

# Evaluación instrumental de la calidad de la carne porcina

E. Novelli. E. Campesato. G. Campanini. G. Dazzi. G. Madarena. A. Badiani (\*). R. Chizzolini

Las características cualitativas de la carne pueden variar notablemente en función de las diferentes fases productivas y del destino. Pero aparte de esta variabilidad, en Italia se entiende fundamentalmente por calidad de aptitud de la carne a la transformación en productos típicos. ¿Con qué criterios? La investigación de los últimos años está empeñada en identificar parámetros objetivos para la estandarización de esta calidad.

La necesidad de una evaluación objetiva y rápida, además de precoz, de la calidad de la carne porcina es particularmente sentida hace algunos años donde quiera que la producción de esta carne haya asumido connotaciones industriales. Las características cualitativas de interés pueden variar notablemente en función de los momentos individuales productivos (cría, sacrificio, consumo, transformación) y del destino (consumo fresco, transformación en productos crudos o cocidos), tal como se ha discutido ampliamente en una reciente conven-

ción (Actas de la Convención «Calidad de la Canal y de la Carne Porcina», Reggio Emilia, 1988).

Por encima de la gran variabilidad y contraste de intereses está el hecho de que, a nivel nacional al menos, la mayor parte de la carne porcina producida (cerdo de engorde) está todavía destinada a la transformación de productos típicos, como por ejemplo el jamón serrano, o en productos de un cierto prestigio como es el caso del jamón cocido de calidad. De esto se deduce que por calidad se entiende en Italia principalmente la aptitud que la misma presenta para ser transformada (calidad tecnológica).

Normalmente esta aptitud es evaluada subjetivamente de un modo empírico por técnicos de matadero o de

fábrica de embutidos, sobre la base de la experiencia de los mismos madurada en años de trabajo. Esto conlleva la posibilidad de juicios a veces muy diversos, en función, no sólo de los evaluadores individuales, sino también de las fases del mercado y de la política productiva del establecimiento.

El poder efectuar una evaluación objetiva de los parámetros de calidad de interés permitiría una elección razonada en lo concerniente a la utilización de las carnes en función de sus características intrínsecas. Así mismo podría permitir una mayor clarificación en las transacciones comerciales y ofrecer la posibilidad, en el caso de que se presentase la oportunidad, de incentivar la producción de calidad en los diferentes niveles de la cadena productiva.

Los autores pertenecen al Instituto de Inspección de los alimentos de origen animal. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de los Estudios de Parma.

(\*) Instituto de Suministros Anonarios. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de Bolonia.

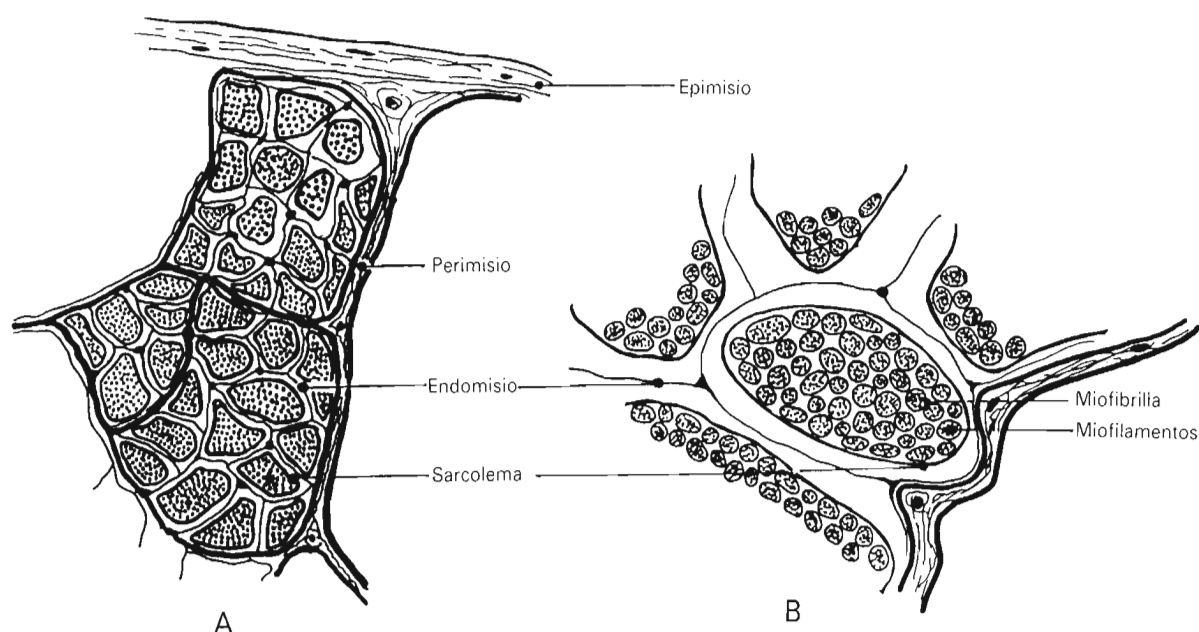


Fig. 1. Representación esquemática en sección transversal de la estructura de los músculos (por Price y Schweigert, 1971). A. Epimisio que envuelve el músculo entero; perimisio, que agrupa un haz de fibras; endomisio, que reviste la fibrocélula individual muscular. B. Fibrocélula muscular con sarcolema, miofibrillas y miofilamentos.

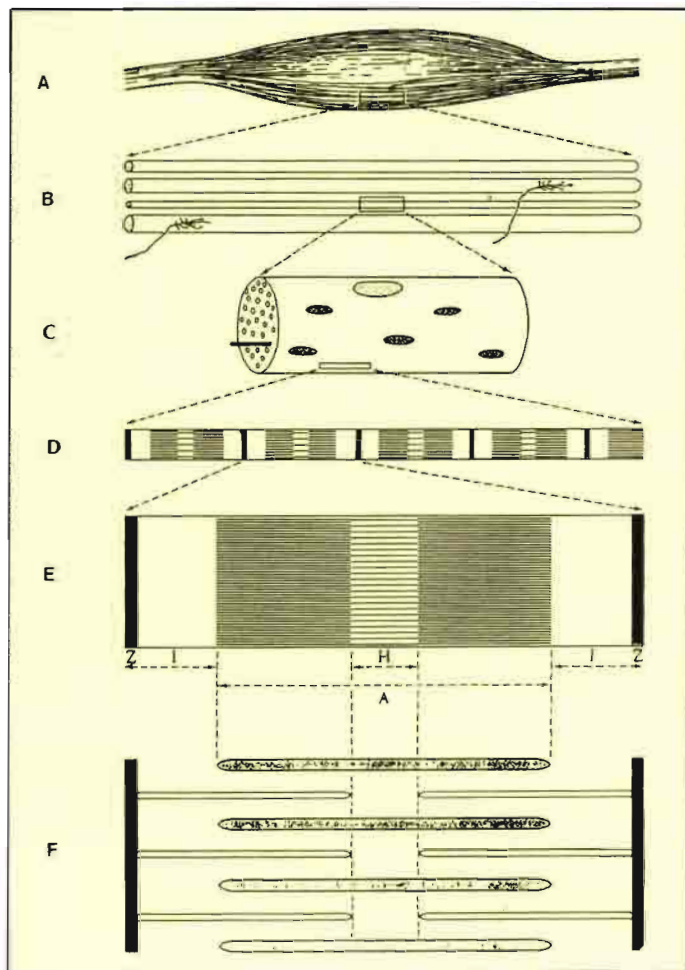


Fig. 2. Representación esquemática en sección longitudinal de la estructura anatómica de los músculos (por Price y Schweigert, 1971): A. Músculo. B. Fibrocélula muscular. C. Fibrocélula muscular. D. Miofibrilla. E. Sarcómero. F. Miofilamentos de actina (finos) y de miosina (gruesos).

Fig. 3. Fibre Optic Probe (FOP).

Las investigaciones en este campo son actualmente muy intensas, tanto en sentido general con el fin de poner a punto técnicas de evaluación objetiva, como en sentido particular, lo que significa estudios de métodos específicos utilizables para un juicio de calidad de las carnes del cerdo de engorde. En este contexto es actualmente inevitable el recurso a técnicas puestas a punto, o propuestas, en los países del Norte de Europa, donde la utilización de la carne porcina es diversa y en los cuales, todavía, los problemas de calidad de la carne se identifican en las bien conocidas PSE y DFD. La incidencia de estos fenómenos en el cerdo de engorde, sin embargo, no parece ser relevante, mientras que la tendencia al empleo de nuevas razas y/o cruzamientos, que respecto a las razas tradicionales están caracterizadas por un crecimiento más rápido y menor formación de grasa, está creando problemas de tipo tecnológico. Estos, a nivel empírico, se atribuyen a algunas características de la carne fresca, no siempre simultáneamente presente, como un color

más claro, un pH final muy próximo o inferior a 5,5 y un cierto grado de acuosidad de las superficies musculares descubiertas.

El objetivo de las investigaciones emprendidas ha sido el de efectuar una serie de determinaciones instrumentales diversas, pero utilizadas o propuestas por más partes, para la evaluación objetiva y en línea con la calidad de la carne porcina.

Las técnicas (pH, dispersión de la luz, propiedades eléctricas, color) han sido elegidas según criterios de complementariedad.

El pH constituye, en este contexto, el parámetro de referencia y está justificado por el hecho de que ha sido estudiado y utilizado como clave de lectura de la glicólisis muscular *post mortem* y de los fenómenos anormales de tipo cualitativo a ésta ligados (PSE, DFD). Las relaciones existentes entre esta medida y capacidad de fijar el agua, color, capacidad de absorber la sal, etc., están fuera de discusión (Hofman, 1988).

Las medidas de dispersión de la luz

y las relativas a las propiedades eléctricas evalúan algunos aspectos de tipo físico-químico de la fibromolécula muscular. Estas parecen estar ligadas a parámetros muy importantes en el plano tecnológico, como la capacidad de retener el agua, la desnaturalización de las proteínas musculares y la integridad de las membranas musculares. El color de las carnes es considerado como un parámetro importante a nivel de evaluación sensorial rutinaria en los establecimientos de transformación. Se considera, en efecto y no sin fundamento, que las carnes más claras son tendencialmente poco adecuadas para la producción de embutidos de valor.

### PRESENTACION DE LAS METODOLOGIAS UTILIZADAS

La determinación del pH en el contexto de la evaluación de la calidad de la carne porcina no necesita ciertamente de introducción. En efecto, desde finales de los años 50 —inicio de los años 60, con la clarificación de los fenómenos PSE y DFD, la validez y el significado de la medida del pH a 45' y a 24-48 horas *post mortem* no han sido jamás puestos en duda.

A nivel nacional, sin embargo, ni la miositis exudativa (PSE) ni las carnes alteradas (DFD) han alcanzado nunca niveles de incidencia significativos dentro de la población del cerdo de engorde. Esto se debe, sobre todo, a

# RPN-Genetic International GmbH

D-2810 Verden/Aller · Lindhooper Straße 110 · Telefon: +49 (4231) 6720 · Telefax +49 (4231) 67280

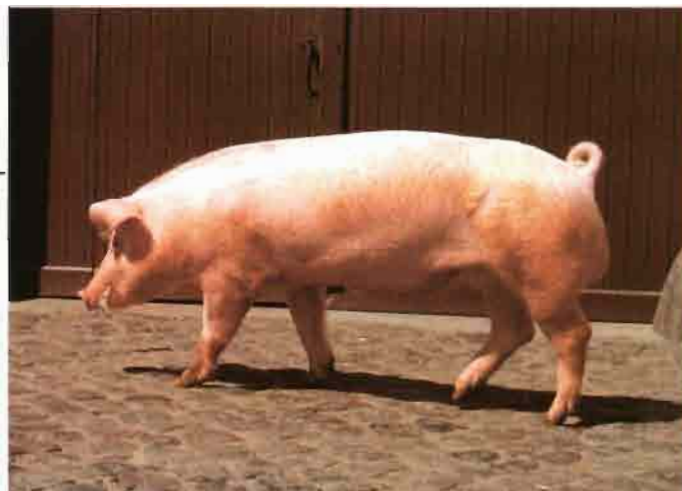
**Heino Rohmeier**

## Cerdos de Cría de Raza Pura de Proveniencia Alemana

### LANDRAZA ALEMANA "S"

- Resistente al estrés cardíaco
- alta prolificidad
- alta eficiencia biológica

- Línea madre



### VERRACOS CRUZADOS

(HAMSHIRE X PIETRAIN) (HAMSHIRE X LB)

- Verracos modernos, robustos
- Y con buen rendimiento en canal

- Optima calidad de la carne



### LARGE WHITE

- aplomos muy correctos,
- máxima velocidad de crecimiento

- Línea madre



### PIETRAIN

- máximo rendimiento en canal

### LANDRAZA BELGA

- excelente índice de conversión
- óptimos rendimientos en canal

## REPRESENTANTE:

Jose Ignacio Gil Salvador  
Crianza Camarma, S.A.  
C/ de Valdeavero, s/n.  
16 CAMARMA DE  
ESTERUELAS,  
Madrid  
Tel.: (91) 8857034

José Pombo Farina  
Vázquez de Parga, 9-4.  
Carballo (La Coruna)  
Tel.: (981) 754791



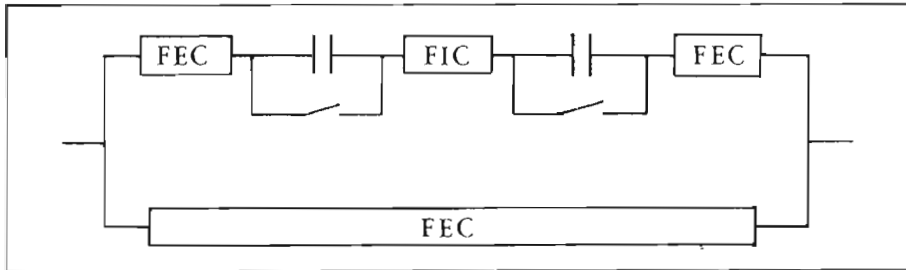


Fig. 4. Representación esquemática de la relación/separación entre los fluidos extracelulares (FEC) e intracelulares (FIC) a través de la membrana celular.

que el tipo genético tradicionalmente empleado (Landrace y Large White) no está predispuesto a los fenómenos exudativos. Añádase a esto que el sacrificio del cerdo de engorde sucede a una edad relativamente elevada (respecto al cerdo ligero), con el consiguiente mayor nivel de maduración fisiológica; el estado de nutrición es de ordinario óptimo y las manipulaciones asociadas al transporte y al almacenaje tienen consecuencias limitadas. Estas realidades hacen que raramente se manifiesten casos de carnes DFD.

El diagnóstico de los fenómenos PSE y DFD permanece ligado a la determinación del pH, todavía considerado como parámetro básico en este contexto. Sin embargo, mientras que el valor umbral discriminante entre carnes normales y carnes DFD ha permanecido invariable a  $\text{pH} > 6,2$  a 24-48 h *post mortem*, en lo referente a las carnes PSE el límite de pH a 45', inicialmente puesto en  $< 6,20$ , después bajado a  $< 6,00$ , ha sido colocado hace algunos años en  $< 5,80$  (Schmitt *et al.*, 1983).

En los últimos tiempos la importancia relativa de los dos fenómenos (PSE y DFD) está disminuyendo, incluso en países en los que representaban tradicionalmente un gran problema, especialmente el PSE. La atención se dirige ahora hacia una forma intermedia, que podría ser definida como «PSE retardado», caracterizada por una velocidad de la caída del pH *post mortem* prácticamente normal, es decir con valores de pH a 45' aceptables, y por pH finales más bajos que los normales. Es éste el caso del denominado «Hampshire effect» (Monin y Sellier,

1985; *et al.*, 1987), que se manifiesta en cerdos con fibrocélulas musculares ricas en reservas glucídicas y con un potencial glicolítico elevado. El fenómeno tiene efectos negativos sobre algunas de las más importantes características cualitativas de la carne porcina (por ejemplo, la capacidad de fijar el agua), según modalidades que en los casos más graves recuerdan al PSE.

Independientemente de la manifestación de los caracteres típicos del PSE, el pH final influye sobre la solubilidad proteica y, por tanto, sobre la capacidad de las proteínas musculares para establecer y mantener relaciones de tipo hidrófilo, con repercusiones importantes sobre la aptitud tecnológica de las carnes (Scopes, 1964; Penny, 1969; Barton-Gade, 1981; Madarena *et al.*, 1988; Dazzi *et al.*, 1987; Severini *et al.*, 1989).

Hay que hacer una observación en

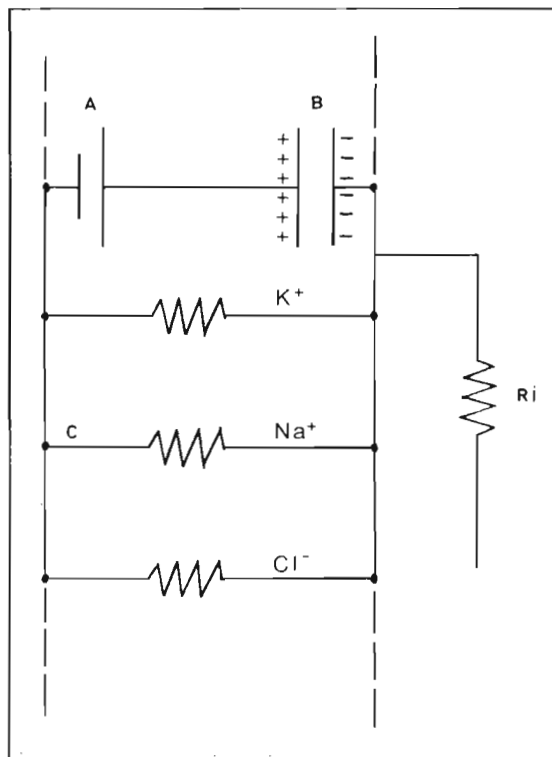


Fig. 5. Esquema de las características eléctricas de la membrana celular (cfr. texto para explicación).

relación con la medición del pH relativa al método empleado. Para comprender la importancia de la técnica de medida es suficiente consultar la larga lista de las posibles causas de error contenida en una reciente publicación (Bendall y Swatland, 1988).

El principio informador del pHmetro se basa en la determinación de la diferencia de potencial eléctrico existente entre dos electrodos, de los cuales uno es de medida y el otro de referencia. La diferencia de potencial es determinada por la concentración de iones hidrógeno de la solución en la que el electrodo está inmerso.

Actualmente se utilizan los llamados electrodos «combinados», que no requieren un electrodo de referencia exterior. En efecto, éstos contienen un electrodo interno de referencia y una solución con un pH conocido encerrada en una membrana de vidrio que comunica con el exterior y, por tanto con la solución cuyo pH debe ser determinado, a través de una pequeña membrana porosa.

Los principales métodos de medición del pH en las carnes se refieren a la utilización de pHmetros con electrodo de vidrio de los que existen varios tipos, algunos predispuestos para lecturas sobre homogeneizados de carne, otros para lecturas a hacer directamente en el músculo (electrodos de clavado).

En la práctica de laboratorio las lecturas del pH de muestras de carne se efectúan sobre el homogeneizado de la muestra, un método éste que ofrece indudables garantías de precisión y repetibilidad, pero que no se presta para medidas sobre gran número de canales o especies de carne durante las operaciones de sacrificio o de elaboración.

Por el contrario, el método que emplea electrodos de clavado ofrece interesantes perspectivas de aplicabilidad en el lugar del sacrificio, dada la rapidez de lectura. Quedan todavía por resolver algunos inconvenientes para mejorar su fiabilidad.

Las advertencias aconsejadas son las siguientes:

- El instrumento se comprueba no sólo al inicio del trabajo, sino también durante el trabajo mismo a in-

tervalos regulares de tiempo (con soluciones muestra a pH 7 y pH 4).

- El electrodo es muy sensible a la presencia de impurezas sobre su superficie, especialmente si se encuentra en las proximidades del bulbo o de la membrana; por este motivo habría que enjuagarlo con agua destilada tibia con una cierta frecuencia en el transcurso de las medidas.
- La temperatura de la muestra influye sobre la repetibilidad de las lecturas; en particular hay que evitar examinar en sucesión muestras que difieren en más de 5 grados centígrados (la medida del pH es «temperatura-dependiente»).
- Es necesario controlar periódicamente que la solución electrolítica de KCl sea cuantitativamente suficiente y en caso contrario reintegrar inmediatamente la cantidad que falte.

Para las lecturas de pH a efectuar directamente sobre la canal hay que seguir una lógica precisa referente a los puntos a hallar; en particular son indicativas, desde un punto de vista de previsión, las mediciones en los músculos Longissimus dorsi y Semimembranosus, los más expuestos a anomalías que influyen directamente en la calidad de la carne (Scheper, 1978; Hofman, 1988).

En el presente estudio se ha adoptado como prioritario el método de la homogeneización. Para una parte de las muestras la medida por homogeneización ha sido realizada por medio de un tipo de electrodo de clavado, cuya introducción en el mercado es relativamente reciente. Se trata del llamado electrodo de electrolitos sólido (conocido como «electrodo de gel»), que se ha empleado con el fin de evaluar su validez, tanto por sensibilidad y precisión como por capacidad de comprobación y resistencia al ensuciamiento.

**DISPERSION DE LA LUZ**

Un interesante parámetro propuesto



Fig. 6. Meat Structure Tester (M. S. Tester).

en el contexto de los nuevos métodos de evaluación objetiva de la calidad de la carne está representando por la medida de la opacidad. Esta se expresa como la componente de dispersión de la luz reflejada, componente que, en la carne, dependería del grado de desnaturalización de las proteínas estructurales. En general, por dispersión se entiende la desviación que sufre una onda luminosa cuando incide sobre la superficie de separación de dos medios con índice de refracción diferente.

En lo referente a la carne, la propiedad de dispersión está asociada al grado de organización espacial de las 5 miofibrillas. Si éstas son perfectamente contiguas entre sí en una especie de continuidad, no existe ninguna dife-

rencia en el índice de refracción y, por tanto, no hay dispersión de la luz. La presencia de un pequeño espacio entre las miofibrillas es suficiente para determinar la existencia de dos medios con diferente índice de refracción, de donde se sigue la aparición de dispersión de la luz a un nivel que aumenta con el incremento de este espacio.

Antes de aparecer el *rigor mortis*, la carne se presenta translúcida y oscura, pero, como consecuencia de la disminución del pH, se hace gradualmente más o menos opaca. La transición de translúcida a ligeramente

opaca se verifica aproximadamente a pH 5,9. El grado de desarrollo de la opacidad depende del efecto combinado de tiempo, temperatura, velocidad de caída del pH y valor final del mismo. Las condiciones más graves se dan cuando se llega a un pH final de 5,30-5,50 con la carne todavía caliente (PSE).

El inicio de los procesos que conducen a la aparición del *rigor mortis* conlleva, entre otras cosas, una disminución del líquido retenido entre los miofilamentos, mientras que aumenta el presente entre las miofibrillas y entre las fibrocélulas musculares.

Se recuerda que los músculos son el resultado de la agregación de varios elementos celulares, las fibrocélulas,

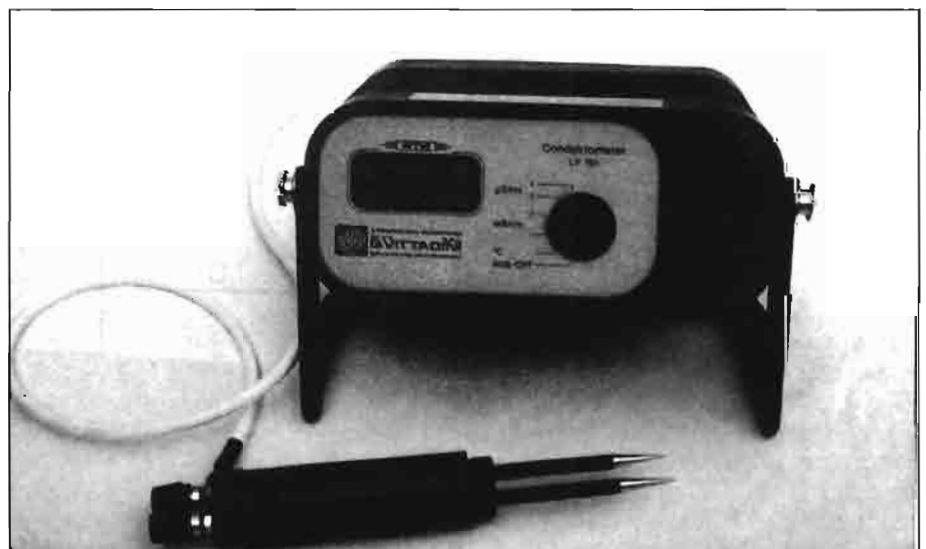


Fig. 7. Conducímetro LF 191 DIGI.

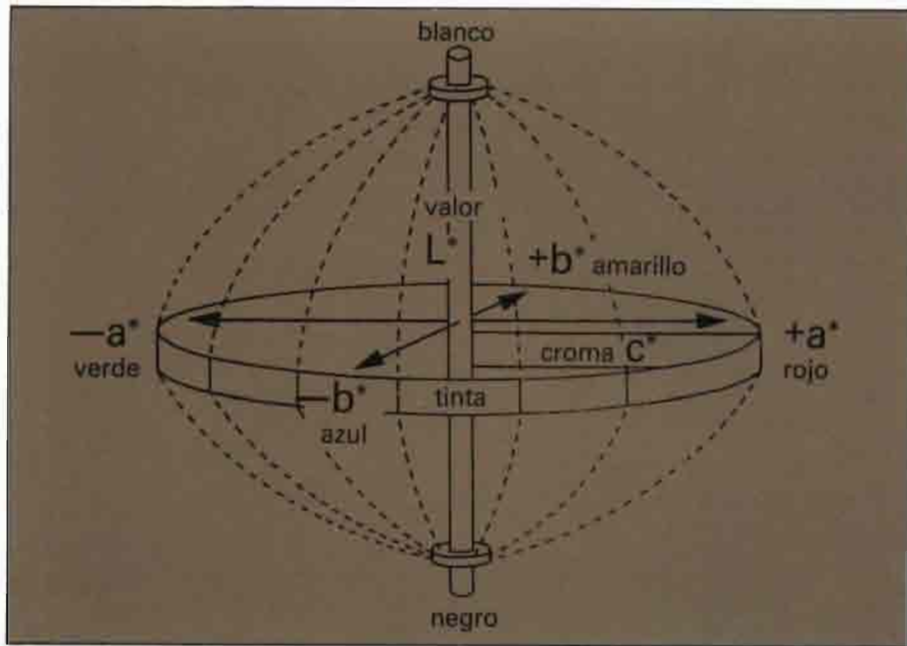


Fig. 8. Representación tridimensional del sistema CIEL\*a\*b\*.

que comprenden una membrana (el sarcólema), núcleos, mitocondrias, sarcoplasma y miofibrillas. Estas representan las unidades contráctiles intracelulares dispersas en el sarcoplasma y cada una de ellas está constituida por un haz de miofilamentos, los más conocidos de los cuales son la miosina y la actina. En las figs. 1 y 2 (preparadas por Price y Schweigert, 1971) aparecen representaciones esquemáticas de la estructura y de la organización de los músculos que pueden ser de ayuda para la comprensión de cuanto se está discutiendo.

A este propósito se han realizado interesantes observaciones mediante el

empleo de la difracción con rayos X (Diesbourg *et al.*, 1988), con las cuales se ha demostrado la existencia de una fuerte correlación entre el pH y la pérdida de agua por parte del músculo.

En valores de pH entorno al 5,50, muy próximos al punto isoelectrico, las proteínas musculares presentan el máximo número de grupos polares sobre sus superficies, que teóricamente deberían corresponder a la condición de máxima hidrofilia. En realidad, el agua retenida por el músculo en esta fase llega al mínimo, porque el espacio existente entre los miofilamentos disminuye. En el punto isoelectrico, en

efecto, las cargas positivas y negativas se igualan y las fuerzas de constricción ejercidas por los elementos estructurales transversales de las miofibrillas (proteínas de las líneas Z) determinan una aproximación de los miofilamentos. Cuando, por el contrario, el pH se separa (en más o en menos) del punto isoelectrico, algunas cargas (positivas o negativas) son anuladas con el consiguiente exceso de cargas de igual signo. De ello resulta un efecto de repulsión de tipo electrostático entre los miofilamentos con aumento del espacio disponible para las moléculas de agua.

La confirmación de este fenómeno se hace por la medición del espacio entre los miofilamentos mediante difracción con rayos X. Los miofilamentos, en efecto, se encuentran inicialmente separados por una distancia de 46 nm, distancia que desciende a valores de 39-41 nm en el pH final. El espacio intramiofibrilar a disposición de las moléculas de «agua libre» se reduce, causando un inevitable desplazamiento de líquidos a los compartimentos intermiofibrilares primero y extracelulares después.

Estas observaciones han encontrado confirmación en estudios de tipo histológico de los síndromes PSE y DFD (Irving, *et al.*, 1988), en los cuales la separación encontrada entre los miofilamentos de miosina oscilaba entre 39 nm y 46 nm respectivamente, pasando de un ligero estado PSE a un ligero estado DFD. La diferencia explicaría al fuerte exudación en el primer caso y la retención de líquidos en el segundo.

En el caso de las carnes PSE, la desnaturalización de las proteínas determina, por sí misma, una disminución de la capacidad para retener el agua, que se añade a la debida a la menor separación entre miofilamentos. A una reducción del espacio entre los miofilamentos corresponde, pues, una mayor área entre las miofibrillas, a lo que sigue un fuerte aumento del poder de dispersión de la luz. En el extremo opuesto están las carnes DFD, en las cuales el elevado pH final hace que el músculo se mantenga compacto y, por tanto,

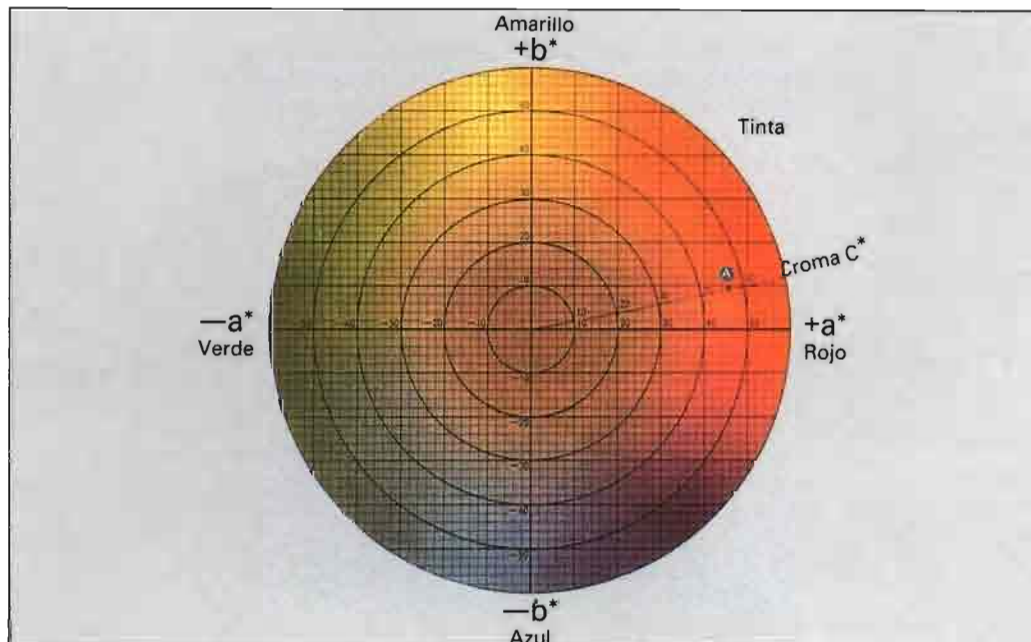


Fig. 9. Diagrama de los colores según las coordenadas a\* y b\*.

translúcido y oscuro. Cuanto se acaba de decir permite comprender que las carnes PSE y DFD puedan ser distinguidas de las normales utilizando un parámetro óptico conocido como «componente de dispersión de la luz refleja». La expresión matemática de tal fenómeno está representada por la siguiente relación (conocida como «relación de Kubelka-Munk»).

$$K/S (1 - R)/2R$$

donde «R» es la reflectancia (reflectividad); «K» y «S» son los coeficientes de absorción y dispersión.

En las carnes, «K» está directamente correlacionado con la concentración de mioglobina y «S» está correlacionado con la opacidad de las proteínas estructurales y por ello surge la influencia de su grado de desnaturalización.

El principio del método propuesto consiste en medir la intensidad de la dispersión de la luz procedente de un rayo directo en una muestra enormemente espesa. Es indispensable que el efecto de la componente de absorción sea pequeño comparado con el de la dispersión. En el caso de la carne, esta condición es satisfecha para longitudes de onda mayores que 650 nm.

En el momento actual, el único instrumento específicamente estudiado para medir las características de dispersión de la luz en la carne es el conocido como Fibre Optic Probe (FOP) (fig. 3), cuyo proyecto ha sido obra del personal del Meta Research Institute de Bristol (Inglaterra).

El instrumento se basa en el principio del endoscopio y consta de una sonda que dirige, por medio de fibras ópticas, un haz de luz monocromática de 900 nm. La longitud de onda es tal que reduce al mínimo la absorción de la luz por parte de la mioglobina.

La sonda está regida por una robusta empuñadura que contiene una batería recargable, una fuente luminosa (una lamparita con filamento de tungsteno) y un detector. La luz es transmitida al interior de la carne por medio de la sonda, que está dotada, en las proximidades de la punta, de una mirilla de 3 mm de diámetro. Esta última es capaz de percibir la luz refleja y llevarla al detector, el cual procede a medir la cantidad de luz dispersa por obra de los haces musculares. El resultado es automáticamente traducido por el

instrumento en un valor numérico que aparece sobre el display incorporado.

La interpretación de los resultados se realiza utilizando una escala arbitraria puesta a punto por los proyectistas del instrumento sobre la base de una serie de experimentaciones. En el transcurso de tales estudios, el instrumento ha sido utilizado insertando la sonda en el músculo *L. dorsi* a nivel de la última costilla y las medidas de dispersión de la luz han sido puestas en confrontación con el pH a 45' y a 24 h *post mortem* y con evaluaciones visuales de calidad (PSE y DFD). La opinión de quien ha realizado las investigaciones es que la medida de la capacidad de dispersión de la luz parece ser uno de los mejores métodos de evaluación del poder de retención hídrica de la carne (Mac Dougall, 1984). La escala propuesta por Mac Dougall (1984) para la interpretación de las medidas de dispersión de la luz es la siguiente:

- Valores comprendidos entre 25 y 40 carnes normales.
- Valores > 50 carnes PSE.
- Valores > 60 = carnes gravemente PSE.
- Valores < 18 Carnes DFD.
- Valores comprendidas ente 18 y 25 y entre 40 y 50 = se sugiere hacer otra medida una vértebra antes y después del sitio de la primera medida; como consecuencia de esta comprobación, para valores < 20 las carnes son considerada DFD y para valores > 45 las carnes son clasificadas PSE.

### PROPIEDADES ELECTRICAS

En el contexto de los nuevos métodos de evaluación instrumental de la calidad de la carne porcina, con referencia específica a la diagnosis precoz del síndrome PSE, se han estudiado y puesto a punto también tests de tipo eléctrico. Estos se basan esencialmente en el hecho de que la estructura y la integridad de las membranas de las fibrocélulas musculares son responsables de variaciones en las propiedades eléctricas de los músculos.

La membrana de la fibra muscular, el sarcolema, está constituida por una lámina bimolecular de fosfolípidos, cuyos grupos polares están vueltos hacia

el exterior, y en cuyos dos lados son absorbidas moléculas. La presencia de estas últimas parece interrumpir la continuidad de la lámina, provocando la formación de poros.

La membrana celular representa una barrera entre ambiente extracelular e intracelular, con función de:

- Filtro mecánico, mediante los poros citados, que presentan un diámetro en torno a los 7 Angstrom.
- Filtro químico, en cuanto en el contexto de la estructura lipoprotéica están presentes sistemas enzimáticos de transporte («carriers»). De ello resulta que sólo sustancias liposolubles o de dimensiones reducidas (inferiores a 7 Angstrom), como agua y algunos iones, son capaces de atravesarla (transporte pasivo), mientras que otros elementos deben utilizar los sistemas carriers (transporte activo).

En el apartado anterior (dispersión de la luz) se ha hecho referencia a la desnaturalización de las proteínas, a la separación entre miofilamentos y al área entre las miofibrillas y entre las fibrocélulas musculares, mencionando los fenómenos a esto ligados: movimiento de los fluidos y dispersión de la luz. Sin embargo, parece que entre las posibles causas de vertido de líquidos por las células existen también alteraciones en la estructura de las membranas. Tales alteraciones pueden ser medidas utilizando algunas magnitudes electrofísicas.

Por sus características estructurales la membrana de la fibra muscular, a diferencia del sarcoplasma y de los fluidos extracelulares, constituye una barrera al paso de los iones, de las cargas eléctricas y, por tanto, de las corrientes. Este paso es obstaculizado ante todo porque la continuidad de la base líquida está asegurada solamente en relación con los poros; asimismo, la presencia de cargas eléctricas sobre las paredes o sobre los bordes de los orificios puede impedir u obstaculizar el paso de los iones seleccionándolos en base al signo, al valor de la carga y a la relación entre valor de la carga y dimensiones del ión.

El comportamiento de células y tejidos animales sometidos a un campo eléctrico oscilante es similar, por ésto, al de un sistema constituido por capacidad y conductancia. En este contex-

to, las membranas celulares se comportan como un condensador al cual se pueden asemejar, bajo el perfil electrodinámico, por características y funciones. Esta semejanza es dada por el hecho de que las membranas celulares separan finos estratos de iones de signo opuesto presentes en los fluidos en el exterior y en el interior de la célula (fig. 4). Las cargas se encuentran distribuidas en una lámina de agua inmediatamente contigua a la membrana.

Se ha calculado que el espesor de líquido que funciona como agua estructural es de 6 Angstrom; se puede, por tanto, decir que la membrana logra explicar su función de condensador hasta la citada distancia en el agua que la rodea. Las cargas responsables del campo eléctrico, y por tanto de la diferencia de potencial, son las comprendidas en este espesor y desarrollan la función de «placa del condensador». El «dieléctrico» del mismo condensador está constituido por la estructura anatómica (membrana lipoprotéica), cuyo espesor oscila de 75 a 100 Angstrom. Entre las dos paredes de la membrana existe una diferencia de potencial cuya magnitud varía de 40 a 100 mV, según el tejido; en el caso del músculo es de 90 mV.

La diferencia de potencial transmembranal está producida en parte por los fenómenos difusivos que se dan entre compartimentos de diferente potencial electroquímico (transporte pasivo), y en parte por los flujos iónicos, incluso contra gradiente de potencial electroquímico, favorecidos por el metabolismo celular (transporte activo). En consideración a las características eléctricas antes discutidas, la membrana puede ser considerada en síntesis como:

1. Generador de diferencia de potencial, como consecuencia de la diferente disposición y distribución de los iones (fig. 5A).

2. Dieléctrico, gracias al cual las cargas presentes sobre las dos paredes de la membrana se mantienen separadas formando un condensador (fig. 5B).

3. Conjunto de resistencias en paralelo, ligadas a la presencia de poros y originadas por la diferente permeabilidad de la membrana a los diversos iones. Las mallas individuales están unidas por una resistencia (Ri) que

representa la resistencia interna que se manifiesta en el espesor de la membrana, variable según la permeabilidad de la membrana misma. La resistencia externa (Re), por el contrario, puede ser, con buena aproximación, considerada nula, porque la velocidad de flujo de los iones en agua (citoplasma o líquidos extracelulares) es aproximadamente 10<sup>7</sup> veces mayor que a través de la membrana celular (fig. 5C).

La diferencia de potencial, y por tanto la capacidad, se mantienen constantes también contra gradiente de los citados sistemas carriers de naturaleza protéica que, con pérdida de ATP, expulsan el Na<sup>+</sup> del interior al exterior de la célula y simultáneamente transportan el K<sup>+</sup> en el espacio intracelular.

Después de la muerte se produce una disminución de la capacidad de membrana, que se manifiesta en un significativo aumento de la conductividad del tejido. Según algunos autores, la causa de tal fenómeno está en la caída del pH, a la cual sigue una modificación estructural de las proteínas que constituyen la membrana. Esta resulta por ello irreversiblemente dañada, con el consiguiente vertido de fluidos en el espacio extracelular.

Más verosímil parece la teoría que se basa en el agotamiento de las reservas energéticas *post mortem* (glicólisis anaerobia, consumo de ATP, producción de ácido láctico e inhibición de los mismos enzimas de la glicólisis). En base a esta teoría los sistemas transmembranales de transporte activo, que requieren energía (ATP) para mantener constante la diferencia de potencial, perderían más o menos rápidamente la capacidad de efectuar el «bombeo» de iones contra gradiente electroquímico. Se derivaría de ello un flujo incontrolado de iones de un compartimento a otro hasta la desaparición del sistema membrana-condensador.

El tejido muscular por tanto, en base a cuanto se ha dicho, puede ofrecer mayor o menor resistencia al movimiento de las cargas, según la integridad o no de las membranas. En su conjunto entran en juego factores de resistencia y de conductibilidad.

Los fluidos biológicos contienen electrolitos simples (iones Na, K, Mg, Ca, Cl, HCO<sub>3</sub>, HPO<sub>4</sub>, etc.) que determinan su conductibilidad eléctrica.

La conductancia «G» de una solu-

ción de electrolitos se define como la inversa de su resistencia «R»:

$$G = 1/R$$

y se expresa en Siemens (Ohm recíproco). La misma depende de la naturaleza y de la concentración del electrolito, de la forma geométrica del conductor y de la temperatura («t»). En particular, la relación entre conductancia y temperatura, para pequeñas desviaciones respecto a una temperatura de referencia, se puede expresar por:

$$G_t = G_o [1 + A_o (t-t_o)]$$

donde «t» es la temperatura, «g<sub>o</sub>» la conductancia específica del electrolito a la temperatura de referencia «t<sub>o</sub>». «A<sub>o</sub>» es una constante positiva que para los electrolitos más comunes varía de 0,015 a 0,035, valores que hacen necesaria una exacta termostatación para poder efectuar medidas precisas de conductancia. Contrariamente a lo que ocurre con los conductores metálicos, la conductancia aumenta con la temperatura al ser A<sub>o</sub> positivo. La estructura anatómica de la membrana, como hemos visto, constituye el «dieléctrico» del condensador. Su constante es desconocida (el valor medio de tal constante varía entre 2 y 10 en la mayor parte de los materiales aislantes). Dada la elevada cantidad de lípidos presentes, se puede suponer que tal valor esté comprendido entre 5 y 10.

La constante dieléctrica «K» puede definirse como la propiedad de un aislante que determina la energía electrostática almacenada en el material. La relación que une la capacidad «C» del condensador con la constante dieléctrica es:

$$C = KS/d$$

De aquí se desprende la existencia de una correlación directa entre capacidad «C» y constante dieléctrica «K» («S» representa la superficie y «d» el espesor del dieléctrico).

Una posterior magnitud de que es necesario recordar en este contexto es la «impedancia».

El condensador es permeable a la corriente alterna a la que ofrece una cierta resistencia, que es definida más propiamente como «reactancia capacitativa», que forma parte del parámetro más complejo «impedancia».

La impedancia se puede expresar, en analogía con la ley de Ohm, como:

$$V = IZ$$

donde «V» indica la diferencia de potencial «I» la intensidad de la corriente y «Z» la impedancia. La simple relación recordada da cuenta solamente de la interacción entre los módulos de las magnitudes en juego. Teniendo en cuenta las relaciones vectoriales, la presencia de una capacidad o de una inductancia en el circuito considerado induce un desfase entre la diferencia de potencial en las extremidades de un conductor y la corriente alterna que lo atraviesa.

Los tejidos biológicos se comportan como sistemas lineales, para los cuales vale la ley  $V = IZ$  sólo en corrientes no demasiado grandes y, por tanto, las medidas de impedancia son efectuadas con bajos valores de campo eléctrico, en cuyo caso se tiene un comportamiento análogo al lineal. Es gracias a esta observación por lo que los instrumentos de los que se tratará después obedecen a esta condición.

Se ha comprobado que la carne se comporta de un modo anisótropo en el momento en que es sometida a un campo eléctrico; se deduce de ello que la impedancia:

- Medida perpendicularmente a las fibras es mayor que la impedancia medida paralelamente a las mismas.
- Aumenta en relación con la grasa presente.
- Es inversamente proporcional a la temperatura.
- Varía con el cambio de la frecuencia de la corriente aplicada.

Más exactamente, a valores de frecuencia elevados la impedancia capacitativa de la membrana se anula; viceversa, a frecuencias muy bajas la impedancia se hace infinita y «Z» equivale a una resistencia pura.

El conjunto de los fenómenos musculares *post mortem* determina una reducción general de la impedancia. Sin embargo, en las fases inmediatamente siguientes al sacrificio se registra un aumento transitorio de «Z», probablemente a causa de la intensa glucogénesis. Esta, en efecto, determina un parcial aumento de la presión osmótica del fluido intracelular y una disminución transitoria del extracelular.

Del conjunto de consideraciones expuestas se deduce que, teóricamente, una evaluación precisa del estado físico-químico del músculo sería posible con una medición simultánea de la

conductancia y de la constante dieléctrica.

En 1981 Pfuetzner propuso medir sólo el factor de pérdida dieléctrica que une ambas magnitudes, resultando directamente proporcional a la conductancia e inversamente proporcional a la capacidad. Esta medida daría indicaciones relativas a la integridad estructural de las membranas, aunque independientemente del valor del pH.

Una indiscutible ventaja natural del uso del factor de pérdida dieléctrica está en su independencia, tanto de la forma como del volumen del músculo sometido al flujo de corriente. A este fin se ha proyectado el instrumento MS Tester (Meat Structure Tester, Testron, Viena) (Fig. 6), constituido por dos electrodos en forma de hoja de bisturí dispuestos paralelamente y unidos a una robusta estructura en forma de pistola en la cual se ha incorporado un acumulador (Keibel *et al.*, 1983; Seidler *et al.*, 1984; Pfuetzner *et al.*, 1985).

La profundidad de penetración de los electrodos no es relevante a los fines de la precisión de la medida, cuyo valor determina el encendido de diodos luminosos localizados posteriormente sobre el cuerpo del instrumento.

Los diodos preparados son 9, a los que corresponden otros tantos valores arbitrarios, subdivididos en tres niveles de calidad de la carne:

- Estructuras celulares intactas: son identificadas por el encendido de los tres primeros diodos, de color verde, a los que corresponden respectivamente los valores numéricos 2,3; 2,6 y 3,1.
- Estructura intermedia o de transición: está identificada por el encendido de los tres diodos siguientes (amarillos), a los que corresponden los valores 4; 5, 6 y 9.
- Estructura de tipo PSE: identificada por el encendido de los tres últimos

diodos (rojos), cuyos valores son 15; 31 y 43.

En lo referente a las medidas de conductancia, el instrumento disponible es el conductímetro LF 191 DIGI (fig. 7) de la casa WTW (Mónaco, RFG) (Schmitten *et al.*, 1983, 1984, 1986). Consta de una sonda de medición dotada de dos electrodos de acero de forma cónica, unidos a un monitor sobre el cual está colocado el display de lectura.

También para la conductancia se han creado, tanto para las lecturas a 45' como para las de 24 h *post mortem*, tres intervalos de valores, variables en función del tiempo de medida, que figuran en el cuadro I.

Es muy importante estandarizar las mediciones, ya que, como hemos indicado antes, el efecto de la temperatura del músculo sobre la conductancia no es despreciable. Considerando que el empleo de factores de corrección para las lecturas es bastante pesado, es preferible reagrupar las muestras en un estrecho intervalo de tiempo, en el cual se supone que subsiste la homogeneidad de temperatura entre las mismas.

**COLOR**

Entre los factores que contribuyen a determinar el éxito comercial de un producto cualquiera a base de carne, el color representa un papel de primera importancia. A igualdad de otras condiciones, en efecto, el consumidor orienta su elección en favor de la carne que presenta características cromáticas consideradas como óptimas para aquel tipo específico, asociando el agrado visual al concepto de frescura y de aceptabilidad general.

En la carne los pigmentos responsables del color son sobre todo la mioglobina y, en menor medida, los cito-

<b>Cuadro I</b>				
<b>Intervalos de valores creados para la conductancia</b>				
<b>Clases de calidad de la carne</b>	<b>Tiempos de medición (<i>post mortem</i>)</b>			
	<b>40'</b>	<b>50'</b>	<b>60'</b>	<b>24 h</b>
Buena	<4,3	<4,8	<5,3	<7,8
Media	4,4-8,2	4,9-9,7	5,4-10,2	7,9-9,7
PSE	>8,3	>9,8	>10,3	>9,8

cromos, la hemoglobina y las flavinas. La mioglobina es una proteína monomérica con peso molecular 17.500, que engloba un grupo prostético (eme) con un átomo de hierro en el centro, al cual corresponde la función de depósito de oxígeno en el tejido muscular.

La concentración de la mioglobina oscila de un mínimo de 1 a un máximo de 20 mg/g de carne en relación con la especie, raza, edad, sexo y, a igualdad de todos estos parámetros, con el músculo considerado.

Las unidades funcionales del músculo, las fibrocélulas, se pueden distinguir en:

- a) Fibras tipo I o rojas: presentes en su mayor parte en músculos destinados a movimientos lentos, continuos y repetitivos, obtienen energía de la oxidación del glucógeno en agua y anhídrido carbónico y son ricas en mioglobina.
- b) Fibras tipo IIb o blancas: tienen un diámetro superior a las precedentes y están en su mayor parte presentes en músculos destinados a movimientos repentinos, pero intermitentes, que obtienen energía convirtiendo anaeróticamente el glucógeno en ácido láctico. Tienen un contenido inferior en mioglobina.
- c) Fibras de tipo IIa: presentan características intermedias de las dos anteriores.

En el caso de la carne porcina, como ya se ha indicado en relación con el pH, las dos alteraciones clásicas (PSE y DFD) se caracterizan también por alteraciones del color.

Para nuestros fines, sin embargo, sería más interesante conseguir evaluar el color de las carnes en sí mismo, en relación con el hecho de que en la realidad operativa la tendencia hacia animales con crecimiento más rápido, con menos grasa y con masas musculares particularmente desarrolladas, especialmente en las patas y en el lomo, hace que se encuentren carnes consideradas como insuficientes desde el punto de vista cromático.

El fenómeno parece que hay que atribuirlo al hecho de que, tanto el aumento de las masas musculares como el ritmo más favorable de crecimiento, son la consecuencia de un mayor desarrollo e incidencia de las fibras blancas en perjuicio de las rojas. Esto

se puede acentuar en el caso de suministro de fármacos betaagonistas, como recientemente se ha observado (Cantoni *et al.*, 1988; Chizzolini *et al.*, 1989).

De ello se sigue, especialmente a cargo de músculos predispuestos como el *L. dorsi*, el bíceps femoral, el semimembranoso, el semitendinoso y los glúteos, una disminución del color rojo, a la que se acompaña frecuentemente un nivel más alto de humedad superficial, aunque sin llegar a fenómenos de verdadera y propia exudación.

La medida del color puede, por tanto, asumir el significado de evaluación indirecta de la conformación, de la composición histológica y de las características bioquímico-fisiológicas del sujeto. Superando el simple aspecto visual, el color asumiría así un valor estructural y bioquímico. Todo lo cual no es despreciable para los fines de la evaluación tecnológica de las carnes porcinas.

En lo referente a la mioglobina, en el caso de que se quiera proporcionar una medida exacta de su cantidad, distinguiendo también sus diversas formas químicas (mioglobina, oximioglobina, metamioglobina), es necesario recurrir a un análisis espectrofotométrico de absorción. Esto significa extraer los diferentes pigmentos y servirse de un espectrofotómetro para medir la absorción del extracto en longitud de onda apropiada.

La medida en absorción, como se puede comprender, es muy sensible y exacta, en cuanto permite la determinación de los pigmentos individuales de forma cuantitativa, pero requiere la manipulación de la muestra y el sucesivo análisis en un laboratorio equipado.

Como alternativa, en el caso de que sea necesario conservar la integridad de la muestra y obtener respuestas rápidas, se puede recurrir a medidas de reflectancia. Estas consisten en el análisis de la luz reflejada de la superficie de la muestra por medio de un colorímetro o un espectrofotómetro equipado con un colector especial.

Además de la rapidez y la no destrucción de la muestra, este tipo de medida tiene la ventaja de suministrar, en cuanto es posible, una evaluación directa del color tal como aparece a los ojos del consumidor y es por tanto, una elección obligada cuando se desea sustituir los tests sensoriales por métodos instrumentales.

Sin embargo, el problema es complejo, porque en la determinación del color de las carnes concurren, además de la distribución de las diferentes formas químicas de la mioglobina, factores de tipo estructural, como la unión de las proteínas musculares con el agua y, por tanto, la estructura (abierta o cerrada) de las fibras. Esta última influye sobre todo en la dispersión de la luz, con las consiguientes modificaciones del color percibido por el observador.

El color de un objeto depende, en efecto, de la composición de la luz que llega al ojo del observador partiendo del objeto mismo examinado. La composición de la luz depende en primer lugar de la distribución de la energía del espectro del objeto luminoso, y en segundo lugar del factor de reflectancia del espectro del objeto iluminado. Tal factor está constituido por la relación entre la cantidad de luz de una longitud de onda dada reflejada por el objeto y la cantidad de luz reflejada por un objeto perfectamente blanco.

Los datos de un espectro de reflexión contienen todas las informaciones relativas al color de un objeto, pero deben ser elaborados matemáticamente a los fines de una descripción numérica de tal color. Las elaboraciones más útiles a este fin son las puestas a punto por la Comisión Internacional de l'Eclairage (CIE). El método y su evolución en el tiempo están ampliamente descritos en diversas publicaciones; no es el caso de describirlas aquí, sino de recordar que este método expresa el color (o la luz de cada longitud de onda en el espectro del campo visible) como el resultado de una mezcla de tres elementos primarios. Es éste el motivo por el cual es conocido como sistema triestímulo (McLaren, 1980).

El sistema universalmente empleado hoy es el que procede de la reelaboración efectuada en 1976 y conocido como CIEL\*a\*b\*.

En éste el color de un objeto es definido por medio de tres magnitudes,  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

La luminosidad ( $L^*$ ) mide la cantidad de luz y va del negro al blanco, con valores comprendidos entre 0 y 100;  $a^*$  y  $b^*$  son verdaderas y propias coordenadas cromáticas. La primera está asociada al color rojo si es positiva (de 0 a +50) y el verde si es negativo (de 0 a -50).

La segunda expresa el amarillo si es positiva (de 0 a +50) y el azul si es negativa (de 0 a -50). Las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  se pueden utilizar para expresar la cromaticidad global de la muestra (croma  $\sqrt{a^2 + b^2}$ ) y el grado en el que están mezclados (tinta =  $\text{Arc tg } b/a$ ). La tinta constituye, de momento, la mejor traducción numérica del color real de un objeto tal como aparece al ojo del observador (fuera del nivel de luminosidad) (figs. 8 y 9).

La medida rutinaria del color según el sistema CIE  $L^*a^*b^*$  de 1976 se puede efectuar con instrumentos conocidos como colorímetros triestímulo.

Con tales instrumentos la muestra es iluminada por luz policromática y la luz reflejada se hace pasar separadamente a través de tres (a veces cuatro) filtros antes de llegar a un fotocélula. En base a las características de la fuente de iluminación, de la luz reflejada y de los filtros, las señales luminosas son

después elaboradas como valores triestímulo.

Respecto a los espectrofotómetros, los colorímetros triestímulo presentan de ordinario una menor exactitud (la capacidad de representar exactamente por medio de magnitudes numéricas un fenómeno psicofísico como el color), pero una mayor precisión (la reproducibilidad del dato instrumental).

Esto hace a tales instrumentos especialmente adecuados para medir la diferencia de color entre dos muestras. Para hacer comparables las medidas obtenidas con colorímetros diferentes es necesario, sin embargo, que sean declaradas las condiciones operativas, especialmente en lo concerniente a la fuente de luz y el standard interno.

En el comercio existen diferentes colorímetros triestímulos basados en tecnologías ópticas sustancialmente parecidas y que, en algunos casos, se diferencian por el tipo de utilización

preferencial para el cual han sido concebidos. La evolución tecnológica de tales instrumentos ha sido muy rápida en estos últimos tiempos; ésto vale de modo particular para los colorímetros estudiados para medir el color de las carnes. Esto hace imposible presentar todos los modelos disponibles e inoportuno alargarse en una evaluación de los mismos.

En el curso de la experimentación se ha empleado el Colorímetro Minolta Chromameter Reflectance II CR 100/08 (fig. 10), el cual efectúa medidas de color en base a un espectro de luz reflejada. La luz es producida por una lámpara intermitente de arco inmersa en atmósfera de xenón.

#### BIBLIOGRAFIA

Existe una amplia bibliografía a disposición del lector interesado.



## ensink Compañía Comercial Holandesa

**OFRECE:**

### **Cerdos alemanes y holandeses**

- Suministro semanal de hasta 5.000 piezas
- Calidad: según demanda
- Precios: variables
- Correspondencia: idiomas francés, inglés y alemán

Pedidos a:



**ensink** H. MENSINK Im-Export. Ootmarsumseweg 281. 7666 NB Fleringen (NL)  
Teléf.: 05417 - 70330 Fax 05417 - 70595