

IMPACTO DE LA ARQUITECTURA MUSCULAR EN LA TOMA DE MUESTRAS PARA EVALUAR CALIDAD DE CARNE

Graziotti G. H.¹; Rodríguez Menéndez J.¹; Ríos C.M.¹; Salinas M.¹; Bosco A.¹; Paltenghi Ceschel A.¹; Affricano N.O.¹; Basso L.²

¹Anatomía. Facultad de Ciencias Veterinarias. UBA. Chorroarín 280. Buenos Aires, CWO 1427, Argentina. E-mail: ggrazio@fvvet.uba.ar

²Departamento de Producción Animal. Facultad de Agronomía. UBA. Av. San Martín 4453. Buenos Aires CWO 1427, Argentina.

Recibido: 25/6/2007 Aceptado: 28/8/2007

RESUMEN

Un músculo aparentemente homogéneo en su estructura, presenta compartimientos neuromusculares, subvolumenes definidos por su inervación, importantes zootécnicamente, por presentar cada uno de ellos, características propias en las fibras musculares, incluidas el área y el perfil metabólico que influyen decisivamente en la transformación en carne de calidad. El objetivo de esta investigación ha sido determinar el área de las fibras y la capacidad oxidativa en los subvolumenes del músculo *Semitendinosus* de cerdo, en sistemas de terminación confinado y semiextensivo. En subvolumenes previamente determinados (R1, R2, R3, R4) de cerdos magros terminados en sistemas confinado-semiextensivo, se midió la capacidad oxidativa y el área de cada tipo de fibras, mediante identificación histoquímica y análisis de imágenes. En un diseño en bloques al azar, el análisis de varianza ($p < 0,05$) indicó que la capacidad oxidativa y el área de las fibras varían significativamente de acuerdo a los subvolumenes musculares, independientemente del sistema de terminación. El área es mayor para todos los tipos de fibras en R1 y la capacidad oxidativa en R4. Los estudios estructurales previos a las valoraciones físicas y bioquímicas relacionadas a la calidad de carne, debieran extenderse a todo músculo utilizado con estos fines.

PALABRAS CLAVE: anatomía, músculo, fibras, cerdo, calidad de carne.

SUMMARY

IMPACT OF THE MUSCULAR ARCHITECTURE IN SAMPLING FOR MEAT QUALITY EVALUATION

An apparently homogeneous muscle in its structure, presents different subvolumens or neuromuscular compartments definite by its innervation. In each subvolumen the metabolic profile and area of the muscular fibers vary and present own characteristics that influence decisively in the transformation in high quality meat. The aim of this investigation has been to determine the fibers area and oxidative capacity in subvolumens of the *Semitendinosus* muscle of the pig, in indoor and outdoor rearing systems. The oxidative capacity and area of each fiber type were measured by histochemical identification and image analysis, in subvolumens previously determined (R1, R2, R3 and R4) of lean pigs reared in indoor-outdoor systems. A random block design (ANOVA, $p < 0,05$) indicated that the oxidative capacity and fibers area vary significantly according to muscle subvolumens, independently of the rearing system. The area is greater for all fibers types in R1 and oxidative capacity is higher in R4. The structural studies prior to the physical and biochemical appraisals related to meat quality should be extended to all the muscles.

KEY WORDS: anatomy, muscle, fibers, pig, meat quality.

INTRODUCCIÓN

En el músculo esquelético de cerdo, se han identificado 4 tipos de fibras puras I, IIA, IIX y IIB. El tipo I tiene menor área y mayor capacidad oxidativa; el tipo B posee características inversas, y los tipos IIA y IIX tienen niveles intermedios (Quiroz-Rothe y Rivero, 2004). Estas características son importantes de determinar con certeza, pues el incremento de la capacidad anaeróbica y de la sección transversal, disminuyen la capacidad del músculo para transformarse en carne de calidad (Abreu *et al.*, 2006, Greenwood *et al.*, 2006). Es necesario mejorar el conocimiento sobre los mecanismos fisiológicos de las fibras musculares, teniendo en cuenta la relación variable que existe entre ellas y los parámetros de calidad de carne, para explicar los resultados conflictivos en numerosas investigaciones previas (Gentry *et al.*, 2004).

Un músculo en conjunto, aparentemente homogéneo en su estructura, presenta diversos compartimientos neuromusculares, los cuales constituyen subvolumenes definidos por su innervación, y lo más importante desde el punto de vista zootécnico, es que presentan cada uno de ellos, características propias en las fibras musculares, incluidas el área y el perfil metabólico (Graziotti *et al.*, 2004; Kernell, 1998).

Por lo tanto, es importante realizar un estudio anatómico previo en cualquier músculo que vaya a ser analizado en cuanto a sus propiedades productivas, para establecer correspondencia entre las propiedades de las fibras y los estudios físicos y bioquímicos relacionados con la calidad de carne. El objetivo de esta investigación ha sido determinar el área de las fibras y la capacidad oxidativa en los subvolumenes R1, R2, R3, R4 del músculo (ST) *Semitendinosus* de cerdo, previamente estudiados (Graziotti *et al.*, 2006), en sistemas de terminación confinado y semiextensivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cerdos magros modernos pertenecientes a la genética INTA-MGC, machos castrados (n 48) de 25 kg, fueron divididos en 2 sistemas de terminación con el objetivo de evaluar las características fibrilares, según el nivel de ejercicio, de distintos subvolumenes del ST. Uno de los grupos fue instalado en confinamiento en boxes con piso de cemento y el otro grupo en un sistema semiextensivo, en potreros rotativos de 1,5 hectáreas y faenados a los 100 kg de peso. Los subvolumenes R1, R2, R3, R4, fueron determinados en un estudio macroscópico previo (figura 1) (Graziotti *et al.*, 2006). Del centro de cada uno de ellos, muestras musculares fueron tomadas de los cerdos

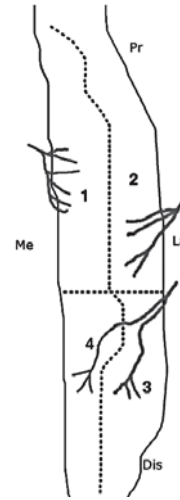


Figura 1. Esquema de los compartimientos neuromusculares del músculo *Semitendinosus* del cerdo.

Los subvolumenes del músculo *Semitendinosus* se indican como 1, 2, 3 y 4; Pr, proximal; Dis, distal; La, lateral; Me, medial. Se indica la distribución de las ramas primarias del nervio isquiático.

faenados para consumo y congeladas en nitrógeno líquido. En criocortes seriados de las mismas, fue evaluada la actividad de la enzimas nicotinamida dinucleótido tetrazolium reductasa (NADH-TR) (Dubowitz, 1985) y miosina adenosina trifosfatasa miofibrilar (ATPasa) (Brooke y Kaiser, 1970) para determinar el metabolismo y el tipo de fibra respectivamente. Imágenes de cada reacción fueron digitalizadas; en aquellas de NADH-TR, se dibujó una máscara siguiendo los bordes del perimio en un área limitada por el contorno de 3 fascículos adyacentes, y medida en ella la densidad óptica (DO). Debido a que las adyacencias del perimio se hallan ocupadas preferentemente por fibras anaeróbicas (Mc Conathy *et al.*, 1983) el límite de cada área evaluada coincidió con la distribución del mismo para disminuir el error metodológico. En las imágenes de ATPasa se dibujó una máscara en cada tipo de fibra midiendo su área. En ambas mediciones se usó el analizador Scion Image, versión Beta 3b. En un diseño en bloques al azar, los valores fueron analizados mediante análisis de la varianza, comparando los valores medios por el método de Tukey ($p = 0,05$).

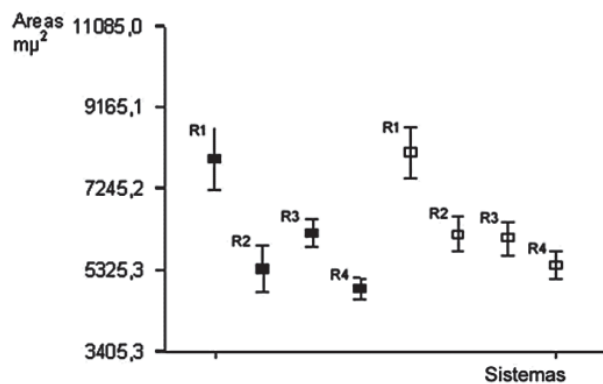
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los subvolumenes musculares se indican en la figura 1. Los valores de áreas y sus diferencias significativas en el cuadro 1 y figura 2 ($R1 > R2 = R3 = R4$). No existen diferencias entre los tipos de fibras, y entre las regiones de acuerdo al

Cuadro 1. Valores de áreas de acuerdo a las regiones musculares y a los sistemas de terminación confinado/semiextensivo.

Sistemas	Medias	EE	Regiones
Confinado	6101,54 ^a	309,47	
Semiextensivo	6438,57 ^a	250,87	
	8372,28 ^b	490,16	R1
	6056,97 ^c	357,71	R2
	6241,89 ^c	303,62	R3
	5281,70 ^c	261,95	R4

Indica los valores de medias y errores estándar de las áreas de todos los tipos de fibras según los grupos confinado /semiextensivo (Filas 1 y 2), y los valores de medias y errores estándar de las áreas de todos los tipos de fibras en las distintas regiones del músculo (expresadas en mm²). Los valores con idéntico superíndice no indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

**Figura 2.** Distribución de áreas de las fibras musculares de acuerdo a las regiones musculares y sistemas de terminación confinado/semiextensivo.

Se indican las áreas distribuidas por región y sistemas; R1, R2, R3, R4, corresponden a los subvolúmenes musculares 1, 2, 3, y 4 respectivamente. Los marcadores con relleno negro corresponden al sistema intensivo. Los marcadores sin relleno corresponden al sistema semiextensivo. Las diferencias significativas se conservan entre regiones ($R1 > R2 = R3 = R4$), independientemente de cada sistema ($p < 0,05$). Áreas expresadas en mm².

sistema de terminación. La capacidad oxidativa se indica en el cuadro 2 ($R4 > R1 = R2 = R3$).

Para nuestro conocimiento este es el primer trabajo que describe un músculo de cerdo involucrado en las pruebas de calidad de carne, analizando la distribución del perfil metabólico y áreas de los tipos de fibras en forma regional, diferenciadas del músculo en conjunto.

El perfil metabólico y el área de las fibras han sido relacionadas en distintos documentos, indicando una diferencia entre animales seleccionados hacia un rápido crecimiento con obtención de reses magras y aquellos de razas menos seleccionadas. En el primer grupo, las fibras evolucionan hacia una menor capacidad oxidativa e incremento del área, ocurriendo lo opuesto en el segundo, aunque estas modificaciones en el área de las fibras por el nivel de crecimiento, sólo parece evidenciarse en los músculos rápidos y pálidos (Ruusunen y Puolanne, 2004, Lefaucheur, 2003). En el presente trabajo, no existe diferencia significativa en el área entre los distintos tipos de fibras, hecho documentado por Karlsson y col. (1999) y Ruusunen y Puolanne (2004) para aquellas razas menos seleccionadas. En las razas más seleccionadas la diferencia en el área entre los tipos de fibras es más evidente por el incremento de las fibras de tipo IIB. Sin embargo, en este ensayo, las diferencias significativas se hallan presentes cuando el músculo se analiza por regiones musculares para todos los tipos de fibras, y no cuando se considera el músculo en conjunto, independientemente del sistema de terminación en que se encontraran los animales.

El área de las fibras está contundentemente documentada por su influencia en el metabolismo muscular en el período *perimortem*. El incremento del área es una característica negativa importante porque conduce a una disminución del número de capilares en contacto con las fibras, dificultando la extracción del lactato desde la fibra muscular, (Ruusunen y Puolanne 2004). Menos evidente es la influencia del área en relación a la terneza; una correlación negativa entre el área de las fibras y la terneza de la carne es documentada por Duckett *et al.* (2000).

En el presente ensayo, en R4 existe menor área en todos los tipos de fibras, lo cual junto con una significativa capacidad oxidativa con respecto a las regiones restantes, le adjudica mejores condiciones para el proceso de transformación del músculo en carne en cuanto a pH, color y capacidad para retener líquido. Los subvolúmenes o músculos oxidativos tienen mayor proporción de la isoforma H- lactato dehidrogenasa que autoinhibe la formación de lactato (Pösö y Puolanne, 2005) (Cuadro 2). Los músculos o subvolúmenes con un gran número de fibras con menor área tienen un potencial de crecimiento mayor que aquellos compuestos por fibras de mayor área y con menor

número, sin que aparezcan condiciones desfavorables (Ruusunen y Puolanne, 2004).

Cerdos terminados en sistemas extensivos incrementan la capacidad oxidativa en los músculos *Semitendinosus* (Gentry et al., 2004) y *Biceps femoris* (Abreu et al., 2006). En nuestros resultados no encontramos explicación a la falta de diferencias significativas en la capacidad oxidativa y en el área de las fibras considerando ambos sistemas de terminación, indicando probablemente una fuerte influencia de la estructura muscular sobre los tratamientos. Sin embargo, estos ensayos no son comparables, pues si bien se analizan músculos funcionalmente parecidos al ST, no realizan un estudio estructural y varían las superficies de los potreros de terminación.

Cuadro 2. Capacidad oxidativa (DO) del músculo *Semitendinosus* de cerdo de acuerdo a las regiones estudiadas y a los sistemas de terminación confinado/semiextensivo.

Sistemas	DO	DE	Regiones
Confinado	99,73 ^a	17,41	R1
Semiextensivo	110,93 ^a	32,39	R1
Confinado	81,96 ^a	13,55	R2
Semiextensivo	89,62 ^a	26,02	R2
Confinado	99,23 ^a	17,15	R3
Semiextensivo	92,73 ^a	20,63	R3
Confinado	142,57 ^b	21,78	R4
Semiextensivo	138,31 ^b	23,61	R4
Confinado	109,26 ^c	29,62	
Semiextensivo	107,63 ^c	31,97	

Se indican los valores de medias de DO, por región y en ambos sistemas (Filas 1-8), y las medias en ambos sistemas, sin discriminar por región (Filas 9-10). Superíndices idénticos indican falta de significación ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES

Los estudios estructurales previos a las valoraciones físicas y bioquímicas relacionadas a la calidad de carne, debieran extenderse a todo músculo utilizado con estos fines. Más específicamente aún, los resultados no podrían extenderse a distintos músculos de animales con un mismo tratamiento (Greenwood et al., 2006) y a las distintas

razas, debido a que la expresión fenotípica de las fibras como área y capacidad oxidativa, no es constante entre ellas, aún para un mismo músculo (Chang et al., 2003).

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue desarrollada y financiada en el marco de los Proyectos V-803, y G-010, Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Los autores agradecen la cesión de las muestras musculares al Dr D. Campagna, Universidad Nacional de Rosario y al INTA Estación Marcos Juárez, Argentina. Asimismo agradecen al Área de Histología, Facultad de Ciencias Veterinarias UBA por facilitar el uso del crióstato.

BIBLIOGRAFÍA

- ABREU, E.; MAYORAL, A.I. y RIVERO, J.L.L. 2006. Myosin heavy chain fibre types and fibre sizes in nuliparous and primiparous ovariectomized Iberian sows: interaction with two alternative rearing systems during the fattening period. *Meat Sci.* 74: 359-372.
- BROOKE, M.M. y KAISER, K.K. 1970. Muscle fiber types: how many and what kind?. *Arch. Neurol.* 23: 369-379.
- CHANG, K.C.; DA COSTA, N.; BLACKLEY, R.; SOUTHWOOD, O.; EVANS, G.; PLASTOW, G.; WOOD, J.D. y RICHARDSON, R.I. 2003. Relationships of myosin heavy chain fibre types to meat quality traits in traditional and modern pigs. *Meat. Sci.* 64: 93-103.
- DUBOWITZ, V. 1985. *Muscle biopsy: a practical approach*, 2nd edn. Bailliere Tindall London.
- DUCKETT, S.K.; SNOWDER, G.D. y COCKETT, N.E. 2000. Effect of the callipyge gene on muscle growth, calpastatin activity, and tenderness of three muscles across the growth curve. *J. of Anim. Sci.* 78: 2836-2841.
- GENTRY, J.G.; M_C GLONE, J.J.; MILLER, M.F.; y BLANTON, J.R. 2004. Environmental effects on pig performance, meat quality and muscle characteristics. *J. anim. Sci.* 82:209-217.
- GRAZIOTTI, G.H.; PALENCIA, P.; DELHON, G. y RIVERO, J.L.L. 2004. Neuromuscular partitioning, architectural design, and myosin fiber types of the *M. vastus lateralis* of the llama (*Lama glama*). *J. of Morphol.* 262: 667-681.
- GRAZIOTTI, G.H.; RODRÍGUEZ MENÉNDEZ, J.; BASSO, L.; SALINAS, M.; PALTENGGI, A.; AFFRICANO, O. y RÍOS, M. 2006. Architectural design of the semitendinosus muscle in pigs. VIII Jornadas Multidisciplinarias de la Sociedad Argentina de Biología. Buenos Aires, Argentina.

- GREENWOOD, P.L.; GARDNER, G.E. y HEGARTY, R.S. 2006. Lamb myofibre characteristics are influenced by sire estimated breeding values and pastoral nutritional system. *Austral. J. of Agric. Res.* 57: 627-639.
- KARLSSON, A.H.; KLONT R.E. y FERNANDEZ, X. 1999. Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Prod. Sci.* 60: 255-269.
- KERNELL, D. 1998. Muscle regionalization. *Can. J. Appl. Physiol.* 23: 1-22.
- LEFAUCHEUR, L. 2003. Typologie et ontogenèse des fibres musculaires chez le por. *INRA Prod. Anim.* 16: 133-136.
- M_c CONATHY, D.; GIDDINGS, C.J. y GONYEA, W.J. 1983. Structure-function relationships of the flexor carpi radialis muscle compared among four species of mammals. *J. of Morphol.* 175: 279-292.
- PÖSÖ, A.R. y PUOLANNE, E. 2005. Carbohydrate metabolism in meat animals. *Meat Sci.* 70: 423-434.
- QUIROZ-ROTHER, E. y RIVERO, J.L.L. 2004. Coordinated expression of myosin heavy chains, metabolic enzymes, and morphological features of porcine skeletal muscle fiber types. *Microsc. Res. and Tech.* 65: 43-61.
- RUUSUNEN, M. y PUOLANNE, E. 2004. Histochemical properties of fibre types in muscles of wild and domestic pigs and the effect of growth rate on muscle fibre properties. *Meat Sci.* 67: 533-539.