

# **GRASAS A LA CARTA: RETOS Y ESTRATEGIAS DE LA PRODUCCIÓN ANIMAL.**

Francisco Javier Carballo García  
Catedrático de Tecnología de los Alimentos  
Universidad de Vigo  
Facultad de Ciencias de Ourense  
Campus Universitario, s/n, 32004 Ourense  
E-mail: [carbatec@uvigo.es](mailto:carbatec@uvigo.es)

## **Resumen**

El perfil de ácidos grasos de la grasa de la dieta tiene una probada incidencia sobre diversos aspectos de la salud del consumidor. Es posible modificar el perfil de ácidos grasos de la grasa de los alimentos de origen animal mediante manipulación de la dieta de los animales productores o a través de la selección genética de los mismos.

## **1. EFECTO DE LOS ÁCIDOS GRASOS INGERIDOS EN LA DIETA SOBRE LA SALUD DEL CONSUMIDOR**

El efecto de la naturaleza de los ácidos grasos que componen la grasa de la dieta sobre diversos aspectos de la salud del consumidor ha sido objeto de multitud de estudios en los últimos años (sobre todo en los Estados Unidos de América) y en la actualidad existe un grado de conocimiento razonable del mismo.

### **1.1. ÁCIDOS GRASOS SATURADOS**

Una revisión de 420 observaciones dietéticas en 141 grupos de individuos durante 1991 concluyó que los ácidos grasos saturados incrementan el colesterol sérico y son los más importantes en la consecución de este efecto (Hegsted y cols., 1993). Este mismo trabajo concluyó que (i) no todos los ácidos grasos saturados tienen el mismo efecto, el ácido esteárico tiene poco o ningún efecto; (ii) los ácidos grasos monoinsaturados no tienen un efecto independiente; y (iii) los ácidos grasos poliinsaturados disminuyen el colesterol sérico. Los estudios efectuados fueron tanto metabólicos como de campo.

El ácido esteárico (C18) continúa considerándose no perjudicial, pero algunos investigadores creen que puede ser trombogénico. Se deben ingerir cantidades moderadas de los ácidos grasos del C12 al C16; estudios clínicos, estudios efectuados con animales de experimentación y epidemiológicos demuestran que el incremento en la ingestión de estos ácidos grasos puede incrementar los niveles de colesterol sérico total y de colesterol LDL y que estos niveles más altos, en consecuencia, pueden producir aterosclerosis y un incremento del riesgo de padecer enfermedades coronarias (EC). El mecanismo supuesto por el que actúan consiste en la reducción de la captación de LDL por el hígado, dando lugar a una elevación del nivel de LDL en el plasma.

Las evidencias experimentales indican que el ácido graso más peligroso en este sentido es el palmítico (C16), sobre todo porque sus niveles en aceites y grasas exceden a los de los ácidos grasos C12 y C14.

En un estudio efectuado en 111 hombres y mujeres que eran pacientes externos y tomaban una dieta con sólo un 7% de grasas saturadas, se observó una disminución de la LDL y HDL, ambas en un 5% (Hunninglake y cols., 1993).

En otro estudio reciente realizado durante 5 años en mujeres no fumadoras, con edades comprendidas entre los 30 y los 84 años, se observó una elevación de 5 veces el riesgo de padecer cáncer de pulmón con dietas de alto contenido en ácidos grasos saturados (Lawson, 1999).

Existen pruebas de que los ácidos grasos saturados de número de átomos de carbono inferior a 12 se metabolizan más deprisa y probablemente no tienen efecto sobre los niveles de lipoproteínas sanguíneas.

## 1.2. ÁCIDOS GRASOS MONOINSATURADOS

Los estudios clínicos indican que la sustitución de ácidos grasos saturados por ácidos grasos monoinsaturados produce una reducción del colesterol sérico total y del colesterol LDL, sin reducirse el colesterol HDL (Grundy, 1986). Los ácidos grasos monoinsaturados son, por lo tanto, metabólicamente más favorables que los ácidos grasos saturados, e incluso que los poliinsaturados. La Asociación Americana del Corazón ha sugerido que la relación en la dieta de ácidos monoinsaturados/ácidos poliinsaturados debería ser de 1,5 (Lawson, 1999).

Numerosos estudios recientes están de acuerdo en que los ácidos grasos monoinsaturados disminuyen la LDL (Mata y cols., 1992; Berry y cols., 1992). Existen pruebas de que el ácido oleico reduce el colesterol HDL con menor intensidad de la que lo reduce el ácido linoleico, lo que es otro posible efecto positivo. Los análisis *in vitro* han mostrado que el ácido oleico protege frente a la modificación oxidativa de las lipoproteínas. Las LDL oxidadas aceleran la reproducción celular induciendo daño arterial. Los ácidos grasos monoinsaturados, por lo tanto, no sólo disminuyen los niveles de LDL, sino que, además, la protegen (Marsic y cols., 1992).

## 1.3. ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS

Los estudios clínicos y los efectuados en animales han proporcionado pruebas sólidas de que los ácidos grasos  $\omega$ -6 (linoleico y araquidónico), cuando sustituyen a los ácidos grasos saturados en la dieta, bajan el colesterol sérico total y el colesterol LDL, mientras que normalmente provocan una disminución sólo ligera del colesterol HDL.

Los ácidos grasos  $\omega$ -3 (el linolénico, por ejemplo) reducen los triglicéridos plasmáticos e incrementan el tiempo de coagulación de la sangre. Estos ácidos grasos también han sido señalados como poseedores de efectos positivos en enfermedades vasculares, inflamatorias y alérgicas, y en la agregación plaquetaria (aglutinación). La aglutinación plaquetaria puede generar trombos que pueden llegar a producir ataques cardíacos y derrames cerebrales. Datos epidemiológicos sugieren que el consumo de una o dos raciones de pescado (rico en ácidos grasos  $\omega$ -3) por semana se asocia con un menor riesgo de enfermedades coronarias (EC).

Tanto los ácidos grasos  $\omega$ -6 como los  $\omega$ -3 son importantes en la síntesis de prostaglandinas

Mención aparte merece el ácido linoleico conjugado (CLA). El CLA está considerado como un nutriente funcional importante en los alimentos. Con este nombre se conocen un conjunto de isómeros geométricos y posicionales del ácido octadecadienoico (linoleico) con sus dos dobles enlaces conjugados, de los cuales el isómero más importante es el *cis*-9, *trans*-11 CLA (ácido ruménico). El CLA se forma en el rumen de los rumiantes como consecuencia de la hidrogenación incompleta de los ácidos grasos insaturados de la dieta; se encuentra predominantemente en alimentos producidos por los animales rumiantes, y la leche y los productos lácteos son la fuente más importante de CLA en la dieta humana. El CLA es el único ácido graso que ha mostrado una capacidad inequívoca de inhibir la carcinogénesis en animales de experimentación. En contra de lo que ocurre con otros compuestos o sustancias anticarcinogénicas, el CLA puede a la vez reducir la incidencia de tumores en modelos animales experimentales y actuar como agente citotóxico frente a las células de los tumores preexistentes (Scimeca y cols., 1994; Belury, 1995; Parodi, 1997). Los efectos anticarcinogénicos del CLA tienen lugar a bajas concentraciones en la dieta; la ingesta media habitual en el hombre está próxima al nivel en la dieta que muestra efectos anticarcinogénicos en modelos experimentales animales (Ip y cols., 1994). Otros trabajos han puesto de manifiesto en modelos animales que el CLA puede tener efectos positivos sobre el control de la diabetes, reducción de la grasa corporal, riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y formación de ateromas en las arterias (Belury, 2002).

Habida cuenta del efecto perjudicial de las grasas saturadas sobre la salud (cardiovascular, fundamentalmente) y de las acciones beneficiosas de los ácidos mono- y poliinsaturados, la modificación del perfil de ácidos grasos de las grasas alimentarias, y la reducción de su grado de saturación, ha constituido y constituye uno de los retos principales de la producción animal y la ciencia de los alimentos.

## **2. POSIBILIDADES DE MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA GRASA DE LOS ALIMENTOS**

Existen dos modos fundamentales de actuar sobre el perfil de ácidos grasos de los alimentos de origen animal: (i) a través de la dieta suministrada a los animales de abasto durante la fase de cebo, o a los animales de producción en el curso del periodo productivo (casos de los huevos y leche), y (ii) mediante selección genética de estirpes poseedoras de grasa con perfiles de ácidos grasos más saludables. La actuación a través de la dieta es, obviamente, más rápida y eficaz.

### **2.1. MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS A TRAVÉS DE LA DIETA: ASPECTOS GENERALES**

La modificación del perfil de ácidos grasos de la grasa corporal de los animales de abasto (o de sus producciones), mediante actuaciones sobre la dieta que se les suministra, presenta unas connotaciones y un grado de dificultad diferentes en las diferentes especies, en función de su fisiología digestiva.

Los animales monogástricos (poseedores de un solo estómago o de un estómago simple o monocavitario) (équidos, ganado porcino y aves) incorporan a sus tejidos y secreciones los ácidos grasos tal y como son suministrados en la dieta. La mayor parte

de las grasas alimentarias se suministran en forma de triglicéridos que se deben hidrolizar, por parte de la lipasa pancreática, para dar lugar a ácidos grasos libres y monoglicéridos. Los ácidos grasos libres y los monoglicéridos son absorbidos en estas especies por los enterocitos de la pared intestinal. En general, los ácidos grasos con longitudes de cadena inferiores a 14 átomos de carbono entran directamente en el sistema de la vena porta y son transportados hacia el hígado. Los ácidos grasos con 14 ó más átomos de carbono se vuelven a esterificar dentro del enterocito y entran en la circulación a través de la ruta linfática en forma de quilomicrones. Los quilomicrones son pues partículas lipoproteicas que proceden de las grasas alimentarias y que se fabrican en las células de la mucosa intestinal. A través de los vasos linfáticos entran en el torrente sanguíneo. La lipasa de las lipoproteínas, que se encuentra en la pared interior de los capilares sanguíneos, hidroliza los triglicéridos liberando sus ácidos grasos constitutivos; estos entran en el tejido adiposo, donde se almacenan, y en el músculo, donde se almacenan y/o se metabolizan.

En los animales monogástricos, así pues, cualquier modificación del perfil de ácidos grasos de la dieta suministrada conlleva una modificación del perfil de ácidos grasos de su grasa corporal o de la grasa de sus productos o secreciones. En estas especies, la modificación del perfil de ácidos grasos de los tejidos, productos y secreciones a través de la dieta no entraña, pues, demasiada dificultad.

Los animales poligástricos o rumiantes (vacuno, ovino y caprino, entre otros) poseen un estómago policavitario formado por cuatro compartimentos: tres preestómagos (panza o rumen, retículo y librillo u omaso) y un estómago verdadero que equivale al estómago de los monogástricos y que se recibe el nombre de cuajar o abomaso. En el abomaso se libera pepsina y ácidos para la clásica digestión proteica.

El rumen es el mayor de todos los compartimentos (70-75% de la capacidad total del tubo digestivo). Se trata de un fermentador continuo, de un gran compartimento de mezcla y fermentación. El rumen aloja una población microbiana formada por bacterias ( $10^9$ - $10^{10}$  células/ml de contenido ruminal), protozoos ( $10^6$  células/ml) y hongos anaerobios ( $10^3$ - $10^6$  células/ml). En el rumen los lípidos de la dieta se hidrolizan rápidamente y los ácidos grasos insaturados resultantes de esta hidrólisis son sometidos a una biohidrogenación por parte de los microorganismos ruminales (Harfoot y Hazlewood, 1988); en el rumen también tiene lugar una síntesis de ácidos grasos volátiles (que se absorben a través de la pared del propio rumen) y de lípidos microbianos. Al intestino llegan, así pues, mayoritariamente ácidos grasos saturados y lípidos bacterianos que se degradan y absorben por los mismos mecanismos básicos de los animales monogástricos. Como consecuencia de esto, el animal rumiante absorbe sobre todo ácidos grasos saturados, y los alimentos producidos por los rumiantes (carne y leche) tienden a poseer una grasa más saturada en relación con la grasa suministrada en la dieta. Sin embargo, la biohidrogenación en el rumen de los ácidos grasos insaturados no es completa y algunos de los ácidos grasos insaturados que son productos intermediarios del proceso de biohidrogenación (por ejemplo los ácidos linoleico conjugado -CLA- y vacénico -VA- en el caso de la biohidrogenación del ácido linoleico) pueden abandonar el rumen y ser absorbidos por el intestino.

En vista de lo expuesto, en los animales rumiantes la modificación de la composición en ácidos grasos de la grasa a través de la dieta es más dificultosa y compleja, y dada esta complejidad los estudios de modificación de la grasa corporal a través de la dieta son más recientes y se encuentran en muchos casos todavía en curso.

### 2.2.1. Modificación de la composición en ácidos grasos de la carne de cerdo a través de la dieta

En la bibliografía científica aparecen multitud de estudios realizados sobre modificación del perfil de ácidos grasos de la carne de cerdo a través del suministro de dietas ricas en ácidos grasos insaturados. Generalmente los ácidos grasos insaturados se aportan en la dieta a través del suministro de harinas o de aceites de pescado, o de harinas, granos o aceites de semillas oleaginosas (colza, linaza y lino, fundamentalmente).

Bryhni y cols. (2002) suministraron a seis lotes de cerdos dietas con dos porcentajes de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) (31% y 50%), y dentro de cada porcentaje tres niveles de incorporación de aceites de pescado (0%, 0,2% y 0,4%). La grasa dorsal de los cerdos alimentados con las dietas que contenían los porcentajes más altos de PUFA (50%) presentó menos ácidos grasos saturados como el C16:0 y el C18:0 y más C18:2, C18:3 y PUFAs totales ( $P < 0,05$ ) que la grasa dorsal de los cerdos alimentados con las dietas que contenían los porcentajes más bajos de PUFAs (31%). El contenido en PUFAs de la dieta se correlacionó positivamente ( $R^2 = 0,80$ ) con el contenido en PUFAs de la grasa dorsal. Se observó también una correlación positiva entre los contenidos en C18:2 y C18:3 en la dieta y los valores de estos dos ácidos grasos en la grasa dorsal ( $R^2 = 0,80$  y  $R^2 = 0,81$ , respectivamente). Los niveles de PUFAs y de C18:2 fueron un 50% más bajos en la grasa dorsal que en la dieta. La grasa dorsal de los cerdos alimentados con las dietas que contenían un 0,4% de aceite de pescado presentó un contenido significativamente mayor ( $P < 0,001$ ) de C22:5 que la grasa dorsal de los cerdos alimentados con las dietas que no contenían aceite de pescado. En este estudio los porcentajes de aceite de pescado ensayados en las dietas fueron bajos y esta es la razón por la que los niveles de C22:6 en la grasa dorsal fueron bajos en todas las canales ( $< 0,1\%$  en todos los casos) y no se observaron diferencias en el contenido en este ácido graso en la grasa dorsal entre las diferentes dietas.

St. John y cols. (1987) cebaron tres lotes de cerdos, con una dieta control el primero y con la misma dieta más un 10% y un 20% de aceite de canola los dos restantes. El aceite de canola utilizado poseía un 64% de C18:1 y un 18,7% de C18:2. El contenido en ácidos grasos saturados disminuyó desde un 40% de los ácidos grasos totales en el tejido adiposo de los cerdos control hasta un 15% en los cerdos alimentados con un 20% de aceite de canola. En la grasa muscular este descenso fue desde un 42% en los cerdos control hasta un 23% en los cerdos alimentados con un 20% de aceite de canola. La relación ácidos grasos monoinsaturados/ácidos grasos saturados (M/S) en el tejido adiposo aumentó desde un valor de 1,19 en los cerdos control hasta una cifra de 3,63 en los cerdos alimentados con la ración que contenía un 20% de aceite de canola. En el músculo esta relación aumentó desde 1,21 hasta 2,46. Al aumentar los niveles de aceite de canola en la dieta se observó un descenso significativo de la firmeza de la grasa.

Romans y cols. (1995) alimentaron cuatro lotes de cerdos con cuatro dietas que contenían 0% (control) y 5, 10 y 15% de semilla de lino molida. La semilla de lino molida contenía 100 mg de ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA) (C18:3) por gramo. En los cerdos de cada lote se estudió tras el sacrificio el perfil de ácidos grasos en la grasa dorsal a dos profundidades, en la grasa subcutánea ventral, en el músculo *Longissimus thoracis*, en la grasa perirrenal, y en el hígado, corazón, cerebro y ojos. Las cantidades de ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA) (C18:3) y de ácido eicosapentaenoico (EPA) (C20:5) aumentaron significativamente en la grasa subcutánea dorsal ( $P < 0,01$ ), en la grasa subcutánea ventral ( $P < 0,001$ ), y en el músculo *Longissimus thoracis* e hígado ( $P < 0,01$  y  $P < 0,05$ ,

respectivamente) a medida que aumentó el porcentaje de semilla de lino en la dieta. El ALA aumentó también significativamente ( $P < 0,01$ ) en la grasa perirrenal.

Warnants y cols. (1996) estudiaron la incorporación de ácidos grasos a los tejidos utilizando dietas isocalóricas e isonitrogenadas con cantidades crecientes de PUFAs suministrados por medio de semilla de colza. Alimentaron cinco lotes de cerdos, uno con una dieta control con un 0% de semilla de colza, y con sebo como fuente de grasa, y los cuatro restantes con dietas que contenían sucesivamente 5,25%, 7%, 8,75% y 10,5% de semilla de colza. Como era esperable, se observó una buena correlación ( $R_2 = 0,8-0,9$ ) entre los contenidos en PUFAs en la ración y los observados en la grasa subcutánea dorsal de los cerdos.

Van Oeckel y cols. (1996) suministraron a diferentes lotes de cerdos dietas que contenían un 0,4%, 0,7% y 1,0% de ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3) a través de la inclusión en las mismas de distintas cantidades de semilla de linaza. El contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico en la grasa intramuscular aumentó desde un 1,2% hasta un 2,3% en los machos y desde un 1,4% hasta un 2,9% en las hembras, a medida que aumentaba el contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico en la dieta.

Resultados similares a los anteriormente descritos han sido obtenidos en general, entre otros autores, por Myer y cols. (1992) con dietas a base de cacahuete (con alto contenido en ácido oleico) y aceite de canola; por Leskanich y cols. (1997) suministrando dietas con aceites de colza y de pescado; por Ahn y cols. (1996) aportando en la dieta diferentes niveles de ácido  $\alpha$ -linolénico a través de aceite de lino; por Rhee y cols. (1988) suministrando en la dieta aceite de canola; por Hertzman y cols. (1988) alimentando cerdos con raciones que contenían harina de pescado, semilla de colza y harina de colza; y por Morgan y cols. (1992) administrando dietas que contenían aceites especiales ricos en ácidos  $\gamma$ -linolénico y eicosapentaenoico.

En general, la inclusión en la dieta de aceite o harina de pescado produce un incremento de las concentraciones de C20:5 y C22:6 en la grasa de cerdo. Las semillas de lino y linaza y/o sus aceites aportan ácido  $\alpha$ -linolénico. El cacahuete aporta ácido oleico (C18:1). La semilla de colza y/o su aceite aportan ácidos oleico (C18:1), linolénico (C18:3), eicosanoico (C20:1) y erúcico (C22:1).

Ahora bien, la posibilidad de incorporación de ácidos grasos insaturados a la grasa de la carne de cerdo tiene un límite marcado por la estabilidad de la grasa frente a los procesos autooxidativos. Los ácidos grasos insaturados sufren con mayor facilidad procesos de autooxidación (enranciamiento autooxidativo), lo que confiere a la grasa que los contiene una menor estabilidad, generándose con mayor facilidad olores y sabores desagradables (a rancio).

Diferentes autores (Hertzman y cols., 1988; Rhee y cols., 1988; Myer y cols., 1992; Romans y cols., 1995; Ahn y cols., 1996; Warnants y cols., 1996; Leskanich y cols., 1997; Bryhni y cols., 2002) han observado contenidos elevados de sustancias procedentes de la autooxidación lipídica, y olores y sabores anómalos, en la carne (sobre todo en el bacon) y en los embutidos procedentes de los animales a los que se les había suministrado los mayores niveles de ácidos grasos insaturados en la dieta.

Warnants y cols. (1996) establecieron un límite a partir del cual son perceptibles las alteraciones autooxidativas en la carne, y los sabores y olores anómalos, cuando esta se somete a valoración por parte de un jurado de catadores. Fijaron este umbral en 18 gramos de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs)/kg de pienso suministrado a los cerdos y en un 22% de PUFAs en la grasa subcutánea dorsal de las canales.

La inclusión de un antioxidante (vitamina E) en la dieta de los cerdos a concentraciones de 250 mg/kg de pienso (Leskanich y cols., 1997) produce incrementos

apreciables de los contenidos de vitamina E en el tejido muscular, y sobre todo en la grasa, de las canales y reduce apreciablemente el grado de autooxidación de la grasa y los sabores y olores anómalos derivados de este proceso alterativo.

### **2.1.2. Modificación de la composición en ácidos grasos de la carne de pollo a través de la dieta**

Es posible enriquecer la carne de pollo en ácidos grasos  $\omega$ -3 a través de la alimentación suministrada a los pollos durante el periodo de engorde.

Manilla y Husvéth (1999) realizaron una revisión de la información existente en la bibliografía científica acerca de los trabajos de enriquecimiento de la carne de pollo con ácidos grasos  $\omega$ -3, fundamentalmente eicosapentaenoico (C20:5) (EPA) y docosahexaenoico (C22:6) (DHA), a través del suministro de fuentes de ácidos grasos  $\omega$ -3 en la dieta.

La inclusión en la dieta de aceite de pescado consigue un incremento efectivo de las concentraciones de EPA y DHA en la carne de pollo. Sin embargo, la carne de los pollos alimentados con estas dietas presenta un sabor menos agradable y una menor estabilidad durante el almacenamiento en relación con la obtenida de los pollos alimentados con dietas tradicionales.

La suplementación de las dietas con cantidades elevadas de vitamina E, sola o mezclada con otros antioxidantes naturales como la cantaxantina (Ajuyah y cols., 1993), aumenta la estabilidad de la grasa de la carne frente a la oxidación e incrementa, por lo tanto, la estabilidad de la carne enriquecida durante el almacenamiento.

Otras fuentes de ácidos grasos  $\omega$ -3 en la dieta como la harina de pescado y las semillas de plantas oleaginosas (el lino, fundamentalmente) no provocan una alteración tan importante de la calidad ni de la capacidad de almacenamiento de la carne, pero los incrementos de los contenidos de EPA y DHA en la carne son menores. Olomu y Baracos (1991) alimentaron pollos con dietas suplementadas con cuatro niveles diferentes de aceite de semilla de lino. El incremento de la proporción de aceite de lino en la dieta se tradujo en la deposición en el músculo *Sartorius* de cantidades crecientes de los ácidos grasos C20:3, C20:5, C22:5 y C22:6, todos ellos productos de desaturación y elongación del ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3  $\omega$ -3). La cantidad de estos ácidos grasos en el músculo también aumentó con el tiempo de suministro de la dieta suplementada con aceite de lino.

Más recientemente, Shen y cols. (2005) han vuelto a poner de manifiesto el efecto positivo de la inclusión de semilla de lino, tanto entera como triturada o molida y granulada, en la dieta de los pollos sobre el contenido en ácidos grasos  $\omega$ -3 de la carne. Estos autores concluyeron que se puede incluir en la dieta hasta un 12% de harina de semilla de lino granulada con un crecimiento satisfactorio de los pollos y maximizando la deposición de ácidos grasos  $\omega$ -3 en sus tejidos corporales.

Las algas marinas son una fuente atractiva de ácidos grasos  $\omega$ -3 para su inclusión en la dieta de los pollos en cebo, debido a su riqueza en ácido docosahexaenoico (C22:6) y a que, además, contienen de modo natural carotenoides con actividad antioxidante que puede resultar de suma utilidad en la solución de los problemas de autooxidación de la grasa derivados de un enriquecimiento excesivo en ácidos grasos insaturados.

### **2.1.3. Modificación de la composición en ácidos grasos de la carne de vacuno a través de la dieta**

La carne de vacuno ha sido considerada tradicionalmente como una carne poco saludable debido a su elevado contenido en ácidos grasos saturados. Dunshea y cols. (2005) concluyeron que esta carne tendría más oportunidades en el mercado si se lograra enriquecer su grasa en CLA y PUFAs a través de la manipulación de la dieta animal.

Son muchos los autores que han coincidido en apreciar que la carne de rumiantes alimentados a base de pasto presenta en su grasa unos niveles más elevados de ácidos grasos  $\omega$ -3 y de CLA, un mayor cociente ácidos grasos poliinsaturados/ácidos grasos saturados y una menor relación  $\omega$ -6/  $\omega$ -3 que la carne de los animales alimentados a base de concentrado (French y cols., 2000; Holló y cols., 2006; Lorenzen y cols., 2007). Esta diferencia es debida a la riqueza del pasto en ácido linolénico (C18:3  $\omega$ -3), el precursor de los ácidos grasos  $\omega$ -3 de cadena larga (Wood y Enser, 1997). Por otra parte, las dietas con elevado contenido en pasto (o en forrajes) aumentan en contenido de ácidos CLA y VA en la carne, debido a que el ácido linolénico es precursor de ambos (Dunshea y cols., 2005).

La suplementación de la dieta del ganado vacuno con aceites de pescado aumenta los niveles de ácidos grasos  $\omega$ -3 en la carne (Wood y cols., 2004) y puede aumentar los niveles de CLA y VA (Shingfield y cols., 2003) y reducir la conversión ruminal de AV en ácido esteárico (Griinari y Bauman, 1999).

Mach y cols. (2006) compararon el contenido en ácidos grasos  $\omega$ -3 y CLA en la carne de toros frisonos alimentados con dietas a base de concentrados y suplementadas con semillas de lino y de colza. Los animales cuya dieta había sido suplementada con semillas de lino presentaron en el músculo *Longissimus dorsi* niveles más elevados de ácidos grasos  $\omega$ -3 (2,35 frente a 0,48%) y de CLA (0,35 frente a 0,29%), un menor cociente ácidos grasos  $\omega$ -6/ ácidos grasos  $\omega$ -3 (6,3 frente a 25,1) y una mayor relación ácidos grasos insaturados/ácidos grasos saturados (0,39 frente a 0,29) que los animales que recibieron una dieta suplementada con semilla de colza.

Holló y cols. (2006) observaron que los toros frisonos que recibieron una dieta a base de maíz ensilado y concentrado suplementada con un 20% de aceite de linaza (con un 44,8% de C18:3) presentaron en su carne unos contenidos más elevados de ácidos grasos  $\omega$ -3 y de CLA, un menor cociente ácidos grasos  $\omega$ -6/ ácidos grasos  $\omega$ -3 y una mayor relación ácidos grasos insaturados/ácidos grasos saturados que los toros cuya dieta no había sido suplementada (animales control).

Otra posibilidad para aumentar el contenido de CLA en la carne de rumiantes es la alimentación de los animales con CLA protegido que atraviesa el rumen y llega intacto al intestino, donde es absorbido (Gillis y cols., 2004).

### **2.1.4. Modificación de la composición en ácidos grasos de la leche a través de la dieta**

Como ya se ha comentado, el ácido linoleico conjugado (CLA) es un anticarcinogénico natural presente en la leche de los rumiantes. Se trata de un producto intermedio de la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos poliinsaturados. La biohidrogenación ruminal del ácido linoleico (C18:2) produce *cis*-9, *trans*-11 CLA como primer producto intermedio y se asume generalmente que el CLA de la grasa de la leche procede de una



biohidrogenación incompleta del ácido linoleico en el rumen (Grinari y Bauman, 1999).

Se ha demostrado que es posible aumentar la concentración de CLA en la leche actuando sobre la dieta de las vacas lecheras.

Kelly y cols. (1998) alimentaron vacas lecheras de la raza Holstein con una dieta control y con tres dietas experimentales en las que se añadía a la dieta control 53 gramos de aceite de cacahuete (de alto contenido en ácido oleico)/kg de materia seca de la dieta, 53 gramos de aceite de girasol (de alto contenido en ácido linoleico)/kg de materia seca y 53 gramos de aceite de linaza (de alto contenido en ácido linolénico)/kg de materia seca, respectivamente, durante periodos de 2 semanas; la leche se recogió en los últimos cuatro días de administración de la dieta correspondiente. La concentración de CLA en la grasa de la leche fue de 13,3, 24,7 y 16,7 (mg/g de grasa láctea) durante la alimentación con las dietas suplementadas con aceite de cacahuete, aceite de girasol y aceite de linaza, respectivamente. La concentración de CLA en la leche producida por las vacas que recibían la dieta suplementada con aceite de girasol fue significativamente más elevada ( $P < 0,001$ ) que la observada en la leche producida por las vacas alimentadas con las otras dos dietas experimentales y alrededor de un 500% mayor que la presente en la leche producida por las vacas alimentadas con la dieta control. La concentración de CLA en la grasa de la leche puede aumentarse, por tanto, mediante suplementación de la dieta con ácidos grasos poliinsaturados, especialmente con aceites con un elevado contenido en ácido linoleico.

AbuGhazaleh y cols. (2003) alimentando vacas lecheras con distintas dietas experimentales también pusieron de manifiesto que la alimentación con una fuente de ácido linoleico y aceite de pescado aumenta de una manera efectiva las concentraciones en la leche de ácidos *cis*-9, *trans*-11 CLA y *trans*-11 vacénico.

### **2.1.5. Modificación de la composición en ácidos grasos de la yema de huevo a través de la dieta**

González-Esquerra y Leeson (2001) revisaron las alternativas existentes para el enriquecimiento de la yema del huevo en ácidos grasos  $\omega$ -3. El contenido de la yema del huevo en ácidos grasos  $\omega$ -3 puede aumentarse de modo significativo suplementando la dieta de las gallinas ponedoras con diversos ingredientes como semilla de lino, aceite de pescado, harina de pescado, algas marinas y canola.

Cachaldora y cols. (2006) estudiaron el efecto de la inclusión de aceite de pescado en la dieta de las gallinas ponedoras sobre el contenido en los diferentes ácidos grasos de la yema del huevo. Ensayaron tres fuentes diferentes de aceite de pescado y cuatro niveles de inclusión de cada uno de los aceites en la dieta (15, 30, 45 y 60 g de aceite de pescado/kg de alimento). El incremento del nivel de inclusión de aceite en la dieta desde 15 hasta 60 g/kg provocó un aumento lineal de la concentración de los ácidos grasos C20:5, C22:5 y C22:6, y de los ácidos grasos  $\omega$ -3 totales, en la grasa de la yema de los huevos producidos. No obstante, a medida que se aumentó la cantidad de aceite en la dieta, disminuyó la eficiencia de deposición (gramos retenidos/gramos ingeridos) de los ácidos grasos.

Cachaldora y cols. (2005) ensayaron también el efecto de la inclusión en la dieta de las gallinas ponedoras de un aceite de algas, con un elevado contenido en ácido docosahexaenoico (C22:6) (46,7%), sobre el enriquecimiento de la yema en ácidos grasos  $\omega$ -3. Para determinar este efecto, ensayaron dos dietas que contenían 0,77% y 1,7% de aceite de algas y una dieta control que contenía un 1,7% de aceite de pescado.

Por unidad de peso de aceite en la dieta, el aceite de algas se mostró más eficaz que el aceite de pescado en términos de retención de ácidos grasos  $\omega$ -3 en la yema de huevo. Sin embargo, la eficiencia de retención de ácidos grasos totales  $\omega$ -3 cuando se expresó como gramos de ácido graso retenidos/gramos de ácido graso ingeridos fue superior para el aceite de pescado que para el aceite de algas.

## 2.2. MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA GRASA MEDIANTE SELECCIÓN GENÉTICA

La composición de la carne en ácidos grasos está también influenciada por factores genéticos, aunque esta influencia es menor que la de la alimentación (De Smet y cols. 2004).

La composición en ácidos grasos de la carne se ve influida por la especie, la raza y el sexo; existen también diferencias entre líneas y entre individuos dentro de la misma raza.

El efecto de la raza puede verse influenciado por la segregación de genes importantes por otros aspectos, tal es el caso de los genes responsables del carácter de “grupa doble” en el ganado vacuno (Aldai y cols., 2007) o de la “sensibilidad al stress” en el ganado porcino. Sin embargo, a veces es difícil cuantificar la contribución real de los factores genéticos a las diferencias en la composición en ácidos grasos de la carne. La comparación entre razas efectuada en los trabajos realizados a tal fin, a menudo se ve enmascarada o interferida por otros parámetros que también tienen efecto, tales como el contenido en grasa corporal, el peso vivo o la edad en el momento del sacrificio, y el sistema de producción, como se ha visto por ejemplo en el caso de la carne de cordero (Fisher y cols., 2000; Sañudo y cols., 2000).

Zembayashi y cols. (1995) sugirieron que la raza de vacuno negra japonesa tiene una predisposición genética a producir grasas con concentraciones más elevadas de ácidos grasos monoinsaturados que otras razas estudiadas. Otros autores han puesto también de manifiesto diferencias en la composición en ácidos grasos entre razas en el ganado vacuno (Gillis y cols., 1973; Huerta-Leidenz y cols., 1996; Malau-Aduli y cols., 1997, 1998; Rule y cols., 1997; Pitchford y cols., 2002).

La raza de vacuno Azul Belga es bien conocida por dar lugar a canales extremadamente magras, debido sobre todo al esfuerzo realizado en su selección para el carácter “grupa doble” que está causado por una mutación en el gen de la miostatina. Varios estudios han puesto de manifiesto un valor más elevado de la relación ácidos grasos poliinsaturados/ácidos grasos saturados en la carne de la raza Azul Belga (Cliquart y cols., 1991, 1994, 1998; Webb y cols., 1998; De Smet y cols., 2000). El mayor valor de esta relación parece ser debido a la mayor relación fosfolípidos/triglicéridos en la grasa de esta raza, pero también parece estar asociado con un mayor contenido de PUFAs en los fosfolípidos de los animales con grupa doble en comparación con los observados en la literatura para los individuos de otras razas (Webb y cols., 1998; De Smet y cols., 2000; Raes y cols., 2004).

Raes y cols. (2001) también observaron el efecto del genotipo de grupa doble sobre la concentración de CLA en la carne. El contenido de ácido *cis*-9, *trans*-11 CLA resultó ser del orden de tres veces superior en los individuos homocigóticos para el carácter grupa normal (+/+) en comparación con los individuos homocigóticos para el carácter grupa doble (*mh/mh*).

En cuanto a la relación entre la presencia del gen de sensibilidad al stress y el perfil de ácidos grasos en la grasa subcutánea e intramuscular del cerdo, Hartmann y

cols. (1997) observaron un valor más elevado del cociente ácidos grasos poliinsaturados/ácidos grasos saturados en el músculo y en el tejido adiposo de los cerdos portadores del gen de la sensibilidad al stress, en comparación con los cerdos no portadores.

Los trabajos que contienen información sobre la heredabilidad de los caracteres relacionados con la composición en ácidos grasos de la grasa corporal son escasos (De Smet y cols., 2004). Pitchford y cols. (2002) publicaron estimaciones para los parámetros genéticos de heredabilidad de la proporción de ácidos grasos en muestras de tejido adiposo (grasa subcutánea y grasa muscular) en diferentes cruces de ganado vacuno (vacas de la raza Hereford cruzadas con machos de siete razas diferentes). La heredabilidad de los valores del contenido de los ácidos grasos individuales y de los valores de las sumas de los diferentes grupos (saturados, monoinsaturados y poliinsaturados), así como de los valores de los índices de desaturación y elongación, y de los puntos de fusión y grado de veteado de la grasa, fue entre baja y moderada (0,14 – 0,33).

Mediante selección genética pueden, por tanto, conseguirse razas y estirpes con un perfil de ácidos grasos en su grasa corporal más favorable para la salud del consumidor. La selección genética, no obstante, es un proceso lento y no proporciona ni la eficacia ni la inmediatez de resultados que ofrecen las actuaciones sobre la alimentación de los animales productores.

## LITERATURA CITADA

- AbuGhazaleh, A.A., Schingoethe, D.J., Hippen, A.R. and Kalscheur, K.F. (2003). Milk conjugated linoleic acid response to fish oil supplementation of diets differing in fatty acid profiles. *Journal of Dairy Science*, **86**, 944-953.
- Ahn, D.U., Lutz, S. and Sim, J.S. (1996). Effects of dietary  $\alpha$ -linolenic acid on the fatty acid composition, storage stability and sensory characteristics of pork loin. *Meat Science*, **43**, 291-299.
- Ajuyah, A.O., Ahn, D.U., Hardin, R.T. and Sim, J.S. (1993). Dietary antioxidants and storage affect chemical characteristics of omega-3 fatty acid enriched broiler chicken meats. *Journal of Food Science*, **58**, 43-46.
- Aldai, N., Nájera, A.I., Dugan, M.E.R., Celaya, R. and Osoro, K. (2007). Characterisation of intramuscular, intermuscular and subcutaneous adipose tissues in yearling bulls of different genotype groups. *Meat Science*, **76**, 682-691.
- Belury, M.A. (1995). Conjugated dienoic linoleate: a polyunsaturated fatty acid with unique chemical properties. *Nutrition Reviews*, **53**, 83-89.
- Belury, M.A. (2002). Dietary conjugated linoleic acid in health: physiological effects and mechanism of action. *Annual Review of Nutrition*, **22**, 505-531.
- Berry, E.M., Eisenberg, S., Friedlander, Y., Harats, D., Kaufmann, N.A., Norman, Y. and Stein, Y. (1992). Effects of diets rich in monounsaturated fatty acids on plasma lipoproteins – The Jerusalem Nutrition Study. II. Monounsaturated fatty acids vs carbohydrates. *American Journal of Clinical Nutrition*, **56**, 394-403.
- Bryhni, E.A., Kjos, N.P., Ofstad, R. and Hunt, M. (2002). Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: effects on fatty acid composition and meat, fat, and sausage quality. *Meat Science*, **62**, 1-8.
- Cachaldora, P., de Blas, J.C., García-Rebollar, P., Álvarez, C. and Méndez, J. (2005). Effects of type and level of supplementation with dietary n-3 fatty acids on yolk fat composition and n-3 fatty acid retention in hen eggs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, **3**, 209-212.
- Cachaldora, P., García-Rebollar, P., Álvarez, C., de Blas, J.C. and Méndez, J. (2006). Effect of type and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids retention efficiency in laying hens. *British Poultry Science*, **47**, 43-49.

- Clinquart, A., Hornick, J.L., Van Eenaeme, C. and Istasse, L. (1998). Influence du caractère culard sur la production et la qualité de la viande des bovines Blanc Bleu Belge. *INRA Production Animale*, **11**, 285-297.
- Clinquart, A., Istasse, L., Dufrasne, I.K., Mayombo, A., Van Eenaeme, C. and Bienfait, J.M. (1991). Effects on animal performance and fat composition of two fat concentrates in diets for growing-fattening bulls. *Animal Production*, **53**, 315-320.
- Clinquart, A., Van Eenaeme, C., Van Vooren, T., Van Hoff, J., Hornick, J.L. and Istasse, L. (1994). Meat quality in relation to breed (Belgian Blue vs. Holstein) and conformation (double muscled vs. dual purpose type). *Sciences des Aliments*, **53**, 401-407.
- De Smet, S., Raes, K. and Demeyer, D. (2004). Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, **53**, 81-98.
- De Smet, S., Webb, E.C., Claeys, E., Uytterhaegen, L. and Demeyer, D.I. (2000). Effect of dietary energy and protein levels on fatty acid composition of intramuscular fat in double-muscled Belgian Blue bulls. *Meat Science*, **56**, 73-79.
- Dunshea, F.R., D'Souza, D.N., Pethick, D.W., Harper, G.S. and Warner, R.D. (2005). Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science*, **71**, 8-38.
- Fisher, A.V., Enser, M., Richardson, R.I., Wood, J.D., Nute, G.R., Kurt, E., Sinclair, L.A. and Wilkinson, R.G. (2000). Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production systems. *Meat Science*, **55**, 141-147.
- French, P., Stanton, C., Lawless, F., O'Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J. and Moloney, A.P. (2000). Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets. *Journal of Animal Science*, **78**, 2849-2855.
- Gillis, A.T., Skin, N.A.M. and Cliplef, R.L. (1973). Fatty acid composition of bovine intramuscular and subcutaneous fat as related to breed and sex. *Journal of Food Science*, **38**, 408-411.
- Gillis, M.H., Duckett, S.K., Sackmann, J.R., Realini, C.E., Keisler, D.H. and Pringle, T.D. (2004). Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or linoleic acid on feedlot performance, carcass quality, and leptin concentrations in beef cattle. *Journal of Animal Science*, **82**, 851-859.
- González-Esquerria, R. and Leeson, S. (2001). Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with omega-3 fatty acids. *Canadian Journal of Animal Science*, **81**, 295-305.
- Griinari, J.M. and Bauman, D.E. (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In: *Advances in conjugated linoleic acid research, Vol. 1* (Yurawecz, M., Mossoba, M.M., Kramer, J.K.G., Pariza, M.W. and Nelson, G.J., eds.), pp. 180-200. AOCS Press, Champaign, USA.
- Grundy, S.M. (1986). Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering plasma cholesterol. *New England Journal of Medicine*, **314**, 745-748.
- Harfoot, C.G. and Hazlewood, G.P. (1988). Lipid metabolism in the rumen. In: *The Rumen Microbial Ecosystem* (Hobson, P.N., ed.), pp. 285-322. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Hartmann, S., Otten, W., Kratzmair, M., Seewald, M.J., Iaizzo, P.A. and Eichinger, H.M. (1997). Influences of breed, sex and susceptibility to malignant hyperthermia on lipid composition of skeletal muscle and adipose tissue in swine. *American Journal of Veterinary Research*, **58**, 738-743.
- Hegsted, D.M., Ausman, L.M., Johnson, J.A. and Dallal, G.E. (1993). Dietary fat and serum lipids: an evaluation of the experimental data. *American Journal of Clinical Nutrition*, **57**, 875-883.
- Hertzman, C., Göranson, L. and Rudérus, H. (1988). Influence of fishmeal, rape-seed, and rape-seed meal in feed on the fatty acid composition and storage stability of porcine body fat. *Meat Science*, **23**, 37-53.
- Holló, G., Seregi, J., Ender, K., Repa, I., Holló, I., and Nuernberg, K. (2006). The effect of finishing diet on beef quality traits. *Proceedings of the 52nd International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST)*, Dublin, Ireland, pp. 115-116.
- Huerta-Leidenz, H.O., Cross, H.R., Savell, J.W., Lunt, D.K., Baker, J.R. and Smith, S.B. (1996). Fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from male calves at different stages of growth. *Journal of Animal Science*, **74**, 1256-1264.
- Hunninglake, D.B. and others (1993). The efficacy of intensive dietary therapy alone or combined with Lovastatin in outpatients with hypercholesterolemia. *New England Journal of Medicine*, **328**, 1213-1219.

- Ip, C., Scimeca, J.A. and Thompson, H.J. (1994). Conjugated linoleic acid: a powerful anticarcinogen from animal fat sources. *Cancer*, **74**, 1050-1054.
- Kelly, M.L., Berry, J.R., Dwyer, D.A., Griinari, J.M., Chouinard, P.Y., Van Amburg, M.E. and Bauman, D.E. (1998). Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentrations in milk from lactating dairy cows. *Journal of Nutrition*, **128**, 881-885.
- Lawson, H. (1999). *Aceites y grasas alimentarios: Tecnología, utilización y nutrición*, 333 pp. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Leskanich, C.O., Matthews, K.R., Warkup, C.C., Noble, R.C. and Hazzledine, M. (1997). The effect of dietary oil containing (n-3) fatty acids on the fatty acid, physicochemical, and organoleptic characteristics of pig meat and fat. *Journal of Animal Science*, **75**, 673-683.
- Lorenzen, C.L., Golden, J.W., Martz, F.A., Grün, I.U., Eilersieck, M.R., Gerrish, J.R. and Moore, K.C. (2007). Conjugated linoleic acid content of beef differs by feeding regime and muscle. *Meat Science*, **75**, 159-167.
- Mach, N., Devant, M., Díaz, I., Font-Furnols, M., Oliver, M.A., García, J.A. and Bach, A. (2006). Increasing the amount of n-3 fatty acid in meat from young Holstein bulls through nutrition. *Journal of Animal Science*, **84**, 3039-3048.
- Malau-Aduli, A.E.O., Siebert, B.D., Bottema, C.D.K. and Pitchford, W.S. (1997). A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limusin and Jersey cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*, **48**, 715-722.
- Malau-Aduli, A.E.O., Siebert, B.D., Bottema, C.D.K. and Pitchford, W.S. (1998). Breed comparison of the fatty acid composition of muscle phospholipids in Jersey and Limusin cattle. *Journal of Animal Science*, **76**, 766-773.
- Manilla, H.A. and Husvéth, F. (1999). N-3 fatty acid enrichment and oxidative stability of broiler chicken (A review). *Acta Alimentaria*, **28**, 235-249.
- Marsic, V., Yodice, R. and Orthoefer, F. (1992). The dietary role of monounsaturates. *Inform*, **3**, 681-686.
- Mata, P., Garrido, J.A., Ordovás, J.M., Blázquez, E., Álvarez-Sala, L.A., Rubio, M.J., Alonso, R. and de Oya, M. (1992). Effect of dietary monounsaturated fatty acids on plasma lipoproteins and apolipoproteins in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, **56**, 77-83.
- Morgan, C.A., Noble, R.C., Cocchi, M. and McCartney, R. (1992). Manipulation of the fatty acid composition of pig meat lipids by dietary means. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **58**, 357-368.
- Myer, R.O., Johnson, D.D., Knauff, D.A., Gorbet, D.W., Brendemuhl, J.H. and Walker, W.R. (1992). Effect of feeding high-oleic-acid peanuts to growing-finishing swine on resulting carcass fatty acid profile and on carcass meat quality characteristics. *Journal of Animal Science*, **70**, 3734-3741.
- Olomu, J.M. and Baracos, V.E. (1991). Influence of dietary flaxseed oil on the performance, muscle protein deposition, and fatty acid composition of broiler chicks. *Poultry Science*, **70**, 1403-1411.
- Parodi, P.W. (1997). Cow's milk fat components as potential anticarcinogenic agents. *Journal of Nutrition*, **127**, 1055-1060.
- Pitchford, W.S., Deland, M.P.B., Siebert, B.D., Malau-Aduli, A.E.O. and Bottema, C.D.K. (2002). Genetic variation in fatness and fatty acid composition of crossbred cattle. *Journal of Animal Science*, **80**, 2825-2832.
- Raes, K., De Smet, S. and Demeyer, D. (2001). Effect of double-muscling in Belgian Blue young bulls on the intramuscular fatty acid composition with emphasis on conjugated linoleic acid and polyunsaturated fatty acids. *Animal Science*, **73**, 253-260.
- Raes, K., De Smet, S. and Demeyer, D. (2004). Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef, and pork meat: a review. *Animal Feed Science and Technology*, **113**, 199-221.
- Rhee, K.S., Ziprin, Y.A., Ordóñez, G. and Bohac, C.E. (1988). Fatty acid profiles of the total lipids and lipid oxidation in pork muscles as affected by canola oil in the animal diet and muscle location. *Meat Science*, **23**, 201-210.
- Romans, J.R., Johnson, R.C., Wulf, D.M., Libal, G.W. and Costello, W.J. (1995). Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: I. Dietary level of flaxseed. *Journal of Animal Science*, **73**, 1982-1986.
- Rule, D.C., MacNeil, M.D. and Short, R.E. (1997). Influence of sire growth potential, time on feed, and growing-finishing strategy on cholesterol and fatty acids of the ground carcass and Longissimus muscle of beef steers. *Journal of Animal Science*, **75**, 1525-1533.

- Sañudo, C. Enser, M.E., Campo, M.M., Nute, G.R., María, G., Sierra, I. and Wood, J.D. (2000). Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Science*, **54**, 339-346.
- Scimeca, J.A., Thompson, H.J., and Ip, C. (1994). Effect of conjugated linoleic acid on carcinogenesis. In: *Diet and breast cancer*, pp. 59-65. American Institute of Breast Cancer, Plenum Press, New York, USA.
- Shen, Y., Feng, D., Fan, Z.F. and Chávez, E. (2005). Performance, carcass cut-up and fatty acids deposition in broilers fed different levels of pellet-processed flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **85**, 2005-2014.
- Shingfield, K.J., Ähvenjärvi, S., Toivonen, V., Ärölä, A., Nurmela, K.V.V., Huhtanen, P. and Griinari, M.J. (2003). Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *Animal Science*, **77**, 165-179.
- St. John, L.C., Young, C.R., Knabe, D.A., Thompson, L.D., Schelling, G.T., Grundy, S.M. and Smith, S.B. (1987). Fatty acid profiles and sensory and carcass traits of tissues from steers and swine fed an elevated monounsaturated fat diet. *Journal of Animal Science*, **64**, 1441-1447.
- Van Oeckel, M.J., Casteels, M., Warnants, N., Van Damme, L. and Boucqué, Ch.V. (1996). Omega-3 fatty acids in pig nutrition: Implications for the intrinsic and sensory quality of the meat. *Meat Science*, **44**, 55-63.
- Warnants, N., Van Oeckel, M.J. and Boucqué, Ch.V. (1996). Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork tissues and its implications for the quality of the end products. *Meat Science*, **44**, 125-144.
- Webb, E.C., De Smet, S., Van Nevel, C., Martens, B. and Demeyer, D.I. (1998). Effect of anatomical location on the composition of fatty acids in double-muscléd Belgian Blue cows. *Meat Science*, **50**, 45-53.
- Wood, J.D. and Enser, M. (1997). Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, **58**, S49-S60.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R. and Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science*, **66**, 21-32.
- Zembayashi, M., Nishimura, K., Lunt, D.K. and Smith, S.B. (1995). Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *Journal of Animal Science*, **73**, 3325-3332.