

# Efectos genéticos sobre la calidad de la carne porcina

## Recientes progresos de los conocimientos en la materia

Gabriel Monin\*

El gene de la sensibilidad al Halotano no sería único responsable de las carnes PSE. Las condiciones del proceso de sacrificio y el peso al sacrificio puede provocar la aparición del defecto también en los cerdos portadores de este gene en el estado heterocigótico. pH final de las carnes, grasa intramuscular, el gene de la carne ácida.

La alteración de las propiedades tecnológicas y organolépticas de la carne porcina está determinada por diversos factores. Hace tiempo que se ha comprobado que un papel determinante en tal sentido lo revisten los factores genéticos y los tratamientos de pre-sacrificio a los que es sometido el animal. En lo concerniente a la fase de pre-sacrificio, han sido recientemente examinados por Warris (1987) y Tarrant (1988) los efectos de la duración y de las condiciones del transporte y de la permanencia en los boxes. El presente artículo se propone recapitular el actual estado de los conocimientos sobre los efectos genéticos en la calidad de la carne de la especie porcina y, sobre todo, examinar los notables progresos que se han realizado en este sector en los últimos años. Los efectos genéticos han sido estudiados por Sellier (1988) y Monin (1989), con particular referencia a la calidad organoléptica de la carne. En el curso del presente artículo se harán numerosas referencias a cuanto ha sido expuesto por estos autores.

### pH MUSCULAR Y GRASA INTRAMUSCULAR: DOS CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA

#### pH muscular

Por calidad tecnológica de la carne porcina se entiende un conjunto de



La mayor parte de los aspectos que constituyen la calidad tecnológica de la carne están determinados por genes.

propiedades compositivas y físico-químicas, como la capacidad de retener el agua, la intensidad y la homogeneidad del color, la blandura, la capacidad de mantenerse inalterada y el rendimiento en fase de transformación. Las propiedades organolépticas comprenden el aspecto (principalmente color y jaspeado), la estructura (que comprende la terneza y la jugosidad) y el sabor (que comprende el sabor y el olor). El color será examinado en el contexto de las propiedades tecnológicas, ya que es generalmente considerado como indicador de esta calidad.

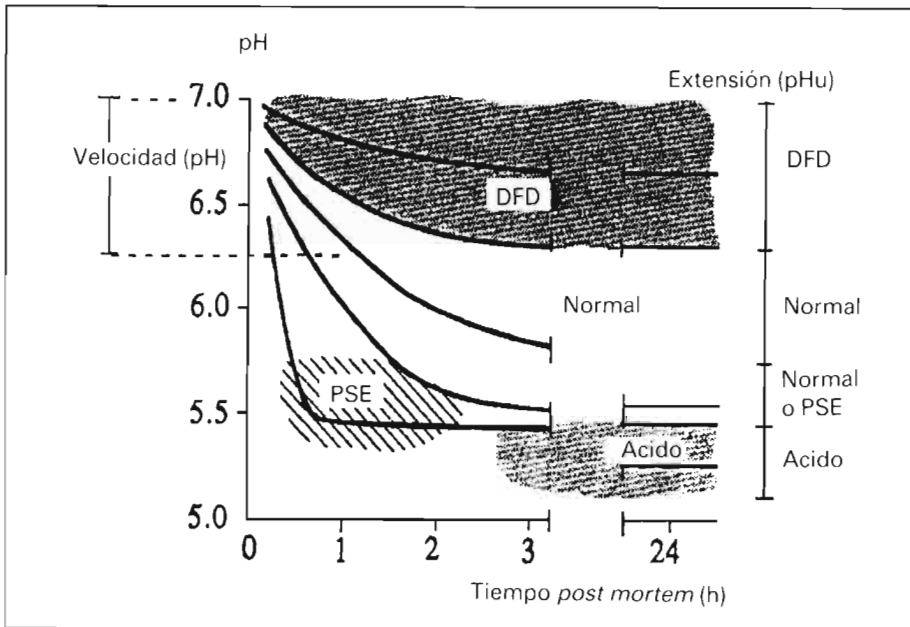
Muchas de estas propiedades están notablemente influenciadas por las variaciones que se originan después de la muerte del animal en el pH de su estructura muscular. El pH parece ser uno de los más importantes factores capaces de determinar la calidad de la carne porcina; esta teoría ha sido defendida por Warris y Brown (1967) y Bendall y Swatland (1988). Las rela-

ciones entre las variaciones del pH y la calidad tecnológica de la carne figuran de modo esquemático en la fig. 1. La variación de pH que se produce después de la muerte del animal puede ser descrita en términos de duración y entidad. El período de tiempo durante el cual se manifiesta la alteración del pH influye de modo considerable en el grado de desnaturalización de las proteínas al sobrevenir la rigidez; si la alteración se produce demasiado rápido, se origina una composición defectuosa de la carne, por lo cual ésta resulta de color pálido, tierna y exudativa (pale, soft, exudative = PSE). La entidad de la alteración del pH influye de modo considerable en la capacidad de la carne para retener agua, en el color, en la capacidad de mantenerse inalterada y en la merma debida a la cocción. Cuando la alteración es demasiado limitada, la carne resulta oscura, compacta y seca (DFD). Si es excesiva, la carne se caracteriza por un color pálido y por un rendimiento reducido en el curso de la elaboración para la producción de jamones cocidos. Este último tipo de carne es llamado «tipo Hampshire» por Monin y Sellier (1985) y posteriormente designada con el término genérico de «carne ácida» por Naveau (1986).

También la calidad de la carne, desde el punto de vista alimenticio, depende en cierta medida del pH. La carne PSE resulta menos atrayente, más dura y menos jugosa (Sayre *et al.*, 1964; Zuidam *et al.*, 1971; Buchter y Zeuthen, 1971). Purchas *et al.* (1990) han descubierto relaciones entre el valor del pH final y la terneza de la carne y su aceptabilidad global, encon-

\* Comunicación presentada por la Revisión porcina internacional de Reggio Emilia, en el marco de la reunión: «Certificación de la calidad de la cadena productiva porcina», abril de 1991.

El autor pertenece al INRA, Station de Recherches sur la Viande, Theix, 63122, Ceyrat, Francia.



**Fig. 1.** Representación esquemática de las relaciones entre la variación *post mortem* del pH muscular y la calidad de la carne porcina.

trando una escasa calidad de la carne para valores de pH intermedios (en torno a 6). En conclusión, tanto en el campo de la genética como en otros campos de investigación, la mayor parte de los estudios sobre la calidad de la carne porcina se ha ocupado del valor de pH o de otros aspectos estrechamente ligados a éste, como la reflectancia y la capacidad de retener al agua.

**Grasa intramuscular**

Muchos autores consideran a la grasa intramuscular como uno de los principales factores capaces de determinar la calidad de la carne porcina desde el punto de vista alimenticio, en particular en lo referente a la ternura y la

jugosidad (entre otros Harrington y Pearson, 1962; Kaufmann *et al.*, 1964; Barton-Gade y Bejerholm, 1985; Schwörer *et al.*, 1989), a pesar de que la relación entre el contenido lipídico intramuscular y la ternura de la carne sea más bien discutida (véase, por ejemplo, Turek *et al.*, 1966; Wood *et al.*, 1986; Purchas *et al.*, 1990). No obstante, un excesivo jaspeado reduce la aceptabilidad de la carne fresca (Zuidam *et al.*, 1971; Touraille *et al.*, 1989) y también la idoneidad para sufrir transformaciones (Barton-Gade, 1988). Por estos motivos, en la investigación sobre la calidad de la carne porcina se ha dedicado una atención particular al nivel y a la composición de los lípidos intramusculares.

En el curso del presente artículo serán examinados sucesivamente los genes principales, las diferencias entre las razas, los efectos de la heterosis, la heredabilidad y las correlaciones genéticas.

**GENES PRINCIPALES**

La mayor parte de los aspectos que constituyen la calidad tecnológica de la carne están determinados por genes, a veces probablemente por muchos de ellos. Se distingue generalmente entre «poligenes» y «genes principales». Los poligenes son aquéllos cuyo efecto individual sobre el carácter considerado es relativamente pequeño en relación con la capacidad total de este carácter para variar. Por el contrario, los genes principales tienen un efecto considerable en la determinación de los diversos caracteres. Se considera generalmente que un gene puede ser definido como «gene principal» cuando la diferencia entre el valor medio de los individuos homocigóticos para este gene, por ejemplo aa, y el de los individuos que no llevan este gene, por ejemplo AA, es igual o superior a una desviación fenotípica estándar del carácter en cuestión.

Se han identificado dos genes principales, capaces de influir en la calidad de la carne: el gene de la sensibilidad al halotano y el gene RN.

**Genes de la sensibilidad al Halotano**

Al inicio de los años sesenta las investigaciones, llevadas a cabo principalmente por científicos daneses y americanos, entre los cuales se encuentran Ludvigsen (1955a, 1955b, 1958 citado por Briskey, 1964), Judge *et al.* (1959) y Sayre *et al.* (1963), han demostrado que la inclinación de la carne a hacerse de color pálido, tierna y exudativa (PSE) tiene un marcado componente genético. Estos estudios han demostrado que ciertas especies, o ciertas razas dentro de estas especies, comprendían a un gran número de animales predispuestos a las condiciones PSE, mientras que otras especies o razas no presentaban prácticamente esta predisposición. Se ha comprobado así mismo que la inclinación al PSE

**Cuadro I**

**Efectos de la sensibilidad al Halotano en el rendimiento de elaboración de los jamones cocidos y de los jamones desecados**

	HN-HP (a)	Significatividad	Raza (b)	Referencia
Jamón cocido ahumado (1)	4,1	P<0,01	P	Monin <i>et al.</i> , 1981 (c)
Jamón cocido ahumado (2)	0,4	n.s.	P	Monin <i>et al.</i> , 1981 (d)
Jamón cocido ahumado (3)	3,6	P<0,05	P	Sellier <i>et al.</i> , 1985
Jamón cocido ahumado (4)	0,3	n.s.	P, FL, BL	Sellier <i>et al.</i> , 1985
Jamón cocido desecado (con hueso) (5)	1,2	P<0,01	P, FL, BL	Sellier <i>et al.</i> , 1985
Jamón desecado (con hueso) (6)	1,2	n.s.	BL x LW	Santoro & Lo Fiego, 1987

(a) Diferencias entre cerdos halotano-negativos (HN) y cerdos halotano-positivos (HP).  
 (b) P: Pietrain; FL: raza original francesa; BL: raza original belga; LW: Large White.  
 (c) Cerdos sacrificados en condiciones de estrés mínimo.  
 (d) Cerdos sacrificados después del estrés.  
 Cálculo del rendimiento: (1), (2), (3) y (4): peso de producto cocido a vender/peso de jamón fresco cortado; (5) y (6): peso de jamón sazonado/peso de jamón fresco cortado (obtenido de los datos comunicados por los autores para (6)).

**Cuadro II**

**Contraste entre genotipos de Halotano por criterios cualitativos de la carne seleccionados y adaptados al peso vivo de 80 y 130 kg (por Sather *et al.*, 1989)**

Peso vivo	80 kg		130 kg	
	(nn - Nn)	(NN - Nn)	(nn - Nn)	(NN - Nn)
pH	-0,37***	0,29**	-0,26	0,35***
Evaluación color (1)	-0,28 *	-0,29	-0,09	0,37 **
Evaluación estructura (2)	-0,50***	0,02	0,26	0,50***
% exudado músculo magro	0,93	0,59	-0,70	-2,61***
Valor de corte	1,23 **	-0,30	0,48	-1,80***

n: HAL<sup>n</sup>; N: HAL<sup>N</sup>.

(1) Evaluación subjetiva: 1=muy pálido, hasta 3=normal, hasta 5=muy obscuro; (2) evaluación subjetiva: 1=muy tierna y exudativa, hasta 3=normal, hasta 5=muy compacta, seca y pegajosa.

estaba estrechamente correlacionada con la susceptibilidad al estrés y con el síndrome de estrés de los cerdos (PSS), como demostraban los estudios de Briskey (1964), Topel *et al.* (1972) y Judge (1972). Christian (1972) fue el primero en avanzar la hipótesis de que la heredabilidad de la susceptibilidad al estrés fuese un recesivo monogénico autosómico con algunas variaciones de penetración. Fueron realizados numerosos estudios después de que Eikelenboom y Minkema (1974) habían demostrado que la susceptibilidad al estrés y la predisposición al PSE podían ser determinados con el test del halotano (véase Sellier, 1988). Estos estudios llevaron a admitir la heredabilidad del recesivo monogénico. La penetración del gene de la sensibilidad al halotano HAL<sup>n</sup> (el alelo normal es definido como HAL<sup>N</sup> en el estado homocigótico) es de 0,9 con los normales procedimientos de ejecución del test (para una discusión detallada sobre la penetración véase Monin, 1989).

Se han publicado numerosos estudios comparados entre fenotipos del halotano relativos a la calidad de la carne: a este propósito véase Webb (1981) y Courreau (1987). Es opinión común que la sensibilidad al halotano induce una aceleración de la reducción del pH *post mortem* y hace aumentar consiguientemente la frecuencia de la carne PSE observada en la carne fresca, a pesar de que los datos relativos a esta frecuencia varíen notablemente de un estudio a otro. Además de los efectos PSE sobre la calidad de la carne fresca, se ha demostrado repetidamente que el halotano reduce la idoneidad de la

carne a sufrir elaboraciones para obtener tanto el jamón cocido ahumado (Monin *et al.*, 1981, Monin y Sellier, 1985) como el jamón desecado ahumado (Sellier *et al.*, 1985; Santoro y Lo Fiego, 1987) (cuadro I). Vale la pena observar que el estrés pre-sacrificio tiende a limitar la intensidad del fenómeno PSE en los animales halotano-positivos, como ha sido demostrado por Monin *et al.* (1981). En lo que respecta a la calidad tecnológica, las comparaciones entre los genotipos del halotano han sido revisados por Sellier, quien ha observado algunas contradicciones en los resultados obtenidos por los diferentes autores. Algunos estudios indican una completa o casi completa recesividad del gene HAL<sup>n</sup> respecto a los criterios cualitativos de la carne, mientras que los heterocigotos aparecen más o menos a un nivel intermedio entre los dos homocigotos en otros estudios. Muchos de los estudios comparados publicados recientemente están a favor de una posición intermedia de los heterocigotos para la calidad de la carne (Sehested *et al.*, 1988; Lundstrom *et al.*, 1989 a; Murray *et al.*,

1989; Simpson y Webb, 1989; Rundgren *et al.*, 1990). Una especial atención merecen las recientes observaciones de Sather *et al.* (1989). Según estos autores, el efecto del gene HAL<sup>n</sup> en el estado heterocigótico puede depender del peso vivo en lo referente a la calidad de la carne; este gene dejaría de ser un gene recesivo en cerdos de peso limitado (peso vivo de 80 kg), para convertirse en un aditivo en el peso normal de mercado (100-105 kg), y por tanto se convertiría en un gene dominante en cerdos pesados (130 kg).

Aunque estos resultados deben ser interpretados con una cierta cautela, porque los diversos genotipos del halotano utilizados en este estudio no provenían de las mismas razas, ponen sin embargo en discusión la forma de heredabilidad en el locus del halotano. Se ha descubierto ciertamente que el gene HAL<sup>n</sup> es recesivo en lo referente a la sensibilidad al halotano y la predisposición al síndrome de estrés de los cerdos, pero se debe observar que los estudios de estos caracteres han sido realizados principalmente sobre animales jóvenes (test del halotano con peso vivo de unos 30 kg, muerte súbita durante el período de engorde), mientras que las observaciones sobre los criterios cualitativos de la carne se han efectuado al peso de mercado.

Este punto resulta particularmente importante para aquellos países donde se tienen ordinariamente cerdos muy pesados, como Italia, España o la región sud-oriental de Francia, y merece por tanto ulteriores estudios. En efecto, si los resultados de los estudios de Sather *et al.* fueran confirmados, la decisión de emplear el gene del halotano en un programa de cría dependería del peso de mercado de los cerdos.

**Cuadro III**

**Efecto de la sensibilidad al Halotano sobre la calidad alimenticia de la carne de tres razas porcinas. Los resultados indicados son instrumentos de evaluaciones obtenidas para cada carácter sobre una escala de 0 (pésima) a 10 (óptima)**

Reacción halotano (1)	Francesa		Belga		Pietrain	
	-	+	-	+	-	+
Terneza	5,9**	5,1	5,2**	4,6	5,4**	4,7
Jugosidad	4,1	4,2	3,8	3,6	3,8	3,8
Gusto	4,8	4,7	4,6	4,5	4,6	4,5

\*\* Diferencia significativa al nivel P>0,01.

(1) - : negativo; + : positivo.

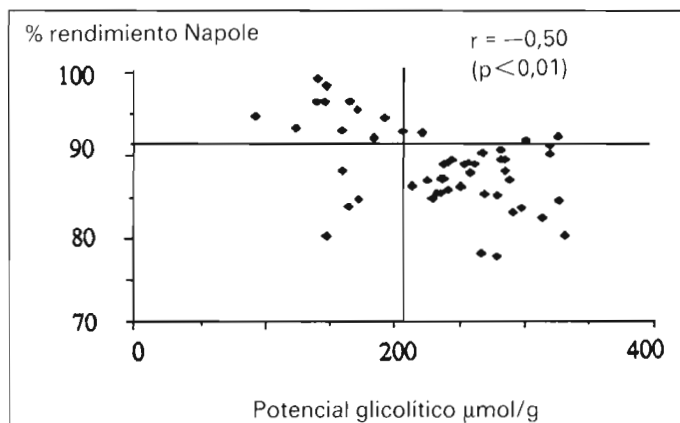


Fig. 2. Relaciones entre el potencial glicolítico (GP) del músculo *Longissimus dorsi* y el rendimiento Napole en una muestra de cerdos de tres líneas compuestas en las que se separa el gene RN: (1) GP = 2x [(glucógeno) + (glucosa) + (glucosa-6-fosfato) + (lactato)] (2) el rendimiento Napole, medido sobre el músculo semimembranoso, es un indicador del rendimiento tecnológico en la elaboración para la producción de jamones cocidos ahumados (Naveau *et al.*, 1985) (3) líneas compuestas (contribución de la raza original): Pen Ar Lan (1/3 Large White, 1/3 Pietrain, 1/3 Hampshire); Peshire (50% Hampshire, 35% Duroc, 15% Large White); Tia Meslan [1/2 china (Meishan y JaXing), 1/2 Pen Ar Lan]. (Por Fernández *et al.*, 1990).

La carne de los cerdos sensibles al halotano es mucho más dura que la de los cerdos normales, como ha sido demostrado por Touraille y Monin (1982) para la raza Pietrain, la raza francesa y la raza belga (cuadro III). Este resultado concuerda con el hecho de que numerosos autores han demostrado que la carne PSE resulta de calidad inferior desde el punto de vista alimenticio (Kaufmann *et al.*, 1964; Sayre *et al.*, 1964; Buchter y Zeuthen, 1971; Bejerholm, 1984). No es cierto que la sensibilidad al halotano influya en la calidad alimenticia de la carne principalmente a través de la composición muscular. La sensibilidad al halotano no tiene ninguna influencia sobre el contenido en colágeno del músculo (Monin *et al.*, 1982; Baland y Monin, 1987; Pinkas *et al.*, 1985). Su efecto sobre el contenido de grasa intramuscular está en discusión: Schmitt *et al.* (1984) encontraron un contenido menor en los cerdos sensibles al halotano respecto a los normales, pero Monin *et al.* (1982, 1986 y datos no publicados) y Pinkas *et al.* (1985) no encontraron ninguna diferencia significativa entre los dos tipos de cerdos. Es más probable que la carne de cerdos sensibles al halotano resulte dura, a causa de una deficiencia en la proteólisis que sucede durante el envejecimiento; la degradación de la estructura miofibrilar es mucho menos marcada en el músculo de los cerdos sensibles al halotano respecto al músculo de cer-

dos normales después de varios días de almacenaje (Estrade *et al.*, 1991).

Este último resultado explica las observaciones de Buchter y Zeuthen (1971) que demuestran que la terneza de la carne porcina y de la carne PSE es la misma un día después del sacrificio, mientras que la diferencia entre los dos tipos de carne aumenta con el paso del tiempo.

### Gene RN<sup>-</sup>

En 1986 Naveau avanzó la hipótesis de que un gene dominante que influía de modo negativo en la calidad de la carne se separaba en dos líneas de cerdos (Peshire P66 y Pen Ar Lan P77). En este estudio, la calidad de la carne ha sido determinada utilizando el «Rendement Napole», un indicador del rendimiento tecnológico en la elaboración del jamón cocido ahumado. «Rendement Napole» quiere decir rendimiento Napole, del nombre de los autores de esta técnica: Naveau, Pommeret y Lechaux (1985). La técnica consiste en ahumar y cocer una muestra de 100 g de carne tomada del músculo semimembranoso. Se ha supuesto que el gene en cuestión hace disminuir notablemente el rendimiento Napole y por ello se le ha designado como RN<sup>-</sup> (el alelo favorable es rn<sup>+</sup>) y a la carne correspondiente se le ha llamado «carne ácida» (Naveau, 1986). La hipótesis del gene domi-

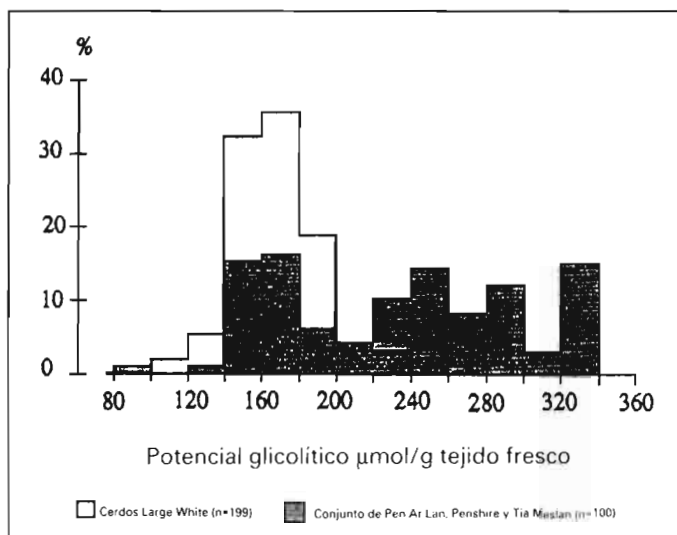


Fig. 3. Distribución de frecuencia del potencial glicolítico en el músculo del *Longissimus dorsi* sacado de una biopsia de cerdos de dos razas. (Por Fernández *et al.*, 1990).

nante ha sido confirmada por Le Roy *et al.* (1990), que han demostrado que la diferencia del rendimiento Napole entre los portadores de RN<sup>-</sup> y los homocigóticos rn<sup>+</sup> rn<sup>+</sup> asciende aproximadamente al 8%, es decir 3 desviaciones estándar del carácter. Esto corresponde a una diferencia aproximada del 5-6% del rendimiento tecnológico en fase de elaboración del jamón cocido ahumado; por el contrario, la sensibilidad al halotano induce una disminución del 2-3% de este rendimiento (Sellier, 1988, con citas de diversos estudios franceses - véase cuadro I). El modo en el que el gene RN<sup>-</sup> influye en la calidad de la carne no ha sido todavía averiguado directamente, pero existen motivos para creer que haga aumentar el contenido de glucógeno del músculo. En primer lugar existe una relación más bien estrecha entre el potencial glicolítico del músculo medido *intra vitam* (muy próximo al nivel de glucógeno) y el rendimiento Napole (fig. 2). En segundo lugar, el potencial glicolítico del músculo presenta una distribución bimodal (como el rendimiento Napole) en una población en la que el gene RN<sup>-</sup> está en separación, mientras que es diferente para la raza pura Large White, que puede ser considerada como privada de este gene (fig. 3). Una subpoblación en la fig. 3 presenta una distribución similar a la de la raza Large White estudiada por Talmant *et al.* (fig. 3). La otra subpoblación presenta una media mucho más alta, y parece que se puede presentar la hipótesis de que la dife-

rencia entre ambas subpoblaciones deriva de la presencia del gene RN<sup>-</sup> en la subpoblación 2. El gene RN<sup>-</sup> puede asimismo hacer disminuir el contenido proteico de la carne. Puesto que falta todavía un test para identificar el gene RN<sup>-</sup> en los diferentes cerdos, Naveau (comunicación personal) propone considerar a los animales con un rendimiento Napole inferior al 91% como portadores de RN<sup>-</sup>, sobre la base de la distribución de frecuencia de este rendimiento. Sirviéndose de este umbral, se determina que la carne de los presuntos portadores del gene RN<sup>-</sup> posee un contenido proteico inferior respecto a la carne de los cerdos considerados como normales, es decir, respectivamente 21,1 contra 22,1% de tejido fresco en el músculo semimembranoso (Monin y Naveau, datos no publicados). Desde el punto de vista del nivel de glicógeno, del contenido proteico y del rendimiento tecnológico en la elaboración para obtener el jamón cocido, la carne de los cerdos RN<sup>-</sup> resulta muy similar a la carne de «tipo Hampshire» descrita por Monin y Sellier (1985) como una característica de la raza Hampshire. Dado que las razas Panshire y Pen Ar Lan se han obtenido en parte por genes Hampshire, se estaría tentado a concluir que la «carne ácida» y la «carne Hampshire» son idénticas, y que el gene RN<sup>-</sup> ha sido esencialmente determinado por los fundadores de la estirpe Hampshire. Las relaciones entre el nivel de glicógeno, el pH de la carne, el contenido proteico y el contenido de agua serán examinadas más adelante.

No se conocen los posibles efectos del gene RN<sup>-</sup> sobre la idoneidad de otros tipos de carne a sufrir una elaboración y sobre la calidad de la carne fresca desde el punto de vista alimenticio.

**Indicadores genéticos**

Hacia finales de los años 70, investigadores daneses (por ej. Jorgensen, 1979) comprobaron asociaciones entre ciertos alelos en diversos loci —sistema del grupo sanguíneo H, isomerasa glucosa fosfato (GPI), deshidrogenasa 6-fosfogluconato (PGD) y alfa-1-b-glicoproteína (ALBG, antes PO2)— y una calidad inferior de la carne, tesis confir-

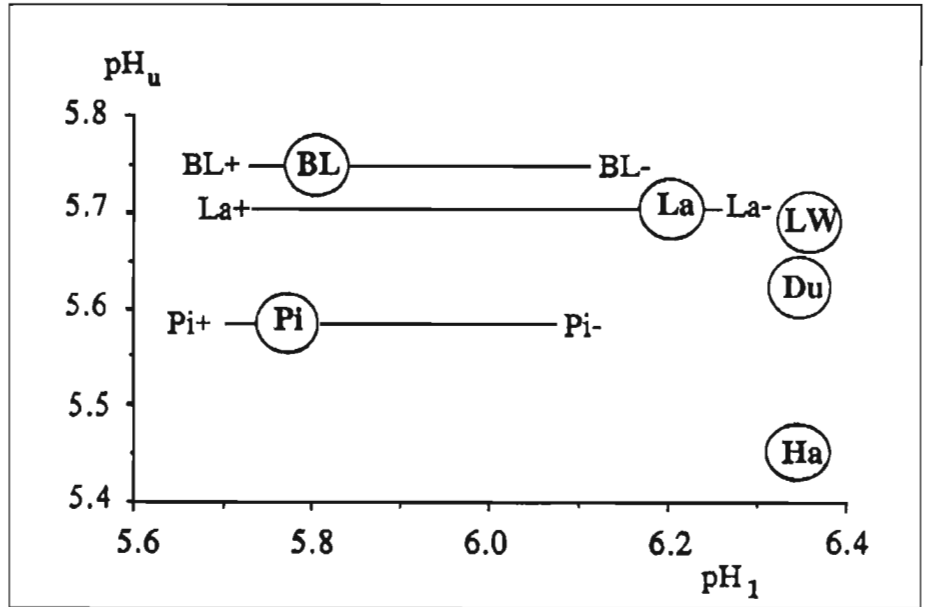


Fig. 4. Valores medios de pH<sub>1</sub> y pH final en seis razas puras de cerdos. Estos valores se refieren a un músculo blanco del muslo, en condiciones de estrés por pre-sacrificio moderado. pH<sub>1</sub>: pH 45-60 min. después de la muerte; pH<sub>u</sub>: pH final (24 horas después de la muerte). BL: raza original belga; La: raza local; Pi: raza Pietrain; LW: raza Large White; Du: raza Duroc; Ha: raza Hampshire. +: halotano-positivo; -: halotano-negativo (hipótesis sobre la frecuencia de la sensibilidad al halotano: 85-95% en la raza Pietrain, 75-85% en la raza original belga, 5-10% en la raza local, 0% en las otras razas).

madras después por diferentes autores para varias razas de cerdos (para una revisión del tema, véase Andersen, 1987). Como sostiene este último autor, es muy probable que estos alelos no tengan ningún efecto directo sobre la calidad de la carne. Su efecto aparente deriva de la colocación de los loci correspondientes en la misma región cromosómica del locus HAL. El orden de los loci más aceptable es el siguiente: HAL-GPI-H-A1BG-PGD (Guérin *et al.* 1983; Van Zeveren *et al.*, 1988; Vogeli, 1989). En diversas razas, el alelo HAL<sup>n</sup> se asocia preferentemente a los alelos H<sup>3</sup>, GPI<sup>B</sup>, A1BG<sup>S</sup> y PGD<sup>B</sup> (o PGD<sup>A</sup>), debido a desequilibrios en las conexiones. Esta propiedad puede ser empleada en la selección ante la sensibilidad al halotano por medio de la determinación del grupo sanguíneo (Sellier, 1985; Andersen, 1987; Vogeli *et al.*, 1988; Saugère *et al.*, 1989). El grupo de concatenación «halotano» ha sido recientemente asignado al cromosoma 6 del cariotipo del cerdo y está localizado en la parte próxima del brazo largo de dicho cromosoma (Davies *et al.*, 1988; Chowdhary *et al.*, 1989; Yerle *et al.*, 1990).

Archibald (1987) examinó las investigaciones efectuadas sobre otros sistemas de indicadores genéticos. Este autor destacó el interés constituido

por la identificación y por la clonación del gene HAL. Se ha demostrado que dos genes que controlan las proteínas hipotéticamente implicadas en el mecanismo de sensibilidad al halotano, tanto en el hombre como en el cerdo —o sea el receptor de la ryanodina y la lipasa hormona-dependiente—, están localizados en la misma región cromosómica del gene HAL en el hombre, y aparecen, pues, como potenciales candidatos para el locus HAL (McLennan *et al.*, 1990; McCarthy *et al.*, 1990; Levitt *et al.*, 1990). Es probable que sean realizados posteriores progresos en este sector.

El locus responsable de la adenosina desaminasa de los eritrocitos (ADA) podría constituir otro polimorfismo interesante en lo referente a la calidad de la carne. Asociaciones entre variantes electroforéticas del sistema ADA y la calidad de la carne han sido descubiertas por Hyldgaard-Jensen (1986) y Vogeli *et al.* (1985). En particular, el alelo recesivo «silente» ADA O, con una actividad enzimática nula o apenas perceptible, está asociado a una calidad inferior de la carne de los cerdos de raza danesa. Se observa que los datos mostrados por los estudios de Oishi *et al.* (1979) y Bigi *et al.* (1990) concuerdan al demostrar que el alelo ADA O se encuentra a una frecuencia muy ele-

vada en la raza Hampshire (de 0,70 a 0,90), mientras que la frecuencia de este alelo es más baja (de 0 a 0,50) en las razas Duroc, Pietrain, Landrace y Large White (Vogeli *et al.*, 1985; Schulman *et al.*, 1986; Van Zeveren *et al.*, 1990). La posible relación de esta característica con el «efecto Hampshire» sobre la calidad de la carne constituye un motivo para ulteriores investigaciones, como es recalcado por Lundstrom *et al.* (1989b).

## DIFERENCIAS ENTRE LAS RAZAS

En los veinte últimos años se han publicado numerosos estudios comparativos sobre las diferentes razas de cerdos en relación con la calidad de la carne.

### Calidad tecnológica

La mayor parte de los estudios efectuados para las razas europeas «modernas» y las razas americanas ampliamente difundidas como la Hampshire y la Duroc, concuerdan en demostrar que la carne de mejor calidad se obtiene de la raza Large White y que la mayor frecuencia de carne PSE se observa, por el contrario, en algunas razas originales (en particular la raza original Belga) y en la raza Pietrain. Como ya se ha dicho anteriormente, los cambios post mortem del pH muscular explican en gran parte las variaciones de la calidad tecnológica de la carne porcina.

Sirviéndose de los resultados de los estudios realizados por muchos autores de diversos países, Sellier (1988) ha recopilado los conocimientos actuales acerca de las variaciones post mortem del pH en las razas porcinas más importantes, como se demuestra en la fig. 4, de la que se desprende lo que sigue:

1. La raza Large White (o Yorkshire) presenta un lento cambio *post mortem* del pH y un pH final normal, que lleva a una satisfactoria calidad tecnológica de la carne.

2. La raza Duroc es muy similar a la raza Large White en lo referente al pH<sub>i</sub> y al pH final. Sin embargo, algu-

nos autores han sostenido que la carne de las razas puras y cruzadas Duroc son de color más claro (Barton-Gade, 1987; McCloughlin *et al.*, 1988) y presentan un valor de pH final ligeramente inferior (Smith y Pirson, 1986; McCloughlin *et al.*, 1988; Purchas *et al.*, 1990) respecto a la carne de las razas puras o cruzadas Large White. Según Barton Gade (1988), el jaspeado es con frecuencia demasiado elevado para la producción de jamones cocidos.

3. En las razas locales la situación depende estrechamente de la frecuencia de la sensibilidad al halotano en la raza considerada. La velocidad de la variación del pH aumenta con la frecuencia del gene HAL<sup>n</sup>. Si la frecuencia es baja, como sucede en la mayor parte de las razas originales europeas, la velocidad de variación del pH y la calidad tecnológica de la carne son muy similares a las observadas en las razas Large White. Es preciso observar que la diferencia cualitativa de la carne entre la raza Large White y las razas locales ha disminuido en los últimos años en Suiza (Vogel *et al.*, 1985) y en Francia (Saugère *et al.*, 1989). Esto puede atribuirse a la incidencia considerablemente reducida de la sensibilidad al halotano en las razas originales en cuestión (1-2% en 1987-88) contra el 15-18% en 1979-80 para la raza original francesa). Las diferencias del pH final entre los cerdos de raza Large White y los de razas locales son generalmente bajas y varían para los diferentes estudios.

4. La raza Pietrain asocia una rápida variación del pH (como consecuencia de una frecuencia muy elevada del gene HAL<sup>n</sup>) a un pH final más bien bajo. La rápida y extensa acidificación del tejido muscular determina una notable desnaturalización de las proteínas musculares y, por tanto, una cantidad elevada de carne PSE. El rendimiento tecnológico en un 3-4% respecto a la raza Large White.

5. La raza original belga presenta una rápida variación del pH, similar a la observada en la raza Pietrain, debido también a la elevada frecuencia del gene HAL<sup>n</sup>. Sin embargo, los efectos negativos de la velocidad de variación del pH son en algún modo compensados por un pH final relativamente alto (Sellier *et al.*, 1984, 1988). En lo refe-

rente a la calidad de la carne, los cerdos de raza original belga se encuentran en una posición intermedia entre los de raza Large White y los de raza Pietrain. Por ejemplo, el rendimiento tecnológico del jamón cocido respecto a la raza Large White es inferior en apenas el 2%.

6. En la raza Hampshire la velocidad de la variación del pH *post mortem* es igual a la observada para la raza Large White, pero la carne resulta considerablemente más clara y el rendimiento en la cocción para la producción de jamones cocidos ahumados es más bajo con respecto al de los cerdos Large White (Monin y Sellier, 1985; Krieter *et al.*, 1990). Estos defectos tecnológicos fueron atribuidos en un principio al pH final inferior encontrado en los músculos del muslo. Otro factor al que se le atribuye el reducido rendimiento en fase de elaboración puede ser el menor contenido proteico, que determina una relación agua-proteínas excepcionalmente elevada, dado que el contenido total de agua no se modifica o es modificado sólo en una mínima parte (Monin *et al.*, 1986; Barton-Gade, 1988). El pH final bajo y la elevada relación agua-proteínas pueden ser atribuidos a un excesivo nivel de glicógeno, que puede alcanzar un valor del orden de +70% en los músculos blancos de los cerdos de raza Hampshire cruzada, en relación con los cerdos de otras razas (Sayre *et al.*, 1963; Monin y Sellier, 1985; Essen-Gustavsson y Fjelkner-Modig, 1985; Monin *et al.*, 1987). Puesto que 1 g de glicógeno muscular fijaría de 2 a 4 g de agua (Greenleaf *et al.*, 1969), lo que es similar a la unión entre la proteína y el agua (unos 3,3 g de agua/g de proteína), todo aumento del nivel de glicógeno determina un aumento correspondiente del contenido de agua en relación con los otros componentes sólidos, entre los cuales la proteína es cuantitativamente el más importante. Esta hipótesis se explica en la fig. 5.

El agua ligada al glicógeno es probablemente liberada durante el glicolisis y también durante la elaboración de la carne, ya que este último proceso determina una alteración del glicógeno residual (Vignon y Monin, resultados no publicados). Esto puede tener

como consecuencia un exceso de agua respecto a cuanto pueden retener los componentes proteicos, y por tanto una mayor eliminación de agua durante la cocción.

En la fig. 4 se presentan los cerdos de las razas europeas «tradicionales» y de las razas chinas (por ej., Meishan). La carne de los cerdos de raza corsa presenta una mayor capacidad para retener el agua y una mayor reflectancia respecto a los cerdos de raza Large White (Goutefongea *et al.*, 1983; Casablanca y Luciani, 1989). Sañudo y Sierra (1989) advirtieron algunas diferencias en estas características entre dos razas ibéricas, la Puebla y la Torbiscal (cruzadas con la raza Duroc); la primera parecía ligeramente superior respecto a la segunda. Los resultados obtenidos en Francia han demostrado que el pH final y la capacidad de retener el agua de las razas chinas son similares a los valores encontrados para la raza Large White, pero el color de la carne es más oscuro (Legault *et al.*, 1985; Bidanel *et al.*, 1989). Suzuki *et al.* (1991) observaron una capacidad de retención de agua ligeramente superior en los cerdos de la raza china pura y cruzada respecto a los cerdos de raza cruzada Duroc x raza local.

Según el estudio de Sellier *et al.* (1985) las diferencias entre las razas por lo que respecta a la calidad tecnológica de la carne no han influido en el rendimiento tecnológico en la elaboración del jamón desecado.

**Calidad desde el punto de vista alimenticio**

De los estudios comparados efectuados entre la raza Large White y las razas locales «comunes» en relación con la calidad alimenticia de la carne fresca no se han obtenido diferencias sustanciales (Malmfors y Nillson, 1979), excepto en algunos casos, en los que se ha hallado una ligera ventaja en favor de las razas locales (Touraille y Monin, 1984; Essen-Gustavsson y Fjelkner-Modig, 1985; Fjelkner-Modig y Persson, 1986). Por el contrario, los cerdos de raza Pietrain y Belga presentan una carne de calidad inferior, especialmente en lo referente a la ternera respecto a los cerdos de raza Large

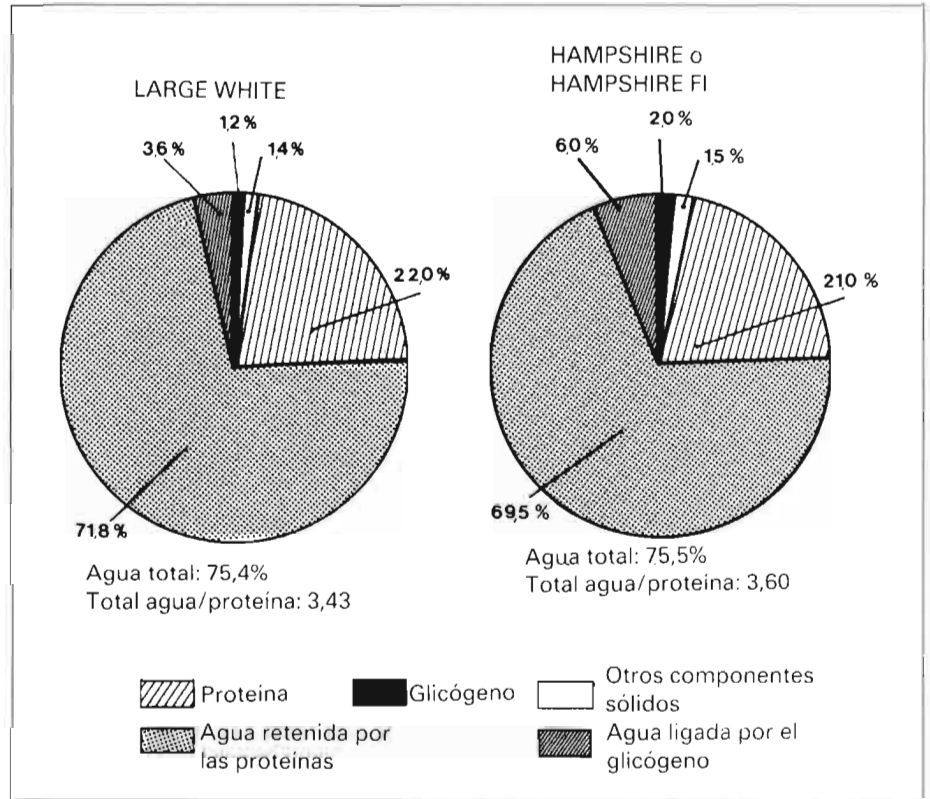


Fig. 5. Hipótesis sobre las relaciones entre el contenido proteico, el contenido de glicógeno y el contenido de agua en el músculo del cerdo. Estos valores se refieren a un músculo blanco (semimembranoso o *Longissimus dorsi*). Los datos aquí empleados han sido sacados de Monin y Sellier (1985), Monin *et al.* (1966) y de resultados no publicados de estudios de Monin y Naveau. Se ha supuesto que el glicógeno muscular ligase 3 g de agua por g. (Todos los valores están expresados en valor porcentual de tejido fresco).

White o francesas (Dumont, 1974; Touraille y Monin, 1982, 1984). Esto puede ser atribuido al número elevado de animales sensibles al halotano en las razas Pietrain y Belga.

En los últimos años diversos estudios han comparado las razas americanas ampliamente difundidas en Europa, como la Hampshire y la Duroc, con las razas europeas en relación con la calidad de la carne fresca desde el punto de vista alimenticio. La carne de los cerdos de la raza Hampshire y especialmente de la raza Duroc ha resultado en ciertos casos decididamente mejor que la de las razas europeas (Essen-Gustavsson y Fjelkner-Modig, 1985; Barton-Gade, 1988); esta superioridad ha sido atribuida al mayor contenido de grasa intramuscular entre las diversas razas, véase Sellier, 1988). Sin embargo, MacGloughlin *et al.* (1988) no han encontrado ninguna diferencia entre la raza Duroc y las razas originales o Large White en lo referente a la ternera, la jugosidad y la aceptabilidad general de la carne.

Otros estudios comparados entre las razas europeas y las razas chinas han

sido efectuados en Francia, España y Japón. Generalmente la carne fresca de los cerdos de raza china o cruzada ha sido juzgada por un grupo de expertos como más tierna, más jugosa y más sabrosa que la de los animales de razas europeas (Touraille *et al.*, 1983, 1985, 1989; Suzuki *et al.*, 1991). Sin embargo, en una encuesta entre los consumidores, Rousset *et al.* (1989) no encontraron ninguna diferencia entre la raza Large White y la raza Large White x china en lo relativo a la aceptabilidad general de la carne porcina, a pesar de que la raza china cruzada había obtenido puntuaciones más altas en los exámenes sensoriales; la excesiva cantidad de grasa visible en la carne de esta última raza compensaba su mejor calidad alimenticia.

Matassino *et al.* (1987 a y b) realizaron investigaciones sobre las características cualitativas y alimenticias de los jamones desecados, según las razas porcinas, en dos estudios que implicaban ocho tipos genéticos. El peso de los jamones variaba desde menos de 7 kg hasta más de 9 kg. Los autores observaron que el comportamiento de

cada tipo genético estaba en relación con el peso del jamón como media, la calidad mejor se ha obtenido con la raza italiana Large White, en particular para los jamones pesados. Los jamones obtenidos de cerdos de raza pura Large White y de raza cruzada Corsa x Large White diferían en intensidad de sabor, según lo manifestado por Goutefongea *et al.* (1983); se ha observado una marcada interacción con las condiciones de engorde. Dobao *et al.* (1989) indicaron que los lomos ahumados y las espaldas obtenidas de cerdos de raza cruzada Ibérica x JiaXing habían sido juzgadas menos aceptables que las obtenidas de cerdos de raza Ibérica pura, mientras que Touraille *et al.* (1990) encontraron que los jamones desecados obtenidos de cerdos con sangre Gascon x Meishan tenían una estructura mejor que los obtenidos de raza cruzada Large White x original.

**EFFECTOS DE LA HETEROSIS**

Dado que el cruzamiento es una técnica de la que se hace amplio uso en la producción de cerdos, el conocimiento de posibles efectos de la heterosis sobre la calidad de la carne resulta de considerable interés. La tesis clásica, según la cual los caracteres de la carne son heredados en adición en los cruzamientos entre las razas, ha sido reconsiderada recientemente por Sellier (1987).

Este autor observó que si la hipótesis de la aditividad puede ser admitida para la mayor parte de las combinaciones de razas y de los caracteres que determinan la calidad tecnológica, no está por el contrario comprobada en cruzamientos particulares en lo referente a determinados caracteres, por ejemplo:

- El pH<sub>1</sub> y otros indicadores de la carne PSE en cruzamientos con la raza Pietrain.
- El pH final y caracteres influenciados de modo considerable por el pH final en cruzamientos con la raza Hampshire.

En lo concerniente a los cruzamientos con la raza Pietrain, Sellier (1987) concluyó que los efectos de la heterosis sobre el pH<sub>1</sub> y sobre el valor de transmisión (un índice de la desnatura-

lización de las proteínas musculares) son generalmente positivos, y los cruzamientos F1 son similares a la raza parental «resistente al estrés». Este hecho puede ser interpretado, en términos de genotipos del halotano, considerando la recesividad incompleta del gene HAL<sup>n</sup>. Los resultados son menos concordantes en lo referente al color de la carne. Los cruzamientos Pietrain F1 han resultado similares a la raza resistente en ciertos estudios, mientras que han resultado a un nivel intermedio en otros.

El color de la carne está en efecto influenciado de modo considerable por la sensibilidad al halotano, pero otros factores desempeñan un papel importante en su determinación, como el contenido mioglobínico, el pH final o la microestructura. Es probable que estos caracteres, cuya influencia sobre el color se añade a la del locus HAL, sean heredados en adición, a excepción del pH final en los cruzamientos con la raza Hampshire, como se verá a continuación. En lo referente a los cruzamientos con la raza Hampshire, la condición de carne ácida, que con frecuencia presenta esta raza, parece ser heredada de forma más o menos notable, como se desprende de numerosos estudios realizados tanto en Francia como en los Estados Unidos (como referencia, véase Sellier, 1987), a pesar de que Langlois y Minvielle (1989) hayan observado que los cerdos cruzados con la raza Hampshire pueden presentar una carne con valores normales en términos de pH, reflectancia y capacidad de retener el agua.

En un reciente estudio de Purchas *et al.* (1990) se ha encontrado que los cerdos obtenidos de un cruce con la raza Hampshire diferían notablemente de los cruzados con cerdos de raza

Landrace y Large White en lo referente al pH, la reflectancia, la merma por exudación y la merma como consecuencia de la cocción de los lomos. Una heredabilidad dominante explicaría así mismo la calidad tecnológica sorprendentemente más escasa encontrada repetidamente en los cerdos obtenidos por cruces con la raza Hampshire, como parte de la línea de reproducción en el ámbito del programa francés para la «evaluación comercial del producto». La heredabilidad dominante se explica fácilmente si se supone que la carne de «tipo Hampshire» haya que atribuirla, en efecto, al gene RN<sup>-</sup> antes citado.

En el estado actual de los conocimientos, todavía no se ha publicado ninguna estimación de los efectos de la heterosis sobre la calidad de la carne desde el punto de vista alimenticio.

Sellier (1988) avanzó la hipótesis de que pudiese existir un efecto positivo de la heterosis en cruzamientos con la raza Pietrain y con la raza original belga, porque la causa de los defectos encontrados en estas razas, o sea la sensibilidad al halotano, es más o menos recesiva.

El mismo autor, examinando diferentes estudios europeos y americanos, concluyó que el efecto de la heterosis sobre el contenido de grasa intramuscular está próximo a cero o es ligeramente negativo.

**HEREDABILIDAD**

Los primeros resultados de las investigaciones sobre la heredabilidad en relación con la calidad tecnológica de la carne se remontan al inicio de los años sesenta (Jonsson, 1953; Ollivier y Meslé, 1963). Desde entonces se han

<b>Cuadro IV</b>			
<b>Valores medios de la heredabilidad de algunos criterios cualitativos de la carne</b>			
<b>Carácter</b>	<b>h<sup>2</sup> medio</b>	<b>N.º estimaciones</b>	<b>Resultados estimados</b>
pH <sub>1</sub>	0,18	11	0,11-0,41
pHu	0,22	23	0,07-0,34
Reflectancia	0,28	25	0,15-0,57
Capacidad para retener el agua	0,12	12	0,01-0,43
Evaluación subjetiva	0,22	5	0,10-0,37

(1) pH: pH, 45-60 min. después de la muerte; pHu: pH final (24 horas después de la muerte).

realizado muchos estudios en este sector.

Los resultados de las investigaciones sobre la heredabilidad publicados desde 1975 hasta 1988 en lo relativo a los caracteres que determinan la calidad tecnológica de la carne, y desde 1967 hasta 1979 en lo referente a la calidad de la carne desde el punto de vista alimenticio, han sido revisados por Sellier (1988). Las conclusiones de recientes estudios facilitados por Cameron (1990) concuerdan en su totalidad con aquéllas a las que se llega con dicha revisión.

Este estudio contempla seis caracteres de calidad tecnológica de la carne, que son el pH<sub>1</sub>, el pH final, la reflectancia, la capacidad de retener el agua, la variación cualitativa subjetiva y el índice cualitativo de la carne (cuadro IV). La reflectancia parece ser el rasgo más heredable. Globalmente, cualquiera que sea el carácter de la raza, las estimaciones de heredabilidad se mueven generalmente entre 0,10 y 0,35. La heredabilidad de los caracteres que se refieren a la calidad tecnológica de la carne resulta ser de escasa a moderada.

En estudios que comprendían a la raza Large White (o Yorkshire) y a las razas locales, las estimaciones sobre la heredabilidad en lo referente a los caracteres típicos de la carne PSE (pH<sub>1</sub>, reflectancia o evaluación subjetiva) han resultado más elevadas para las razas locales que para la raza Large White (para referencia véase Sellier, 1988), aún cuando Cole *et al.* (1988) y Lundstrom *et al.* (1989b) han llegado a resultados diferentes. Esto podría ser una consecuencia de la presencia del gene de la sensibilidad al halotano en las razas originarias, dado que este gene principal puede aumentar notablemente la varianza genética adicional de los criterios que determinan la carne PSE, si está presente en la raza con una frecuencia media (Smith y Webb, 1981). En lo concerniente a la raza Hampshire, los resultados de los estudios sobre la heredabilidad obtenidos recientemente en relación con el color de la carne (Lundstrom *et al.*, 1989b; Rydhmer *et al.*, 1990) son similares a los obtenidos para la raza Large White y para las razas locales.

La heredabilidad de la terneza parece ser del 0,3. Otras características de



Existen numerosos estudios comparativos sobre las diferentes razas de cerdo en relación con la calidad de la carne.

la calidad alimenticia de la carne son heredables en medida mucho menor. La mayor parte de los resultados sobre la heredabilidad en relación con el contenido de grasa intramuscular varían de 0,4 a 0,6 (Sellier, 1988, con citas de diversos estudios). Este carácter resulta notablemente heredable y podría, por tanto, estar fácilmente influenciado por la selección dentro de la raza.

### CORRELACIONES GENÉTICAS

Ya a partir de los primeros estudios sobre el fenómeno de la carne PSE, se había sospechado un antagonismo genético entre el crecimiento y las transformaciones de la canal y la calidad de la carne (Ludvigsen, 1954, 1955). Este tema ha sido recientemente reexaminado por Sellier (1988).

Las correlaciones genéticas entre la tasa de crecimiento (aumento diario) y los caracteres que determinan la calidad de la carne son generalmente negativas, pero cuán estrecha sea esta correlación depende de la raza en cuestión. En la raza Large White se encuentra generalmente una marcada oposición genética entre la tasa de crecimiento y la calidad de la carne (especialmente en lo concerniente a la reflectancia) (Blum, 1983; Ollivier, 1983; Johansson, 1987; Cole *et al.*, 1988), mientras que la situación es mucho más variable en las razas locales.

Johansson (1987) encontró una correlación genética negativa ( $r_A = 0,4$ ) entre el aumento diario y la reflectancia en la raza original sueca, pero Pedersen (1979), Blum (1983), Busse y Groeneveld (1986) y Cole *et al.* (1988) no encontraron ninguna asociación genética de relieve entre estos caracteres en otras razas originales. Las observaciones de Barton Gade (1979) podrían explicar esta diferencia entre las razas. Entre los días 150 y 250 de vida, el contenido de pigmento en la carne aumenta mucho más rápidamente en los cerdos de raza Large White respecto a las razas locales. La reducción de la edad de sacrificio pues, determinada por las mejoras genéticas de la tasa de crecimiento, tendrá un efecto mucho más marcado sobre la mioglobina y, consecuentemente, sobre el color de la carne en la raza Large White que en las razas locales.

Una correlación genética ligeramente positiva entre la tasa de crecimiento y la reflectancia de la carne ( $r_A = +0,15$ ) ha sido encontrada en la raza Hampshire por Rydhmer *et al.* (1990).

En general se ha encontrado que las correlaciones genéticas entre la relación de conversión alimenticia y la calidad de la carne son frecuentemente negativas ( $r_A$  comprendido entre 0,2 y 0,3; por referencia, véase Sellier, 1988). De nuevo, entre los rasgos que determinan la calidad de la carne, la reflectancia muestra el antagonismo genético más marcado con el rendimiento

alimenticio. Se acepta ahora la existencia de un antagonismo genético entre la cantidad y la calidad de la carne.

Los valores relativos a las correlaciones genéticas entre cantidad de la carne y caracteres que determinan su calidad están frecuentemente comprendidos entre  $-0,1$  y  $-0,4$  (para referencias véase revisión de Sellier, 1988). Analizando la documentación disponible, se puede concluir que el antagonismo genético entre calidad y cantidad de la carne tiende a ser más marcado cuando:

- El aspecto relativo a la cantidad está estrechamente ligado al desarrollo muscular (por ejemplo, peso del lomo o zona del *Longissimus dorsi*).
- El aspecto relativo a la calidad de la carne es un indicador del fenómeno del PSE (pH<sub>1</sub>, exudación o reflectancia).
- El gene de la sensibilidad al halotano está presente con una frecuencia notable en la raza examinada.

Cuando estas tres condiciones se manifiestan simultáneamente, la oposición genética entre cantidad y calidad de la carne puede llegar a ser muy acentuada, y ésto está ligado al hecho de que la sensibilidad al halotano induce un mayor desarrollo muscular y una mayor incidencia de la carne PSE (Eikelenboom y Ninkema, 1974, confirmado por muchos autores). Por ejemplo, se han encontrado correlaciones genéticas de  $-0,65$  entre la zona del *Longissimus dorsi* y el color de la carne, y de  $-0,82$  entre el peso del lomo y la evaluación subjetiva de la calidad de la carne, respectivamente por Sonnichsen *et al.* (1984) en lo referente a la raza Pietrain y la raza original Belga, y por Cole *et al.* (1988) en relación a la raza original Belga.

Según Cameron (1990), las correlaciones genéticas encontradas entre las características de la canal y los aspectos cualitativos de la carne sugieren que la selección a favor de un peso más escaso tendría como consecuencia un reducido contenido de grasa intramuscular y una calidad inferior. El tema ha sido examinado por Sellier (1988), quien ha recogido datos relativos a correlaciones genéticas entre el contenido de grasa intramuscular y el comportamiento en fase de producción. Se han encontrado correlaciones positivas

(de 0,3 a 0,5 aproximadamente) entre el aumento diario y el contenido de grasa intramuscular; las correlaciones entre esta última característica y la cantidad de grasa de la canal son muy inferiores (de 0,10 a 0,20). La correlación genética entre la tasa de crecimiento del tejido magro y el nivel de grasa intramuscular es positiva (como media 0,20). Sellier (1988) sacó la conclusión de que la actual selección de tasa de crecimiento y contenido muscular de la canal no debe hacer disminuir el nivel de grasa intramuscular.

### CONCLUSIONES

En los 15 últimos años se han ampliado notablemente los conocimientos sobre el control genético de las propiedades tecnológicas y organolépticas de la carne porcina. De la revisión de la documentación disponible se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. El gene de la sensibilidad al halotano (HAL<sup>n</sup>), responsable de la carne PSE, explica en gran parte la variabilidad genética tanto de la calidad tecnológica (color, merma por exudación, rendimiento en fase de transformación) como de la calidad desde el punto de vista alimenticio (terneza) de la carne porcina.

2. Se debe recalcar que, contrariamente a cuanto se consideraba inicialmente, parece cada vez más cierto que el gene del halotano no es completamente recesivo en lo referente a sus efectos sobre las características cualitativas ligadas al fenómeno del PSE. La producción de cerdos de matadero portadores del gene HAL<sup>n</sup> en el estado heterocigótico (para sacar ventaja del positivo efecto colateral de este gene sobre el porcentaje de sacrificio y sobre el contenido de tejido magro en la canal) puede tener como consecuencia deficiencias cualitativas de la carne más o menos graves, que dependen probablemente de las condiciones del proceso de sacrificio y quizá también del peso al sacrificio.

3. Las diferencias según las razas en lo referente a las propiedades tecnológicas y organolépticas de la carne porcina son en parte consecuencia de las notables diferencias de incidencia

de la sensibilidad al halotano, pero están implicados también otros factores, en particular aquellos que influyen en la extensión de la caída del pH *post mortem* y, por tanto, en el pH final de la carne.

4. El contenido de grasa intramuscular es probablemente uno de los principales factores capaz de determinar las diversidades entre las diferentes razas en lo referente a la calidad de la carne desde el punto de vista alimenticio.

5. Recientemente se ha descubierto uno de los principales genes responsables de un bajo rendimiento tecnológico en la transformación de la carne para obtener productos cocidos y ahumados («carne ácida»). Se considera que este gene puede ser capaz de determinar un considerable aumento del potencial glicolítico del músculo (y quizá también una disminución de su contenido proteico). El gene de la carne ácida (RN<sup>-</sup>) es el que probablemente origina el «efecto Hampshire» sobre la calidad de la carne descrito anteriormente, pero queda por comprobar si este gen está presente también en otras razas. La medida del potencial glicolítico muscular sobre el animal vivo ofrece válidos motivos para distinguir entre portadores y no portadores del gene RN<sup>-</sup> y podría ser empleada para el cribado de los cerdos.

6. La heredabilidad de la mayor parte de los caracteres relativos a la calidad tecnológica de la carne es de baja a moderada (de 0,15 a 0,30), y la heredabilidad del contenido de grasa intramuscular es elevada (de 0,40 a 0,50). La cría puede ser un modo eficaz para modificar estas características o al menos para mantenerlas a niveles aconsejables (por ejemplo, por medio de índices de selección limitados).

7. Existe un antagonismo genético, más o menos marcado según la raza y la característica en cuestión, entre la calidad tecnológica de la carne porcina y aspectos ligados al crecimiento o a la composición de la canal. El gene de la sensibilidad al halotano es el principal factor responsable del antagonismo genético «cantidad-calidad de la carne».

Quien esté interesado puede disponer de la bibliografía en la Redacción.