1993) también investigaron el estado de la muestra después de la aplicación de altas fuerzas de centrifugación. Demostraron que una deformación permanente de la muestra indica la descomposición estructural. Por lo tanto, ambos grupos de investigadores recomendaron el uso de un ensayo de malla con fuerzas g bajas para prevenir el daño a la estructura del gel. En general, si se aplican fuerzas entre 100-1000 g se considera que es una centrifugación de velocidad baja que no causará la deformación permanente de las muestras proteicas (Wierbicki et al., 1957; Hermansson y Lucisano, 1982; Barbut, 1996). Como se explicó anteriormente, la ventaja principal es que la deformación de la muestra es mínima y que no ocurren daños estructurales. En este ensayo común, se centrifuga una muestra pequeña colocada sobre una malla a aproximadamente 750 g durante 10 minutos (Kocher y Foegeding, 1993).

c. La evaluación de la microestructura - una medida indirecta de la CRA que proporciona un entendimiento más básico acerca de la ciencia de la CRA, pero no es tan preciso como otros métodos en la predicción de la CRA. Los estudios con microscopía de luz a baja resolución (Oroszvári et al., 2006) o con microscopía electrónica de barrido de alta resolución (ver el capítulo 16; SEM de los geles de la carne) sirven para elucidar las relaciones entre la estructura y la funcionalidad y mejorar el entendimiento de los

científicos de alimentos de los factores que afectan la retención de agua durante la formación de la estructura (p.ej., gelificación), la aplicación de presión (p.ej., compresión, congelamiento), el uso de diferentes concentraciones proteicas, el pH, la fuerza iónica y la temperatura. En general, las proteínas pueden formar geles de dos categorías distintivas. La primera es un gel de cadenas delgadas creado a partir de moléculas de diámetro pequeño formando una red ordenada. La segunda es un gel agregado creado a partir de partículas relativamente grandes unidas para formar una red (Hermannson, 1986; Barbut, 1996). Entre estas dos categorías están los geles mixtos y/o los geles con diferentes grados de agregados de partículas pequeñas y grandes. Es importante mencionar que la misma proteína puede formar ambos tipos de geles. Por ejemplo, las proteínas de las claras de huevo pueden formar un gel agregado típico grande y blanco, pero también pueden formar un gel transparente con cadenas delgadas y un pH bajo.

La información que se obtiene de la microscopía se puede utilizar para demostrar cómo la microestructura afecta la CRA. Un aumento en el tamaño del poro sobre 0.5 μm parece tener el efecto más grande sobre la CRA. Las fuerzas capilares también presentan una fuerza de retención significativa cuando el diámetro del poro es más pequeño. Hermansson (1986) proporciona una tabla mostrando la altura calculada de una columna de agua que se mueve por fuerzas capilares: un capilar con un radio de 0.1 es capaz de movilizar agua hasta 150 m, un radio de 1.0 μm hasta 15 m, un radio de 10 μm hasta 1.5 m y un radio de 100 μm hasta 0.15 m. Las actividades acuosas se han calculado en 0.90, 0.99, 0.999 y 0.9999, respectivamente.

Un cambio en el pH o en el nivel de sal en una masa de carne también puede resultar en la formación de una estructura de proteínas más finas/delgadas. Wang y Smith (1992) demostraron que las proteínas solubles en sal (0.6 M NaCl) formaron una estructura más fina a pH 6.5 y 7.5 que a pH 4.5; en el último se formaba una estructura agregada de gran tamaño. Este tipo de cambios también afecta la CRA. En masas de carne finamente picadas, Gordon y Barbut (1992) demostraron que la adición de urea causa una reducción en el tamaño de los poros en comparación con el control (2.5% sal) y resulta en una CRA mucho más alta (0.4 vs 4.8%, respectivamente). En general, el estudio de las relaciones entre la estructura del gel y la CRA es un campo de investigación activo que puede apoyar el desarrollo de mejores sistemas de modelamiento de alimentos.

d. Sensores ópticos – este es un método indirecto para la evaluación de la retención de agua en diferentes carnes. Por ejemplo, se sabe que las carnes clasificadas como pálidas, blandas y exudativas (PSE), u oscuras, firmes y secas (DFD) tienen CRAs muy malas y muy buenas, respectivamente. La distinción entre pálido y oscuro indica que los humanos podemos detectar una diferencia visual sin requerir el uso de instrumentos de medición. Muchos investigadores han reportado que la carne PSE afecta aves de corral, pavo, cerdo, res, cordero, bisonte, ciervo y carne de caza africana. En general, la relación entre el color y la CRA en la carne es muy compleja y no se entiende por completo. Sin embargo, para una aplicación práctica, se ha establecido que el valor de claridad del color se puede utilizar para predecir PSE (Bendall y Swatland, 1995) y la reflectancia de la carne, que en muchos casos se utiliza para predecir la CRA, esta correlacionada con el espectro violeta y el rojo (Swatland, 1995). Varios investigadores han usado el sistema de la Comisión Internacionale de la Iluminación (CIE, por sus siglas en francés), pero los resultados no son notables. Esto podría ser porque el sistema de la CIE enfatiza más el color verde, que corresponde a la región del espectro en la que el ojo humano es más sensible (CIE, 1976). También podría ser por un mal uso de los datos de la CIE, al ignorar las diferencias inherentes en los valores $L^*a^*b^*$ entre fuentes de iluminación.

Al desarrollar sondas también es importante entender las relaciones entre los diferentes componentes de la carne. Bendall y Swatland (1989) discutieron las diferencias entre las mediciones del agua de los espacios miofibrilares y las mediciones en los espacios interfibras e interfasciculares. También discutieron la relación entre la CRA y el pH. Dependiendo del “tipo” de agua, la curva puede ser lineal (aumentando de pH 5 a 7), o escalonada con un cambio en pH 6. Para comparar los resultados, resumieron los datos de varios estudios y demostraron que la ubicación física del agua determina el comportamiento de la curva. Por lo tanto, al desarrollar/utilizar mediciones con sensores ópticos, siempre se debe tener cuidado para entender el origen del agua debido a que el agua dentro de los espacio miofibrilares depende mucho del pH, mientras que el agua entre fibras depende más de las fuerzas capilares.

Se demostró luego que el uso de espectroscopia del infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) se correlaciona bien con la CRA de muestras de carne de pechuga cruda de pavos ($r = 0.85$, $p < 0.0005$), y con las pérdidas de agua por cocción ($r = -0.82$, $p < 0.005$; Swatland y Barbut, 1995). Esta fue la base para el desarrollo de la sonda NIR de birrefringencia, que fue casi tan exitosa como la sonda de pH y es más precisa que las mediciones de palidez con colorimetría visible (valor L^*) para la predicción de la CRA y

de las pérdidas por cocción en muestras de carne de pavo. Las sondas ópticas también se utilizan para monitorear los componentes específicos de productos cárnicos de importancia para la CRA (Prieto et al., 2009). Por ejemplo, los niveles altos de colágeno pueden ser perjudiciales para la CRA debido a que su conversión a gelatina durante la cocción puede resultar en pérdidas excesivas de agua por cocción. El colágeno en las masas de carne se puede evaluar usando una sonda de cuarzo para evaluar la intensidad de la fluorescencia y compararla con un patrón de fluorescencia característico. La evaluación del contenido de colágeno por este método se ha utilizado exitosamente para predecir las pérdidas por cocción ($r = 0.99$, $P < 0.005$) y la CRA de masas de carne (i.e., carne cruda mezclada con sal y centrifugada a 7,000 g; Wardlaw et al., 1973; descrito anteriormente en el capítulo), se obtuvo una correlación buena ($r = -0.92$, $P \leq 0.005$). En general, la medición por sonda de fibra óptica NIR fue más rápida y fácil. Hoy en día, hay muchas oportunidades para el desarrollo de sensores ópticos con tiempos de respuesta rápidos para la industria de alimentos. Este tipo de sondas de reacción rápida ayudan a optimizar la producción y la calidad del producto mientras aumentan la automatización y reducen los costos de producción.

e. Estudio del comportamiento de la molécula de agua – Los instrumentos como la resonancia magnética nuclear (NMR) y la calorimetría de barrido diferencial (CBD) se pueden utilizar para la medición indirecta de la CRA en varios alimentos. Estos instrumentos proporcionan información acerca del tiempo de relajación de la molécula de agua (p.ej., NMR) y el grado de hidratación (Bertram et al., 2002; 2006) y/o la cantidad de agua congelable en un sistema proteico (p.ej., DSC). También se puede obtener información fundamental acerca de la relación entre las proteínas y la CRA, además de información básica sobre los enlaces químicos, etc. Sin embargo, los equipos son más complejos y costosos que en los métodos anteriores, por lo que se necesitan empleados capacitados.

La espectrometría NMR mide la ligación de agua indirectamente mediante el escaneo repetido cientos de veces de una muestra pequeña y homogénea (p.ej., de 1 a 5 g in un tubo especial) para obtener un valor representativo de los “tiempos de relajación” de las moléculas de agua dentro de una muestra (BerTEAM et al., 2002; Pearce et al., 2011). El tiempo de relajación (o tiempo de retardo), es el tiempo requerido para que los núcleos magnéticos de las moléculas de agua vuelvan a su nivel energético original después de su excitación a un nivel más alto por medio de ondas de radio de alta frecuencia en la presencia de un campo magnético. Los tres núcleos del agua con momentos magnéticos que se pueden usar en ensayos de NMR son el protón,

el deuterón y el oxígeno-17; los últimos dos son los que comúnmente se usan. Después de la excitación, los núcleos tienen dos tiempos de relajación (T_1 y T_2). Estos representan los tiempos requeridos para que los movimientos longitudinales (rotacionales) y de transferencia (giratorios) del núcleo vuelvan a la normalidad. Normalmente, los valores de T_2 se usan para determinar la CRA en sistemas de alimentos como la carne porque presentan mayores cambios (Bertram et al., 2002). En agua pura, los valores de T_2 están entre 1-2 segundos. Sin embargo, cuando hay presencia de compuestos como proteínas, el tiempo se reduce por un factor de 10-150. Esto ocurre porque las proteínas son capaces de absorber parte de la energía del agua, lo que resulta en un retorno más rápido al estado original de energía baja. En un sistema cárnico, gran parte del agua está en los poros (p.ej., los espacios entre filamentos musculares); por lo tanto, la distancia para difundirse a la interfase entre agua y proteína es menor que en un sistema abierto de agua pura. Como resultado, el agua en los poros tiene un valor de T_2 mucho menor.

17.3 Capacidad de retención de grasa

La grasa es otro componente principal en muchos productos cárnicos y su contenido varía entre 4-40%. La grasa contribuye a la textura y la percepción sensorial del alimento en la boca pero a diferencia de las proteínas (contenido de 10-20%), no contribuye a la capacidad de retención de agua. Algunas veces los productos con alto contenido de grasa tienen problemas de retención de agua, grasa o ambas (nota: la importancia de la grasa para el sabor y la jugosidad se discute en el capítulo 16).

La capacidad de retención de la grasa es importante en todos los productos (músculo entero, carne molida y productos finamente picados). Al igual que en la CRA, la pérdida excesiva de grasa durante el procesamiento puede resultar en productos inaceptables causar pérdidas netas para el procesador. En productos de músculo entero y productos molidos la grasa normalmente está atrapada en las células del tejido adiposo que se encuentran en la red del tejido conectivo, que proporciona una envoltura para retener una cantidad considerable de grasa. En productos finamente picados, la grasa normalmente se extrae de las células del tejido adiposo. (i.e., al picar la masa de carne). La retención de grasa en los productos finamente picados (p.ej., una salchicha de Frankfurt que contiene 25% de grasa) es un desafío y es de gran importancia para la industria cárnica. Esto es especialmente importante durante la cocción en donde la grasa animal se transforma en líquido antes de la coagulación de las proteínas cárnicas (40-50°C y 50-60°C, respectivamente). Después de la fusión, la grasa líquida puede fluir hacia

afuera del producto si no está bien retenida. En algunos productos de músculo entero puede ser deseable una exudación parcial de la grasa (p.ej., al asar un pollo entero o al asar un filete de carne, la grasa que gotea ayuda a brindar un sabor de asado). Sin embargo, en productos finamente picados, como salchichas de Frankfurt y mortadela, las pérdidas de grasa dejan vacíos en la estructura que afectan negativamente la textura, la sensación en la boca y la apariencia a medida que la grasa exudada se acumula en las tripas y aparece como manchas blancas de grasa.

Se han desarrollado varios métodos para predecir la capacidad de retención de grasa en productos procesados. Los valores de retención de la grasa a menudo se utilizan en los programas de formulación al mínimo costo como se explica en la sección anterior de CRA. En estos programas, a los materiales crudos se les asigna un valor numérico según sus propiedades funcionales como la aglutinación general y la capacidad de retención de grasa.

Los principales métodos que se utilizan actualmente son relativamente parecidos a los métodos de la CRA e incluyen:

- a. Monitoreo del comportamiento de una muestra de carne
- b. Aplicación de presión
- c. Evaluación de la microestructura
- d. Ensayos de capacidad de emulsión
- e. Extracción química
- f. Sensores ópticos

a. Monitoreo del comportamiento de una muestra de carne - Varios métodos pueden ser aplicados durante el procesamiento para determinar posibles problemas de calidad del producto final. Por ejemplo, las salchichas se pueden monitorear durante su cocción en el ahumadero. Alternativamente, las muestras de productos se pueden procesar en lotes pequeños (p.ej., tubos de ensayo) a medida que se colectan y se miden las pérdidas de humedad y grasa. En el capítulo 13 se proporciona un ejemplo de la medición de las pérdidas de grasa y humedad que ocurren durante la cocción de masas de carne finamente picadas formuladas con diferentes niveles de grasa animal y aceite vegetal. En el ejemplo se utiliza una prueba común donde se colocan 34 g de una muestra en tubos de ensayo de plástico de 50 ml y se cocinan en un baño de agua (Youssef y Barbut, 2011). El sistema cerrado permite la recolección apropiada de grasa y agua (exudados de la cocción). Mediante esta prueba, el procesador puede identificar si y cuándo podrían ocurrir

problemas y resolver problemas específicos del procesamiento/formulación. Otro ensayo utilizado en esta categoría es el monitoreo de exudados durante la cocción de un producto de carne molida (Fig. 17.3.1; la pérdida de grasa se grafica vs el contenido de grasa). Esta figura también es un ejemplo de un producto de emulsión. Los resultados demuestran que la pérdida de grasa aumenta a medida que el contenido de grasa aumenta de 5 a 35%. En ese estudio el objetivo era observar el mecanismo de retención de grasa en lugar de optimizar la formulación de la carne (p.ej., mediante la adición de sal) o las condiciones del procesamiento (p.ej. temperatura de fritura). En general, observar la muestra durante su cocción y monitorear la cantidad de agua/grasa que pierde es una práctica común. Este tipo de monitoreo puede revelar las ventajas/desventajas del uso de los diferentes tipos de carne, parámetros (p.ej., tasa de calentamiento rápida o lenta) e ingredientes. La prueba es fácil de realizar y no requiere de equipos complejos. Sin embargo, esta prueba específica no está diseñada para determinar los límites superiores de la capacidad de retención de grasa (p.ej., que se requieren para los programas de formulación al mínimo costo).

Whiting (1987) monitoreó muestras de carne para estudiar el efecto de la adición de un espectro amplio de compuestos químicos (sales, alcoholes, monoglicéridos, detergentes no iónicos, agentes quelantes, etc.) en la retención de grasa de un sistema de proteínas cárnicas. Whiting demostró que los cationes de los grupos IA e IIA de la tabla periódica igualaron o superaron la estabilidad obtenida por masas de carne preparadas con cloruro de sodio, mientras que la inclusión de cationes como zinc redujo en gran medida la retención de grasa. Los detergentes no iónicos, el alcohol y los monoglicéridos fueron perjudiciales para la retención de tanto grasa como agua. Otros compuestos como la urea, que estabilizan los grupos hidrofóbicos y peptídicos, mejoraron la retención de grasa. En ese estudio, la prueba de cocción fue muy importante y proporcionó información acerca de los mecanismos asociados a la unión/ligación de la grasa. Olsson y Tornberg (1991) usaron la prueba de cocción (en este caso fue de fritura) para estudiar la relación entre el nivel de grasa y la retención de grasa. En productos bajos en grasa, la pérdida de grasa fue mínima al usar grasa animal normal. Sin embargo, cuando se utilizó grasa extraída y procesada (grasa que ha sido calentada a 80°C durante 30 minutos y luego filtrada para la eliminación del material de la pared celular), las pérdidas de grasa fueron mucho más altas, incluso a niveles bajos de grasa. Esto se puede explicar por la ausencia de la estructura de la pared celular que mantiene la grasa unida durante la fritura. El entendimiento de estas relaciones es muy importante

para la industria para lograr un rendimiento razonable y un producto aceptable.

b. Aplicación de presión – se utiliza para evaluar la capacidad de retención de grasa mediante la centrifugación alta/baja y la prensa hidráulica. Olsson y Tornberg (1991) compararon los resultados de la retención de grasa en hamburguesas obtenidos por medio de la prueba de cocción y la prueba de malla descrita en la sección de CRA. En la prueba de cocción/fritura, las pérdidas de grasa fueron mínimas en los productos bajos en grasa pero aumentaron de manera lineal a medida que aumentaba el contenido de grasa ($r = 0.98$). En la prueba de malla correspondiente, las muestras centrifugadas también presentaron un aumento lineal al aumentar el contenido ($r = 0.88$) pero las pérdidas de grasa fueron significativamente más altas que para la prueba de fritura. Los autores sugieren que las pérdidas de grasa más altas se deben a que la fuerza centrífuga se aplica después de la cocción. Los investigadores utilizaron una fuerza de 500 g para la centrifugación de muestras cocinadas (77°C durante 35 minutos) de 10 g. Los autores también indican que el tiempo más largo de cocción involucrado en la prueba de malla podría causar mayor unión entre las moléculas de grasa, facilitando su separación del producto. Los autores indican que la prueba de la malla fue útil para la predicción de la retención de grasa en hamburguesas molidas.

También se utilizaron altas fuerzas de centrifugación (18,000 g) para separar la grasa de masas de carne cruda preparadas con diferentes sales de cloruro (NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 ; Gordon y Barbut, 1990). Estas altas fuerzas centrifugas fueron requeridas para evaluar productos crudos estables y semi-estables debido a que las fuerzas más bajas no son capaces de extraer la grasa de la masa cruda. La prueba también demostró que hay mayor liberación de grasa de las masas crudas formuladas con las dos sales divalentes (MgCl_2 , CaCl_2) en comparación con las que tienen sales monovalentes. También hubo una diferencia significativa entre las dos sales en términos de la retención de grasa. Luego, durante la cocción, las dos sales divalentes demostraron tener un efecto perjudicial sobre la capacidad de retención de grasa, lo que resultó en una pérdida casi total de la grasa (nota: es por esto que se debe usar leche en polvo reducida en calcio en lugar de leche en polvo normal para los productos cárnicos de emulsión). En general, la fuerza centrífuga alta predijo la estabilidad de la grasa durante la cocción. Aunque estas fuerza altas no son comúnmente utilizadas por la industria para la evaluación de carne cruda, son útiles para estudiar los mecanismos de unión de la grasa.

c. Evaluación de la microestructura – se utiliza en muchos casos para estudiar carnes frescas y cocinadas. Se ha demostrado que entender la relación entre la microestructura y la retención de agua/grasa es importante. Como se indicó anteriormente, en los productos de carne molida como las hamburguesas, la grasa se mantiene dentro de la estructura original de la célula adiposa. La Figura 17.3.1 muestra las pérdidas de grasa del producto como una función del contenido de grasa. Los autores también proporcionan fotos de microscopía de luz (no se muestran acá) donde se ve la distribución de las aglomeraciones de grasa dentro del producto crudo. Para el consumidor, estas aglomeraciones de grasa aparecen como puntos blancos en una hamburguesa o en un producto de tipo salami. En el producto cocinado parte de la grasa permanece en estas aglomeraciones, mientras que otra se sale. Los autores indican que al usar recortes normales de grasa, las células adiposas intactas estaban distribuidas dentro de la matriz proteica. En las micrografías de los tratamientos con grasa extraída (con tinción de azul de anilina) se observa muy poco tejido conectivo alrededor de las aglomeraciones de grasa, lo que resulta en mayores pérdidas de grasa, a diferencia de los recortes de grasa. Las pérdidas fueron medidas por una prueba de fritura y una prueba de extracción con hexano (ver la discusión adicional de la extracción química más adelante).

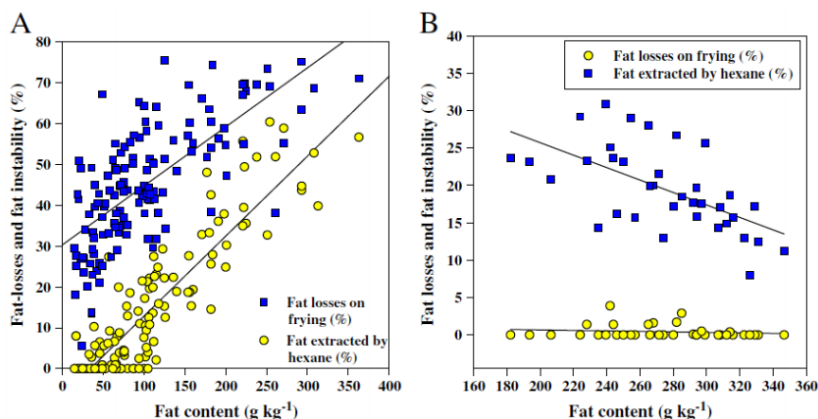


Figura 17.3.1 La pérdida de grasa graficada como función del contenido de grasa. La inestabilidad de la grasa (porcentaje de grasa extraída por hexano) y pérdidas de grasa (g de grasa perdida/g de grasa original) en la fritura para hamburguesas de res (A) y salchichas de emulsión (B) de contenidos de grasa diferentes (g kg^{-1}). De Tornberg (2013). Con permiso.

En un producto de carne finamente picada (p. ej., mortadela), la grasa es removida de las células durante la operación de picado. Los glóbulos de grasa después se cubren con proteínas cárnicas, lo que ayuda a estabilizar las grasas dentro de la matriz de proteínas cárnicas. En general, la matriz proteica del gel tiene una estructura abierta (Fig. 17.3.2) con glóbulos de grasa incrustados. La capa proteica delgada que rodea el glóbulo de grasa sirve como un agente emulsionante que separa la grasa de las fases acuosas. Suponiendo que ocurre una extracción apropiada de las proteínas y que el área superficial de la grasa no es demasiado grande, esto normalmente brinda una estabilización apropiada de la grasa. La adición de ingredientes como el caseinato y los polifosfatos puede aumentar en gran medida la retención de grasa debido a que aumentan la capacidad emulsionante (ver el capítulo 13). En los ejemplos mostrados en la Figura 17.3.1, la estabilización de la grasa fue mucho mejor en el producto de emulsión que en la muestra de la hamburguesa (nota: las pérdidas de grasa alcanzaron 80% en la gráfica de la izquierda y solo 40% en la de la derecha). Al examinar la microestructura se obtiene un mejor entendimiento de los mecanismos responsables de la retención de grasa en estos dos sistemas diferentes. Se ha demostrado que el uso de microscopía (magnificación alta/baja) es muy beneficioso en el estudio de las interacciones entre las proteínas y la grasa, la distribución de la grasa (ver también las micrografías del capítulo 13), el tamaño de los poros y el tamaño de la capa proteica interfacial.

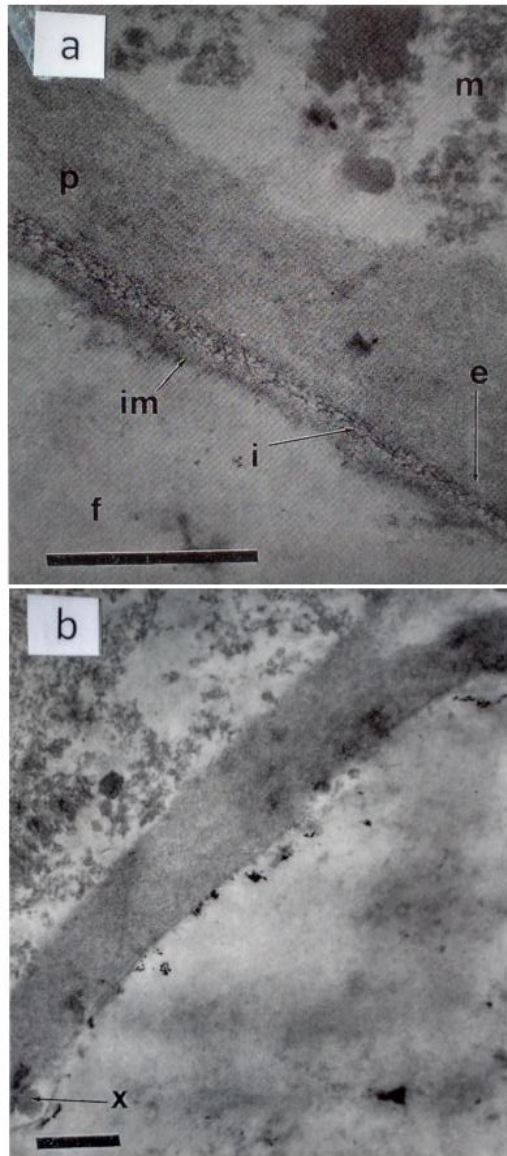


Figura 17.3.2 Micrografías de transmisión electrónica de glóbulos de grasa en una masa de carne cocinada producida con KCl (fuerza iónica = 0.43). Alta magnificación (a) y baja magnificación (b) de la capa proteica interfacial que rodea los glóbulos dentro de la matriz proteica.

f = grasa; m = matriz; p = capa de proteína difusa gruesa; im = membrana interna; i = región difusa interconectada; x = partícula no identificada. Bar = 1 μm . De Gordon y Barbut (1990).

d. Pruebas de capacidad de emulsión – normalmente, las pruebas se aplican en sistemas modelo sobrecargando el sistema de carne/alimentos con aceite líquido para determinar el punto máximo de emulsión. Estas pruebas se han utilizado durante muchos años y los resultados han facilitado el desarrollo de sistemas numéricos para la clasificación de la carne utilizando programas de formulación y costos como el programa de formulación al mínimo costo (discutido previamente). La muestra de carne/proteína se coloca en un homogeneizador de alta velocidad que se utiliza para emulsificar el aceite. El aceite (p.ej., aceite vegetal se agrega gradualmente a la muestra a una tasa continua y se va emulsificando hasta que el sistema este sobrecargado y alcance el punto de “ruptura” donde las fases de aceite y de proteína se separan. Esta separación se observa en un cambio abrupto de la viscosidad, un cambio en el sonido emitido por la mezcladora o cambios en la conductividad eléctrica del producto. Este último cambio básicamente representa la transformación a una fase continua de grasa que tiene una resistencia a la conductividad mucho más alta. Maurer et al. (1969) usaron esta prueba para caracterizar las proteínas solubles en sal del músculo de la pechuga de pollos y demostraron que la capacidad de emulsión disminuye cuando se elimina la sal mediante la diálisis o incluso cuando la sal se quita y se vuelve a agregar. Los parámetros comunes reportados en la literatura incluyen la adición gradual (1 ml/segundo) del aceite vegetal a temperatura ambiente (aceite de algodón) a una licuadora de alta velocidad (Maurer et al., 1996).

e. Extracción química – se utiliza para estimar la retención de grasa mediante la remoción de la grasa que no está bien unida al producto y podría escapar durante el procesamiento convencional (p.ej., la cocción). Esta grasa se conoce como la porción libre de grasa. En productos de músculo entero y de carne molida suele ser la grasa que no está rodeada por una estructura celular. En los productos finamente picados incluye la grasa que no está rodeada por una capa proteica interfacial. Andersson et al. (2000) usaron hexona para extraer la grasa libre de hamburguesas y de salchichas de emulsión formuladas con niveles crecientes de grasa: 10 a 35% y 18 a 35 %, respectivamente (Fig. 17.3.1). Los resultados se compararon con las pérdidas de grasa que se obtienen a partir de la fritura de los productos y se demostró que las hamburguesas pierden más grasa que las salchichas. En las hamburguesas, las pérdidas de grasa estaban relacionadas con el contenido de grasa. Sin embargo, en las salchichas, la pérdida de grasa era independiente del contenido de grasa y los valores de la prueba de extracción por hexona incluso disminuyeron con un aumento en el contenido de grasa (Andersson et al., 2000). Los autores también notaron que la inestabilidad de

la grasa en las salchichas estaba relacionada con la pérdida de agua (los resultados no se muestran acá), lo que también refleja las propiedades de la matriz proteica. Concluyeron que el atrapamiento físico de la grasa dentro de la matriz proteica es más importante en las salchichas de emulsión que en los productos de hamburguesa de carne molida (ver también la discusión sobre la teoría de emulsión en el capítulo 13).

f. Sensores ópticos – Los sensores ópticos y la espectrofotometría no se utilizan comúnmente para evaluar la retención de grasa en productos alimenticios pero su aplicación es común para la evaluación del contenido de grasa por medio de la espectroscopia infrarroja (Prieto et al., 2009). Sin embargo, la necesidad de desarrollar métodos rápidos / en línea para monitorear condiciones de procesamiento de alimentos ha despertado el interés en buscar métodos ópticos que incluyan sensores de fibra óptica. Un ejemplo de esto es el desarrollo de la sonda de fibra óptica para evaluar el contenido lipídico y predecir las pérdidas del procesamiento de masas de carne finamente picada (Swatland y Barbut, 1990). Se desarrolló una guía de luz bifurcada para la medición de la reflectancia de diferentes mezclas de carne magra y grasa. Los autores utilizaron un rango de 400 – 1,000 nm y encontraron que los resultados de reflectancia a 1,000 nm fueron los que mejor se correlacionaban con el contenido lipídico de las mezclas de carne/grasa ($r = 0.99$, $P < 0.005$). A 930 nm, la pérdida de líquido, determinada por centrifugación, estuvo significativamente correlacionada con el contenido de grasa ($r = 0.77$, $P < 0.005$). Este tipo de sondas pueden ser calibradas según el espectro de una masa de carne ideal de referencia y permiten una respuesta rápida para controlar la composición de la masa de carne en una línea de fabricación de salchichas (i.e., control prealimentado, o feedforward). Después se desarrolló una sonda de fibra óptica para determinar el tiempo óptimo para el picado de la masa de carne (Barbut, 1998a). Esta sonda mide la reflectancia de la luz a medida que el tamaño del glóbulo de grasa primero disminuye y luego vuelve a aumentar debido a la unión con otros glóbulos. Es en este punto que el proceso de picado se debe detener debido a que la coalescencia excesiva de la grasa puede causar la separación de la masa de carne. La sonda se puede calibrar para indicar el momento en que se alcanza el tamaño deseado del glóbulo de grasa. Los datos utilizados para la calibración de la sonda inicialmente se obtienen de los resultados de la prueba de cocción. Después de esto, muchos otros investigadores trabajaron sobre este concepto y mejoraron el valor de predicción de la sonda.

Estos ejemplos ilustran la forma en que los sensores ópticos se pueden desarrollar para obtener medidas para optimizar los parámetros de procesamiento. La sonda de las masas de carne/emulsiones se puede utilizar para determinar el tiempo óptimo de picado sin tener que monitorear los signos visibles del producto. La mayoría de las personas en la industria dependen de la temperatura para medir el tiempo de picado pero esta medida no se puede utilizar para optimizar el proceso verdaderamente. Otros técnicos con mucha experiencia utilizan la pegajosidad o la viscosidad del producto como determinantes, pero tampoco son precisos y este conocimiento no se transfiere fácilmente a un empleado nuevo. A pesar de la publicación de investigaciones sobre este tipo de sondas, hasta ahora no se ha visto una adopción a gran escala de las sondas de fibra óptica para el monitoreo de la producción de salchichas. Como se describió en la sección de CRA, las ventajas del uso de una sonda/dispositivo que mide la luz es la velocidad de respuesta, el uso conveniente para mediciones en línea, su durabilidad en la planta de procesamiento (p.ej., la fibra óptica dentro de una funda de acero inoxidable) y su relativa simplicidad de uso en la planta.

17.4 Color

17.4.1 Color – Introducción

La visión es un sentido muy importante para nuestra supervivencia y nos ayuda a tomar decisiones (sobre alimentos/otros objetos) y a comunicarnos con otros. La forma en que vemos e interpretamos el color es complejo y se sale del alcance de este libro. Sin embargo, se proporcionan algunas explicaciones y referencias básicas más adelante. En resumen, los humanos son capaces de detectar diferentes longitudes de onda y de traducirlas en imágenes a blanco y negro o en color. La Figura 17.4.1.1 muestra el espectro visible para humanos.

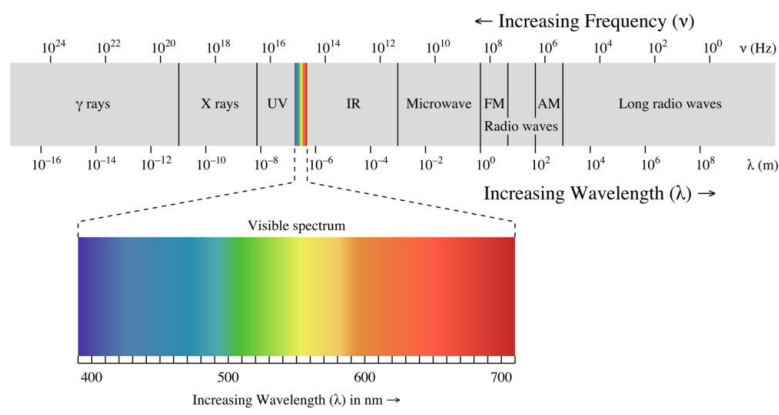


Figura 17.4.1.1 Uso de un prisma para separar la luz solar blanca en sus componentes. Noten que al utilizar un segundo prisma, una puede combinar la luz para reproducir la luz blanca. De Wikipedia.

Un humano sano puede percibir las ondas electromagnéticas en un rango de longitud de ondas de 400 a 700 nm, mientras que algunos insectos como las abejas pueden percibir ondas de luz más cortas en el rango ultravioleta (p.ej., las cámaras sensibles al UV muestran patrones únicos sobre las flores que no son visibles para el ojo humano). En el reino animal, el color también juega un papel muy importante tanto como una advertencia a otros animales o como una estrategia para atraer animales de la misma especie. Por ejemplo, las plumas de la cola de un pavo real tienen colores impresionantes (fig. 17.4.1.2) y se requiere mucha energía para crecer y mantenerlas.



Figura 17.4.1.2 pluma de un pavo real macho – presentación del color. Foto por S. Barbut.

Cuando se trata de la aceptación o el rechazo de un alimento, el color juega un papel importante para los humanos. La adición de un colorante púrpura a unos huevos revueltos, por ejemplo, haría que el producto sea inaceptable para los consumidores, aunque no haya cambios en el sabor, la textura, el olor y la inocuidad. Esto se puede verificar exponiendo los huevos a luz roja, que enmascara el color (ver el capítulo 16). También es importante notar que nosotros utilizamos el color para hacer suposiciones sobre el sabor de un producto. Por ejemplo, cuando el color del helado cambia de rojo a amarillo, es fácil para las personas pensar que el sabor ha cambiado.

El color de la carne surge principalmente de las moléculas rojas de mioglobina presentes en el tejido. Sin embargo, es importante enfatizar que el color de la carne también es afectado por factores como la raza, la nutrición y los antioxidantes, la edad, el tipo de músculo, los cambios posmortem (p.ej., ver la discusión más adelante sobre la carne PSE), los métodos de procesamiento (p.ej., cocción, fritura), el uso de aditivos (p.ej., nitrito), las condiciones de iluminación y el empaque. Las interacciones entre estos factores puede complicar la evaluación del color de un producto cárnico específico.

17.4.2 La visión y la percepción del color

La luz es un componente clave para nuestra capacidad de ver. Un ejemplo simple es entrar a una habitación oscura donde no podemos percibir los elementos adentro. A medida que aumenta lentamente el nivel de la luz, se empiezan a ver los contornos de los elementos sin color. Luego, con un aumento en la intensidad de la luz, gradualmente empiezan a aparecer los colores, lo que indica que se requiere un nivel mínimo de luz para poder percibir el color. Los colores que observamos son el resultado de la luz reflejada de diferentes objetos que absorben y dispersan la luz. La luz es una forma de energía radiante producida por un objeto caliente como una vela, un bombillo o el sol. Las ondas de luz irradian en todas las direcciones a partir de su fuente original y ocurren vibraciones perpendiculares a la dirección de la onda (Fig. 17.4.2.1). Los puntos altos de una onda de luz se llaman crestas y los puntos bajos valles. La distancia entre una cresta y otra es la longitud de onda y el número de vibraciones o de ciclos por segundo se denomina la frecuencia. Cuando la longitud de onda (λ) se multiplica por la frecuencia (ν), el resultado es la velocidad de la luz (c):

$$c = \lambda \nu$$

Esta relación indica que, a medida que aumenta la longitud de onda, disminuye la frecuencia debido a que la velocidad de la luz es constante. Esto se puede utilizar para demostrar por qué la luz azul (ver la Fig. 17.4.2.2; $\lambda = 400 - 425 \text{ nm}$; $\nu = 75 \times 10^7 \text{ ciclos/seg}$) tiene una longitud de onda más corta que la luz roja ($\lambda = 650 - 700 \text{ nm}$; $\nu = 40 \times 10^7 \text{ ciclos/seg}$). La luz azul es más peligrosa para la piel por su penetración más alta (i.e., más cerca de la zona UV) y esto explica por qué puede causar más problemas con la coloración de la carne y el desvanecimiento del color (ver la discusión más adelante del almacenamiento). La luz solar blanca se puede separar en sus componentes de manera natural por gotas de agua (como ocurre con los arcoíris) o mediante el uso de un prisma (Fig. 17.4.1.1). La definición de color del diccionario Gage es “la sensación producida por los diferentes efectos de las ondas de luz al golpear la retina del ojo. Diferentes colores son producidos por rayos de luz de diferentes longitudes de onda”.

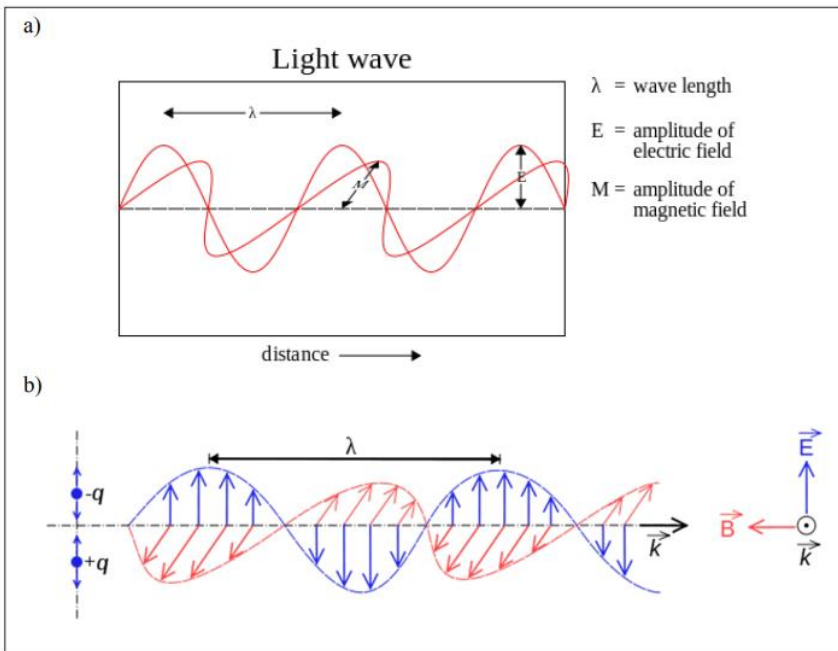


Figura 17.4.2.1 La longitud de onda es la distancia de una cresta a otra y la frecuencia es el número de longitudes de onda por segundo, como se puede ver en (a). La sección (b) muestra que la luz es una onda electromagnética tridimensional, vibrando a ángulos perpendiculares a la dirección del movimiento. De Wikipedia.

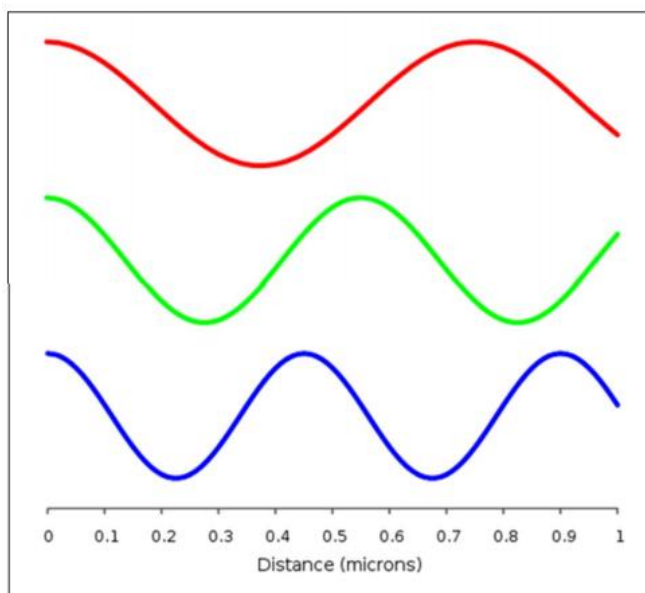


Figura 17.4.2.2 Longitudes de onda de luz azul vs verde vs roja – relación entre λ y frecuencia.

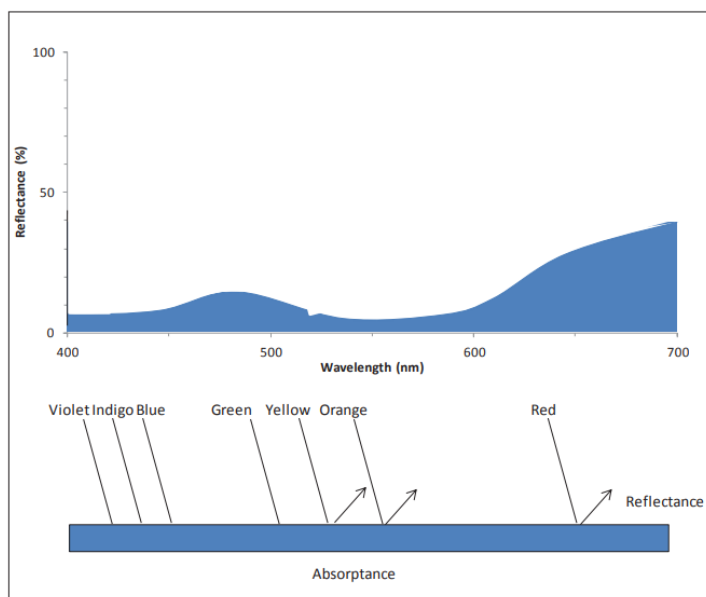


Figura 17.4.2.3 Reflectancia espectral para carne de contramuslo de pollo.

La Figura 17.4.2.3 muestra la luz reflejada de la carne. La carne absorbe toda/la mayoría de la luz azul y verde y refleja pequeñas cantidades de luz amarilla, cantidades moderadas de luz anaranjada y cantidades altas de luz roja. Por lo tanto, el color general de la carne se percibe como rojo. Las fuentes de luz con un exceso o una deficiencia de ciertas longitudes de onda de la luz (p.ej., la luz fluorescente tiene poco rojo), le dará un color distinto a la apariencia de la carne

17.4.3 Métodos para la evaluación del color

La determinación y expresión del color de una manera simple no es fácil. En la vida cotidiana, utilizamos una variedad de términos descriptivos para el color; p.ej., el color verde puede variar desde oscuro hasta claro, de brillante a apagado, de brillante a mate, y otras palabras como militar, ceniza, etc.

El color se puede evaluar y reportar de diferentes maneras. Se han desarrollado escalas de color para comparar el color de un producto con la referencia. Estas escalas de color son populares, por ejemplo, en ferreterías y tiendas para mejorar el hogar. La Figura 17.4.3.1 muestra un ejemplo de un abanico de colores utilizado en la industria avícola para evaluar y reportar el color de las yemas de huevo o de la piel del pollo. Se han producido escalas similares para la carne (p.ej., la tabla japonesa de colores para carne de cerdo). La producción de pollo/cerdo/res con un color consistente de carne/piel es importante para los consumidores que tienen expectativas de un producto saludable. Cualquier desviación de estos colores puede dar lugar a dudas o preguntas y puede prevenir que un consumidor compre el producto. También es interesante notar que las expectativas varían según la región; en EEUU es deseable el pollo con una piel más clara mientras que el Japón prefieren un amarillo más oscuro para la piel (Nota: las preferencias también varían dentro de un mismo país). Los criadores pueden afectar el color de la piel o de la yema de huevo mediante dietas ricas en carotenoides o xantofilas sintéticas que aumentan el color amarillo.



Figura 17.4.3.1 Ejemplo de un abanico de colores utilizado en la industria avícola para revisar el color de la yema de huevo y la piel del pollo.

Fletcher (1999^a) publicó una revisión histórica de los distintos métodos utilizados por la industria avícola/cárnica para la medición y expresión del color. Los métodos se pueden dividir en tres categorías:

- a. Visual
- b. Fotométrico químico y espectral (p.ej., análisis directo de pigmentos)
- c. Colorimetría de reflectancia

a. Las descripciones visuales se desarrollaron a principios de los 1900s con la introducción de pastillas de referencia de colores para la clasificación de la piel de aves de corral y la yema de los huevos. Originalmente, se creaba una serie de estándares de colores (escala relativamente lineal) y se asignaban números. Una de las escalas de referencia de color más comunes era el abanico de colores de yemas de Hoffman-LaRoche (Fig. 17.4.3.1), utilizado para la evaluación del color de piel de los pollos de engorde. El abanico de colores se ha utilizado durante muchas décadas y todavía se aplica hoy en día en ciertas partes del mundo. Esto representa un sistema de puntuación menos subjetiva para la evaluación del color de piel y también sirve como una medida para el control de calidad. Este abanico y la tabla japonesa de carne de cerdo se siguen utilizando hoy en día.

b. Los métodos fotométricos se basan en la caracterización espectrofotométrica de la extracción de pigmentos cárnicos extraídos. Los

pigmentos pueden variar entre carotenoides presentes en el pienso del animal (p.ej., en maíz) que son depositados en la piel y la grasa hasta el pigmento hemoglobínico de la carne. Varios procedimientos en aves de corral dependen de la extracción de pigmentos de la piel del jarrete usando acetona, seguido de una evaluación colorimétrica. Los pigmentos cárnicos, incluyendo el hemo y el citocromo C, también se extraen y se cuantifican (AMSA, 2012; discutido más adelante).

Muchos de los problemas que surgieron con los métodos visuales y químicos se deben a la suposición incorrecta de que los resultados estaban linealmente relacionados al color del producto final. Por ejemplo, el abanico de colores Hoffman-LaRoche utiliza una escala lineal para describir valores de color no lineales. Este problema se hace evidente cuando los valores de color si aumentan de manera lineal según la cantidad de carotenoides en la dieta del animal. El problema también es evidente cuando se evalúa la relación entre el contenido de hemo y el color de la carne, debido a que el color a menudo está más afectado por el estado químico del pigmento que por su concentración en el tejido (Fletcher, 1999^a). Es importante mencionar que una de las desventajas principales de la extracción de pigmentos de la carne es que los pasos de procesamiento pueden cambiar el estado de oxidación de los pigmentos. Por lo tanto la extracción es mejor para la cuantificación de pigmentos y la determinación de valles y picos espectrales.

c. La colorimetría de reflectancia es el método más popular utilizado hoy en día en el estudio de color en la ciencia de alimentos/carne. Puede superar algunos de los problemas descritos anteriormente y elimina el problema inherente de variaciones entre panelistas. También elimina problemas asociados con los cambios químicos de los pigmentos extraídos, las variaciones en intensidad y tipo de iluminación, los diferentes ángulos del color percibido por los panelistas y los efectos de fondo (p.ej., los colores se pueden percibir de distintas formas si los objetos se colocan con fondos de diferentes colores). Las ventajas principales de la colorimetría de reflectancia, cuando se realiza correctamente, incluyen su precisión, objetividad y reproducibilidad. Algunas de las limitaciones incluyen la dependencia de equipos más caros, los posibles errores de operación y el uso inapropiado. En general, los tres componentes involucrados en la forma en que percibimos el color son la fuente de iluminación, el objeto/la superficie observada y el observador (humano o instrumento). Al discutir mediciones instrumentales de color, es importante explicar primero los conceptos de tono, luminosidad y saturación (Swatland, 1989).

El tono describe los colores primarios como rojo, verde y azul.

La luminosidad describe el brillo del color.

La saturación describe lo vivo u opaco que es un color.

Para ilustrar la relación entre estos tres términos, considere la mezcla gradual de pintura verde con pintura opaca blanca. El color cambiará gradualmente del blanco original a un verde claro hasta un verde oscuro, pero su tono (verde en este caso) no cambia. Lo que sí cambia es la saturación; el color cambia progresivamente de un verde opaco (mate) a un verde más vivo, intenso y saturado. La luminosidad o el brillo se podrían modificar usando pintura blanca brillante en vez de pintura blanca opaca.

La Figura 17.4.3.2 muestra una descripción gráfica de tono, luminosidad y saturación. En el ejemplo anterior, la adición de más pintura verde causa un movimiento a lo largo del eje de saturación hacia el exterior de la esfera. Al utilizar pintura blanca más brillante (como el ingrediente inicial) el movimiento ocurriría hacia arriba a lo largo de la línea de luminosidad.

Gracias a los avances científicos, se han desarrollado diferentes sistemas numéricos para medir el color. La CIE (Commission Internationale de L'Eclairage), establecida en 1931, incorporó el aspecto espectral de la luminosidad con los tres colores primarios para crear valores de triple estímulo, conocidos también como X, Y, Z. El sistema X, Y, Z de la CIE define un color según la combinación aditiva de los tres colores primarios, X (rojo), Y (verde) y Z (azul), requerida para obtener el color percibido por un “observador estándar” (humano) bajo condiciones definidas de iluminación y visualización. Esto se basa en la teoría de que el ojo humano posee receptores solo para estos tres colores primarios, y que todos los otros colores se perciben como una mezcla de los tres. Nota: el sistema es útil para la definición de colores pero los resultados no siempre son fáciles de visualizar.

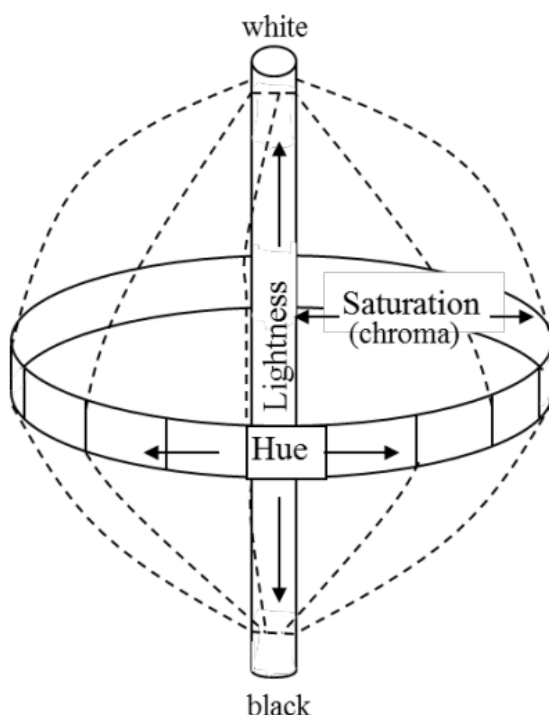


Figura 17.4.3.2 La relación entre tono, luminosidad y saturación presentada en un espacio tridimensional. Derivado de los valores triestímulos de la CIE (1976). Nota: en la CIE, la saturación se llama “chroma”. Redibujado de Anónimo (1989).

Richard Hunter utilizó los datos de la CIE para establecer el sistema Hunter Lab (Mancini y Hunto, 2005). Las fórmulas originales para el cálculo de L , a y b fueron modificadas en 1976 para minimizar el problema de que las distancias iguales en un diagrama de cromaticidad no corresponden con diferencias equivalentes en la percepción del color (CIE, 1976). Este sistema es uno de los sistemas más populares actualmente en uso en la industria cárnica y se conoce como la CIE L^* , a^* y b^* (el asterisco se usa para indicar las modificaciones de 1976).

En la Figura 17.4.3.3 se presenta el sistema de colores de CIE L^* , a^* y b^* . El valor de L^* es una expresión de luminosidad que varía de 0 (negro) a 100 (blanco). El valor a^* abarca desde -60 (verde) a +60 (rojo), y b^* de -60 (azul) a +60 (amarillo). Otro método utilizado frecuentemente para alimentos es la escala de sólidos L , a , b de Hunter. La relación entre la escala CIE y otras escalas de color se ha discutido en el manual de AMSA (2012).

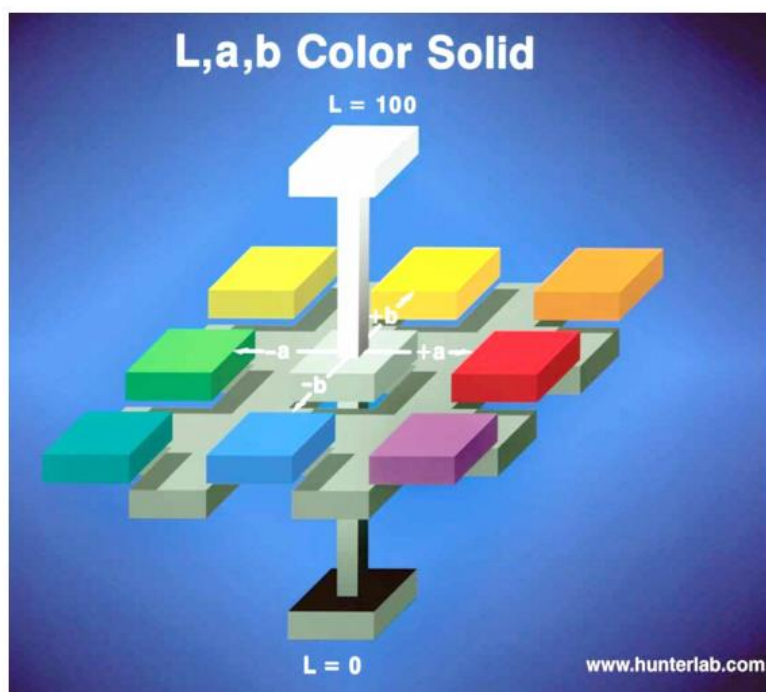


Figura 17.4.3.3 Diagrama esquemático de la CIE (1976). El espacio de color LAB utilizado para describir el color. Cada color se puede expresar por medio de 3 números indicando la posición en un espacio esférico tridimensional. Los ejes verticales representan la luminosidad de 0 (negro) a 100 (blanco). El a^* aborda desde +60 (rojo) a -60 (verde), y el b^* de +60 (amarillo) a -60 (azul).

Nota: el cuadrado en el centro en posición de medio camino se puede movilizar hacia arriba o abajo según de la luminosidad. De <https://www.hunterlab.com/images/NEW-Lab-Chart-Web.jpg>

17.4.4 Mioglobina y el color de la carne

El color de la carne depende de muchos factores intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos principales incluyen el contenido de mioglobina (también conocido como el contenido de pigmento de la carne), la orientación de las fibras musculares, la distancia entre fibras musculares y el pH.

Durante muchos años, las fibras musculares se han descrito con términos como “oscuras y claras”, “rojas y blancas”, “lentas y rápidas”, “aeróbicas y anaeróbicas”, y muchos otros, que se basan en las diferencias inherentes en el contenido de mioglobina y la bioquímica/fisiología muscular. Al hablar del color de la carne, es importante tener en cuenta que las diferencias en los

músculos y en el contenido de mioglobina tienen un fuerte efecto en el color y en la estabilidad del color, especialmente al comparar diferentes músculos (ver el capítulo 3 – diferencias entre las fibras musculares rojas y blancas). La carne blanca de pechuga de pollo está predominantemente compuesta de fibras blancas que tienen un contenido bajo de mioglobina y un color grisáceo claro (ver *Pectoralis* en la Tabla 17.4.4.1: la tabla muestra diferencias en la hemoglobina total y el contenido de mioglobina).

Tabla 17.4.4.1 Contenido de mioglobina y hemoglobina en músculos de pollo¹. De Kranen et al. (1999)

Muscle	Hemoglobin	Myoglobin
	(mg/g)	
Heart	2.67 ± 0.65 ^a	1.08 ± 0.41 ^a
Adductor	0.83 ± 0.21 ^b	0.56 ± 0.17 ^b
Pectineus	0.09 ± 0.04 ^d	0.01 ± 0.00 ^c
Sartorius	0.67 ± 0.11 ^b	0.12 ± 0.02 ^d
Pectoralis	0.24 ± 0.04 ^c	ND
^{a-c} Per parameter, means within a column with no common superscript differ significantly as analyzed by t test (P < 0.05).		
¹ Values are means ± SD. ND = not detectable		

El músculo cardiaco, que tiene el color más oscuro y la química más anaeróbica, también tiene el contenido más alto de hemo, seguido por el músculo abductor. La carne de contramuslo está principalmente compuesta por fibras rojas y tiene una apariencia oscura. Kranen et al. (1999) utilizaron diferentes métodos para determinar el contenido de hemoglobina y mioglobina, incluyendo la fotométrica espectral, la cromatografía de exclusión por tamaño y los métodos inmunológicos. Compararon los resultados de aproximadamente doce otros grupos y encontraron datos relativamente comparables. La cantidad de pigmento en los músculos también varía dependiendo del tipo de ave de corral (p.ej., pollo o pato). Las diferencias también pueden estar relacionadas con la actividad muscular donde, por ejemplo, el músculo de pechuga de pollo es mucho más claro que el de un pato migratorio. El color de los músculos está influenciado por la cantidad de hemoglobina y mioglobina presente. La hemoglobina se encuentra en los glóbulos rojos y está compuesta por cuatro unidades de mioglobina (ambos sirven para transportar oxígeno al músculo, por lo que son capaces de atrapar y liberar oxígeno de manera relativamente fácil; p.ej., dependiendo de la presión parcial del gas, pH). La Figura 17.4.4.1 muestra la estructura del complejo hemo. La mioglobina es una molécula compleja que consta de dos partes principales: la porción proteica se conoce como

globina y la no proteica se llama el grupo hemo. La parte proteica incluye una proteína globular y el grupo hemo contiene una molécula de hierro central responsable de atrapar moléculas como agua y oxígeno. El estado de oxidación de la molécula de hierro y los compuestos unidos al anillo determinan el tono del color rojo.

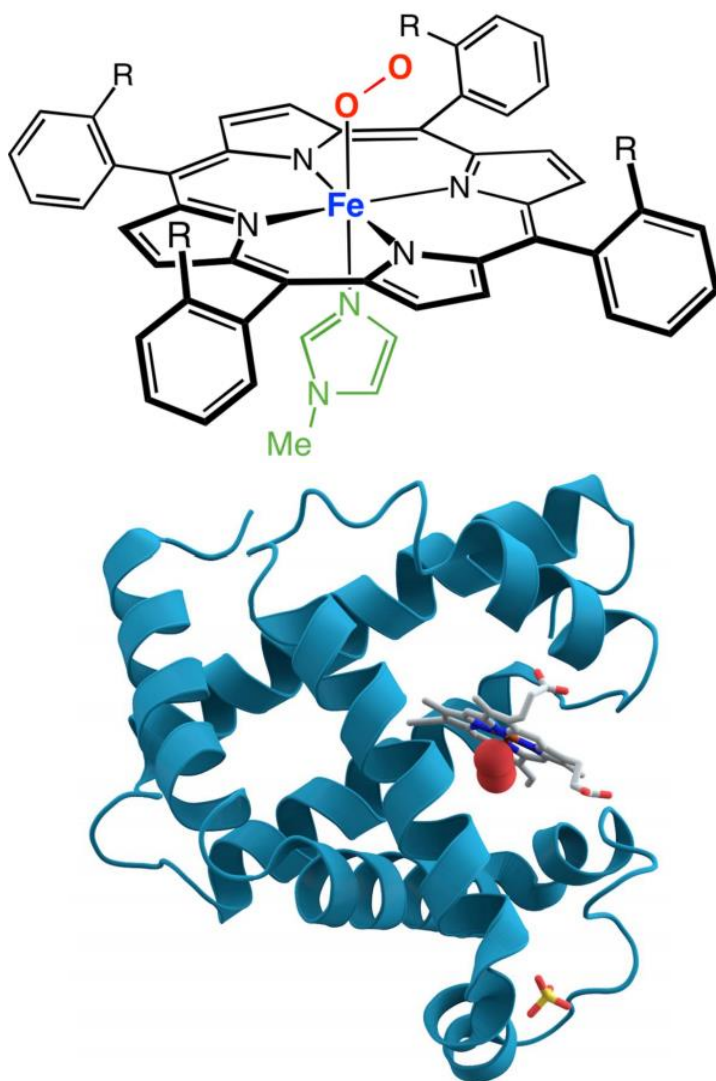


Figura 17.4.4.1 Estructura esquemática de la molécula de mioglobina. La primera imagen muestra el complejo porfirina de Fe, con sitios de coordinación axial ocupados por metilimidazol (en verde) y dióxígeno; los grupos R flanquean el sitio de unión de O₂. La segunda imagen muestra un modelo 3D de los dominios helicoidales en mioglobina. De Wikipedia.

En cuanto a los factores extrínsecos, la mioglobina tiene un color rojo brillante cuando está expuesta al oxígeno (Fig. 17.4.2) y cuando la molécula de hierro está en su estado férrico (Fe_{2+}) reducido.

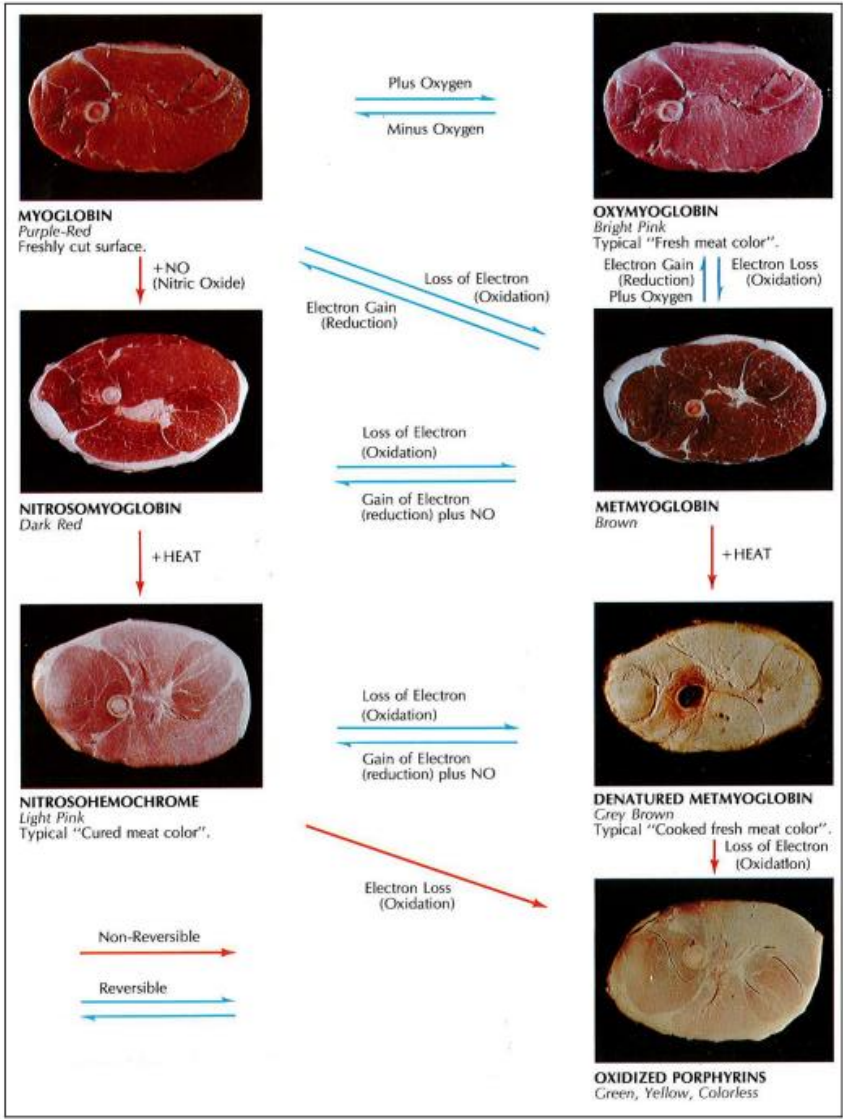


Figura 17.4.2 Los diferentes estados de la mioglobina y el color de la carne. De: Meat Curing Principles and Modern Practices (1972). Con permiso – Koch Supplies Inc.

Los consumidores asocian el color rojo brillante (llamado oximioglobina) con carne fresca de alta calidad. Cuando no hay oxígeno, la molécula de hierro está en su estado férrico Fe_{3+} y el pigmento (llamado metmioglobina) le da un color café a la carne. Esto es reversible cuando la carne se expone al oxígeno (i.e., la metmioglobina primero se tiene que convertir en deoximioglobina para luego convertirse otra vez en oximioglobina; Suman et al., 2014), siempre y cuando el conteo microbiano no sea muy alto. Los consumidores asocian la carne café con carne vieja porque la carne almacenada durante mucho tiempo suele ser café, y hay presencia de muchos microorganismos consumidores de oxígeno.

Los factores extrínsecos como el empaque al vacío también pueden resultar en la conversión del pigmento de mioglobina a su forma de color café (Fig. 17.4.4.3). Los empaques al vacío se utilizan para extender la vida útil del producto cárnico fresco (ver también el capítulo 11). Para superar esto, se puede utilizar un método de envase individual para pequeñas bandejas de carne fresca. Estos envases individuales luego se empaquetan al vacío o se bombean con CO_2 en un envase grande. En la tienda, se remueve el envase grande y se espera un tiempo (15-30 minutos) para el desarrollo del color rojo brillante; i.e., el material de empaque de la bandeja individual es permeable al oxígeno.

La cocción resulta en la desnaturalización del pigmento de la carne y la aparición de un color típico grisáceo/café opaco (Fig. 17.4.4.2). El calor normalmente desnaturaliza la globina de la mioglobina y el grupo hemo es separado de la mioglobina y se agrega a la “piscina no hemo” de la carne. La temperatura de desnaturalización depende de la interacción entre el pH de la carne y el estado redox de la mioglobina. A medida que aumenta el pH del músculo, aumenta la estabilidad térmica de la mioglobina, lo que resulta en colores más rojos/rosados. Por lo tanto, los efectos del pH en combinación con el estado de oxidación tendrán un efecto significativo sobre el color del producto cocinado. La resistencia relativa de las principales formas redox frente a la desnaturalización inducida por el calor es: carboximioglobina > deoximioglobina > oximioglobina > metmioglobina (AMSA, 2012).

Cuando los pigmentos de la carne se calientan lo suficiente, la mioglobina completamente desnaturalizada se convierte en el “pigmento cocinado”, o la llamada metmioglobina desnaturalizada. Esta desnaturalización resulta en un cambio hacia una estructura cárnica más opaca (i.e., más transparente en el estado crudo) que refleja más luz (i.e., con una apariencia más clara). En el caso de la carne de contramuslo de pollo, comúnmente se observa un

aumento de casi 50% en los valores L^* (p.ej., de 45 a 60) y b^* (p.ej., de 6.2 a 16.7) y una leve disminución en los valores a^* . En el caso de la carne de pechuga de pollo, que tiene un contenido mucho menor de mioglobina (Tabla 17.4.4.1), el valor L^* normalmente aumenta en un 60% (p.ej., de 52 a 85) gracias a la cocción. Durante la cocción, el color de la carne de pechuga también se vuelve más amarillo (p.ej., de 6 a 14). El valor de a^* no cambia mucho y en general el consumidor encuentra un producto de un color claro al final del proceso de cocción. Existen otros potenciales problemas de color que pueden estar asociados con el llamado dorado prematuro (la carne parece cocinada antes de alcanzar la temperatura de 65°C) o con el fenómeno del color rosado persistente (la carne que parece cruda a pesar de haber alcanzado la temperatura de 72°C). Estos problemas de color se han investigado a través de los años (Seyfert et al., 2004; AMSA, 2012) y el procesador debe estar consciente de las causas y las posibles soluciones.

Durante un proceso de asado lento, la superficie de la carne y/o su piel desarrolla un color café típico como resultado de la reacción de Maillard entre aminoácidos y azúcares reductores que causa la formación del pigmento café. Es posible aumentar el desarrollo del color café mediante la adición de azúcares como miel al adobado (capítulo 13). Durante el ahumado se desarrolla un color café/dorado sobre la superficie debido a la presencia de carbonilos en el humo que también participan en la reacción de Maillard (ver el capítulo 13). Un pH más alto de lo normal en la carne (como la carne DFD) suele disminuir la reacción de Maillard. Cuando se agrega nitrito a productos cárnicos curados (ver el capítulo 13, receta del jamón), se desarrolla un color inicial rosado-rojo típico en la carne cruda. Luego, durante el calentamiento, esto cambia a un pigmento estable rosado llamado nitrosohemocromo (Fig. 17.4.4.2). La diferencia entre productos cárnicos con nitrito y sin nitrito se detecta fácilmente al preparar jamón o carne de muslo de pavo en la casa; los productos sin nitrito tendrán un color café típico al cocinarse, mientras que los productos curados presentan un color rosado. Al final del capítulo se encuentra una discusión adicional sobre la contaminación accidental de carne fresca con nitrito (niveles bajos).



Figura 17.4.4.3 Ejemplo de carne de res envasada al vacío (derecha) y la misma carne después de 12 horas (izquierda), mostrando la transformación de mioglobina a metmioglobina. Foto de S Barbut.

17.4.5 Color de la piel de animales

En los animales productores de carne que se comercializan con piel (p.ej., pollos de engorde, pavos, patos y cerdos), el color y el tono de la piel son factores de mercadeo importantes. En aves de corral, el color de piel puede abarcar entre un beige claro o amarillo hasta completamente negro. La pigmentación de la piel es el resultado de dos factores principales que incluyen la deposición de melanina y los carotenoides/xantofilas obtenidos de la dieta (Fletcher, 1999a). El primer factor está relacionado con la capacidad genética del ave de producir y depositar melanina en la capa dérmica o subdérmica de la piel (ver el capítulo 3). El segundo factor depende de la capacidad del ave de absorber y depositar pigmentos carotenoides de materia vegetal. Varios estudios han demostrado que los consumidores normalmente prefieren el color tradicionalmente disponible en su región. Por ejemplo, en el este de EEUU son más deseables las aves de corral con mucha pigmentación, mientras que en el noroeste de EEUU prefieren un color de piel pálido.

- a. La piel blanca es el resultado de poca o ninguna deposición de melanina o xantofilas en la dermis o la epidermis (Fletcher, 1999^a).
- b. La piel negra (de algunas razas chinas) es el resultado de la deposición de melanina en tanto la dermis como la epidermis.

- c. La piel amarilla es el resultado de la deposición de xantofilas en la epidermis. Las razas que tienen la capacidad de absorber y depositar carotenoides las deben ingerir en su dieta.
- d. La piel verde es el resultado de la deposición de xantofilas en la epidermis y melanina en la dermis, en algunas razas suramericanas de encuentran pieles azules o verdosas.

En la mayoría de las razas comerciales, la capacidad de depositar melanina se ha eliminado mediante la selección genética. Sin embargo, a veces los consumidores aún devuelven carne de aves con manchas negras en algunas áreas. El procesador puede verificar rápidamente la presencia de unidades típicas de melanina en las células de la piel mediante un análisis con microscopio para asegurarle al consumidor que el problema no se debe a la descomposición microbiana o a un riesgo para la salud.

Se han realizado varios estudios para evaluar la pigmentación de la piel en relación a las fuentes naturales y sintéticas de carotenoides, y para establecer los niveles dietéticos de carotenoides requeridos para obtener cierta coloración. Los carotenoides se depositan en la epidermis. Por lo tanto, si se desea mantener un color amarillo de piel, es necesario un proceso suave de escaldado (i.e., uno que no remueve la capa exterior de la piel durante el escaldado y el desplumado. Ver el capítulo 5).

17.4.6 Presentación del producto y fuentes de iluminación

El color es el resultado de la luz reflejada de un objeto. Como se mencionó anteriormente, la fuente de luz que se usa y la intensidad de la luminosidad pueden afectar el color. Por lo tanto, el uso de una fuente de luz desequilibrada podría distorsionar el color. Esto se menciona porque la luz fluorescente, que carece de ciertas longitudes de onda (p.ej., rojo), se usa comúnmente en vitrinas refrigeradas. También es importante recordar que existen diferencias significantes en la forma en que las personas perciben los colores (p.ej., una persona daltónica o una persona que no puede distinguir entre diferentes tonos de rojo tendrá una percepción del color diferente en comparación con una persona con visión perfecta (AMSA, 2012))

Cuando los consumidores observan un producto cárnico en la tienda normalmente está exhibido bajo luz artificial. Las luces artificiales más comunes incluyen la luz incandescente (INC), fluorescente (FL), haluros metálicos (MH) y diodos emisores de luz (LED). Estas fuentes tienen espectros diferentes, como se demostrará más adelante (esto resulta de las

diferentes temperaturas de color de la fuente de luz y de los diferentes índices de reproducción cromática; i.e., dos términos que se utilizan hoy en día en las referencias de bombillos de luz). La decisión entre bombillos depende de factores como el costo del bombillo, la duración esperada del bombillo, la eficiencia energética y la producción de calor. Por ejemplo, los bombillos FL no producen el espectro completo pero irradian aproximadamente 20% del calor producido por los bombillos INC para la misma intensidad de luz. Por lo tanto, los bombillos FL normalmente se instalan en vitrinas refrigeradas. Los haluros metálicos son los bombillos más eficientes para la iluminación de áreas grandes, pero tampoco producen el espectro completo (p.ej., más en el rango de amarillo/naranja). Barbut (2001) examinó los efectos de diferentes fuentes de luz en los colores percibidos por consumidores y el grado de aceptabilidad de ciertos productos (pollo entero con piel, carne de contramuslo sin piel, carne de pechuga). En la mayoría de los estudios, las coordenadas de color (p.ej., los valores CIA L^* , a^* , b^*) son determinadas utilizando espectrofotómetros comerciales. Estos instrumentos para la medición del color están equipados con fuentes de luz estables (p.ej., xenón) para iluminar la superficie después de la calibración con una placa blanca. Las coordenadas de color L^* , a^* y b^* son importantes para estudiar el efecto de diferentes parámetros del ensayo (p.ej., tiempo de almacenamiento, aditivos) pero no revelan el color actual que percibirá el consumidor en la tienda bajo diferentes fuentes de luz. Por lo tanto, en ese estudio específico se utilizaron equipos de escaneado capaces de usar la fuente de luz real de la tienda.

En la Tabla 17.4.6.1 se ven las preferencias del consumidor en cuanto a los productos bajo diferentes fuentes lumínicas. Los consumidores prefieren un producto de pollo entero con piel exhibido bajo INC (15 W, 120 V). Los panelistas también indicaron preferencia fuerte por comprar el producto exhibido bajo la luz INC (los datos no se presentan acá), a diferencia de cero preferencia bajo luz FL y un rechazo significativo bajo luz MH.

Tabla 17.4.6.1 Preferencias de cortes de pollo bajo diferentes luces.
Todos los productos bajo 70 piecandelas. De Barbut (2001).

Product	Incandescent	Fluorescent	Metal halide
Whole chicken (skin on)	7.01 ^a	4.55 ^b	3.57 ^b
Thigh meat	6.08 ^a	3.65 ^b	4.45 ^b
Breast meat	5.76 ^{ab}	6.81 ^a	5.55 ^b
^{a,b} Means, within each row, followed by a different superscript are significantly different ($P < 0.05$) from each other. Twelve panelists evaluating the product on 2 successive days; 1 = dislike, 10 = like.			

La razón de esto puede explicarse mediante el análisis de los datos de iluminancia (Fig. 17.4.6.1). La fuente de luz INC produce un espectro completo (distribución equilibrada de las diferentes longitudes de onda) y le brinda un color natural al producto (i.e., los datos de iluminancia obtenidos para los productos con la fuente INC son relativamente similares a los datos obtenidos por medio de un espectrofotómetro comercial Miolta/Hunter). El color descriptivo principal utilizado por 66% de los panelistas para describir el pollo entero con piel bajo la luz INC fue amarillo, mientras que bajo otras fuentes de luz fue descrito como crema o blanco (ver más adelante). En general, el color percibido se describe con dos palabras que representen su color principal y su tono. Esto es el resultado de cómo la mente resume todos los datos de las longitudes de onda reflejadas y las expresa como un solo color. Debido a que no tenemos la capacidad de “ver” picos individuales (como lo mediría un equipo de matriz de fotodiodos; Fig. 17.4.6.1), percibimos y expresamos la impresión general.

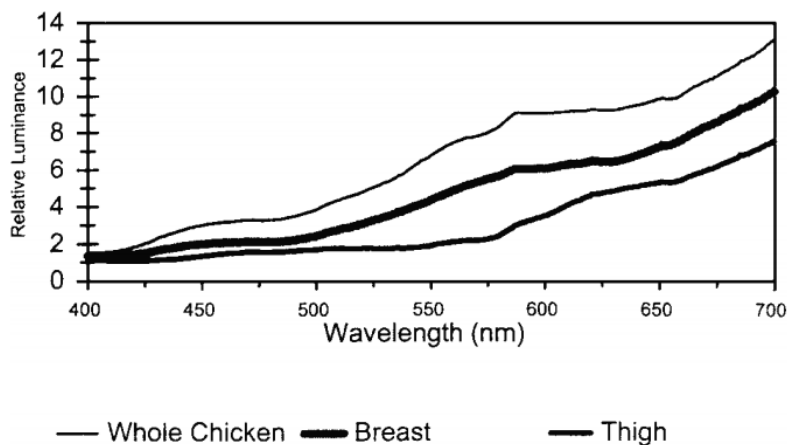


Figura 17.4.6.1 Datos de iluminancia de pollo entero (con piel), carne de contramuslo sin piel y carne de pechuga presentada bajo luz incandescente (70 piecandelas). De Barbut (2001). Con permiso.

Cuando se utilizó una fuente de luz MH, los datos revelaron un pico estrecho en la región amarilla (Fig. 17.4.6.2), picos fuertes en las regiones azul y verde y un pico bajo en la región roja. Los datos de iluminancia obtenidos y la posición de los picos fueron similares a los datos publicados de otras fuentes comerciales de luz MH. El uso de MH resultó en un puntaje de preferencia bajo de los panelistas (Tabla 17.4.6.1) y 75% de los panelistas describieron el color del pollo entero con piel como blanco cremoso. Los panelistas

mayoritariamente respondieron que no comprarían el producto exhibido bajo luz MH por su color antinatural.

Al exhibir el pollo entero bajo luz FL, se produjo un pico en la región amarilla y dos picos adicionales fuertes en la región azul (430 nm) y verde (530 nm) (Fig. 17.4.6.3). La curva de reflectancia obtenida fue similar a las de los datos publicados de otros bombillos FL que presentan picos típicos en las regiones azul (430 nm), verde (530) y amarilla (570 nm). 75% de los panelistas describieron el pollo entero con piel con un color blanco pálido. Esto ocurre por la carencia de un pico amarillo suficientemente amplio y el limitado color rojo presente en esta fuente de luz.

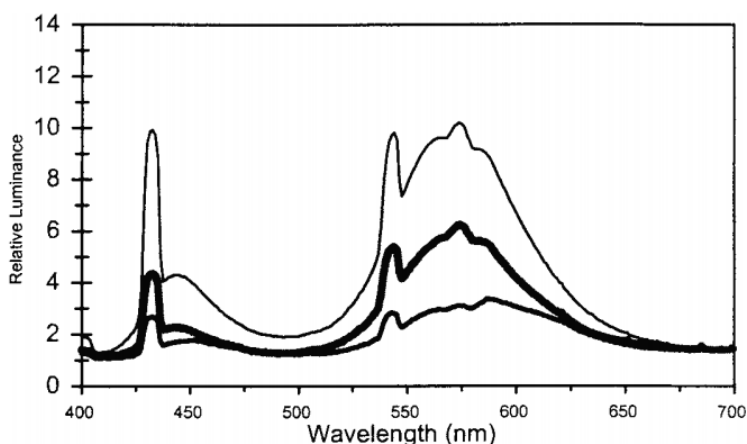
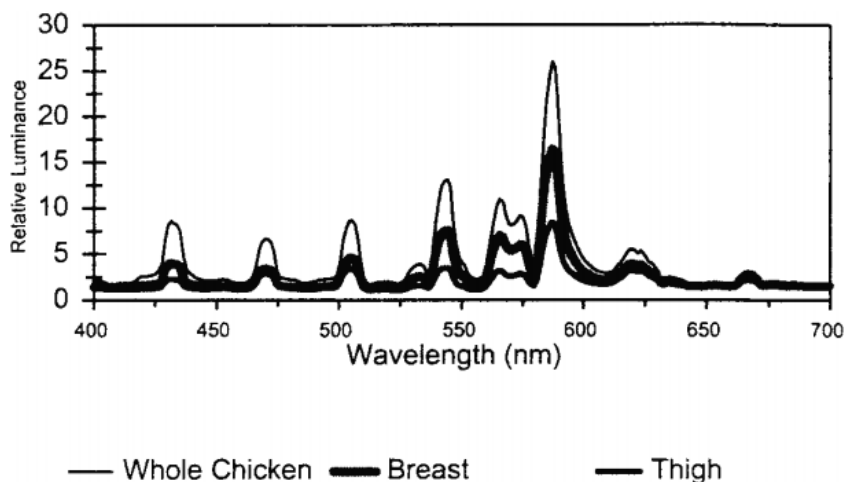


Figura 17.4.6.1 Datos de luminiscencia de pollo entero (con piel), carne de contramuslo sin piel y carne de pechuga presentada bajo lámparas de halógenos metálicos (70 piecandelas). De Barbut (2001). Con permiso.

Los panelistas también prefirieron la carne de contramuslo sin piel con su color típico oscuro exhibida bajo luz INC (Tabla 17.4.6.1). En este caso, la expresión del color rojo solo se puede lograr con una fuente adecuada de luz roja. La curva de luminancia es relativamente similar a la curva publicada por Swatland (1989) para la carne de muslo de aves de corral graficada usando datos de un espectrofotómetro de fibra óptica. La presencia de una cantidad de luz roja adecuada en la fuente INC resulta en una preferencia alta, a diferencia de la preferencia baja que resulta de la exhibición bajo luz FL y la preferencia neutra bajo luz MH. En la luz INC, la mayoría de los panelistas describen el color de la carne como rosado/rojo, como café bajo luz FL y como café/púrpura bajo luz MH.

La carne de pechuga sin piel obtuvo una preferencia similar por parte del panel con la luz INC y con la luz FL (Tabla 17.4.6.1). Debido a que el color real de este producto es un beige claro, los componentes de rojo y amarillo no fueron tan importantes como en los otros dos productos. El color principal utilizado para describir este producto bajo luz INC fue bronceado/rosado. Bajo FL, fue descrito como café/beige y bajo MH como beige/bronceado. Al comparar FL con MH se demostró que preferían el producto bajo luz FL. En términos de la decisión de compra, hubo una preferencia por comprar el producto bajo luz FL ($P < 0.01$). En general, la carne de pechuga sin piel tiene un color neutro que no se ve muy afectado por la falta de luz roja en la luz FL o por los picos relativamente fuertes de azul y verde en la luz FL y MH (i.e., esto puede estar relacionado con la temperatura de color de la fuente de luz y con su índice de reproducción cromática e intensidad).



Figures 17.4.6.3 Datos de iluminancia de pollo entero (con piel), carne de contramuslo sin piel y carne de pechuga presentada bajo luz fluorescente (70 piecandelas). De Barbut (2001). Con permiso.

17.4.7 Otros factores que afectan el color de la carne (PSE, DFD, Estriaciones blancas)

El color y la apariencia de la carne también se ven afectadas por la estructura y la distribución de los sarcómeros (unidades de los músculos). La estructura física de los sarcómeros (ver el capítulo 3) afecta la forma en que se absorbe y se refleja la luz de la superficie del músculo. Un ejemplo de esto se observa

en la diferencia entre la carne pálida, blanda y exudativa (PSE) y la carne oscura, firme y seca (DFD). En este caso la carne PSE tiene una estructura más abierta y refleja más luz, lo que le da una apariencia más clara (Barbut et al., 2008; Swatland, 2008).

La Figura 17.4.7.1 muestra una carne de ave de corral PSE más clara que se considera carne de baja calidad por su limitada capacidad de retención de agua (nota: la carne de cerdo, res y pavo también puede presentar PSE; ver la discusión más adelante). Esto es importante para los procesadores debido a que el músculo magro contiene aproximadamente 75% de agua. Cuando se utiliza un músculo de pechuga PSE para el procesamiento secundario generalmente surgen problemas para la retención del agua original y de cualquier agua adicional inyectada (i.e., que se agrega durante el procesamiento adicional). Esto puede ser crítico cuando, por ejemplo, músculos individuales grandes de pechuga de pollo o jamones de cerdo son inyectados, mezclados y cocinados en una bolsa. Si aparece agua libre dentro de la bolsa, esta se tendrá que abrir para sacar el agua. Esto puede resultar en una reducción en ganancias y en una vida útil más corta.

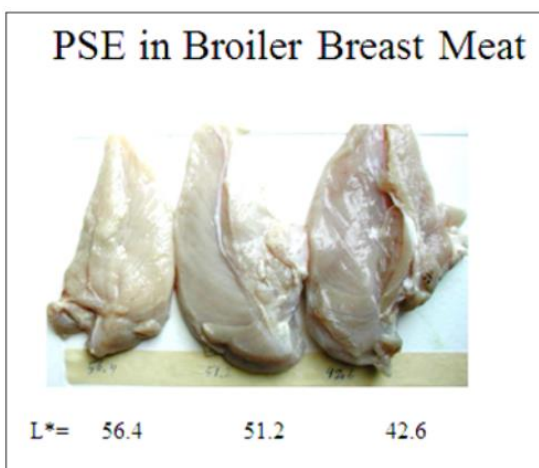


Figura 17.4.7.1 Carne PSE – tiene una apariencia más clara que la carne normal. Foto por S. Barbut.

A la hora de vender carne fresca, el envasado de filetes de pechuga de pollo o chuletas de cerdo sin piel puede ser un desafío si existen diferencias notables en el color (nota: el ojo humano es muy sensible a las variaciones en color). En una encuesta de 1,000 empaques de filetes de pechuga sin piel (cuatro por paquete) realizada en EEUU, Fletcher (1999b) reportó que en 7%

de los paquetes se detectaron variaciones en el color (i.e., la presencia de por lo menos un filete de color diferente). Las muestras fueron evaluadas en 16 tiendas diferentes donde se comercializaban 6 marcas. Fue interesante notar que la frecuencia de variación en el color variaba entre compañías (0.9, 3.5, 6.1, 8.4 y 16.9% con uno o más filetes diferentes). Esto indica claramente que hay algunas compañías que agrupan su carne.

La industria y diferentes informes académicos han reportado diversos grados de PSE en diferentes especies (Barbut et al., 2008). La Figura 17.4.7.2 muestra la magnitud y la distribución del color (valores L^* - claridad) de carne de pechuga de pavo, donde la ocurrencia de carne PSE fue evaluada durante un año en Ontario, Canadá (4,000 muestras de 40 parvadas). Después, Owens et al. (2000a) publicaron resultados similares para carne de pechuga de pavo muestreada en Texas. En la Figura 17.4.7.3 se pueden ver los efectos estacionales de los datos de Ontario, que indican mayor prevalencia de carne PSE durante los meses calientes de verano, probablemente debido al estrés térmico. En general, los valores promedio de L^* de las parvadas procesadas durante el verano fueron significativamente superiores a los valores obtenidos durante la primavera, el otoño y el invierno. La frecuencia de carne de aves PSE ha llevado a varios investigadores a sugerir que el problema está asociado con una susceptibilidad genética al estrés heredada en algunos pollos de engorde/pavos.

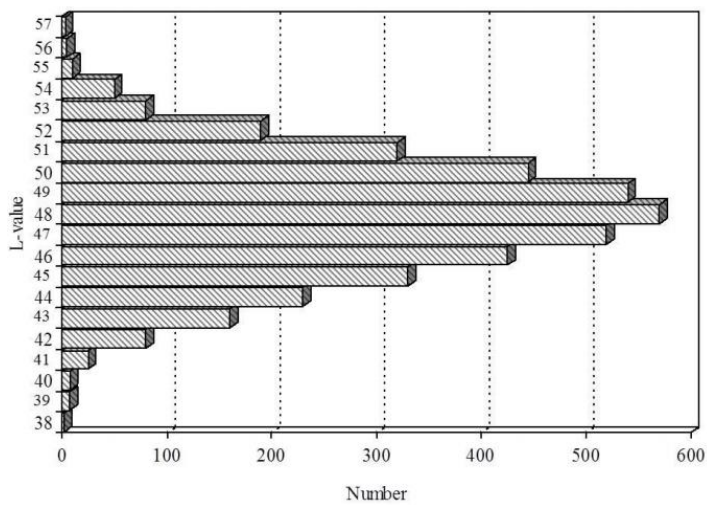


Figura 17.4.7.2 Distribución de luminosidad de carne de pechuga de pavo (L^*); n = 4,000. De Barbut (1998). Con permiso.

Strasburg y Chiang (2009) concluyeron que los mecanismos fundamentales en el desarrollo de la carne de pollo PSE no se entienden por completo; sin embargo, está ampliamente aceptado que la carne PSE es el resultado de un hipermetabolismo posmortem del músculo esquelético. El síndrome de estrés porcino (PSS, por sus siglas en inglés) ha servido históricamente como un modelo de hipermetabolismo en cerdos como respuesta al estrés. Al ser expuestos al calor, el transporte o el apareamiento, los cerdos susceptibles al estrés a menudo desarrollan una hipertermia maligna (MH). Este síndrome está caracterizado por el calor excesivo y una producción excesiva de ácido láctico combinado con un aumento en la glucogenólisis y la glucólisis anaeróbica, todo lo cual está asociado con una contractura muscular severa. La hipertermia maligna del síndrome de estrés porcino puede resultar en la muerte antes del sacrificio, mientras que los cerdos susceptibles al estrés que llegan al proceso de sacrificio presentan una incidencia más alta de carne PSE que los animales no susceptibles al estrés (Offer, 1991). La combinación de las temperaturas altas de la carcasa y el pH ácido del músculo durante las etapas tempranas de la transformación posmortem de músculo en carne causa mayor desnaturalización de algunas de las proteínas miofibrilares. La hipertermia maligna también se ha detectado en humanos y en otros animales como un trastorno muscular heredado desencadenado por la respuesta a ciertos anestésicos como el halotano (Gronert, 1980).

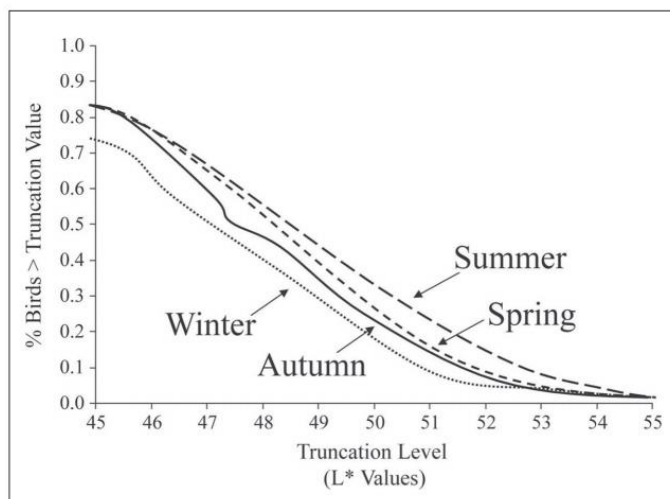


Figura 17.4.7.3 Valores de truncamiento de medidas L* obtenidas para muestras de carne de pechuga de pavos jóvenes mostrando efectos estacionales. De McCurdy et al. (1996). (Winter= invierno; Autumn = otoño; Spring = primavera; Summer = Verano).

Los criadores de cerdo fueron capaces de identificar dos mutaciones principales asociadas con la condición de PSE hace unas décadas. Las mutaciones están relacionadas con un defecto en la regulación de canales de calcio (llamados receptores de rianodina). Después, la industria desarrolló un programa relativamente exitoso para remover la susceptibilidad al estrés de la piara. Sin embargo, no se ha podido identificar una mutación exacta de este tipo en aves de corral.

Aunque no hay un fenotipo comparable de hipertermia maligna en aves de corral, existe amplia evidencia de que el hipermetabolismo posmortem del músculo esquelético es fundamental para el desarrollo de carne de pavo PSE (Stradburg y Chiang, 2009). Pietrzak et al. (1997) observó que los músculos de la pechuga de pavo presentan características bioquímicas y de calidad muy diferentes al ser agrupadas según su pH alto ($H > 6.2$) o bajo ($pH < 5.8$) 20 minutos posmortem. Los músculos de pechuga del segundo grupo presentaron en promedio concentraciones más bajas de adenosino trifosfato, niveles más altos de lactato, una capacidad de retención de agua más baja, un rendimiento de cocción menor y un color más claro. Estos resultados son consistentes con la descripción bioquímica del cerdo PSE y sugieren la influencia de un metabolismo glucolítico posmortem.

Owens et al. (2000b) demostraron que algunos pavos vivos son sensibles al gas halotano, que se utiliza en los ensayos para la identificación de cerdos susceptibles. Los pavos fueron expuestos a 3% de halotano durante 5 minutos y esto causó una rigidez del muslo en 3.5% de los pavos de 4 semanas de edad. Sin embargo, los pavos susceptibles no presentaron una incidencia de PSE significativamente mayor después del sacrificio en comparación con el grupo control. Los autores sugirieron que la respuesta al halotano es un predictor limitado de carne PSE en pavos o que no es un factor estresante apropiado para inducir la condición PSE en aves de corral. Strasburg y Chiang (2009) sugirieron que los receptores de rianodina juegan un papel fundamental en la regulación del Ca^{2+} sarcoplasmático en aves y que los cambios en la actividad de los receptores podría tener implicaciones importantes para el desarrollo de la carne PSE. Los autores mencionan que, aunque se han realizado numerosos avances en el entendimiento de los receptores de rianodina, especialmente en el descubrimiento de variantes alternativas de escisión, es importante determinar si estos transcritos se traducen en proteínas e identificar las diferencias funcionales entre estos variantes. Hasta el momento, nuestro entendimiento sobre las causas de PSE en aves de corral no es suficiente para implementar programas masivos de selección como el que se usa en cerdos. Se deben realizar más

investigaciones con el objetivo a largo plazo de reducir el problema en aves. Por ahora, lo único que pueden hacer los procesadores de aves es monitorear el problema, intentar reducir los niveles de estrés durante la captura, el transporte y la descarga y modificar las condiciones de procesamiento (Barbut, 2009).

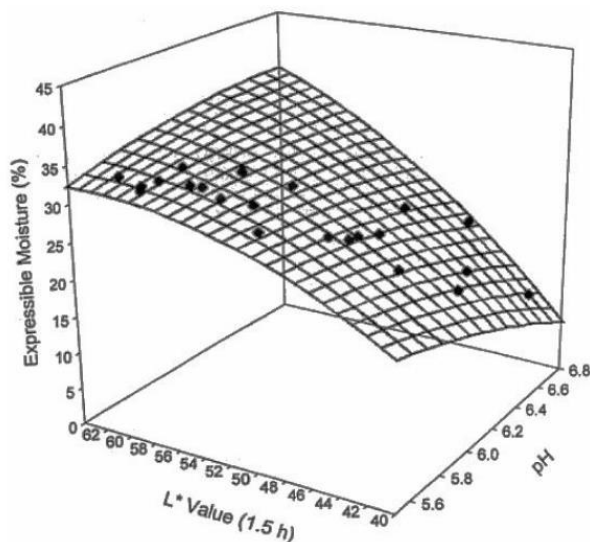


Figura 17.4.7.4 La relación entre el contenido de agua exprimible (EM), pH y valor de L^* (1.5 horas) en filetes de pechuga de pavo ($EM = 14.8935 - 0.0236 * \text{color} * \text{color} - 2.5438 * \text{pH} * \text{pH} + 0.5435 * \text{color} * \text{pH}$; $R^2 = 0.3714$; $P = 0.0001$). Cada punto representa el pH promedio y el EM para cada incremento de 1 del valor L^* . La gráfica de superficie representa los valores predichos basados en los datos crudos. De Owens et al. (2000a). Con permiso.

Como se indicó anteriormente, se ha reportado que las incidencias de PSE en aves de corral varían entre 5 y 40% (Barbut, 1998b; Petracci et al., 2009; Owens et al., 2000^a) dependiendo de la estación, la edad y el punto de corte que se usa para clasificar la carne. McCurdy et al. (1996) sugirieron un valor límite de $L^* > 50$ para carne de pechuga de pavos jóvenes debido a la mínima capacidad de retención de agua después de este punto. Owens et al. (2000a) sugieren $L > 53$ debido a las relaciones que identificaron entre el color (valor L^*), pH y contenido de agua (Fig. 17.4.7.4). Un valor límite de $L^* > 52/53$ fue sugerido para pava maduras, que presentan un color más claro en la carne de pechuga (Barbut, 1998b). Para pollos de engorde se sugirió un valor de $L^* > 49/50$ según los datos en la Figura 17.4.7.5 y la CRA correspondiente, además de los datos de pérdidas por cocción de las muestras. La Figura 17.4.7.5 muestra que la claridad del color de filetes de pechuga de pollos de

engorde puede variar entre $L^* = 41$ y $L^* = 56$, lo que representa un amplio rango de color.

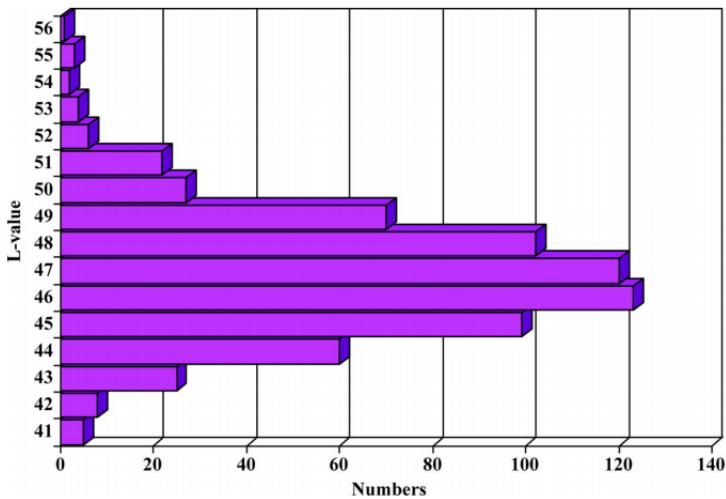


Figura 17.4.7.5 Un histograma de la distribución de valores L para el color de carne de pechuga en 700 pollos de engorde. De Barbut (1998b). Con permiso.

Cuando se trata del procesamiento adicional, puede ser un desafío manejar altos porcentajes de carne PSE. Algunos procesadores usan grandes lotes de carne no clasificada (combos) para producir ciertos productos. En el caso de un producto producido a partir de pequeños pedazos (molido/picado), esto no sería un problema grande siempre y cuando la proporción de carne PSE sea baja (p.ej., < 20%). De hecho, la mezcla de carne es una de las soluciones que se aplican para enmascarar los efectos de la carne PSE (i.e., efecto diluido). Sin embargo, en productos de pedazos de músculo entero (p.ej., pechuga de pavo asada en el horno inyectada con salmuera; ver la receta en el capítulo 13), la inclusión de carne PSE puede resultar en una liberación excesiva de agua durante la cocción. En este caso, la clasificación previa puede ser una solución. Para clasificar, es importante establecer valores límites según los requerimientos de producción (p.ej., retención de agua, textura). McCurdy et al. (1996) demostraron cómo podría hacerse esto. Publicaron una tabla con valores límites de L^* para obtener una CRA de 17, 20 y 23%. Los valores L^* correspondientes para la primavera fueron de 52.0, 50.9 y 51.3, respectivamente. También se reportaron valores para la carne producida durante las otras tres estaciones (ver la Fig. 17.4.7.3) además de valores requeridos para obtener ciertas características de textura (i.e., fuerza máxima de compresión de muestras cilíndricas de carne cocinada). El punto importante es que los procesadores de carne pueden establecer estos valores

límite según sus criterios de selección, la formulación de los productos y/o el método específico de preparación de la carne cruda (p.ej., tasa de inyección). En general, el uso de un sistema de clasificación basado en la calidad de la carne en lugar del sistema actual que se basa principalmente en factores estéticos (p.ej., decoloración de la piel, hematomas, partes faltantes) sería una buena idea para clasificar la carne según sus propiedades funcionales (p.ej., capacidad de retención de agua, textura).

Las estriaciones blancas son otro fenómeno que se puede detectar hoy en día en filetes de carne de pechuga de pollos de engorde jóvenes (i.e., en el pasado se asociaba con gallinas reproductoras mayores o pavas). El consumidor detecta la estriación en la parte anterior del filete sin piel, y su intensidad puede variar entre muestras individuales. Este problema está relacionado con la necrosis de las fibras musculares, posiblemente debido a una tasa de crecimiento rápida, un suministro inadecuado de sangre a las zonas periféricas y el relleno de espacios con grasa y tejido conectivo (Kuttappan et al., 2013).

17.4.8 Defectos en el color y otros problemas en aves y carnes rojas

La observación de un producto alimenticio es el primer paso que realiza el consumidor en el proceso de decidir. Si el consumidor decide que no le gusta el producto en esta etapa inicial, es poco lo que se puede hacer para cambiar su opinión. La industria cárnica enfrenta varios desafíos cuando se trata del color de la carne fresca y de los productos procesados. En la carne fresca, los desafíos incluyen un color demasiado claro de la carne (PSE; discutido anteriormente), un color demasiado oscuro (carne DFD), manchas de sangre y decoloración (p.ej., carne verdosa) del músculo por actividad microbiana. Además, el consumidor considera un problema la coloración desigual de pedazos de carne o de filetes empacados en una misma bandeja. En los productos cocinados, los problemas de color pueden variar desde quemaduras de nitrato hasta un color rosáceo en productos tradicionalmente blancos (p.ej., carne de pechuga de pollo). Otros problemas pueden surgir durante el tiempo de almacenamiento; por ejemplo, los colores se pueden desvanecer o se pueden producir colores desagradables por la descomposición del grupo hemo de la mioglobina o la producción de pigmentos por parte de microorganismos. En esta sección se presentan varios ejemplos seguidos por la explicación de las causas y las potenciales soluciones.

a. Hematomas y manchas de sangre –aparecen gracias a la ruptura de los vasos sanguíneos y están relacionadas con lesiones de los músculos (p.ej., dislocación de un hueso). Los hematomas grandes son recortados/removidos en la planta de procesamiento. Las lesiones pueden ocurrir en diferentes etapas de la vida del animal. Durante el periodo de crecimiento, los animales que viven en una granja se pueden lesionar por objetos puntiagudos, peleas o incluso al permanecer sentados durante mucho tiempo (pueden aparecer ampollas). Durante la captura y el transporte existe un riesgo aún más grande, incluyendo los pasos de carga y descarga (ver el capítulo 4). La susceptibilidad a las hemorragias puede aumentar si la dieta incluye alimentos mohosos que contienen micotoxinas a concentraciones de mínimo 5 ppm (Froning, 1995), y que pueden debilitar los vasos sanguíneos. No siempre es fácil determinar el momento en que ocurrió una lesión. En general, los hematomas rojos indican lesiones recientes y decoloraciones café o grises en la superficie pueden indicar lesiones más antiguas. Sin embargo, para determinar con precisión la causa de una lesión, se necesita un estudio histológico. Este proceso incluye la observación de la distribución de glóbulos rojos y blancos alrededor de la lesión (ver la discusión en el capítulo 4, incluyendo los métodos de tinción). La determinación del momento de la lesión puede facilitar la identificación y rectificación del problema. Durante el momento de lesión, varios componentes celulares son liberados al tejido y desencadenan una respuesta fisiológica o patológica incitando la inflamación del tejido o la formación de un coágulo de sangre. Durante el proceso, los factores de coagulación (p.ej., tromboplastina) pueden causar la coagulación localizada o vascular y la descomposición de las membranas celulares libera enzimas como proteasas y lipasas que desestabilizan las células.

Kranen et al (1999) reportaron el contenido de hemoglobina en músculos con diferentes tipos de lesiones. Los músculos aductores con equimosis (una mancha de sangre de varios mm cuadrados) tenían una concentración de hemoglobina entre 6.5 y 9.9 mg/g de tejido. La Tabla 17.4.4.1 indica que el nivel promedio de hemoglobina es de 0.83 mg/g (i.e., diez veces más bajo que el tejido lesionado). En el *pectineus*, las manchas de sangre (descritas por los autores como hemorragias pequeñas y rectas) contenían niveles de hemoglobina de 0.12 mg/g, mientras que en músculos sin hemorragias los niveles fueron de 0.09 mg/g (Tabla 17.4.4.1). En el *Sartorius*, se encontraron niveles de hemoglobina de 0.75 a 4.61 mg/g en músculos lesionados, a diferencia de 0.67 mg/g en músculos sin hemorragias.

Las condiciones del procesamiento como el aturdimiento eléctrico a voltajes altos también pueden aumentar la tasa de hemorragias, como se discutió en el capítulo 8. Esto puede ocurrir debido a las contracciones musculares severas o la ruptura física de vasos sanguíneos donde luego se forman manchas de sangre en un patrón aleatorio. Este tipo de problemas como las manchas de sangre en la carne fresca, se amplifican en el producto cocinado (p.ej., manchas oscuras en una pechuga de pollo blanca).

b. Oscurecimiento del hueso – A veces se detecta en animales jóvenes después de su cocción y puede ser inducido por el congelamiento de la carne. Después del descongelamiento, el músculo alrededor del hueso puede tener una apariencia oscura/sangrienta debido a que se sale parte de la médula ósea de la estructura porosa ósea. Luego, durante la cocción, el componente de hemoglobina de la médula se desnatura (ver la Fig. 17.4.4.2) y se forma una decoloración oscura. El problema se detecta comúnmente alrededor de los extremos de los huesos en la rodilla, las alas o las articulaciones de la pata. El problema es estéticamente desagradable pero no es un riesgo para la salud.

c. Decoloración por actividad microbiana (p.ej., verdoso, amarillento) – La decoloración por actividad microbiana puede ser el resultado de microorganismos descomponiendo el anillo de porfirina (hemo) de la mioglobina o produciendo pigmentos solubles en agua. Este problema en los productos no curados normalmente se desarrolla durante el periodo de almacenamiento. Un ejemplo es el crecimiento de *Streptococcus faecium* subespecie *casseliflavus* en carne empacada al vacío, que inicialmente se detecta como puntos amarillos (colonias) pero luego puede terminar cubriendo la superficie entera de la carne y adquiere la apariencia de una capa de mostaza (Fig. 17.4.8.1).



Figura 17.4.8.1 Formación de pigmento amarillo por microorganismos. Foto por S. Barbut.

Este tipo de decoloraciones le brindan una apariencia desagradable al producto y puede ser peligroso su consumo. En el caso de *Streptococci*, la contaminación normalmente ocurre después de la cocción porque el microorganismo es relativamente sensible al calor y es destruido por procedimientos normales de cocción (Whiteley y D'Sousa, 1989). El microorganismo se puede dispersar a otros empaques mediante la contaminación cruzada con equipos de troceado, la manipulación de la carne y/o el aire contaminado. A temperaturas de refrigeración, la bacteria tarda algunas semanas en crecer. La mayoría de la contaminación pos-cocción aún representa un problema de salud grande cuando involucra un patógeno como *Lysteria monocytogenes*, como ocurrió en el brote de EEUU en la década de 1990.

El color verde se ha reportado relacionado a microorganismos como *Pseudomonas fluorescense*, que crecen y producen un exudado brillante, transparente y verdoso debido principalmente a la descomposición de mioglobina. Este no es un problema común, pero ocurre con más frecuencia que el color amarillo descrito anteriormente. La apariencia verdosa a veces se confunde con un problema de iridiscencia (Swatland, 1984). Se puede distinguir este problema al rotar el producto 90°; si no desaparece el color verdoso, lo más probable es que el problema sea microbiano. Si el color desaparece, el problema está relacionado con la iridiscencia (ver la discusión más adelante).

En productos cocinados, la aparición de un “anillo verde” puede ser una indicación de un procedimiento de cocción inadecuado. Un núcleo verde en el centro de una salchicha indica que no se alcanzó la temperatura requerida de cocción y que siguen activos ciertos microorganismos capaces de descomponer el pigmento hemo. Este tipo de decoloración es irreversible (ver la Fig. 17.4.4.2). Si las zonas periféricas de una salchicha cocinada tienen una coloración verdosa, lo más probable es que la carne usada tenía una carga microbiana alta. En estos casos, los microorganismos descomponen el pigmento hemo antes del inicio de la operación de cocción.

d. Decoloración verdosa de la carne fresca durante el proceso del deshuesado – También es conocido como “la enfermedad del músculo verde” y se observa a menudo al interior de la carne de pechuga de pollo/pavo. El nombre científico es miopatía del pectoral profundo y es el resultado de la necrosis o la muerte de las fibras musculares en la parte interior del músculo en animales vivos (Sosnicki y Wilson, 1992). En el pasado se detectaba más comúnmente en pavos pesados, sin embargo, hoy

en día es un problema de los pollos de engorde jóvenes (Petracci et al., 2009). Es posible que alguna razas sean más susceptibles y que ciertas condiciones durante el crecimiento (p.ej., adelgazamiento hacia el final del periodo de crecimiento) resulten en más casos (Kijowski et al., 2014). Algunos investigadores sugieren que la selección de aves con mayor tamaño del cuerpo/músculo puede haber afectado el flujo de sangre al músculo pectoral profundo. En la línea de procesamiento, las aves afectadas normalmente presentan un hundido a un lado del pecho que, al ser cortado, revela una decoloración inicial rosada que luego (después de unos días) cambia a una decoloración verdosa. En ciertas áreas, esta zona necrótica se endurece después de llenarse de grasa y tejido conectivo, a esto se le llama el síndrome de “pecho de madera”.

e. Manchas blancas en un corte de carne fresca – Pueden aparecer después de unos días de almacenamiento refrigerado como resultado del crecimiento bacteriano sobre la superficie y en algunos casos está relacionado con un olor desagradable. Debido a que el problema resulta del crecimiento de bacterias y levaduras, el uso de un microscopio es la forma más rápida de identificar el microorganismo. Esto se puede hacer removiendo asépticamente una colonia y extendiéndola sobre un portaobjetos de vidrio. Si en el organismo se observa gemación, lo más probable es que sean células de levadura. Si son pequeños con forma de bastón, lo más probable es que sean *Lactobacilli*. Una tinción Gram puede facilitar la identificación (Russell, 2006). Durante el proceso, un saneamiento apropiado es clave para eliminar este problema. Además, la identificación del punto de contaminación es importante para solucionar el problema.

f. Iridiscencia – normalmente aparece como un color verde-naranja sobre la superficie de la carne (Figura 17.4.8.2). Puede ocurrir en rebanadas de carne fresca o cocinada y es el resultado de la separación de la luz blanca en sus diferentes componentes. El mecanismo exacto no está bien entendido, pero se sabe que ciertas estructuras musculares causan mayor difracción óptica que otros (Swatland, 1984; Lawrence et al., 2002).

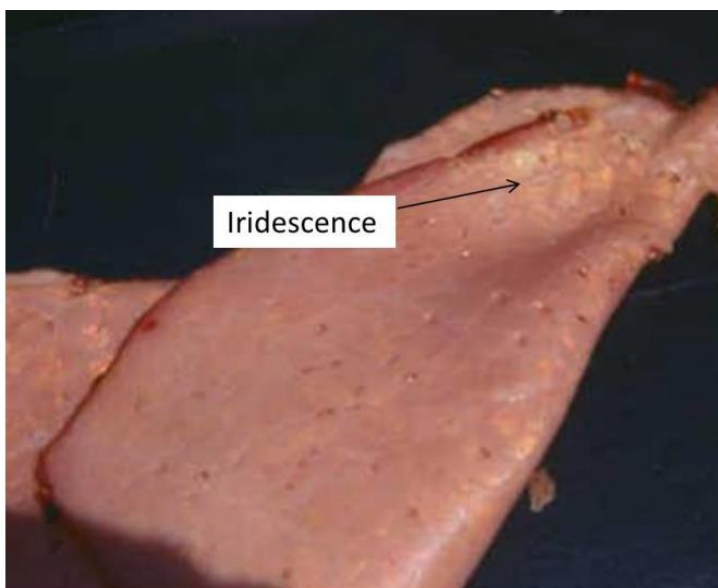


Figura 17.4.8.2 Iridiscencia en la superficie de carne curada rebanada. Foto por S. Barbut.

El procesador puede disminuir o eliminar este problema usando un cuchillo sin filo en lugar de uno afilado. Sin embargo, se recomienda usar un cuchillo afilado para mantener la alta calidad del producto y evitar rasgar la carne. El hecho de que un cuchillo sin afilar pueda eliminar el problema indica que debe existir una estructura de superficie lisa para que ocurra la iridiscencia. Algunos estudios sugieren que el uso de altos niveles de fosfatos puede agravar el problema (Wang, 1991). Se pueden utilizar herramientas científicas para evaluar el espectro de las emisiones de muestras iridiscentes donde el color verde presenta una pureza de color casi monocromática. Por el contrario, el color verde causado por la actividad microbiana presentará un espectro más amplio típico de la degradación del pigmento hemo (Swatland, 1984). Como se indicó anteriormente, distinguir entre el verde causado por microorganismos y el verde resultado de la estructura física se logra rotando el producto 90° y observando el color. Si el color desaparece, fue causado por la estructura física única de la superficie del músculo cortado.

g. Quemadura por nitrito – se observa como un color rosado intenso rodeado de áreas de un rosado más claro en un producto cárnico curado. Esto puede ser el resultado de la inyección desigual de salmuera en un producto de músculo entero (p.ej., agujas bloqueadas o una presión excesiva que causa

la distribución desigual de la salmuera). Este defecto visual se puede detectar junto con áreas que no se alcanzaron a curar o con una distribución pobre del nitrito en los productos de músculo entero y de carne molida (p.ej., las áreas sin/con poco nitrito presentan el color café típico de la desnaturalización de la mioglobina). La apariencia de quemaduras por nitrito normalmente indica que los otros ingredientes, como la sal y las especias, no están bien distribuidos. Sin embargo, lo más importante es la distribución uniforme del nitrito debido a que es un agente contra *C. botulinum*.

h. Color rosado en productos cárnicos blancos – es un fenómeno que a menudo ocurre en la carne cocinada de pechuga de aves de corral y aparece como tiras/manchas rosados o un color rosáceo general. El problema surge a partir de dos mecanismos diferentes. El primero ya se mencionó y se conoce como el rosado persistente (AMSA, 2012) y el segundo ocurre por una leve contaminación de nitrito. Estos productos normalmente son rechazados por los consumidores, que sospechan la cocción inadecuada del producto. Maga (1994) indicó que “uno de los fenómenos interesantes asociados a este problema es su incidencia esporádica y aleatoria entre carcasas procesadas aparentemente de la misma manera. Por lo tanto, para el momento en que se detecta el problema y se realizan cambios en la producción y/o el procesamiento, el problema generalmente ha desaparecido, y no se sabe cuál fue la variable responsable”. Sin embargo, como el problema suele aparecer en ciclos, es importante encontrar su causa. Holownia et al (2003) estudiaron el tema y describieron varios factores que podrían estar involucrados en la coloración causada por niveles bajos de nitrito entrando al producto y que resultan en diferentes manifestaciones del problema (p.ej., el color rosado en todo el producto, solo en las uniones de los músculos, alrededor del perímetro del producto). En la mayoría de los casos una de las causas más comunes es la contaminación con nitrito. Heaton et al. (2000) reportaron que se requiere un nivel mínimo de nitrito de 2 ppm para causar una coloración rosada detectable en rollos de carne de pechuga de pavo, de 1 ppm en pollo, de 4 ppm en cerdo y de 14 ppm en carne de res. Las fuentes del nitrito pueden ser el agua usada en la planta, la mezcla de especias, los gases del camión durante el transporte de aves vivas o los hornos de gas. El nitrito en agua puede ser un problema en ciertas zonas agrícolas (i.e., donde se utilizan fertilizantes con nitrógeno). Por lo tanto, se recomienda el monitoreo de los niveles de nitrito en la planta de manera rutinaria y, si es necesario, la instalación de filtros especiales para remover el nitrito en el agua que se utiliza para el procesamiento de productos de carne blanca.

En el caso del color rosado persistente, un factor importante puede ser el pH del sistema cárnico. Janky y Froning (1973) estudiaron el efecto del pH y de otros aditivos en la desnaturalización de la mioglobina en pavos en un sistema modelo. El tipo de derivado de la mioglobina afecta la cantidad de pigmento desnaturalizado por calor en el sistema de extracto de mioglobina. La desnaturalización aumentó cuando se disminuyó el pH utilizando el eritorbato de sodio (i.e., utilizado comúnmente como un acelerador del curado; capítulo 13). Por otro lado, el tripolifosfato de sodio aumenta la estabilidad de la mioglobina al aumentar el pH en el sistema modelo. Se creía que esto ocurría por el aumento en la polaridad de la carga del hierro en el grupo hemo. Ahn y Maurer (1990) estudiaron las reacciones formadoras de complejos hemo de la mioglobina, hemoglobina y del citocromo C (peso molecular de alrededor de 12,500 Da con una estructura similar a la mioglobina). Reportaron que los ligandos presentes naturalmente como la histidina, cisteína, metionina o sus cadenas laterales formaban complejos proteicos solubilizados con la hemoglobina. También reportaron que fue favorable un pH alto (> 6.4) para las reacciones formadoras de complejos hemo de la mioglobina y de la hemoglobina con la mayoría de los ligandos presentes naturalmente (histidina, cisteína, metionina, nicotinamida y proteínas solubilizadas).

Los aditivos como la sal, los fosfatos y la leche deshidratada sin grasa también pueden afectar la coloración rosada. Se ha reportado que una adición de 2.5% de sal disminuye significativamente la estabilidad térmica de la mioglobina y de la hemoglobina a 68 y 74°C, respectivamente, a medida que aumenta la estabilidad térmica del citocromo C (Slesinski et al., 2000; Ahn y Maurer, 1989). La sal de tripolifosfato de sodio (0.5%) agregada a la carne calentada a 68, 74, 80 y 85°C, aumentó la estabilidad térmica de la mioglobina pero disminuyó la estabilidad térmica del citocromo C gracias al aumento en pH. La dextrosa aumentó la estabilidad de la hemoglobina a 68°C y del citocromo C a 85°, pero no de la mioglobina. En general, los autores indican que la adición de sal y fosfatos disminuye los potenciales de oxidación-reducción y que estos cambios podrían tener un efecto fuerte sobre la coloración rosada de la carne de pechuga de pavo, particularmente si el potencial de oxidación-reducción de la carne es de +90 mV o -50 mV. Dobson y Cornforth (1992) reportaron que la decoloración rosácea en rollos de carne de pavo se puede prevenir mediante la adición de 3% de sólidos de leche deshidratada. Indicaron que los sulfhidrilos reactivos u otras cadenas laterales proteicas en la leche en polvo sin grasa pueden aumentar el potencial de oxidación-reducción, previniendo de esta manera la formación de complejos entre el hemo y las proteínas desnaturalizadas. También

indicaron que los micelos de caseína en la leche en polvo podrían proteger los pigmentos cárnicos.

Froning (1995) y luego Holownia et al. (2003) indicaron que las temperaturas y el tiempo de cocción también juegan un papel principal en la coloración rosada (determinan la cantidad de pigmento no desnaturalizado presente en la carne cocinada). Los resultados de investigaciones en carnes rojas y de aves de corral indican que el pigmento no desnaturalizado en la carne cocinada es mayoritariamente oximioglobina. La cocción de rollos de pavo a diferentes temperaturas finales utilizando un horno giratorio demostró que los problemas de coloración rosada aumentan cuando la temperatura final es $< 71^{\circ}\text{C}$. Normalmente, la temperatura final debe superar los 71°C (p.ej., la USDA requiere una temperatura mínima de 71.2°C en productos de carne avícola completamente cocinados para la destrucción de los patógenos), pero las temperaturas de procesamiento podrían caer por debajo de este punto si no se monitorean cuidadosamente. Froning (1995) también reportó un problema con la aparición de pigmento rosado regenerado después de 2 horas de la cocción de las muestras de carne. En este caso, la oximioglobina fue identificada como la causa principal del color.

i. Desvanecimiento del color – resulta en una carne amarilla sin color y puede ocurrir si la carne está expuesta a luz intensa que oxida el anillo de porfirina en el pigmento cárnico (ver la Fig. 17.4.4.2). El problema normalmente es más fuerte en productos cocinados, envasados en empaques transparentes exhibidos en vitrinas. Ciertas fuentes de luz tienen una proporción alta de luz UV (p.ej., fluorescente; ver la discusión inicial de este capítulo), se sabe que son más dañinos para el color y causan un desvanecimiento más rápido que otras fuentes de luz (p.ej., incandescente). En general, los productos cárnicos se vuelven más claros (valor más altos de L^*) y menos rojos debido a la oxidación parcial del pigmento cárnico.

Para minimizar este problema, los vendedores pueden rotar los paquetes exhibidos, utilizar una película especialmente diseñada para bloquear luz UV o utilizar un material de empaque opaco con o sin una pequeña ventana. Esta última solución no siempre funciona si el consumidor está acostumbrado a visualizar el producto entero. La protección del pigmento de la carne curada también se puede lograr mediante la remoción del oxígeno del empaque y/o el uso de antioxidantes. La vitamina E es un antioxidante natural, común y se puede incorporar a la dieta del animal sin tener que usar un etiquetado especial. La vitamina E se encuentra en diferentes plantas donde su función es proteger la planta de la oxidación. Varios investigadores han reportado un

efecto positivo de la vitamina E sobre la preservación del color y del sabor, y sobre la minimización de la formación de sabores desagradables por la oxidación lipídica de la carne (Sheldon et al., 1997).

j. Quemadura por congelación – aparece como un área blanca grisácea causada por la pérdida de agua (p.ej., deshidratación por congelación) de la superficie de carne descubierta. La deshidratación causa la desnaturalización de proteínas y la decoloración. El problema puede resultar del uso inapropiado del material de empaque o de la presencia de huecos en el material. Además de la decoloración, la carne afectada es seca, sin sabor y presenta una ranciedad oxidativa (descrita por consumidores como un sabor a viejo/rancio). Normalmente el color se vuelve gris amarillento con un valor b^* mucho más alto en comparación con el producto crudo. El valor a^* también puede aumentar en un 50%, probablemente como resultado de la concentración del pigmento cárnico. Las características físicas del material de empaque son muy importantes. En general, la película debe ser impermeable al agua y flexible para que pueda entrar en contacto cercano con la carne (p.ej., el envasado al vacío es muy popular en la industria cárnica). Es importante tener un empaque apretado porque evita la evaporación de agua o la acumulación de hielo dentro de la bolsa. También garantiza un congelado más rápido al eliminar el aire aislante.

k. Apariencia babosa – puede aparecer en la superficie del producto y es el resultado de microorganismos capaces de producir cadenas de polímeros de carbohidratos para protegerse (ver también el capítulo 15). Entre los microorganismos que se pueden aislar en estos casos están las bacterias ácido lácticas del género *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Weissella* y *B. thermosphacta*. La formación de la baba ocurre más que todo sobre superficies húmedas y normalmente se limita a las superficies/tripas externas (Jay et al., 2005). Por lo tanto, los productores de productos cocinados agregan ingredientes, como la proteína del suero, para atrapar la humedad y prevenir exudados en el empaque. Esto es especialmente importante en los productos envasados al vacío donde existe una fuerza física que extrae el agua del producto.

l. Coloración verde en productos curados – normalmente está causada por la producción de H_2O_2 H_2S en productos cocinados. En productos cocinados, los dos químicos pueden interactuar con el nitrosohemocromo y oxidar los anillos de porfirina, cambiando el color de rosado a verde. Como se indicó anteriormente, para productos no curados, el verde puede aparecer como un núcleo verde en la superficie o a través de todo el producto. Un núcleo verde

puede aparecer al cortar y exponer al aire un producto almacenado aeróbicamente. Normalmente indica una temperatura de cocción inapropiada donde no se alcanzó la temperatura interna deseada y sobrevivieron los microorganismos capaces de producir H_2O_2 o H_2S . Un anillo exterior verde indica altos niveles de contaminación de la superficie o la envoltura (tripas) de la carne. Algunos de los microorganismos más comunes que producen H_2O_2 en carnes procesadas son *Weissella viridescens*, *Leuconostocs*, *Enterococcus faecium* y *Enterococcus faecalis*.

La coloración verdosa en la carne envasada al vacío almacenada a temperaturas de refrigeración normalmente es el resultado de la producción de H_2S , donde el H_2S reacciona con la mioglobina para formar sulfmioglobina. El principal microorganismo responsable de esto es *Pseudomonas mephitica*. El H_2S normalmente se forma a partir de la degradación del aminoácido cistina, que contiene sulfuro. El color verde generalmente aparece cuando los microorganismos alcanzan $10^7/cm^7$ (Jay et al., 2005). Como se indicó anteriormente, también se han reportado manchas verdes internas en la carne fresca de pavos. Sin embargo, en este caso, el problema ocurre por la miopatía de músculo profundo causada por la muerte de las fibras musculares en esta zona, y no está relacionado con bacterias de descomposición. Este problema está asociado al crecimiento rápido del músculo del pecho en los pavos actuales y un suministro sanguíneo inapropiado.

m. Olores desagradables – El deterioro de productos cárnicos envasados al vacío y la producción de olores, sabores y colores desagradables normalmente es el resultado de metabolitos producidos por microorganismos. Los ácidos grasos de cadenas largas que se separan en cadenas más cortas pueden ser los subproductos de la actividad de *Lactobacilli* y *B. thermosphacta*, lo que resulta en olores desagradables. Se ha reportado que la acetona y el diacetil son los compuestos principales responsables del olor desagradable de las carnes frías envasadas en vacío. En productos frescos envasados al vacío, la producción de olores sulfúricos puede ser el resultado de la actividad de *Pseudomonas* y *H. alvei*. El olor sulfúrico se hace evidente cuando el número de microorganismos alcanza $10^7 - 10^8/cm^2$, que normalmente indica una proteólisis extensiva por parte de los microorganismos que utilizan aminoácidos como su fuente de energía. La formación de baba también es evidente, como se discutió en la sección anterior. Jay et al. (2005) estudiaron algunos de los volátiles producidos por bacterias que causan la descomposición de pollo fresco e irradiado. Ellos

identificaron el dimetil disulfuro, metil mercaptano, H_2S , metanol y etanol como los compuestos principales.

El deterioro de productos avícolas cocinados y procesados puede ser el resultado de altas cargas microbianas en la carne fresca, en las especies o en las tripas utilizadas (especialmente tripas naturales). Si se utilizan procedimientos de producción inadecuados (p.ej., temperatura cálida), la vida útil se puede acortar significativamente. Algunos ejemplos de bacterias que contribuyen al olor pútrido incluyen *Pseudomonas* y bacterias acidolácticas (ver los párrafos anteriores).

n. Acidificación (agriada)- puede ocurrir en carnes cocinadas almacenadas debido al crecimiento de *Lactobacilli*, *B. thermosphacta* y *Enterococci* que son capaces de fermentar diferentes azúcares (normalmente agregados al producto como ingredientes de leche o azúcar). Los microorganismos utilizan los carbohidratos como una fuente de energía y los convierten en ácidos que agrian la carne. Los productos cárnicos procesados normalmente contienen una microflora variada por las diferentes especies de bacterias y los diferentes ingredientes no-cárnicos. Por lo tanto, si no se aplica un saneamiento, control de calidad, cocción y enfriamiento adecuado, pueden surgir una variedad de problemas.

o. Producción de gas – la producción de gas en rebanadas de carne envasadas al vacío normalmente es el resultado del crecimiento de bacterias del género *Clostridium* en el producto. La carne en este caso no es seguro para el consumo humano. El gas principal el CO_2 , un gas soluble en agua y liposoluble que tiene un efecto bacteriostático. En un sistema cárnico empacado, ocurre la siguiente reacción química:



La proporción de ácido carbónico que se produce en la carne almacenada está relacionada a factores como la temperatura y el pH (Jay et al., 2005).

Referencias

- Aberle, E.D., J.C. Forrest, D.E. Gerrard and E.W. Mills. 2001. Properties of Meat. In: Principals of Meat Science. Kendall Hunt Pub., Dubuque, IA, USA.
- Ahn, D.U. and A.J. Maurer. 1990. Poultry meat colour: pH and the heme-complex forming reaction. *Poultry Sci.* 69:2040.
- Ahn, D.U. and A.J. Maurer. 1989. Effects of sodium chloride, phosphate and dextrose on the heat stability of purified myoglobin, hemoglobin and cytochrome c. *Poultry Sci.* 68:1218.
- AMSA. 2012. Meat Color Measurement Guidelines. American Meat Sci Assoc. <http://www.meatscience.org/>.
- Andersson, A., K. Andersson and E. Tornberg. 2000. A comparison of fat holding between beef burgers and sausages. *J. Sci. Food Agric.* 80:555.
- Anonymous. 1989. Precise color communication. Minolta Co., Ramsey, NJ, USA.
- Barbut, S. 2009. Pale, soft, and exudative poultry meat—reviewing ways to manage at the processing plant. *Poultry Sci.* 88(7):1506.
- Barbut, S., A.A. Sosnicki, S.M. Lonergan, T. Knapp, D.C. Ciobanu, L.J. Gatcliffe, E. Huff-Lonergan and E.W. Wilson. 2008. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Sci.* 79:46.
- Barbut, S. 2001. Acceptance of fresh chicken meat presented under three light sources. *Poultry Sci.* 80:101.
- Barbut, S. 1998a. Use of fiber optic probe to predict meat emulsion breakdown. *Ital. J. Food Sci.* 10:253.
- Barbut, S. 1998b. Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. *J. Muscle Food* 9:35.
- Barbut, S. 1996. Determining water and fat holding. In: *Methods of Testing Protein Functionality*. Hall, G.M. (Ed). Blackie Academic Press, New York, NY, USA.

- Bendell, J.R. and H.J. Swatland. 1988. A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. *Meat Sci.* 24:85.
- Bertram, H.C., Z. Wu, F. van den Berg and H.J. Andersen. 2006. NMR relaxometry and differential scanning calorimetry during meat cooking. *Meat Sci.* 74(4):684.
- Bertram, H.C., S. Dønstrup, A.H. Karlsson and H.J. Andersen. 2002. Continuous distribution analysis of T₂ relaxation in meat—an approach in the determination of water-holding capacity. *Meat Sci.* 60(3):279.
- CIE. 1976. Commission International de l'Eclairage. Supplement No.2 to
- CIE Publication. 15 (E-1.3.1), 1971/(tc-1-1). Recommendations on uniform color spaces - color differences - equations. *Psychometric Color Terms*. CIE, Paris. <http://www.hunterlab.com/images/NEW-Lab-Chart-Web.jpg>. Accedido en Diciembre 2012.
- Dobson, B.N. and D.P. Cornforth. 1992. Non-fat dry milk inhibits pink discoloration in turkey rolls. *Poultry Sci.* 71:1943.
- Fennema, O.R. 1985. Water and ice. In: *Food Chemistry*. Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA.
- Fletcher, D.L. 1999a. Poultry meat color. In: *Poultry Meat Science Symposium*. Richardson, R.I. and G.C. Mead (Eds). CABI Publ., Oxfordshire, UK.
- Fletcher, D.L. 1999b. Color variation in commercially packaged broiler breast fillets. *J. Appl. Poultry Res.* 8:67.
- Froning, D.L. 1995. Color of poultry meat. *Poultry and AvianBio Rev.* 6:83.
- Gordon, A. and S. Barbut. 1992. Effect of chemical modification on the microstructure of cooked meat batters microstructure. *Food Struct.* 11:133.
- Gordon, A. and S. Barbut. 1990. The role of the interfacial protein film in meat batter stabilization. *Food Microstruc.* 9:77.
- Gronert, G.A. 1980. Malignant hyperthermia. *Anesth.* 53:395.

- Hamm, R. 1960. Biochemistry of meat hydration. *Adv. Food Res.* 10:355.
- Heaton, K.M., D.P. Cornforth, I.V. Moiseev, W.R. Egbert and C.E. Carpenter. 2000. Minimum sodium nitrite levels for pinking of various cooked meats as related to use of direct or indirect-dried soy isolates in poultry. *Meat Sci.* 55:321.
- Hermansson, A.-M. 1986. Water and fat holding. In: *Functional Properties of Food Macro-Molecules*. Mitchell, J.R. and D.A. Ledward (Eds). Elsevier Applied Science, London, UK.
- Hermansson, A.-M. and M. Lucisano. 1982. Gel characteristics - water binding properties of blood plasma gels and methodological aspects on the water binding of gel systems. *J. Food Sci.* 47:1955.
- Holownia, K., M.S. Chinnan and A.E. Reynolds. 2003. Pink color defect in poultry white meat as affected by endogenous conditions. *J. Food Sci.* 68:742.
- Honikel, K.O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49(4):447.
- Honikel, K.O. and R. Hamm. 1994. Measurement of water-holding capacity, and juiciness. In: *Advances in Meat Research* (9:125). Pearson, A.M. and T.R. Dutson (Eds). Blackie Academic and Professional, Glasgow, Scotland, UK.
- Huff-Lonergan, E. and S.M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71(1):194.
- Janky, D.M. and G.W. Froning. 1973. The effect of pH and certain additives on heat denaturation of turkey meat myoglobin. 1. Model system. *Poultry Sci.* 52:152.
- Jay, J.M., M.J. Loessner and D.A. Golden. 2005. *Modern Food Microbiology* Springer, New York, NY, USA.
- Kijowski, J., E. Kuپیńska, J. Stangierski, J. Tomaszewska-Gras and T. Szablewski. 2014. Paradigm of deep pectoral myopathy in broiler chickens. *World's Poult. Sci. J.* 70(1):125.

- Kinsella, J.E., D.M. Whitehead, J. Brady and N.A. Bringe. 1989. Milk proteins: possible relationships of structure and function. In: Developments in Dairy Chemistry - 4. Functional Milk Proteins. Fox, P.F. (Ed). Elsevier Applied Science, London, UK.
- Kocher, P.M. and E.A. Foegeding. 1993. Microcentrifuge-base method for measuring water holding of protein gels. J. Food Sci. 58:1040 .
- Kranen, R.W., T.H. Van Kuppevelt, H.A. Goedhart, C.H. Veerkamp, E. Lambooy and J.H. Veerkamp. 1999. Hemoglobin and myoglobin content in muscles of broiler chickens. Poultry Sci. 78:467.
- Kuttap pan, V.A., V.B. Brewer, A. Mauromoustakos, S. R. McKee, J.L. Emmert, J.F. Meullenet, and C. M. Owens. 2013. Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. Poultry Sci. 92:811.
- Lawrence, T., M.C. Hunt and D.H. Kropf. 2002. Surface roughening of pre-cooked, cured beef round muscles reduces iridescence. J. Muscle Foods. 13:69.
- Maga, J.A. 1994. Pink discoloration in cooked white meat. Food Rev. Int. 10:273.
- Mancini, R.A. and M.C. Hunt. 2005. Current research in meat color. Meat Sci. 71(1):100.
- Maurer, A.J., R.C. Baker and D.V. Vadehra. 1969. Kind and concentration of soluble protein extract and their effect on the emulsifying capacity of poultry meat. Food Technol. 23:575.
- McCurdy, R., S. Barbut and M. Quinton. 1996. Seasonal effects on PSE in young turkey breast meat. Food. Res. Int. 29:363.
- Mohsenin, N.N. (Ed). 1986. Retention of water in food and agricultural materials. In: Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach, New York, NY, USA.
- Offer, G. 1991. Modeling the formation of pale, soft, and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. Meat Sci. 30:157.

- Offer, G. and J. Trinick. 1983. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Sci.* 8(4):245 .
- Olsson, A. and E. Tornberg. 1991. Fat holding in hamburgers as influenced by the different constituents of beef adipose tissue. *Food Struct.* 10:333.
- Oroszvári, B., E. Bayod, I. Sjöholm, and E. Tornberg. 2006. The mechanisms controlling heat and mass transfer on frying of beefburgers in a double-sided pan fryer. *Ind. Aliment. Agric.* 123:18.
- Owens , C.M., E.M. Hirschler, S.R. McKee, R. Martinez-Dawson and A.R. Sams. 2000a. The characterization and incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant. *Poultry Sci.* 79:553.
- Owens , C.M., N.S. Matthews and A.R. Sams. 2000b. The use of halothane gas to identify turkeys prone to developing pale, exudative meat when transported before slaughter. *Poultry Sci.* 79:789.
- Pearce, K.L., K. Rosenvold, H.J. Andersen and D.L. Hopkins. 2011. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality – a review. *Meat Sci.* 89:111.
- Petrac ci, M., M. Bianchi and C. Cavani. 2009. The European perspective on pale, soft, exudative conditions in poultry. *Poultry Sci.* 88:1518.
- Pietrzak, M., M.L. Greaser, and A.A. Sosnicki. 1997. Effect of rapid rigor mortis processes on protein functionality in pectoralis major muscle of domestic turkeys. *J. Anim. Sci.* 75:2106.
- Price, J.F. and B.S. Schweigert. 1987. *The Science of Meat and Meat Products*. Food and Nutrition Press, Westport, CN, USA.
- Prieto, N., R. Roche, P. Lavin, G. Batten and S. Andres. 2009. Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality. A review. *Meat Sci.* 83:175.
- Puolanne, E. and M. Halonen. 2010. Theoretical aspects of water-holding in meat. *Meat Sci.* 86(1):151.
- Russell, S.M. 2006. Premature spoilage of breast fillets due to white spots. *Poult. USA Mag.* 4:15.

- Seyfert, M., R.A. Mancini and M.C. Hunt. 2004. Internal premature browning in cooked ground beef from high oxygen modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.* 69(9):721.
- Sheldon, B.W., P.A. Curtis, P.L. Dawson and P.R. Ferket. 1997. Effect of dietary vitamin E on the oxidative stability, flavour, color and volatile profiles of refrigerated and frozen turkey breast meat. *Poultry Sci.* 76:634.
- Slesinski, A.J., J.R. Claus, C.M. Anderson-Cook, W.E. Eigel, P.P. Graham, G.E. Lenz and R.B. Noble. 2000. Ability of various dairy proteins to reduce pink color development in cooked ground turkey breast. *J. Food Sci.* 65:417.
- Sosnicki, A.A. and B.W. Wilson. 1992. Relationship of focal myopathy of turkey skeletal muscle to meat quality. *Proc. XIX Worlds Poultry Congress, Amsterdam, Netherlands.* 3:43.
- Strasburg, G.M. and W. Chiang. 2009. Pale, soft, exudative turkey—The role of ryanodine receptor variation in meat quality. *Poultry Sci.* 88:1497.
- Suman, S.P., M.C. Hunt, M.N. Nair and G. Rentfrow. 2014. Improving beef color stability: Practical strategies and underlying mechanisms. *Meat Sci.* 98:490.
- Swatland, H.J. 2008. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Sci.* 80:396.
- Swatland, H.J. and S. Barbut. 1995. Optical prediction of processing characteristics of turkey meat using UV fluorescence and NIR birefringence. *Food Res. Intern.* 28:227.
- Swatland, H.J. 1995. *On-Line Evaluation of Meat.* Tecomic, Lancaster, PA, USA.
- Swatland, H.J. and S. Barbut. 1991. Fluorimetry via a quartz-glass rod for predicting the skin content and processing characteristics of poultry meat slurry. *Int. J. Food Sci. Technol.* 26:373.
- Swatland, H.J. and S. Barbut. 1990. Fibre-optic spectrophotometry for predicting lipid content, pH and processing loss of comminuted meat slurry. *Int. J. Food Sci. Technol.* 25:519.

- Swatland, H.J. 1989. A review of meat spectrophotometry (300 to 800 nm). Can. Inst. Food Sci. & Technol. J. 22:390.
- Swatland, H.J. 1984. Optical characteristics of natural iridescence in meat. J. Food Sci. 49:685.
- Tornberg, E. 2013. Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. Meat Sci. 95:871 .
- Trout, G.R. 1988. Techniques for measuring water binding capacity in muscle foods - a review of methodology. Meat Sci. 23:235.
- Wang, S.F. and D.M. Smith. 1992. Functional properties and microstructure of chicken breast salt soluble protein gels as influenced by pH and temperature. Food Struct. 11:273.
- Wang, H. 1991. Causes and solutions of iridescence in pre-cooked meat. Ph.D. Dissertation. Kansas State Univ.
- Wardlaw, F.B., L.H. McCaskill and J.C. Acton. 1973. Effect of postmortem muscle changes on poultry meat loaf properties. J. Food Sci. 38:21.
- Whiteley, A.M. and M.D. D'Souza. 1989. A yellow discoloration of cooked meat products: Isolation and characterization of the causative organism. J. Food Protect. 52:392.
- Whiting, R.C. 1987. Influence of lipid composition on the water and fat exudation and gel strength of meat batters. J. Food Sci. 52:1130.
- Wierbicki, E., L.E. Kunkle and F.E. Deatherage. 1957. Changes in the water holding capacity and cationic shifts during the heating and freezing and thawing of meat as revealed by a simple centrifugal method for measuring shrinkage. Food Technol. 11:69.
- Youssef, M.K., and S. Barbut. 2011. Fat reduction in comminuted meat products-effects of beef fat, regular and pre-emulsified canola oil. Meat Sci. 87:356.
- Zayas, J.F. 1996. Functionality of Proteins in Food. Springer Pub., New York, NY, USA.

Zhang, M., G.S. Mittal and S. Barbut. 1995. Effect of test conditions on the water holding capacity of meat by a centrifugal method. Food Sci. Technol. 28:50.

Zhang, M., G.S. Mittal and S. Barbut. 1993. Optimum conditions to measure water holding capacity of beef products by press method. J. Muscle Food 4:255.