

# LAS FIBRAS MUSCULARES ESQUELÉTICAS Y LA PRODUCCIÓN DE CARNE EN EL CERDO

Graziotti, G.\*, Ríos, C.\* y Basso, L.\*\*. 2000. Rev. Arg. de Prod. Animal, Bs. As., 20(2):145-159.

\*Área de Anatomía, Depto. de Fisiología y Ciencias Básicas. Fac. Cs. Vet., UBA, Argentina.

\*\*Cátedra de Porcinotécnica, Depto. de Producción Animal, Fac. Agron., UBA, Argentina.

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto UBACYT IG 001 (1998-2000).

[www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Volver a: [Producción porcina](#)

1. Introducción
2. Características generales de las fibras musculares
3. Factores que afectan la calidad de la carne
  - 3.1. Evolución del pH postmortem
    - 3.1.1. Efecto de las carnes PSE y el estrés en relación al pH postmortem.
  - 3.2. Caracteres organolépticos
4. Variaciones metabólicas y morfométricas de las fibras musculares en los cerdos
5. Variaciones en las fibras musculares con la administración de somatotrofina
6. Variaciones en las fibras musculares con la administración de  $\beta$  agonistas adrenérgicos (salbutamol, clenbuterol).
7. Efectos del ejercicio muscular en la tipificación fibrilar
8. Irrigación capilar de las fibras musculares
9. Conclusiones
10. Bibliografía

## RESUMEN

El objetivo de esta revisión ha sido recopilar y analizar la relación entre las características de las fibras musculares y su incidencia en el producto obtenido en distintos sistemas de producción de carne porcina. Existen tres tipos de fibras musculares, I (SO), HA (FOG), y IIB (FG). Las de tipo I son de lenta contracción, alta resistencia a la fatiga y metabolismo aeróbico, las de tipo II son de rápida contracción y su resistencia a la fatiga es baja, intermedia o alta, según sean metabólicamente oxidativas (IIA), intermedias (IIA) o anaeróbicas (IIB). El porcentaje de estas fibras es característico según la especie, músculo o sector del músculo considerado, pudiendo variar por factores genéticos, ambientales y la actividad muscular. El número de fibras está determinado antes del nacimiento, pero en el caso del cerdo se conserva la capacidad de multiplicación fibrilar posterior al nacimiento. La tipificación fibrilar está relacionada con la velocidad del descenso del pH postmortem de la carne, la aparición de carnes pálidas, blandas y exudativas y con situaciones de estrés. Una relación adecuada del porcentaje de fibras musculares y las características del fascículo contribuyen a optimizar las características organolépticas de la carne. Ensayos con dietas de alto nivel proteico, aumentan el nivel de la actividad glicolítica; la administración de somatotrofina produce hipertrofia fibrilar con un aumento del diámetro, aunque no se observa modificación en la tipificación; la administración de  $\beta$  agonistas adrenérgicos (salbutamol, clenbuterol) produce un aumento del porcentaje de fibras IIB a partir de una conversión de fibras IIA. Todo programa de mejoramiento debería incluir la tipificación de las fibras musculares, y de su capacidad metabólica como herramienta de evaluación del mismo en función de la calidad del producto obtenido.

Palabras clave: músculo, fibra muscular, cerdo, carne.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tejido muscular se caracteriza por presentar células especializadas en la contracción. Cada una de estas células o fibras está compuesta por filamentos gruesos y finos.

Los filamentos gruesos se componen de una proteína denominada miosina; existe miosina de cadena pesada y miosina de cadena liviana.

Los filamentos finos consisten de varias proteínas: actina, troponina y tropomiosina. El corte transversal de la fibra muscular, permite ver que cada filamento grueso se encuentra en el centro de un hexágono de filamentos finos.

La contracción muscular se fundamenta en la interacción de los filamentos finos y gruesos, de manera que los primeros se mueven hacia los segundos.

En cada filamento grueso debe mencionarse la existencia de una dilatación o cabeza formada por miosina de cadena pesada, la cual al desencadenarse el estímulo nervioso y en presencia de calcio, se flexiona y proyecta hacia afuera, para formar enlaces cruzados que se unen y mueven al filamento de actina, durante la contracción muscular.

En ausencia de calcio la tropomiosina y troponina forman un complejo que impide el enlace entre la cabeza de miosina y la actina. La flexión de la cabeza de miosina requiere energía que es aportada por el adenosintrifosfato (ATP) (26).

El tejido muscular esquelético del cerdo está integrado por tres tipos de fibras musculares: I, HA, y IIB; un cuarto tipo IIC aparece en aquellos animales en crecimiento. Cada una de ellas tiene características propias tales como velocidad de contracción, diámetro, y vías metabólicas diferentes para la utilización del sustrato durante la contracción muscular (17).

El tejido muscular posee una gran plasticidad; los tipos fibrilares pueden convertirse unos en otros a través de factores externos: actividad muscular, factores ambientales, etc. (8; 30; 31).

El músculo tiene como unidad a la fibra, y debido a que estas pueden transformarse por los factores mencionados, desde principios de la década del setenta (2) ha sido de interés conocer las modificaciones que se producen en ellas y su eventual resultado en las características sensoriales del producto a consumir (6). Las características físicas y bioquímicas del músculo así como las transformaciones post mortem que inciden en la calidad de la carne, dependen en gran medida de la proporción de los diferentes tipos de fibras musculares, resultando relevante determinar la tipificación muscular de los animales destinados a faena, definiendo por tipificación el porcentaje de cada tipo de fibra que se encuentra en una muestra muscular. Estas observaciones sugieren que cualquier programa de producción y/o mejoramiento genético en ganadería, debiera incluir consideraciones sobre la tipificación fibrilar, características metabólicas de las fibras según sean oxidativas, no oxidativas o anaeróbicas, lo cual determina la capacidad del músculo para adaptarse a las demandas fisiológicas, tales como el ejercicio físico, la alimentación y estrés anteriores a la faena.

## 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS FIBRAS MUSCULARES

El músculo esquelético representa el 30 al 65% del peso corporal del cerdo de acuerdo a las razas consideradas, y contiene el 45% de las proteínas totales del individuo. Las fibras musculares constituyen el 75-90% del volumen muscular y el resto está integrado por tejido adiposo, tejido conectivo, vasos y nervios (14).

Las fibras musculares se clasifican según dos criterios: a) de acuerdo a la velocidad de contracción y b) de acuerdo al tipo de metabolismo energético regenerador del adenosintrifosfato (ATP).

Dentro de las proteínas musculares la miosina es la más abundante, y sobre base de las distintas isoformas que contiene pueden distinguirse fibras del Tipo I de contracción lenta, y del Tipo II de contracción rápida, que pueden subdividirse en fibras IIA y IIB. Un cuarto tipo, la isoforma x, contenidas en las fibras IIX, sólo está presente en pequeños animales de laboratorio, caracterizados por desplazamientos rápidos (Figura 1).

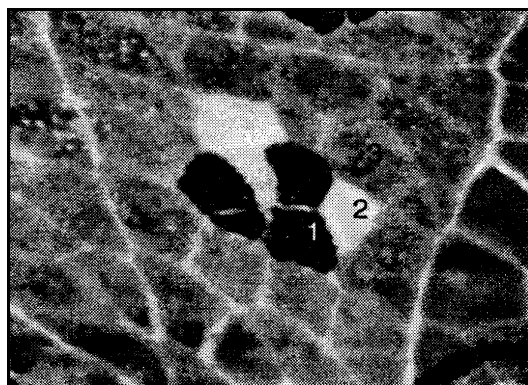


Figura 1: Obtenida a partir de una muestra del Músculo Longissimus dorsi de cerdo, tratada mediante la reacción de ATPasa, a pH 4,6: 1. fibra tipo I; 2. fibra tipo HA; 3. fibra tipo IIB. Material original producido por los autores.

Esta identificación se realiza mediante pruebas histoquímicas, pero los resultados más precisos se obtienen mediante la identificación a través de reacciones inmunohistoquímicas de las diferentes isoformas (7; 30; 31). En la tipificación se pueden observar diferencias de alrededor del 18% cuando se comparan ambos métodos (21; 19) ya que los errores suelen ser frecuentes en la diferenciación histoquímica entre fibras IIA, IIB e híbridas (16), entendiéndose por estas a las fibras que contienen distintos porcentajes de isoformas IIA y IIB. Además el método inmunohistoquímico tiene la ventaja que permite la identificación fibrilar aún cuando el tejido presenta algún grado de deterioro, tal como ocurre en las carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE pale, soft and exudative) (7).

Con respecto a las características metabólicas, se distinguen tres tipos de fibras: oxidativas, intermedias y no oxidativas. Las fibras oxidativas usan glucosa y grasa como sustrato para generar energía mientras que las fibras no oxidativas son glicolíticas y contienen más glucógeno; las intermedias presentan ambas características (29; 7). La reacción NADH tetrazolium reductasa permite diferenciar estos tipos metabólicos, según se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Obtenida a partir de una muestra del Músculo Longissimus dorsi de cerdo, tratada mediante la reacción de ATPasa, a pH 4,6: 1. fibra tipo I; 2. fibra tipo HA; 3 y 4. fibra tipo IIB. Material original producido por los autores.

Según estos dos criterios de clasificación, las fibras musculares en el cerdo están típicamente dispuestas en grupos o haces de fibras I (SO, Slow Oxidative) lentas oxidativas, en número de una o varias, rodeadas incompletamente por una primera corona de fibras IIA (FOG, Fast Oxidative Glycolytic) rápidas intermedias, y una segunda corona de fibras IIB (FG, Fast Glycolytic) rápidas glicolíticas (14; 28). Kaman (11) sostiene que esta disposición en rosetas sólo se halla presente en músculos glicolíticos como el Músculo Longissimus dorsi (LD) (Figuras 1 y 2).

Las fibras IIA tienen una actividad citrato sintetasa como las fibras I, mientras que la actividad de la acetil Coa deshidrogenasa es más baja que en las fibras I; esto demuestra una alta capacidad oxidativa y mayor resistencia a la fatiga que las fibras IIB (23).

Las fibras de una misma característica contráctil y metabólica se encuentran dentro de una misma unidad motora, definiéndose a esta como el conjunto de fibras musculares inervadas por una misma fibra nerviosa (14).

Los músculos o sus compartimentos son de color claro u oscuro dependiendo del porcentaje de fibras oxidativas de lenta o rápida contracción y de fibras no oxidativas; así las zonas de color claro tienen grandes porcentajes de fibras de rápida contracción glicolíticas y de gran diámetro transversal (29).

El número total de fibras musculares está determinado antes del nacimiento y la evolución post natal de los distintos proporciones de estos tipos de fibras resultan de una conversión de un tipo en otro (8).

Los diferentes tipos de fibras que forman el músculo esquelético en el animal adulto, derivan de diferentes poblaciones de mioblastos. En etapas tempranas del desarrollo, los mioblastos embrionarios darán origen a miotubos primarios que posteriormente son rodeados por mioblastos fetales y dan origen a miotubos secundarios. Estos dos tipos de miotubos presentan características diferenciales en la secuencia de aminoácidos para la expresión de la cadena pesada de miosina en las distintas isoformas (embrionaria, neonatal, lenta adulta y rápida adulta). Durante el desarrollo de estas fibras las células satélites contribuyen con su núcleo y son las responsables de los procesos de regeneración, en los cuales ellas pueden expresar la misma secuencia de cadena pesada de miosina en las isoformas de transición (embrionaria, luego neonatal y por último adulta) (21; 13).

Los músculos de cerdos salvajes tienen un mayor porcentaje de fibras I y IIA (33%), un menor porcentaje del tipo IIB (50%) y una sección transversal fibrilar menor que los cerdos domésticos del mismo peso vivo; en estos últimos los porcentajes de fibras I y IIA son similares. En cerdos salvajes maduros las fibras IIB, prácticamente desaparecen y son reemplazadas por I y IIA (28; 33). Estas características coinciden con un mayor entrenamiento del aparato locomotor dado por el movimiento natural de los cerdos salvajes.

La selección genética del cerdo doméstico ha resultado en un incremento en el número y área de las fibras I. (28). Brocks y colaboradores (4) encontraron que la selección genética a partir de la cuarta generación, produce un aumento en el porcentaje de fibras IIB y significativa disminución en el tipo I y IIA en líneas de crecimiento rápido y magro.

Por otra parte, la capacidad oxidativa decrece en las razas Hampshire, Landrace y Yorkshire en ese orden, sin embargo las diferencias individuales son más significativas que aquellas entre razas, no observándose diferencias significativas entre los sexos (29; 6).

### 3. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA CARNE

Luego de la faena y durante la instauración del rigor mortis, el músculo sufre la evolución de reacciones bioquímicas (hidrolíticas anaeróbicas) que utilizan las reservas energéticas y afectan secundariamente la organización de las proteínas musculares. Estos cambios van a influenciar los caracteres organolépticos e higiénicos de la carne (14).

La calidad de la carne de cerdo esta influenciada por el nivel en la disminución del pH. La evolución de la caída del pH luego de la faena depende principalmente del potencial glicolítico del músculo y también de la composición y estructura de los músculos. Estas últimas están influenciadas por diversos factores, tales como el tipo metabólico de las fibras musculares, la edad y la raza (32).

#### 3.1. EVOLUCIÓN DEL PH POSTMORTEN

El descenso del pH luego de la faena es un factor muy importante en la variación de la calidad de la carne, ya que una disminución excesiva del mismo produce una desnaturalización de las proteínas (7). Existe una relación entre la velocidad de la caída del pH y la tipificación fibrilar del músculo, resultando deseable que el pH obtenido 45 minutos después del sacrificio no sea inferior a 6. Esto se logra cuando se encuentra una mayor proporción de fibras lentas oxidativas en el músculo, las cuales a pesar de su poco poder como buffer, presentan una baja actividad de la miosinadenosintrifosfatasa (ATPasa miofibrilar). En las reacciones in vitro se observa que las fibras Tipo I quedan inactivadas a pH superiores a 5. De esta manera, la calidad de la carne tiende a disminuir con el aumento del porcentaje de fibras anaeróbicas blancas, por la producción de ácido láctico proveniente del metabolismo anaeróbico de estas fibras (14; 32).

El pH final de la carne al cabo de 24 horas es deseable que no baje de 5,5 en el LD. Como dicho valor depende de la concentración del glucógeno y del poder buffer de las fibras, si se asocia la menor cantidad de glucógeno que tienen las fibras I y su inactividad a pH superiores a 5, se explica el elevado pH final en los músculos donde predominan estas estructuras (14). Ashmore (2) sostiene que un adecuado nivel de fibras IIB glicolíticas y un adecuado nivel de glucógeno en el músculo antes de la faena son necesarios para un correcto descenso del pH post mortem de la carne.

##### 3.1.1. EFECTO DE LAS CARNES PSE Y EL ESTRÉS CON RELACIÓN AL PH POSTMORTEM.

Ruusunen define las carnes PSE a aquellas en las cuales el valor del pH medido en el LD 45 minutos después del sacrificio es menor a 5,8; usualmente cerdos susceptibles al estrés y halotano positivos presentan este tipo de carnes (27).

De acuerdo con Ashmore (2) el elevado estrés mucho tiempo antes de la faena, puede producir una excesiva depleción en el nivel de glucógeno, que puede afectar el pH postmortem. Si el estrés se produce inmediatamente antes de la faena, el pH puede descender significativamente, como ocurre en algunos cruzamientos de cerdos en los cuales se ha incrementado la proporción de fibras IIB glicolíticas.

Los cerdos con muchas fibras oxidativas toleran mejor las situaciones de estrés, no siendo tan brusca la caída del pH después del sacrificio (28).

Stecchine y colaboradores (32) manifiestan que las carnes PSE se relacionan con la presencia de una mayor proporción de fibras IIA y IIB o de ambas.

El entrenamiento de resistencia y la actividad física espontánea, si son realizadas regularmente, mejoran la capacidad aeróbica de los músculos. Esto afecta la disminución del pH post mortem de la carne y su relación con los defectos de PSE (20).

Técnicas histoquímicas e inmunohistoquímicas combinadas, permitieron a Fazarinc (7) obtener una correcta tipificación de las fibras obtenidas a partir de músculos normales o músculos PSE. Los cerdos susceptibles al estrés, pueden tener un incremento en la proporción de fibras blancas IIB glicolíticas o una disminución en las fibras rojas tipo I (7), y la densidad capilar es menor que en la carne normal (28); Ruusunen (27), coincide en que los cerdos susceptibles de padecer estrés, se encuentra un mayor alto porcentaje de fibras blancas anaeróbicas IIB que en cerdos normales.

#### 3.2. CARACTERES ORGANOLÉPTICOS

El tamaño muscular y el potencial de crecimiento post natal del músculo está en relación con el peso del cerdo al nacimiento y con el número de fibras, pero no está en relación con el diámetro ni con la sección transversal de las fibras (28).

Un porcentaje alto de fibras lentas rojas tipo I y de escaso diámetro parecen favorecer la calidad de la carne (28). Para Ashmore (2), una gran transformación de fibras IIA en IIB puede proveer una mejora en la calidad de carne, al aumentar el diámetro fibrilar. Por el contrario, para Lefaucher (14) la calidad puede disminuir por incremento de fibras IIB, al traer aparejado una disminución de los lípidos intra e interfibrilares.

La capacidad oxidativa afecta la calidad, mejorando los caracteres sensoriales de la carne (28; 6). Existe una relación positiva entre el sabor, jugosidad y la cantidad de lípidos intramusculares; también entre el sabor y la intensidad del color de la carne. Todos estos factores positivos se conjugan en las fibras lentas rojas Tipo I.

De acuerdo con Aalhus (1), el color del Músculo Psoas mayor (PM) puede sufrir variaciones con la administración de somatotrofina, tornándose más claro y amarillento, como consecuencia de un aumento del área fibrilar de las fibras FG y FOG.

La terneza de la carne está relacionada directamente con la cantidad de colágeno; su relación con el diámetro de las fibras no está demostrado (14). Asimismo, una elevada cantidad de proteínas, disminuye la grasa intramuscular y por lo tanto la terneza de la carne. La terneza parece estar más en relación con la composición y geometría del perimio, que es el tejido denso que se introduce dentro del músculo y lo divide en fascículos de fibras musculares; en cada fascículo hay una distribución de los tres tipos de fibras, cuyo porcentaje varía de acuerdo al músculo considerado (10; 12; 34). Se ha observado que el endomisio, que es el tejido conectivo reticular derivado del perimio que rodea a cada fibra muscular y vehiculiza a los vasos y nervios, puede presentar tabiques que unen fibras entre sí, lo cual aumenta la resistencia del músculo en conjunto, característica que se pierde con la cocción de la carne a 80° C (34).

Essén- Gustavsson y colaboradores (6) sostienen que la terneza y el sabor, están directamente relacionados con la mayor capacidad oxidativa del músculo; si bien dichos autores trabajaron con sólo cinco individuos de las razas Hampshire, Swedish Landrace y Yorkshire.

En cerdos que reciben una elevada cantidad de proteínas en la dieta existe una correlación negativa entre las fibras IIB y la presión al corte (shear force value); lo inverso ocurre con las fibras de tipo I (12). Con respecto a las fibras IIA, las variaciones en su diámetro, contribuyen a la variación en la medición instrumental de la textura de la carne (19).

#### **4. VARIACIONES METABÓLICAS Y MORFOMÉTRICAS DE LAS FIBRAS MUSCULARES EN LOS CERDOS**

Ya se mencionó que el número total de fibras musculares está determinado antes del nacimiento y la evolución post natal de las distintas proporciones de tipos de fibras, resulta de una conversión de un tipo en otro (8). Los tipos fibrilares son establecidos por una combinación de factores genéticos y ambientales, tales como edad, sexo, raza y ejercicio (32). En cerdos seleccionados por un máximo desarrollo muscular, el crecimiento del músculo continúa después del nacimiento, a partir de una tercera etapa en la producción de fibras (miotubos terciarios). Ello ocurre aún cuando las fibras desarrolladas a partir de miotubos primarios y secundarios ya están diferenciadas en tipos I y II. Sin embargo, se desconoce todavía si esta es una característica de todas las razas porcinas o sólo se encuentra presente en aquellas seleccionadas para la producción de carne (21).

En las fibras rojas Tipo I oxidativas, el aumento de las mitocondrias tiene una alta correlación con el aumento de los lípidos (relación lípidos plasmáticos-capacidad oxidativa). Al nacimiento, en las miofibrillas oxidativas se observa un aumento del porcentaje del volumen de lípidos y mitocondrias; estas últimas disminuyen después del día 46 (10).

El porcentaje de mitocondrias en las fibras Tipo I oxidativas y Tipo IIB no oxidativas disminuye antes del destete, lo cual sugiere que la menor ingestión de grasa a través de la leche materna, al ser reemplazada esta por una dieta sólida, produce un cambio en el metabolismo celular (10).

El resultado de la actividad enzimática del metabolismo glicolítico es mayor en los músculos de los cerdos que consumen dietas con elevado contenido proteico, que en aquellos animales alimentados con dietas de bajo nivel proteico. De esta manera, cerdos con una alta ganancia de peso presentarán una elevada actividad glicolítica (10).

Para los Músculos LD y Semitendinoso (ST), en cerdos de igual peso, se observa, que los animales con rápido crecimiento tuvieron mayor número de fibras pero más pequeñas, que aquellos de baja velocidad de crecimiento. La masa muscular en estos dos músculos depende más del número de fibras que del diámetro fibrilar. En las canales magras, el diámetro fibrilar es mayor que en las canales grasas, para el mismo peso (28).

Por ejemplo, en el LD, que es un músculo blanco, rápido y glicolítico, el porcentaje de fibras Tipo IIB glicolíticas aumenta rápidamente, disminuyendo las fibras Tipo I oxidativas y Tipo IIA intermedias, hasta que los animales alcanzan un peso promedio de 50 kg. Este proceso de transformación de fibras oxidativas en glicolíticas es siempre reversible por el ejercicio físico (14).

Se han detectado correlaciones positivas entre las fibras I y el peso vivo; entre la sección de las fibras IIA, el peso vivo y el peso de la res, así como entre la sección de las IIB y el peso de la res. También existe correlación negativa entre el porcentaje de fibras IIA y peso de la canal (28).

Durante el desarrollo, el área de la sección transversal de la fibra aumenta aproximadamente 21%, excepto para el LD, donde no hay cambios significativos. Se observa un aumento de las fibras IIB, en relación con un tipo contráctil rápido y con mayores características glicolíticas (15; 28).

Manabe y colaboradores, (20) compararon estudios fibrilares de cerdos a los 3 meses de edad y animales adultos. Durante el desarrollo postnatal disminuye la proporción FG y aumentan las FOG y FO. En animales adultos, las fibras rápidas glicolíticas (FG) fueron las de mayor tamaño, mientras que las lentas oxidativas (SO) fueron las más pequeñas en casi todos los músculos investigados. Su conclusión fue que la proporción y el tamaño de las fibras rápidas glicolíticas es un importante indicador para el mejoramiento de las razas de carne, tanto de porcinos como de otras especies.

## **5. VARIACIONES EN LAS FIBRAS MUSCULARES CON LA ADMINISTRACIÓN DE SOMATOTROFINA**

En general la somatotrofina produce el crecimiento de casi todos los tejidos con capacidad de hacerlo. Estimula el aumento de tamaño de las células y el aumento de la multiplicación celular y la diferenciación específica de ciertos tipos celulares, tales como las células musculares primitivas (mioblastos).

Sus efectos metabólicos se evidencian: a) aumentando la síntesis de proteínas en todas las células, b) aumentando la movilización y disposición de los ácidos grasos para ser usados como fuente de energía. Por lo tanto produce un aumento de las proteínas corporales y utilización de los depósitos de grasa.

El mecanismo de acción por el cual aumenta la síntesis de proteínas no es conocido, pero es claro que facilita el transporte de aminoácidos a través de las membranas celulares y aumenta la traducción del ácido ribonucleico (ARN) para la síntesis de proteínas a nivel de ribosomas (9).

La magnitud de respuesta a la somatotrofina varía según el diseño experimental de la investigación que se realice, el peso inicial de los cerdos, la duración del estudio, la raza, el sexo, la dosis de somatotrofina usada y las diferencias en las dietas administradas (27). La administración de somatotrofina exógena mejora el crecimiento y la eficiencia alimentaria, mientras que disminuye la masa de tejido adiposo (27).

De acuerdo con Rehfeldt (25) la administración de somatotrofina causa una hipertrofia de las fibras musculares en el LD, con un incremento del 11% en su diámetro al finalizar el tratamiento.

El número de fibras totales no fue influenciado y hubo una tendencia a la existencia de más núcleos por fibra, no alterándose la relación núcleo citoplasma. Por el contrario, no hubo modificaciones en la composición de la tipificación fibrilar, y no se observó mayor cantidad de células gigantes que en los animales sin tratar (25, 1).

Ruusunen (27), cita la disminución del porcentaje del área ocupado por las fibras de Tipo I rojas oxidativas y el aumento del porcentaje del área y número de las fibras IIB blancas anaeróbicas.

Aalhus (1) trabajó además con el PM, observando un 65-70% de aumento en el área fibrilar de las fibras FOG y FG, lo que produjo un cambio en la coloración del músculo tornándolo más claro y amarillento.

## **6. VARIACIONES EN LAS FIBRAS MUSCULARES CON LA ADMINISTRACIÓN DE $\beta$ AGONISTAS ADRENÉRGICOS (SALBUTAMOL, CLENBUTEROL).**

Los  $\beta$  agonistas adrenérgicos son potenciales promotores del crecimiento en varias especies animales; producen un incremento de la masa muscular junto con una marcada reducción de la grasa corporal.

En investigaciones con salbutamol, se produjo un incremento de proteínas de los músculos esqueléticos, un aumento del área relativa en las fibras IIB y una disminución de la frecuencia de las fibras IIA en los músculos LD y Músculo Bíceps Femoral (BF); esto indicaría una conversión de fibras IIA a IIB inducidas por el salbutamol (23).

Similares resultados obtuvieron Corino y colaboradores (5) con la aplicación de clenbuterol en conejos, atribuyendo un aumento del área por la transformación de fibras del tipo IIA en IIB y un aumento general del área de todas las fibras. Se observó una mayor masa muscular y disminución del contenido de grasa en la canal.

En el BF el salbutamol disminuye el área relativa ocupada por las fibras I y el número de las mismas, existiendo además, una conversión de fibras I a II. En el LD estos cambios se producen a los 45 kilos de peso vivo. Los mismos cambios fueron observados en el LD de bovinos, comparable en su tipificación al BF del cerdo (23).

Las variaciones en la distribución de fibras musculares con la administración del salbutamol son independientes del nivel de proteína en la dieta. Por el contrario, su empleo en cerdos en crecimiento posee efecto anabolizante de las proteínas de la dieta sobre el músculo esquelético. Por acción del salbutamol, se produce una conversión de fibras HA en IIB para el LD y BF (23).

El clenbuterol posee un efecto hipotiroideo en el metabolismo de los cerdos; está demostrado que el gen que regula la expresión de la isoforma de la cadena pesada de la miosina, está regulado por la hormona tiroidea. Esta hormona actúa de modo diferente según el músculo que se considere; en los músculos lentos estimula la expresión de las fibras IIA, mientras que en los músculos rápidos reduce la expresión de estas fibras (3).

En el LD, con predominio de fibras IIA, el tratamiento con clenbuterol disminuyó del nivel de T3 T4, lo que inhibe la expresión de los genes que codifican la isoforma IIA, produciendo el pasaje de fibras IIA a IIB.

Los mecanismos por los cuales actúan los  $\beta$  agonistas adrenérgicos en la distribución del tipo fibrilar son complejos. Sus resultados se originan por la acción directa sobre receptores en el músculo y en el tejido adiposo, así como por mecanismos de acción indirecta mediados por hormonas. Existe evidencia que estos  $\beta$  agonistas adrenérgicos interactúan con ciertas hormonas (tiroxina, insulina) y glucocorticoides, con acciones sobre el metabolismo proteico en las fibras del tipo II (5; 23).

## 7. EFECTOS DEL EJERCICIO MUSCULAR EN LA TIPIFICACIÓN FIBRILAR

Petersen (24) realizó estudios relacionando la proporción de los distintos tipos fibrilares del músculo esquelético con diferentes grados de actividad muscular. Estudió tres tratamientos: 1) sin ningún tipo de ejercicio; 2) sometidos a cierta actividad restringida; 3) sin ninguna limitación al movimiento.

La composición del LD en condiciones normales es la siguiente: 12% de fibras I, 7% de IIA, 80% IIB y 1% de IIC (20; 6). En los cerdos sin ningún tipo de restricción al ejercicio se observó que las fibras IIA fueron las más numerosas comparadas con animales con ejercicio restringido. Las fibras IIB fueron las menos numerosas en este grupo al considerar todos los tratamientos y además se observó un mayor número de capilares por fibra.

El BF se encuentra compuesto por un 24% de fibras I, 11% de fibras II, 64% de IIB y 1% de IIC. En los animales con ejercicios restringidos, se observó en las hembras un aumento del área de sección de las fibras I y un incremento del número de capilares por fibra, respecto a los cerdos sin ejercicio. No se observaron diferencias significativas al comparar los resultados con los de cerdos que realizaban ejercicio sin restricción (23).

La composición fibrilar del Músculo Semitendinoso (ST) presenta los siguientes valores: 13% de fibras I, 12% de fibras IIA, 75% de IIB y menos del 1% de IIC (24).

En el Músculo Trapecio Torácico se encuentra 51% de fibras I, 20% de IIA, 28 de IIB y 2% de IIC. En animales con ejercicio se observó un incremento de la proporción de fibras I a expensas de las fibras IIB; un aumento de la capacidad de los músculos que actúan durante el mantenimiento del animal en pie al incrementarse la proporción de fibras oxidativas.

El PM presenta 24% de fibras I, 17% de HA, 58% de IIB, 1% IIC. En los cerdos con ejercicio sin restricción, este músculo incrementó las fibras IIA a expensas de las I y IIB, lo cual supone una mejora en la expresión de la isoforma IIA a expensas de la I y IIC.

En cuanto a algunas características funcionales podemos mencionar que el ST extiende las articulaciones de cadera, patela (articulación femorotibiorrotuliana) y garrón y es flexor de la patela del miembro en suspensión, mientras que el BF empuja el cuerpo hacia adelante por extensión del miembro, cuando este está apoyado en el suelo. En ambos músculos aumenta la relación entre las IIA y las IIB con el ejercicio. En el BF, el incremento de la actividad física produce en las hembras un incremento en el colágeno intramuscular, más que en el tejido contráctil. En los machos ocurre el efecto opuesto.

El LD actúa durante el salto y el galope, extendiendo y flexionando la columna vertebral. Esto explicaría porque en cerdos sometidos a un ejercicio restringido no se vio afectada la relación de fibras IIA/IIB. Por el contrario, en los cerdos con ejercicio sin restricción aumentó la relación IIA/IIB pero no presentaron cambios en los tratamientos de reclusión en boxes sin actividad y en los de ejercicio restringido.

Con respecto al diámetro transversal de las fibras, no hubo variaciones en los diferentes músculos estudiados, con la excepción del LD en donde se produjo un aumento del mismo.

## 8. IRRIGACIÓN CAPILAR DE LAS FIBRAS MUSCULARES

Está demostrado que el número de fibras musculares luego del nacimiento es constante, lo que indica que el crecimiento muscular está dado por la hipertrofia y el aumento en la longitud del músculo. Además, durante el desarrollo del animal debido a los procesos de hipertrofia muscular, se produce un aumento de la sección transversal de la fibra junto con un aumento del número de capilares por fibra, pero la densidad capilar disminuye. (22; 29).

El nivel de proteína que los cerdos reciben en la dieta no afecta el número de capilares por fibra y el número medio de capilares en contacto con cada fibra muscular (22).

La aplicación de salbutamol no influye la vascularización de las fibras musculares (23), mientras que en los cerdos con carnes PSE, la densidad capilar es más baja que en la carne normal (29).

## 9. CONCLUSIONES

La miosina es la principal proteína del músculo esquelético involucrada en la contracción muscular. De acuerdo a las distintas isoformas de esta proteína, las fibras pueden clasificarse de acuerdo a su velocidad de contracción; en el músculo esquelético de los mamíferos adultos se reconocen las siguientes isoformas: I, IIA, IIB, y IIX. Esta última sólo se ha hallado hasta el momento en los animales de laboratorio de pequeña talla, caracterizados por desplazamientos rápidos. En los animales domésticos (excepto el canino) sólo se han reportado los tres restantes, las cuales se presentan en las distintas fibras de un fascículo muscular en forma pura o combinada en

distintas proporciones, lo cual da origen a las distintas fibras híbridas. Por otra parte, la composición fibrilar en cuanto al porcentaje de cada tipo fibrilar es característica de cada músculo.

A su vez, las fibras pueden distinguirse por las vías metabólicas y sustratos utilizados durante la contracción muscular. En general las fibras de tipo I son oxidativas; las de tipo IIA son oxidativas o intermedias y las de tipo IIB son no oxidativas.

Los tipos fibrilares y sus características metabólicas dependen de factores genéticos, pero pueden modificarse como una adaptación del músculo a la actividad del aparato locomotor.

Un incremento de fibras oxidativas IIA, a expensas de las IIB se produce luego de la mayor actividad muscular, junto con un aumento del número de capilares sanguíneos por fibra.

Al nacimiento, el número total de fibras está determinado y la evolución postnatal de los distintos tipos de fibras resulta de la conversión de un tipo en otro. En cerdos seleccionados con un mayor desarrollo muscular se observó un aumento adicional en el número de fibras a partir de una tercera etapa, entre los días 28 y 60 de edad desde miotubos terciarios.

A diferencia de lo que ocurre en bovinos y ovinos, especies en las cuales a los tres meses de edad la composición fibrilar puede darse por concluida, en el cerdo todavía en esta etapa la tipificación no está definida y difiere de la que se va a encontrar en el mismo animal adulto.

El músculo esquelético del cerdo presenta como característica que, al menos en los músculos glícolíticos, las fibras I se encuentran rodeadas por un anillo de fibras IIA y estas por una población de fibras IIB. Es desconocida la significación funcional de esta disposición.

Hay una relación directa entre la velocidad de descenso del pH muscular de la canal y la tipificación fibrilar del músculo. Las fibras tipo I rojas oxidativas limitan el descenso del pH ya que tienen bajo contenido en glucógeno y la ATPasa disminuye su actividad a pH superiores a 5.

De esta manera, si se eleva la proporción de fibras IIB puede descender a gran velocidad y en límites excesivos. Esto está en relación con la presencia de carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE).

El aumento de la actividad física natural mejora la capacidad aeróbica muscular y disminuye los riesgos del PSE. Aquellos animales con mayor porcentaje de fibras tipo I rojas oxidativas estarían mejor preparados para sobrellevar los efectos del estrés previo a la faena.

Una relación adecuada del porcentaje de fibras musculares de la canal contribuye a optimizar las características organolépticas de la carne. Las fibras tipo I rojas oxidativas tienen mayor cantidad de lípidos, lo cual mejoran el sabor, la jugosidad y el color de la carne; sin embargo, contradictoriamente algunos autores sostienen que un incremento de las fibras IIB produciría una mejora en la calidad por un aumento en el diámetro fibrilar, característico de estas fibras, siendo además la proporción y el tamaño de estas, un importante indicador para el mejoramiento de las razas de carne.

Con relación a la terneza del músculo, no está demostrada su relación con el diámetro fibrilar y con la composición fibrilar del músculo; sin embargo hay estudios que demuestran que lo que realmente importa es la capacidad oxidativa del músculo en relación con la terneza y el marmolado; para otros autores se considera que depende más del colágeno y de la composición y geometría del perimio.

Distintos sistemas de producción y composición y aditivos en dietas producen distintas variaciones en la tipificación y morfometría fibrilar. En ensayos con una alimentación de alto nivel proteico, se aumenta el nivel de la actividad glicolítica; la administración de somatotrofina produce hipertrofia fibrilar con un aumento del 11% del diámetro, aunque no se observa modificación en la tipificación, en ensayos realizados en muestras del LD; la administración de  $\beta$  agonistas adrenérgicos (salbutamol, clenbuterol) produce un aumento del porcentaje de fibras IIB a partir de una conversión de fibras IIA.

Consideramos que los lineamientos a seguir, dentro del aporte de los conocimientos de las fibras musculares esqueléticas, orientados al mejoramiento de la producción de carne, se deben guiar hacia:

- a. Determinar en los distintos sistemas de producción utilizados en nuestro país o en sus posibles innovaciones, el porcentaje entre los distintos tipos de fibras y sus características metabólicas más adecuadas de acuerdo a las características de la canal que se desean obtener.
- b. Incluir estas técnicas de estudio innovadoras en diferentes sistemas de producción o material genético, lo cual permitirá realizar un seguimiento de las eventuales modificaciones en la tipificación fibrilar, que por lo mencionado anteriormente pueden influir en la calidad del producto.
- c. Es recomendable también la complementación de las pruebas histoquímicas con la identificación de las isoformas mediante pruebas inmunohistoquímicas que utilizan anticuerpos monoclonales contra isoformas de cadena pesada de miosina. Esta metodología tiene la ventaja que permite realizar la tipificación, aún en muestras con defectos de congelación y conservación, como puede suceder en ensayos realizados a campo.

Siempre es fundamental requerir al laboratorio especializado interviniente la inclusión en el protocolo de trabajo, aquellas técnicas que permiten determinar la capacidad metabólica de las fibras.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. AALHUS, J.L., BEST, D.R., COSTELLO, F. y SCHAEFER, A.L. 1997. The effects of porcine somatotropin on muscle fibre morphology and meat quality of pigs of known stress susceptibility. *Meat Science* 45(3): 283-295.
2. ASHMORE, C.R. 1974. Phenotypic expression of muscle fiber type and some implications to meat quality. *Journal of Animal Science*, 38 (5): 1158-1164.
3. BALLOCCHI, E., CORINO, C., MASCARELLO, F. y POLIDORI, F. 1991. Effetti del clenbuterolo nel suino pesante: Caratteristiche delle fibre muscolari scheletriche. Estratto da *Selezione Veterinaria (Italia)*, XXXII 1 bis: 243249.
4. BROCKS, L., HULSEGG, B. y MERKUS, G. 1998. Histochemical characteristics in relation to meat quality properties in the longissimus lumborum of fast and lean growing lines of large white pigs. *Meat Science* 50(4):411-420.
5. CORINO, C., MASCARELLO, F. y ROSI, F. 1993. Effects of Clenbuterol on rabbit growth, nitrogen balance and skeletal muscle fibres. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 69: 267277.
6. ESSÉN-GUSTAVSSON, B. y FJELNER-MODIG, S. 1985. Skeletal muscle characteristics in different breeds of pigs in relation to sensory properties of meat. *Meat Science* 13: 33-47.
7. FAZARINC, G., MAJDIC, G., LORGER, J., POGACNIK, A. y BAVDEK, S.V. 1995. Combined histochemical and immunohistochemical determination of three muscle fibre types in a single section of porcine skeletal muscle. *Eur. J. Histochem.* 39:309-316.
8. GORZA, L. 1990. Identification of a novel type of 2 fiber population in Mammalian Skeletal Muscle by combined use of histochemical myosin ATPase and Anti-myosin monoclonal antibodies. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. 38: 257-265.
9. GUYTON, A.H. y HALL, J.E. 1998. *Tratado de Fisiología Médica*. 90 ed. Interamericana. Mexico.
10. HANDEL, S.E. y STICKLAND, N.C. 1987. The effects of low birthweight on the ultrastructural development of two myofibre types in the pig. *J. Anat.* 150: 129-143.
11. KAMAN, J. 1995. Postnatal morphological and histochemical type differentiation of the porcine muscle fibres. *Acta Vet. Bmo* 64: 211-224.
12. KARLSSON, A., ENFÓLT, A., ESSÉN-GUSTAVSSON, B., LUNDSTROM, K., RYDHMER, L. y STERN, S. 1993. Muscle histochemical and biochemical properties in relation to meat quality during selection for increased lean tissue growth rate in pigs. *J. Anim. Sci.* 71: 930-938.
13. KERNELL, D. 1998. Muscle Regionalization. *Can. J. Appl. Physiol.* 23(1): 1-22.
14. LEFAUCHEUR, L. 1989. Les différents types de fibres musculaires chez le porc. *INRA. Prod. Anim. (Francia)*, 2 (3): 205-213.
15. LEFAUCHER, L., MISSOHOU, A., ECOLAN, P., MONIN, G. y BONNEAU, M. 1992. Performance, plasma hormones, histochemical and biochemical muscle traits, and meat quality of pigs administered exogenous somatotropin between 30 or 60 Kg. and 100 Kg. body weight. *J. Anim. Sci.* 70: 3401-3411.
16. LINNANE, L., SERRANO, A.L. y J. RIVERO, L.L. 1999. Distribution of fast myosin heavy chain- based muscle fibres in the gluteus medius of untrained horses: mismatch between antigenic and ATPase determinants. *J. Anat.* 194: 363-372.
17. LOPEZ RIVERO, J.L. 1993. Características histoquímicas, bioquímicas y morfológicas del músculo esquelético equino. *Agro Ciencia* 9 (2): 113-131.
18. LOPEZ RIVERO, J.L., TALDMAGE, R.J. y EDGERTON, R. 1996. Myosin heavy chain isoforms in adult equine skeletal muscle: an immunohistochemical and electrophoretic study. *The Anatomical Record* 246: 185194.
19. MALTTN, C.A., WARKUP, C.C., MATTHEWS, K.R., GRANT, C.M., PORTER, A.D. y DELDAY, M.I. 1997. Pig muscle characteristics as a source of variation in eating quality. *Meat Science* 47(3-4): 237-248.
20. MANARE, N., ISHII, T. y ISHIBASHI, T. 1988. Histochemical fiber type composition and fiber size in skeletal muscles of the growing cattle, sheep and swine. *Mem. Cof. Agric., Kyoto Univ. (Japón)* N 131:27-36.
21. MASCARELLO, F., STECCINE, M.L., ROWLERSON, A. y BALLOCCHI, E. 1992. Tertiary myotubes in postnatal growing pig muscle detected by their myosin isoform composition. *J. Anim. Sci.* 70:1806-1813.
22. OKSBJERG, N. y HENCKEL, P. 1989. Capillary supply in M. Long. Dorsi of pigs in relation to live weight. 40th Annual Meeting of the European Association for Animal Production. Dublin, Ireland 27-31.
23. OKSBIERG, N., HENCKEL, P. y ROLPH, T. 1994. Effects of Salbutamol, a  $\beta_2$ -adrenergic agonist, on muscles of growing pigs fed different levels of dietary protein. I: Muscle fibre properties and muscle protein accretion. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 44,12-19.
24. PETERSEN, J., HENCKEL, N., OKSBJERG, N. y SORENSEN, M.T. 1998. Adaptations in muscle fibre characteristics induced by physical activity in pigs. *Animal Science.* 66: 733-740.
25. REHFELD, C.H. y ENDER, K. 1992. Skeletal muscle cellularity and histochemistry in response to porcine somatotrophin in finishing pigs. *Meat Science* 0309-1740. 107118.
26. ROSS, M. y ROUSVELL, L. 1994. *Histología*. 20 ed. Panamerica. México.
27. RUUSUNEN, M. 1994. Muscle histochemical properties of different pig breeds in relation to meat quality. Thesis. Department of Food Technology. University of Helsinki.
28. RUUSUNEN, M. 1996. Composition and cross sectional area of muscle fibre types in relation to daily gain and fat content of carcass in Landrace and Yorkshire pigs. *Agricultural and Food Science In Finland.* 5: 593-600.
29. RUUSUNEN, M. y PUOLANNE, E. 1997. Comparison of histochemical properties of different pig breeds. *Meat Science.* 45: 119-125.
30. SCHIAFFINO, S. y REGGIANI, C. 1994. Myosin isoforms in mammalian skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 77(2): 493-501.
31. SCHIAFFINO, S. y REGGIANI, C. 1996. Molecular diversity and myofibrillar proteins: gene regulation and functional significance. *Physiological reviews* 76 (2): 371-423.

32. STECCHINI, M.L., MASCARELLO, F. y FALASCHINI, A. 1990. Influence of breeding systems on pH and histochemical properties of muscle fibres in porcine M. semimembranosus. *Meat Science* 28: 279-287.
33. WEILER, U., APPELL, J., KREMSER, M., HOFACKER, S. y CLAUS, R. 1995. Consequences of selection on muscle composition A comparative study on gracilis Muscle in wild and domestic pigs. *Anat. Histol. Embryol.* 24:77-80.
34. WILLEMS, M.E.T. y PURSLOW, P.P. 1997. Mechanical and structural characteristics of single muscle fibres groups from raw and cooked pork longissimus muscle. *Meat Science* 46(3): 285-301.

Volver a: [Producción porcina](#)