

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

INFLUENCIA DE LA NUTRICIÓN SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

EFFECTS OF NUTRITION ON TYPE AND CONTENT OF FATTY ACIDS IN MEAT FROM RUMINANT ANIMALS

Martínez Marín, A.L.

Profesor Asociado del Dpto. de Producción Animal. Universidad de Córdoba. 14071 Córdoba. España.
Director Técnico de Piensos Vigor y Piensos Compuestos Coavic S.L. E-mail: pa1martm@uco.es

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Consumidor. Alimentación. Salud. Grasa. Ácidos grasos n-3. Ácido linoleico conjugado.

ADDITIONAL KEYWORDS

Consumer. Feeding. Health. Fat. n-3 Fatty acids. Conjugated linoleic acid.

RESUMEN

Tanto el ganadero, en lo que respecta al valor económico de los productos obtenidos, como el consumidor, en cuanto al valor sensorial y saludable de los alimentos consumidos, muestran un interés creciente por todo lo relacionado con la calidad de la carne. Las grasas son componentes naturales de las materias primas utilizadas en la alimentación de los rumiantes y su digestión, como la del resto de los componentes de los alimentos, está muy influenciada por el paso a través del rumen. En la digestión ruminal de los lípidos de la ración se originan metabolitos intermedios característicos que influyen sobre los tipos y proporciones de ácidos grasos depositados en los tejidos. Los ácidos grasos presentes en la carne de los rumiantes y considerados como beneficiosos para la salud humana son los ácidos grasos poliinsaturados, en particular los de la serie n-3 y el conjunto de isómeros denominados de forma genérica como ácido linoleico conjugado. A estos ácidos grasos se les reconocen efectos positivos sobre el sistema cardiovascular, el metabolismo lipídico, la prevención del cáncer, etc. Por otro lado, la naturaleza de la ración que reciben los rumiantes y el

tipo y cantidad de las fuentes suplementarias de grasa incluidas en la misma permiten manipular el contenido de la carne en dichos ácidos grasos mejorando, por tanto, el valor saludable de la misma. En sus diseños y recomendaciones para la formulación, fabricación y suministro de raciones a los rumiantes, el nutricionista debe tener en consideración la influencia que la alimentación tiene sobre el producto final obtenido con objeto de contribuir positivamente a su calidad desde el punto de vista de la salud humana.

ABSTRACT

Both the farmer, because the economic value of his or her products, and the consumer, because the sensory quality and healthy value of his or her food, are increasingly interested on every aspect related to meat quality. Fat is a natural constituent of the raw materials used as ruminants feedingstuffs, and its digestion is heavily conditioned as it goes through the rumen, like that of the rest of the feedingstuffs' constituents. As a result of lipids' digestion in the rumen many

Arch. Zootec. 56 (R): 45-66. 2007.

characteristic intermediary metabolites appear which influence the type and proportions of fatty acids laid on the carcass tissues. The fatty acids found in ruminant meat which are considered good for the human health are of the polyunsaturated sort, particularly those of the n-3 series and the conjugated linoleic acid. These fatty acids are thought to have positive effects on the cardiovascular system, lipid metabolism, cancer prevention, etc., of the human consumer. On the other hand the nature of the ruminants' diets and the amount and source of supplementary fats added to them make possible to manipulate the content of those fatty acids in ruminants' meat thus improving its healthy value. The animal nutritionist must always have in mind the influence that feeding has on the final product to obtain, when designing the guidelines to formulate, make and use diets for ruminant animals, to enhance the quality of that product from the point of view of the human consumer health.

INTRODUCCIÓN

Los atributos positivos de la carne de los rumiantes, sensoriales y nutritivos, han sido ensombrecidos en los últimos años tanto por las crisis alimentarias (p.ej. EEB) como por la percepción de que suponen un elevado aporte de grasa saturada a la dieta con los efectos negativos sobre la salud que ello conlleva. Estos motivos han llevado a un aumento del interés de los científicos y los productores por intentar acrecentar la apreciación que los consumidores tienen de la carne de los rumiantes mejorando sus cualidades desde el punto de vista de los posibles efectos beneficiosos de su consumo para la salud humana.

El incremento del contenido en la carne de los rumiantes de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), en particular

los ácidos eicosapentaenoico (AEP) y docosahexaenoico (ADH), y en ácido linoleico conjugado (ALC), tiene un notable interés de cara a los consumidores por los reconocidos beneficios para la salud humana derivados del consumo de dichos ácidos grasos. La modificación de los ácidos grasos en los lípidos intramusculares en un sentido favorable para la salud humana es posible y relativamente sencilla a través de la ración que consumen los rumiantes. El éxito radica en el tipo de ración suministrada, en la duración del período de alimentación y en la adecuada elección y utilización de fuentes suplementarias de grasa.

La carne de los rumiantes es una fuente importante de nutrientes para el ser humano y tiene un elevado valor sensorial, aunque la importancia y naturaleza de estas características dependen de la nutrición que reciben los animales (Geay *et al.*, 2001). El primer aspecto que el consumidor considera a la hora de comprar carne es el color y el contenido de grasa de cobertura e infiltrada; durante el consumo tras la preparación culinaria se valoran otras características como el olor, el sabor y la ternura (Risvik, 1994). Además, uno de los aspectos más influyentes para el consumidor a la hora de elegir uno u otro tipo de carne es el aporte de grasas saturadas que pueda suponer a la dieta personal. Igualmente, día a día adquieren relevancia los posibles beneficios derivados del consumo de determinados tipos de alimentos en cuanto a su contenido de nutrientes de efecto particularmente beneficioso para la salud humana (Arihara, 2006). Entre dichos nutrientes se incluyen los AGPI de la serie n-3 (AGPI n-3) y el

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

ALC (Williams, 2000). La principal fuente de ALC son los alimentos de origen animal, siendo la carne de los rumiantes más rica en ALC (vacuno y cordero, 2,9-4 y 5,6 mg/g grasa, respectivamente) que la de los monogástricos (cerdo y pollo, 0,6 y 0,9 mg/g grasa, respectivamente) (Chin *et al.*, 1992). El pescado es la fuente más importante de AEP y ADH en la dieta y su contenido (16-25 mg/kg) es unas cuatro veces superior al de la carne (ver Givens *et al.*, 2000).

A través de la nutrición de los animales se puede modificar el contenido de los diferentes ácidos grasos en la musculatura y alterar las proporciones entre ellos, haciéndola más saludable (Nuernberg *et al.*, 1998; Andrae *et al.*, 2001), aunque esto puede repercutir de forma variable sobre el aroma y el sabor (Wood *et al.*, 1999; Elmore *et al.*, 2005; Scollan *et al.*, 2006; Vasta y Priolo, 2006) y la conservación (Scollan, 2003).

Por otro lado, ha ido en aumento el interés que los ganaderos muestran por la calidad de la carne que producen sus animales con objeto de conseguir la mayor aceptación de aquella por parte de los consumidores (Drake, 2007). Si los ganaderos son capaces de optimizar los atributos de la carne producida, ello ayudará a incrementar su valor y apreciación entre los consumidores (Clark, 1998).

Por todo ello, en su trabajo diario el nutricionista debe tener en cuenta la manera en que las raciones por él diseñadas pueden influir sobre los productos animales y aplicar aquellos conocimientos que repercutan favorablemente sobre la calidad de los mismos a todos los niveles: rendimiento

económico para el ganadero, valoración comercial para el distribuidor y el detallista y cualidades organolépticas y de salud pública para el consumidor.

GRASA Y ÁCIDOS GRASOS EN LA NUTRICIÓN DE LOS RUMIANTES

El contenido lipídico de las materias primas vegetales utilizadas en la alimentación de los rumiantes es muy variable en función de su origen. El extracto etéreo de los forrajes verdes oscila del 4 al 12% de la materia seca, por el contrario, en los forrajes secos y el ensilado de maíz solamente varía entre 1.5 y 5% (Morand-Fehr y Tran, 2001). Los lípidos de los cereales y las proteaginosas oscilan entre 1.3 y 6.7% de la materia seca. Los subproductos de los cereales tienen un contenido de grasa muy variable (2 a 13%) en función de la proporción de gérmenes que entren en su composición. La cantidad de grasa de las tortas de semillas oleaginosas extraídas con solventes es uniformemente baja (1 a 3.5%). Las semillas oleaginosas presentan los mayores porcentajes de grasa en la materia seca oscilando entre el 19% de la semilla de soja y el 49% de la semilla de colza (MAFF, 1975). La grasa de los forrajes está compuesta mayoritariamente por glicolípidos y fosfolípidos ricos en ácidos grasos poliinsaturados. En los forrajes verdes predomina el ácido linolénico (C18:3n-3) que supone más del 50% del total de ácidos grasos y el ácido linoleico que oscila del 10 al 20%, por el contrario, en los mismos forrajes conservados la cantidad de ácido linoleico (C18:2n-6, y de ácido oleico (C18:1n-9) aumentan

su proporción (+5 y +2 puntos de media, respectivamente) mientras que el ácido linolénico desciende una media de 20 puntos porcentuales (Morand-Fehr y Tran, 2001). En las materias primas no forrajeras, el extracto etéreo está compuesto mayoritariamente por triglicéridos (Bondi, 1989). El ácido graso mayoritario en los lípidos de los cereales, sus subproductos y las leguminosas es el ácido linoleico (>50%), el contenido de ácidos grasos saturados (AGS) es inferior al 20% y en ellos predomina (>70%) el ácido palmítico (C16:0) (Morand-Fehr y Tran, 2001). En las semillas oleaginosas y sus tortas y aceites el porcentaje de los diferentes ácidos grasos es muy variable en función de la especie pero pueden distinguirse dos grandes grupos en base a que la relación AGS/AGI sea igual o superior a la unidad (palma, 1; coco, 8.9; palmiste, 4) o inferior (soja, 0.18; girasol, 0.14; linaza, 0.10) (FEDNA, 1999). La grasa de los organismos marinos es muy rica en AGPI de más de 20 carbonos (>35%) (FEDNA, 1999; ANZFA, 2001; Pratoomyot *et al.*, 2005). Respecto a las grasas de origen animal, el sebo de vacuno es más saturado (C16:0+C18:0 >40%) que la grasa procedente de los monogástricos (C18:1+C18:2 >50%) (FEDNA, 1999). Desde el punto de vista de la mejora de la calidad saludable de la carne, las fuentes de grasa más interesantes en las raciones de los rumiantes son las que aportan alguno de los siguientes ácidos grasos: linoleico, linolénico, AEP (C20:5n-3) y ADH (C22:6n-3).

Aparte de incrementar el contenido energético de la ración (Chilliard, 1993), la incorporación de suplementos grasos

a las raciones de los animales productores de alimentos en general, y de los rumiantes en particular, permite manipular la composición en ácidos grasos de los lípidos de la carne (Felton y Kerley, 2004; Raes *et al.*, 2004). La grasa extra añadida a la ración de los rumiantes puede ser grasa libre, grasa protegida mediante procedimientos físicos o químicos (encapsulación, hidrogenación, ésteres de calcio, amidas), o semillas oleaginosas enteras, procesadas o no (Doreau y Ferlay, 1994; Ashes *et al.*, 1997; Jenkins, 2004). Las grasas libres más normalmente utilizadas como suplementos grasos en las raciones de los rumiantes son de origen vegetal (aceites de girasol, soja, palma, maíz, etc.) o animal (sebo de vacuno, manteca de cerdo, mezclas, etc.) Las grasas libres, sobre todo las ricas en AGPI de cadena larga, no se pueden utilizar a grandes dosis porque son tóxicas para ciertas especies de bacterias ruminales, lo que causa un impacto negativo en la digestión ruminal, particularmente sobre la fermentación de la fibra (Jenkins, 1993) y tiene efectos negativos sobre el consumo de materia seca y los resultados productivos (Kitessa *et al.*, 2001a; Kitessa *et al.*, 2001b). Sin embargo, el aporte de lípidos a la ración en forma de grasas protegidas o mediante la incorporación de semillas oleaginosas es una vía para incrementar los ácidos grasos disponibles para la absorción intestinal sin afectar a la flora microbiana ruminal a la par que se evita o reduce la acción de esta sobre los ácidos grasos (Fraga y Pérez de Ayala, 1987; Wu *et al.*, 1991; Jenkins, 1993; Doreau y Ferlay, 1994; Kenelly, 1996). En vacuno lechero se recomienda que

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

la grasa no aporte más del 20% de la energía metabolizable de la ración y que el aporte de lípidos de las grasas protegidas o de las semillas oleaginosas no sea superior a un tercio de la grasa total admisible (Hutjens, 1998; Drackley, 2007). En cuanto al grado de protección, las grasas protegidas por tratamientos físicos o químicos, aunque existen diferencias entre los diferentes tipos, son en general más efectivas que las semillas oleaginosas, y en estas el grado de protección varía en función de la naturaleza física y química de la envoltura externa y de su tamaño; por otro lado, el procesado de las semillas (aplastado, molienda) reduce la protección (Doreau y Ferlay 1994; Kenelly, 1996; Gulati *et al.*, 1997).

Si son accesibles a la microflora del rumen, los lípidos de la ración son hidrolizados extensamente (más del 80%) liberándose los ácidos grasos (Doreau y Ferlay, 1994). Tras la hidrólisis de los lípidos, los AGI libres sufren un proceso de biohidrogenación para generar moléculas más saturadas (Aldrich *et al.*, 1995; Plascencia *et al.*, 1999). A consecuencia del proceso de hidrólisis y biohidrogenación, los lípidos que pasan al intestino delgado de los rumiantes son predominantemente ácidos grasos libres (85-90%), mayoritariamente saturados (80-90%), de los que el ácido esteárico (C18:0) representa dos tercios y el ácido palmítico el tercio restante (Drackley, 2007). Por tanto, el principal ácido graso disponible para su absorción intestinal en los rumiantes es el ácido esteárico; sin embargo, el ácido oleico es predominante en la musculatura de los rumiantes suponiendo en torno al 40% del total de ácidos grasos (Bas y Morand-

Fehr, 2000; Bas y Sauvant, 2001). Esto es debido a que una gran parte del ácido esteárico absorbido es deshidrogenado previamente a su deposición tisular por la enzima Δ^9 -desaturasa (Bauman *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 2006). La pequeña fracción de AGPI que escapa a la biohidrogenación (10-15%) es absorbida en intestino y depositada como tal en la grasa de los tejidos lo que puede contribuir a modificar su perfil de ácidos grasos (Givens *et al.*, 2006). El proceso de biohidrogenación ruminal del ácido linoleico se realiza en tres pasos (Jenkins, 1993). En primer lugar ocurre una rápida isomerización del enlace cis-12 a trans-11 dando como resultado un conjunto de isómeros (C18:2cis-9,trans-11; trans-9,cis-11; trans-10,cis-12; etc.) en proporciones variables que recibe el nombre genérico de ácido linoleico conjugado (ALC), siendo el ácido ruménico (C18:2cis-9,trans-11) el isómero mayoritario (30%) (Piperova *et al.*, 2002). En una segunda fase, el enlace cis-9 es hidrogenado para formar ácido vaccénico (C18:1trans-11). La biohidrogenación del ácido linoléico comienza igualmente con la isomerización del enlace cis-12 a trans-11, posteriormente se hidrogenan los enlaces cis-9 y cis-15 dando lugar a ácido vaccénico. El último paso es la reducción del ácido vaccénico para formar ácido esteárico (C18:0) (Bauman *et al.*, 1999). Esta hidrogenación ocurre a una velocidad limitada lo que tiene como consecuencia la acumulación ruminal de ácido vaccénico (0.3-0.4 vs 0.05 mg/g ALC) (ver Tanaka, 2005) y un mayor paso del mismo a intestino delgado en relación al ALC (>15/1) (Duckett *et al.*, 2002; Qiu *et al.*, 2004a;

Lee *et al.*, 2006). La eficacia de la biohidrogenación se relaciona negativamente ($r=-0.34$) con la proporción de concentrados en la ración (Sauvant y Bas, 2001). Además el contenido de forraje de la ración influye en la cantidad y proporción de isómeros C18:1trans que pasan a intestino delgado. Cuando disminuye la proporción de forraje, ocurre un aumento (hasta el duplo) del flujo de isómeros C18:1trans totales (Kalscheur *et al.*, 1997; Loor *et al.*, 2004). Ello es debido sobre todo a un incremento lineal del flujo del isómero C18:1trans-10 (Sackmann *et al.*, 2003), cuya proporción en dichas circunstancias puede pasar del 4 al 25% del total de isómeros del grupo (Piperova *et al.*, 2002; Loor *et al.*, 2004). La inhibición de la biohidrogenación que ocurre cuando disminuye la proporción de forraje de la ración se relaciona con el bajo pH ruminal ocasionado por el consumo de raciones muy concentradas (Kalscheur *et al.*, 1997), ya que un pH inferior a 6 inhibe la isomerización y la segunda reducción (Troegeler-Meynadier *et al.*, 2006). Otros factores que afectan negativamente a la eficacia de la biohidrogenación ruminal son una elevada concentración de ácido linoleico o de ácido linolénico (Noble *et al.*, 1974; Qiu *et al.*, 2004b; Harvatine y Allen, 2006; Troegeler-Meynadier *et al.*, 2006) o la presencia en el medio de AGPI de más de 20 carbonos (Kitessa *et al.*, 2001a; Lee *et al.*, 2005; Loor *et al.*, 2005a; Loor *et al.*, 2005b). El ácido ruménico absorbido en intestino se deposita como tal en los tejidos, en tanto que el ácido vaccénico es convertido previamente a ácido ruménico por la enzima $\Delta 9$ -desaturasa para su

deposición (Bauman *et al.*, 1999). La desaturación del ácido vaccénico se considera la primera fuente de ácido ruménico en los tejidos (Bauman *et al.*, 1999; Piperova *et al.*, 2002), habiéndose estimado que más del 64% de ácido ruménico presente en la leche de vaca es de origen endógeno (Griinari *et al.*, 2000). El ácido ruménico representa más del 85% del ALC presente en la grasa muscular (Chin *et al.*, 1992) y se deposita principalmente en los triglicéridos por lo que se asocia positivamente con el grado de engrasamiento (Raes *et al.*, 2003). La actividad de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa es inhibida por la presencia del isómero C18:2trans-10,cis-12 (Baumgard *et al.*, 2001). La producción elevada de este isómero en el rumen requiere la presencia de AGI y un ambiente alterado que modifique la ruta de la biohidrogenación (Griinari *et al.*, 1998; Bauman y Griinari, 2001). La alteración del ambiente ruminal ocurre por el consumo de raciones que provocan la disminución del pH diario a valores medios menores de 6.25 (Martin *et al.*, 2006) y que modifican la flora con reducción de los protozoos y aumento de las bacterias productoras de lactato (Owens *et al.*, 1998), bien por sus características físicas -tamaño medio de partícula inferior a 4 mm- o químicas -almidón digestible en rumen superior al 40%; fibra detergente neutra inferior al 35%- (Sauvant *et al.*, 2006), bien por su composición -porcentaje de concentrado superior al 45%; ausencia de tampones- (Sauvant *et al.*, 1999). El contenido de C18:2trans-10,cis-12 en la grasa intramuscular varía del 0,004 al 0,12% (Raes *et al.*, 2004).

El AEP y el ADH también son

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

susceptibles de biohidrogenación ruminal (Chikunya *et al.*, 2004), aunque estos ácidos grasos pueden ser relativamente más resistentes a la misma en función de la cantidad presente en el rumen (Dohme *et al.*, 2003; Chow *et al.*, 2004) y de su procedencia (Sinclair *et al.*, 2005a; Sinclair *et al.*, 2005b). Así ha podido comprobarse *in vitro* que al aumentar la cantidad de AEP y ADH, puros o en forma de aceite de pescado, se reduce la tasa de lipólisis y por tanto la liberación de dichos ácidos grasos desde los triglicéridos; por otro lado, el aumento en el medio de estos ácidos grasos en forma libre, no esterificados, provoca una reducción de su propia biohidrogenación (Dohme *et al.*, 2003; AbuGhazaleh y Jenkins, 2004; Chow *et al.*, 2004). La presencia en el medio ruminal de AEP y ADH inhibe intensamente la reducción del ácido vaccénico (Kitessa *et al.*, 2001a; Chow *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2005) pero también la del ácido oleico y el ácido linoleico (AbuGhazaleh y Jenkins, 2004), resultando en la acumulación de dichos ácidos en el rumen lo que aumenta la cantidad de los mismos que pasan a intestino y quedan disponibles para ser absorbidos. Los ácidos EPA y DHA absorbidos en intestino son incorporados preferentemente en los fosfolípidos musculares (Wood *et al.*, 1999) con concentraciones normales de 2.1-2.8% y 0.4-0.55% en terneros (Choi *et al.*, 2000; Scollan *et al.*, 2001) y 2.4-2.6 y 0.64-1.2% en corderos (Ashes *et al.*, 1992; Cooper *et al.*, 2004), siendo prácticamente indetectables en los triglicéridos (Raes *et al.*, 2003). Como el contenido muscular de fosfolípidos (0.55% de media) es relativamente

constante e independiente del engrasamiento (Duckett *et al.*, 1993; Bas y Sauvant, 2001), la deposición selectiva de los AGPI permite que los músculos de los rumiantes puedan ser enriquecidos mediante la alimentación (Raes *et al.*, 2004), sin aumentar la grasa intramuscular (Scollan, 2006).

El contenido medio de grasa intramuscular en los bovinos (Bas y Sauvant, 2001) y ovinos (Droulez *et al.*, 2006; Okeudo y Moss, 2007; Santercole *et al.*, 2007) es de aproximadamente 5%, aunque puede ser inferior al 1% en las razas bovinas de elevado desarrollo muscular como el Azul Belga (Raes *et al.*, 2001) y superior al 18%, por ejemplo, en ganado Wagyu (Lunt *et al.*, 1993). La grasa de los rumiantes es predominantemente saturada (C14:0+C16:0+C18:0=40-45%) y monoinsaturada (C16:1+C18:1=40-45%) (Bas y Morand-Fehr, 2000; Bas y Sauvant, 2001), la fracción poliinsaturada (11% de media) (Bas y Sauvant, 2001) contiene AGPI n-6 y n-3 en relación variable (1 a 10) en función del tipo de alimentación (Enser *et al.*, 1998). Los ácidos grasos saturados y monoinsaturados (AGMI) suponen más del 95% del total de ácidos grasos de los triglicéridos de reserva mientras que los fosfolípidos de las membranas celulares contienen por encima del 30% de AGPI (Bas y Sauvant, 2001). La importancia relativa de los distintos depósitos de lípidos intramusculares depende del grado de engrasamiento que a su vez es variable en función del sistema de alimentación (Zembayashi y Nishimura, 1996; Rowe *et al.*, 1999; Fisher *et al.*, 2000; Rhee *et al.*, 2000; Velasco *et al.*, 2001; Aurousseau *et al.*, 2004; Realini *et al.*, 2004; Díaz *et*

al., 2005; Dannenberger *et al.*, 2006), del género (Zembayashi *et al.*, 1995; Malau-Aduli *et al.*, 1998; Das Graças *et al.*, 2006), de la edad (Lengyel *et al.*, 2003) y de la raza (Choi *et al.*, 2000; Fisher *et al.*, 2000; Nuernberg *et al.*, 2005; Cuvelier *et al.*, 2006; Subrt *et al.*, 2006; Aldai *et al.*, 2007; Barton *et al.*, 2007). Puede estimarse que cuando los lípidos intramusculares aumentan del 1 al 5%, el porcentaje de triglicéridos pasa del 40 al 87% en tanto que los fosfolípidos se reducen del 38 al 13% (Bas y Sauvant, 2001). De forma paralela al aumento de los triglicéridos, la cantidad de AGS y AGMI en el músculo aumenta de forma constante a razón de unos 50 g cada uno por cada 100 g de grasa depositada frente a unos 4 g de AGPI, por ese motivo, la relación AGPI/AGS disminuye rápidamente con el grado de engrasamiento pasando de 0.45 a 0.09 cuando la grasa intramuscular aumenta de 1 a 5% (De Smet *et al.*, 2004).

IMPORTANCIA DEL ALC Y LOS AGPI EN LA NUTRICIÓN HUMANA

Los productos cárnicos de los rumiantes son una de las mayores fuentes naturales de ALC (Chin *et al.*, 1992; Kawahara *et al.*, 2002). El consumo diario de ALC se ha estimado en torno a 0.1-0.4 g/d (Li y Watkins, 2005). De todos los isómeros del ácido linoleico, en particular el ácido ruménico, aunque también el C18:2trans10,cis12, han demostrado tener propiedades anticarcinógenicas y antiaterogénicas en menor grado (McGuire y McGuire, 1999; Martin y Valeille, 2002). El isómero C18:2trans10,cis12 tiene ade-

más un efecto depresor sobre la deposición de lípidos en el organismo (Bouthegourd *et al.*, 2002; Martin y Valeille, 2002). En personas se estima que el consumo de ALC necesario para prevenir el cáncer es de 3.5 g/d para un adulto de 70 kg de peso (Ip *et al.*, 1994). Por otro lado, la seguridad del consumo de ALC en humanos está reforzada por los resultados de las pruebas clínicas realizadas en personas y los tests toxicológicos practicados en animales (Pariza, 2004), no habiéndose observado efectos negativos en personas hasta un consumo de 6 g/d de una mezcla al 50% de C18:2cis-9,trans-11 y C18:2trans-10,cis-12 (Gaulhier *et al.*, 2002). Dado que la carne de los rumiantes contribuye en torno al 25-30% del consumo total de ALC en los países occidentales (Schmid *et al.*, 2006) y teniendo en cuenta los efectos particularmente beneficiosos derivados del consumo de dichos ácidos grasos (Roche *et al.*, 2001) está claro que es un alimento de especial interés en la nutrición humana. En adición, la preparación culinaria de la carne reduce sólo ligeramente su contenido de ácido ruménico (Knight *et al.*, 2004) por lo que no cabe esperar una merma apreciable del valor saludable de la misma.

Por otro lado, desde el punto de vista de la nutrición humana, el aumento del contenido de AGPI y la reducción de los AGS de la carne, para mantener una relación AGPI/AGS inferior a 0,6 (SENC, 2007), la convierte en un producto más saludable. Sin embargo, el incremento de los AGPI en la carne debe guardar unas proporciones, ya que un consumo excesivamente elevado de AGPI de la serie n-

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

6 en relación a los AGPI de la serie n-3 (superior a 10/1) (FAO, 1994) aumenta el riesgo de de arteriosclerosis y enfermedad coronaria (Geay *et al.*, 2001). El primer AGPI n-3 de la serie es el ácido linolénico al cual no se le atribuye ningún efecto específico sobre la salud salvo el de ser precursor del AEP y el ADH (Givens *et al.*, 2006), a los cuales, sin embargo, se les reconocen propiedades antiaterogénicas, antitrombóticas, antiinflamatorias e inmunomoduladoras (Lorgeril y Salem, 2004; Zamaria, 2004; Caballero *et al.*, 2006). En las personas, la eficiencia de la síntesis de AEP y ADH desde el ácido linolénico es baja y puede ser limitante en determinadas circunstancias como el embarazo o la lactancia, por tanto, en la alimentación humana es deseable la incorporación de alimentos ricos en dichos ácidos grasos preformados (Burdge y Calder, 2005; Williams y Burdge, 2006). Las recomendaciones son que el consumo diario de AGPI no supere el 5% de las necesidades diarias de energía, incluyendo 2 g de ácido linolénico y 200 mg de ADH por día (SENC, 2007) y una relación AGPI n-6/AGPI n-3 en las grasas ingeridas en torno a 5/1 (SCF, 1993). No obstante, el consumo estimado de AGPI n-3 en los países de Europa Occidental (0,23% de la ingesta energética - 0,67 g/d) (Roche, 1999) es más bajo de lo recomendado por las autoridades científicas (0,5% - 1 g/d) (SCF, 1993), debido principalmente al bajo consumo de pescado (Roche, 1999). La carne de los terneros alimentados con raciones concentradas normales supone un modesto aporte a la dieta humana de AGPI n-3 (32,7 mg/100 g) (Cuvelier *et al.*, 2006). Sin

embargo, mediante la manipulación nutricional se puede llegar a triplicar el contenido de AGPI n-3 de la carne de los rumiantes (Ponnampalam *et al.*, 2001b; Cooper *et al.*, 2004; Demirel *et al.*, 2004) para que su consumo contribuya de forma más significativa a las necesidades diarias de las personas.

En 2004, el consumo de carne de vacuno y de ovino y caprino en España fue 27 g/d y 10 g/d respectivamente (MAPA, 2004). Considerando los contenidos de grasa (2,6 y 20,6%), proteína (20,9 y 16,2%) y la porción comestible (78 y 77%) de 100 g de chuleta de ternera y cordero (DIAL, 2005), el consumo de carne de rumiante representó una ingesta de energía en forma de grasa en torno al 1% de una ración de 2000 Kcal/d, muy por debajo de la recomendación máxima del 35% de la ingesta diaria de energía (SENC, 2007), mientras que el consumo de proteína supuso un 18% de la ingesta diaria recomendada (SCF, 1993). Con los datos de la bibliografía (Chin *et al.*, 1992, Díaz *et al.*, 2005; Indurain *et al.*, 2006), puede estimarse que dicho consumo de carne de rumiantes supone un aporte a la ración diaria de unos 11 mg/d de ALC, en tanto que el aporte de ADH no supera los 1,5 mg/d.

INFLUENCIA DE LA NUTRICIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS DE LA CARNE DE LOS RUMIANTES

INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN DE FORRAJE
EN LA RACIÓN

Modificación del contenido de ALC
Terneros finalizados con hierba

Archivos de zootecnia vol. 56 (R), núm. , p. 53.

mostraron un mayor contenido de ácido ruménico en la grasa intramuscular que los terneros que recibieron raciones a base de ensilado de maíz y concentrados (0,41 vs 0,23%) (Realini *et al.*, 2004). Igualmente, la grasa intramuscular de los terneros alimentados inicialmente con hierba y finalizados con heno y concentrado tuvo mayor contenido de ácido ruménico que la de los terneros engordados solamente a base de heno y concentrado (0,44 vs 0,17%) (Sonon *et al.*, 2004). También los corderos engordados sobre pastos exclusivamente o en combinación con concentrados tuvieron un mayor porcentaje de ácido ruménico en la grasa intramuscular que los corderos engordados exclusivamente a base de concentrado y paja de cereales (0,79 y 1,01 vs 0,4%) (Díaz *et al.*, 2005). En el mismo sentido, los corderos alimentados con sus madres sobre pastos y cuya ración no fue complementada con concentrados tuvieron mayor contenido muscular en ALC que en el caso de recibir un suplemento (0,71 vs 0,58%) y en ambos grupos el porcentaje de ALC fue mayor que en los corderos destetados y alimentados con concentrados *ad libitum* (0,32%) (Santos-Silva *et al.*, 2002). Sin embargo, el efecto de la alimentación forrajera no es aparente cuando los forrajes suministrados son henos o ensilados (De La Torre *et al.*, 2006), lo que podría justificarse por el menor contenido de AGPI totales de los forrajes conservados (Morand-Fehr y Tran, 2001), y por tanto, por la menor cantidad de sustrato susceptible de ser hidrogenado en el rumen. La inclusión en el concentrado de una fuente de grasa rica en AGPI (semilla de girasol expandida) fue ca-

paz de prevenir el descenso del contenido de ácido ruménico de la carne que ocurre cuando los corderos alimentados sobre hierba reciben alimentación suplementaria (Santos-Silva *et al.*, 2003).

Modificación del contenido de AGPI

Tanto en terneros como en corderos, el consumo de raciones basadas exclusivamente en forrajes dan lugar a una mayor deposición de AGPI n-3 en la grasa muscular que las complementadas con concentrados, lo que resulta en una menor relación AGPI n-6/AGPI n-3 (Bas y Morand-Fehr, 2000; Bas y Sauvant, 2001). Esto refleja en parte las diferencias entre las proporciones de ácido linoleico y ácido linolénico entre los lípidos de los forrajes y los de los concentrados (Morand-Fehr y Sauvant, 2001). Terneros alimentados hasta el sacrificio sobre pastos presentaron un mayor contenido de AGPI n-3 en la grasa intramuscular (1,36 vs 0,91%) y una relación AGPI n-6/AGPI n-3 más baja (2,33 vs 3,61) que los terneros finalizados con hierba ensilada y concentrados (French *et al.*, 2000), sin embargo, frente a terneros finalizados con ensilado de maíz y concentrados únicamente resultó significativa la disminución de la relación AGPI n-6/AGPI n-3 (1,822 vs 2,845) (Varela *et al.*, 2004). Cuando se comparan terneros engordados con hierba frente a terneros cebados exclusivamente con concentrados y paja, la diferencia de la relación AGPI n-6/AGPI n-3 es aún mayor (1,32 vs 9,2) (Enser *et al.*, 1998). En corderos alimentados con las madres sobre pastos comparados con otros, que bien recibieron alimentación complementaria o bien fueron desteta-

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

dos y alimentados con un concentrado y paja, también se demostró una menor relación AGPI n-6/AGPI n-3 en la grasa intramuscular (1,85 vs 2,59 y 5,47) (Santos-Silva *et al.*, 2002). El incremento de la proporción de heno de hierba en relación al concentrado en una ración para engorde de corderos (25F/75C vs 75F/25C) dio lugar a un incremento del contenido muscular de AEP y ADH (25,4 vs 10,8 y 7,8 vs 3 mg/100 g músculo, respectivamente) y redujo la relación AGPI n-6/AGPI n-3 (1,28 vs 7,11) (Demirel *et al.*, 2006). No obstante, ha de tenerse en cuenta que si bien las raciones forrajeras pueden suponer un aporte importante, seguro y económico, de ácido linoléico en la alimentación de los rumiantes (Dewhurst *et al.*, 2003), también es cierto que en los animales que consumen dicho tipo de raciones la eficiencia de transferencia de los AGPI desde la dieta a la grasa muscular es relativamente baja debido a que tanto la lipólisis (Van Nevel y Demeyer, 1996), como la hidrogenación ruminal (Kucuk *et al.*, 2001; Sackmann *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2006) son más intensas en las raciones a base de forraje. Igualmente si se somete a los animales a un período de finalización con concentrados debe considerarse la influencia de la duración del mismo. En corderos se ha demostrado que la relación AGPI n-6/AGPI n-3 se incrementa progresivamente al aumentar la duración del período de finalización con concentrados (valores de 1,7 y 2,2 para una finalización con heno y concentrado durante 22 ó 41 días frente a 1,3 para corderos alimentados exclusivamente con pastos, $p < 0,05$), siendo el valor mayor igual ($p > 0,05$) al de los

animales alimentados exclusivamente con heno y concentrados (Aurousseau *et al.*, 2007).

EFFECTO DE LA FUENTE DE GRASA SUPLEMENTARIA

Modificación del contenido de ALC

La inclusión en la ración de diversas fuentes suplementarias de grasa – semilla de lino (Enser *et al.*, 1999; Wachira *et al.*, 2002; Raes *et al.*, 2003; Aharoni *et al.*, 2004; De La Torre *et al.*, 2006), semilla de cártamo (Bolte *et al.*, 2002; Kott *et al.*, 2003), semilla de girasol expandida (Santos-Silva *et al.*, 2003), haba de soja extrusionada (Madron *et al.*, 2002; Aharoni *et al.*, 2005), aceite de cártamo (Mir *et al.*, 2000), aceite de maíz (Gillis *et al.*, 2004), aceite de girasol (Noci *et al.*, 2005), aceite de soja (Engle *et al.*, 2000; Beaulieu *et al.*, 2002; Griswold *et al.*, 2003; Santos-Silva *et al.*, 2004; Aharoni *et al.*, 2005; Bessa *et al.*, 2005), aceite de pescado (Enser *et al.*, 1999; Wachira *et al.*, 2002) – ha sido en general un método exitoso de aumentar el contenido de ALC en la carne.

El aumento del contenido de ALC, aunque muy variable (desde 8,5 a más de 300%), fue positivo en dieciseis de las pruebas mencionadas (Enser *et al.*, 1999; Engle *et al.*, 2000; Mir *et al.*, 2000; Bolte *et al.*, 2002; Madron *et al.*, 2002; Wachira *et al.*, 2002; Kott *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2003; Santos-Silva *et al.*, 2003; Aharoni *et al.*, 2004; Gillis *et al.*, 2004; Santos-Silva *et al.*, 2004; Noci *et al.*, 2005; Bessa *et al.*, 2005; Aharoni *et al.*, 2005; De La Torre *et al.*, 2006), negativo en una prueba (Griswold *et al.*, 2003) y sin efecto en

otra prueba (Beaulieu *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios se relacionan con el efecto de la dieta basal y la cantidad de AGPI aportados sobre el proceso de biohidrogenación ruminal y la deposición tisular más que con el tipo de grasa utilizada. Como se indicó anteriormente, las raciones que reducen la intensidad de la biohidrogenación completa de los AGPI aportados favorecen la producción de ácido vaccénico, aumentando la cantidad que puede ser absorbida en intestino y su disponibilidad en los tejidos periféricos para la síntesis de ALC. Esto sería lo que ocurre cuando los animales consumen raciones más o menos concentradas suplementadas con fuentes de grasa ricas en AGPI (Engle *et al.*, 2000; Mir *et al.*, 2000; Bolte *et al.*, 2002; Madron *et al.*, 2002; Wachira *et al.*, 2002; Kott *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2003; Santos-Silva *et al.*, 2003; Gillis *et al.*, 2004; Noci *et al.*, 2005; De La Torre *et al.*, 2006), aunque también se ha observado en raciones para corderos basadas en heno de alfalfa molido y granulado (Bessa *et al.*, 2005) o heno de alfalfa entero (Santos-Silva *et al.*, 2004), y en terneros consumiendo raciones con un contenido de forraje superior al 45% (Aharoni *et al.*, 2004; Aharoni *et al.*, 2005). También puede ocurrir aumento de la cantidad de ALC como tal disponible para su absorción intestinal por el efecto depresor de la hidrogenación del mismo a ácido vaccénico en presencia de AGPI de más de 20 carbonos por la adición de aceite de pescado a la ración (Enser *et al.*, 1999). Sin embargo, el consumo de una ración con excesivo contenido de AGPI (aporte elevado de aceites vegetales) o ca-

paz de reducir sustancialmente el pH ruminal (ración muy concentrada y/o con escasa capacidad tampón), puede tener efectos adversos sobre la microflora celulolítica del rumen, que es la principal responsable de la biohidrogenación, a tal punto que se limite la producción ruminal tanto de ácido ALC como de ácido vaccénico, reduciéndose por tanto la cantidad absorbida y disponible para los tejidos (Griswold *et al.*, 2003; Bessa *et al.*, 2005). Por otro lado, la absorción intestinal de una elevada cantidad de AGPI no modificados puede ocasionar un efecto depresor de la actividad de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa, lo que a su vez, reduciría aún más la síntesis de ALC en los tejidos (Griswold *et al.*, 2003). Igualmente, aquellas raciones que favorezcan un ambiente ruminal en el que la isomerización de los AGPI resulte en una mayor proporción del isómero C18:2trans-10,cis-12 (Beaulieu *et al.*, 2002; Bessa *et al.*, 2005) también ocasionarán menor deposición tisular de ácido ruménico por la inhibición que ejerce aquel isómero sobre la actividad de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa.

Modificación del contenido de AGPI n-3

A diferencia de las acciones para aumentar el contenido de ALC de la carne, mediante las que se pretende una biohidrogenación incompleta de los AGPI de la ración, el mayor reto de aumentar el aporte de AGPI como tales al duodeno es evitar la biohidrogenación ruminal de los mismos. Las fuentes suplementarias de grasa con mayor contenido de AGPI n-3 son la semilla de lino (rica en ácido linolénico), y la harina de pescado, el aceite de pescado y las algas marinas (ricos en AEP y

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

ADH). La incorporación a la ración de semilla de lino permite aumentar el contenido de ácido linolénico de la grasa intramuscular desde 0,35 hasta 0,88% en los terneros (Aharoni *et al.*, 2004, Barton *et al.*, 2007) y de 1,4 a 3,1% en los corderos (Wachira *et al.*, 2002), pero para conseguir un aumento del contenido de AEP utilizando dicha fuente de grasa es necesario comenzar el suministro al inicio del período de crecimiento dando tiempo suficiente para la síntesis endógena e incorporación del AEP a los fosfolípidos (Raes *et al.*, 2003), por otro lado, el incremento del aporte de ácido linolénico no tiene un efecto cuantitativamente importante sobre el contenido de ADH (Wachira *et al.*, 2002; Raes *et al.*, 2003; Demirel *et al.*, 2004). La medida más efectiva para incrementar el contenido de AEP y ADH en la carne de los rumiantes es la incorporación a la ración de fuentes de grasa ricas en dichos ácidos grasos (Ponnampalam *et al.*, 2001a; Ponnampalam *et al.*, 2001b; Cooper *et al.*, 2004; Demirel *et al.*, 2004; Elmore *et al.*, 2005). Por esta vía, la concentración de AEP en la grasa intramuscular de los corderos se puede aumentar de 0,68 a 2,32% y la de ADH de 0,28 a 0,79% (Wachira *et al.*, 2002) de forma que su carne suponga un aporte de AEP+ADH a la dieta humana de unos 80-100 mg por cada ración de 100 g (Ponnampalam *et al.*, 2001b; Cooper *et al.*, 2004; Demirel *et al.*, 2004). La harina de pescado es una fuente adecuada de AEP y ADH pero su utilización en la alimentación de los rumiantes está actualmente prohibida en la Unión Europea (DOUE, 2003). El aceite de pescado presenta el inconveniente de las

repercusiones negativas que tiene sobre la digestión ruminal (Kitessa *et al.*, 2001a; Kitessa *et al.*, 2001b) y, por tanto, no lo hacen un producto especialmente indicado como fuente suplementaria de grasa. Por ello, es más interesante la incorporación del aceite de pescado convenientemente protegido frente a la digestión ruminal (Kitessa *et al.*, 2001a; Kitessa *et al.*, 2001b; Kitessa *et al.*, 2003) o la utilización de algas marinas (Sinclair *et al.*, 2005a; Sinclair *et al.*, 2005b) que, por otro lado, es ventajosa teniendo en consideración la preocupación de las agencias gubernativas y de los consumidores sobre el uso de productos del pescado en la alimentación de los rumiantes (Reynolds *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

Respecto al ALC las pruebas experimentales indican que la alimentación con forrajes verdes aumenta su contenido en la grasa intramuscular más que las raciones basadas en forrajes conservados o en concentrados y paja. Sin embargo, puede conseguirse el mismo efecto si se incorporan fuentes suplementarias de grasa, sobre todo aceites vegetales, en raciones concentradas o basadas en forrajes conservados, lo cual tiene importancia en aquellas áreas geográficas donde la disponibilidad de pastos o forrajes verdes es limitada o nula. A pesar de ello, desde el punto de vista de la repercusión en la dieta humana de las mejoras señaladas, la limitación más importante es la vinculación del contenido de ALC a los triglicéridos intramusculares y, por tanto, al grado de engrasamiento

de la carne.

Los resultados de las diferentes experiencias sugieren que aunque la alimentación sobre pastos favorece el incremento del ácido linolénico y, en función del tiempo de alimentación, del AEP en la grasa intramuscular, la forma más eficaz de incrementar tanto el AEP como el ADH en la carne es la utilización de suplementos grasos de origen marino, entre los cuales, posi-

blemente el más ventajoso sean las algas marinas. Debe tenerse en cuenta no obstante que la calidad sensorial (olor y sabor) puede verse afectada si la incorporación en la ración de dichos suplementos es excesiva. A diferencia del ALC, una ventaja importante del enriquecimiento de la carne en AGPI n-3 es que el aumento de su concentración es independiente del grado de engrasamiento intramuscular.

BIBLIOGRAFIA

- AbuGhazaleh, A.A. and T.C. Jenkins. 2004. Disappearance of docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids from cultures of mixed ruminal microorganisms. *J. Dairy Sci.*, 87: 645-651.
- Aharoni, Y., A. Orlov and A. Brosh. 2004. Effects of high-forage content and oilseed supplementation of fattening diets on conjugated linoleic acid (CLA) and trans fatty acids profiles of beef lipids fractions. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 117: 43-60.
- Aharoni, Y., A. Orlov, A. Brosh, R. Granit and J. Kanner. 2005. Effects of soybean oil supplementation of high forage fattening diet on fatty acid profiles in lipid depots of fattening bull calves, and their levels of blood vitamin E. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119: 191-202.
- Aldai, N., A.I. Nájera, M.E.R. Dugan, R. Celaya and K. Osoro. 2007. Characterisation of intramuscular, intermuscular and subcutaneous adipose tissues in yearling bulls of different genetic groups. *Meat Sci.*, 76: 682-691.
- Aldrich, C.G., N.R. Merchen, and J.K. Drackley. 1995. The effect of roasting temperature applied to whole soybeans on site of digestion by steers: I. Organic matter, energy, fiber, and fatty acid digestion. *J. Anim. Sci.*, 73: 2120-2130.
- Andrae, J.G., S.K. Duckett, C.W. Hunt, G.T. Pritchard and F.N. Owens. 2001. Effects of feeding high-oil corn to beef steers on carcass characteristics and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 79: 582-588.
- ANZFA (Australia New Zeland Food Authority). 2001. DHA-rich dried marine micro algae (*Schizochytrium* sp.) and DHA-rich oil derived from *Schizochytrium* sp. as novel food ingredients. <http://www.foodstandards.gov.au/standardsdevelopment/applications/applicationa428marinemicroalgaeasanovelfood/a428draftassexecsumm1494.cfm>. Consultado: 14/06/07.
- Arihara, K. 2006. Strategies for designing novel functional meat products. *Meat Sci.*, 74: 219-229.
- Ashes, J.R., S.K. Gulati and T.W. Scott. 1997. Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *J. Dairy Sci.*, 80: 2204-2212.
- Ashes, J.R., B.D. Siebert, S.K. Gulati, A.Z. Cuthbertson and T.W. Scott. 1992. Incorporation of n-3 fatty acids of fish oil into tissue and serum lipids of ruminants. *Lipids*, 27: 629-631.
- Aurousseau, B., D. Bauchart, E. Calichon, D. Micol and A. Priolo. 2004. Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and phospholipid and their fatty acids in the M. *Longissimus thoracis* of lambs. *Meat Sci.*, 66: 531-541.

Archivos de zootecnia vol. 56 (R), núm., p. 58.

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

- Aurousseau, B., D. Bauchart, X. Faure, A.L. Galot, S. Prache, D. Micol and A. Priolo. 2007. Indoor fattening of lambs raised on pasture: (1) Influence of stall finishing duration on lipid classes and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle. *Meat Sci.*, 76: 241-252.
- Barton, L., M. Marounek, V. Kudrna, D. Bures and R. Zahradkova. 2007. Growth performance and fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat from Limousin and Charolais heifers fed extruded linseed. *Meat Sci.*, 76: 517-523.
- Bas, P. and P. Morand-Fehr. 2000. Effect of nutritional factors on fatty composition of lamb fat deposits. *Liv. Prod. Sci.*, 64: 61-79.
- Bas, P. et D. Sauvant. 2001. Variations de la composition des dépôts lipidiques chez les bovins. *INRA Prod. Anim.*, 14: 311-322.
- Bauman, D.E., L.H. Baumgard, B.A. Corland and J.M. Griinari. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0940.pdf> Consultado: 13/02/07.
- Bauman, D.E. and J.M. Griinari. 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Liv. Prod. Sci.*, 70: 15-29.
- Baumgard, L.H., J.K. Sangster and D.E. Bauman. 2001. Milk fat synthesis in dairy cows is progressively reduced by increasing supplemental amounts of trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid (CLA). *J. Nutr.*, 131: 1764-1769.
- Beaulieu, A.D., J.K. Drackley and N.R. Merchen. 2002. Concentrations of conjugated linoleic acid (cis-9, trans-11-octadecadienoic acid) are not increased in tissue lipids of cattle fed a high-concentrate diet supplemented with soybean oil. *J. Anim. Sci.*, 80: 847-861.
- Bessa, R.J.B., P.V. Portugal, I.A. Mendes and J. Santos-Silva. 2005. Effect of lipid supplementation on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular lipids of lambs fed dehydrated lucerne or concentrate. *Liv. Prod. Sci.*, 96: 185-194.
- Bolte, M.R., B.W. Hess, W.J. Means, G.E. Moss and D.C. Rule. 2002. Feeding lambs high-oleate or high-linoleate safflower seeds differentially influences carcass fatty acid composition. *J. Anim. Sci.*, 80: 609-616.
- Bondi, A. A. 1989. Nutrición animal. Editorial Acribia. Zaragoza.
- Bouthegourd, J.C., P.C. Even, D. Gripois, B. Tiffon, M.F. Blouquit, S. Roseau, C. Lutton, D. Tomé and J.C. Martin. 2002. A CLA mixture prevents body triglyceride accumulation without affecting energy expenditure in syrian hamsters. *J. Nutr.*, 132: 2682-2689.
- Burdge, G.C. and P.C. Calder. 2005. Conversion of α -linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults. *Reprod. Nutr. Dev.*, 45: 581-597.
- Caballero, R., R. Gómez, L. Núñez, M. Vaquero, J. Tamargo y E. Delpón. 2006. Farmacología de los ácidos grasos omega-3. *Rev. Esp. Cardiol.*, (Supp.) 6: 3D-19D.
- Chikunya, S., G. Demirel, M. Enser, J.D. Wood, R.G. Wilkinson and L.A. Sinclair. 2004. Biohydrogenation of dietary n-3 PUFA and stability of ingested vitamin E in the rumen, and their effects on microbial activity in sheep. *Br. J. Nutr.*, 91: 539-550.
- Chilliard, Y. 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. *J. Dairy Sci.*, 76: 3897-3931.
- Chin, S.F., W. Liu, J.M. Storkson, Y.L. Ha and M.W. Pariza. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *J. Food. Comp. Anal.*, 5: 185-197.
- Choi, N.J., M. Enser, J.D. Wood and N.D. Scollan. 2000. Effect of breed on the deposition in beef muscle and adipose tissue of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids. *Anim. Sci.*, 71: 509-519.
- Chow, T.T., V. Fievez, A.P. Moloney, K. Raes, D. Demeyer and S. De Smet. 2004. Effect of fish oil on *in vitro* rumen lipolysis, apparent biohydrogenation of linoleic and linolenic acid and accumulation of biohydrogenation intermediates. *Anim. Feed Sci. Technol.*,

Archivos de zootecnia vol. 56 (R), núm. , p. 59.

MARTÍNEZMARÍN

- 117: 1-12.
- Clark, J.E. 1998. Taste and flavour: their importance in food choice and acceptance. *Proc. Nutr. Soc.*, 57: 639-643
- Cooper, S.L., L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson, K.G. Hallet, M. Enser and J.D. Wood. 2004. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs. *J. Anim. Sci.*, 82: 1461-1470.
- Cuvelier, C., A. Clinquart, J.F. Hocquette, J.F. Cabaraux, I. Dufresne, L. Istasse and J.L. Hornick. 2006. Comparison of composition and quality traits of meat from young finishing bulls from Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus breeds. *Meat Sci.*, 74: 522-531.
- Dannenberger, D., K. Nuernberg, G. Nuernberg and K. Ender. 2006. Carcass- and meat quality of pasture vs concentrate fed German Simmental and German Holstein Bulls. *Arch. Tierz.*, 49: 315-328.
- Das Graças Padre, R., J.A. Aricetti, F.B. Moreira, I.Y. Mizubuti, I. N. do Prado, J.V. Visentainer, N.E. de Souza and M. Matsushita. 2006. Fatty acid profile, and chemical composition of *Longissimus* muscle of bovine steers and bulls finished in pasture system. *Meat Sci.*, 74: 242-248.
- De La Torre, A., D. Gruffat, D. Durand, D. Micol, A. Peyron, V. Scislowski and D. Bauchart. 2006. Factors influencing proportion and composition of CLA in beef. *Meat Sci.*, 73: 258-268.
- De Smet, S., K. Raes and D. Demeyer. 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Anim. Res.*, 53: 81-98.
- Demirel, G., H. Ozpinar, B. Nazli and O. Keser. 2006. Fatty acids of lamb meat from two breeds fed different forage: concentrate ratio. *Meat Sci.*, 72: 229-235.
- Demirel, G., A.M. Wachira, L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson, J.D. Wood and M. Enser. 2004. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids, breed and dietary vitamin E on the fatty acids of lamb muscle, liver and adipose tissue. *Br. J. Nutr.*, 91: 551-565.
- Dewhurst, R.J., N.D. Scollan, M.R.F. Lee, H.J. Ougham and M.O. Humphreys. 2003. Forage breeding and management to increase the beneficial fatty acid content of ruminant products. *Proc. Nutr. Soc.*, 62: 329-336.
- DIAL v. 1.04.2. 2005. Programa para la evaluación de dietas y gestión de datos de alimentación. Alce Ingeniería. Madrid. Consultado: 26/06/07.
- Díaz, M.T., I. Álvarez, J. De La Fuente, C. Sañudo, M.M. Campo, M.A. Oliver, M. Font i Furnols, F. Montossi, R. San Julián, G.R. Nute and V. Cañeque. 2005. Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. *Meat Sci.*, 71: 256-263.
- Dohme, F., V. Fievez, K. Raes and D. Demeyer. 2003. Increasing levels of two different fish oils lower ruminal biohydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid *in vitro*. *Anim. Res.*, 52: 309-320.
- Doreau, M. and A. Ferlay. 1994. Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 45: 379-396.
- DOUE (Diario Oficial de la Unión Europea). 2003. Reglamento (CE) N° 1234/2003 de la Comisión de 10 de julio de 2003 por el que se modifican los anexos I, IV y XI del Reglamento (CE) n° 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1326/2001 en lo que respecta a las encefalopatías espongiiformes transmisibles y a la alimentación animal.
- Drackley, J.K. 2007. Overview of fat digestion and metabolism in dairy cows. <http://www.thedairysite.com/articles/793/overview-of-fat-digestion-and-metabolism-in-dairy-cows>. Consultado: 14/06/07.
- Drake, D.J. 2007. Understanding and improving beef cattle carcass quality. <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8130.pdf>. Consultado: 13/02/07.
- Droulez, V., P.G. Williams, G. Levy, T. Stobaus and A. Sinclair. 2006. Composition of Australian red meat 2002. 2. Fatty acid profile. <http://ro.uow.edu.au/hbspapers/1>. Consul-

Archivos de zootecnia vol. 56 (R), núm., p. 60.

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

- tado: 14/06/07.
- Duckett, S.K., J.G. Andrae and F.N. Owens. 2002. Effect of high-oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J. Anim. Sci.*, 80: 3353-3360.
- Duckett, S.K., D.G. Wagner, L.D. Yates, H.G. Dolezal and S.G. May. 1993. Effects of time on feed on beef nutrient composition. *J. Anim. Sci.*, 71: 2079-2088.
- Elmore, J.S., S.L. Cooper, M. Enser, D.S. Mottram, L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson and J.D. Wood. 2005. Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb. *Meat Sci.*, 69: 233-242.
- Engle, T.E., J.W. Spears, V. Fellner and J. Odle. 2000. Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 78: 2713-2721.
- Enser, M., K.G. Hallet, B. Hewett, G.A.J. Fursey, J.D. Wood and G. Harrington. 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Sci.*, 49: 329-34.
- Enser, M., N.D. Scollan, N.J. Choi, E. Kurt, K. Hallet and J.D. Wood. 1999. Effect of dietary lipid on the content of conjugated linoleic acid (CLA) in beef muscle. *Anim. Sci.*, 69: 143-146.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1994. Experts' recommendations on fats and oils in human nutrition. <http://www.fao.org/DOCREP/T4660T/T4660T02.htm>. Consultado: 26/06/07.
- FEDNA. 1999. C. De Blas (coordinador). Normas Fedna para la formulación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid.
- Fisher, A.V., M. Enser, R.I. Richardson, J.D. Wood, G.R. Nute, E. Kurt, L.A. Sinclair and R.G. Wilkinson. 2000. Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production systems. *Meat Sci.*, 55: 141-147.
- Felton, E.E.D. and M.S. Kerley. 2004. Performance and carcass quality of steers fed different sources of dietary fat. *J. Anim. Sci.*, 82: 1794-1805.
- Fraga, M.J. y P. Pérez de Ayala. 1987. Utilización de grasas en la alimentación. En: C. De Blas (director). Alimentación del ganado vacuno lechero. pp: 45-55. *Bovis*. Mayo-junio.
- French, P., C. Stanton, F. Lawless, E.G. O'Riordan, F.J. Monahan, P.J. Caffrey and A.P. Moloney. 2000. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets. *J. Anim. Sci.*, 78: 2849-2855.
- Gaullier, J.M., G. Breven, H. Blankson and O. Gudmundsen. 2002. Clinical trial results support a preference for using CLA preparations enriched with two isomers rather than four isomers in human studies. *Lipids*, 37: 1019-1025.
- Geay, Y., D. Bauchart, J.F. Hocquette and J. Culioli. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reprod. Nutr. Dev.*, 41: 1-26.
- Gillis, M.H., S.K. Duckett, and J.R. Sackmann. 2004. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 82: 1149-1427.
- Givens, D.I., B.R. Cottrill, M. Davies, P.A. Lee, R.J. Mansbridge and A.R. Moss. 2000. Sources of n-3 polyunsaturated fatty acids additional to fish oil for livestock diets- A Review. *Nutr. Abs. Rev.*, 70: 4-29.
- Givens, D.I., K.E. Kliem and R.A. Gibbs. 2006. The role of meat as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. *Meat Sci.*, 74: 209-218.
- Griinari, J.M., B.A. Corl, S.H. Lacy, P.Y. Chouinard, K.V.V. Nurmela and D.E. Bauman. 2000.

Archivos de zootecnia vol. 56 (R), núm. , p. 61.

MARTÍNEZMARÍN

- Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by D⁹-desaturase. *J. Nutr.*, 130: 2285-2291.
- Griinari, J.M., D. A. Dwyer, M.A. McGuire, D.E. Bauman, D.L. Palmquist and K.V.V. Nurmela. 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 81: 1251-1261.
- Griswold, K.E., G.A. Apgar, R.A. Robinson, B.N. Jacobson, D. Johnson and H.D. Woody. 2003. Effectiveness of short-term feeding strategies for altering conjugated linoleic acid content of beef. *J. Anim. Sci.*, 81: 1862-1871.
- Gulati, S.K., T.W. Scott and J.R. Ashes. 1997. *In-vitro* assessment of fat supplements for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 64: 127-132.
- Harvatine, K.J. and M.S. Allen. 2006. Fat supplements affect fractional rates of ruminal fatty acid biohydrogenation and passage in dairy cows. *J. Nutr.*, 136: 677-685.
- Hutjens, M.J. 1998. Strategies for feeding fat to dairy cattle. <http://www.livestocktrail.uiuc.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=246>. Consultado: 14/02/07.
- Indurain, G., M.J. Beriain, M.V. Gofí, A. Arana and A. Purroy. 2006. Composition and estimation of intramuscular and subcutaneous fatty acid composition in Spanish young bulls. *Meat Sci.*, 73: 326-334.
- Ip, C., D.J. Lisk and J.A. Scimeca. 1994. Potential of food modification in cancer prevention. *Cancer Res.*, 54 (Supp.): 1957S-1959S.
- Jenkins, T.C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.*, 76: 3851-3863.
- Kalscheur, K.F., B.B. Teter, L.S. Piperova and R.A. Erdman. 1997. Effect of dietary forage concentration and buffer addition on duodenal flow of trans-C18:1 fatty acids and milk fat production in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 80: 2104-2114.
- Kawahara, S., S. Takenoyama, C. Nagato, M. Muguruma, T. Ito and K. Yamauchi. 2002. Evaluation of beef tallow as a natural source of conjugated linoleic acid. *Anim. Sci. J.*, 73: 533-539.
- Kennelly, J.J. 1996. The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 60: 137-152.
- Kitessa, S.M., S.K. Gulati, J.R. Ashes, E. Fleck, T.W. Scott and P.D. Nichols. 2001a. Utilisation of fish oil in ruminants I. Fish oil metabolism in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 89: 189-199.
- Kitessa, S.M., S.K. Gulati, J.R. Ashes, E. Fleck, T.W. Scott and P.D. Nichols. 2001b. Utilisation of fish oil in ruminants II. Transfer of fish oil fatty acids into goat's milk. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 89: 201-208.
- Kitessa, S.M., D. Peake, R. Bencini and A.J. Williams. 2003. Utilisation of fish oil in ruminants III. Transfer of n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) from tuna oil into sheep's milk. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 108: 1-14.
- Knight, T.W., S.O. Knowles, A.F. Death, T.L. Cummings and P.D. Muir. 2004. Conservation of conjugated linoleic, trans-vaccenic and long chain omega-3 fatty acid content in raw and cooked lamb from two cross-breeds. *New Zealand Journal of Agricultural Research.*, 47: 129-135.
- Kott, R.W., P.G. Hatfield, J.W. Bergman, C.R. Flynn, H. Van Wagoner and J.A. Boles. 2003. Feedlot performance, carcass composition, and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds. *Small Rum. Res.*, 49: 11-17.
- Kucuk, O., B.W. Hess, P.A. Ludden and D.C. Rule. 2001. Effect of forage: concentrate ratio on ruminal digestion and duodenal flow of fatty acids in ewes. *J. Anim. Sci.*, 79: 2233-2240.
- Lee, M.R.F., J.K.S. Tweed, R.J. Dewhurst and N.D. Scollan. 2006. Effect of forage: concentrate ratio on ruminal metabolism and duodenal flow of fatty acids in beef steers. *Anim. Sci.*, 82: 31-40.
- Lee, M.R.F., J.K.S. Tweed, A.P. Moloney and N.D. Scollan. 2005. The effects of fish oil supplementation on rumen metabolism and the biohydrogenation of unsaturated fatty acids in beef steers given diets containing

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

- sunflower oil. *Anim. Sci.*, 80: 361-367.
- Lengyel, Z., F. Husv eth, P. Polg ar, F. Szab o and L. Magyar. 2003. Fatty acid composition of intramuscular lipids in various muscles of Holstein-Friesian bulls slaughtered at different ages. *Meat Sci.*, 65: 593-598.
- Li, Y. and B.A. Watkins. 2005. CLA in human nutrition and health: human studies. <http://www.efph.purdue.edu/learning/?loc=publications&pubid=13>. Consultado: 26/06/07.
- Loor, J.J., A. Ferlay, A. Ollier, K. Ueda, Y. Chilliard and M. Doreau. 2005a. High-concentrate diets and polyunsaturated oils alter trans and conjugated isomers in bovine rumen, blood, and milk. *J. Dairy. Sci.*, 88: 3986-3999.
- Loor, J.J., K. Ueda, A. Ferlay, Y. Chilliard and M. Doreau. 2004. Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of trans fatty acids and conjugated linoleic acids in response to dietary forage:concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *J. Dairy. Sci.*, 87: 2472-2485.
- Loor, J.J., K. Ueda, A. Ferlay, Y. Chilliard and M. Doreau. 2005b. Intestinal flow and digestibility of trans fatty acids and conjugate linoleic acids (CLA) in dairy cows fed a high-concentrate diet supplemented with fish oil, linseed oil or sunflower oil. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119: 203-225.
- Lorgeril, M. and P. Salen. 2004. Use and misuse of dietary fatty acids for the prevention and treatment of coronary heart disease. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44: 283-288.
- Lunt, D.K., R.R. Riley and S.B. Smith. 1993. Growth and carcass characteristics of Angus and American Wagyu steers. *Meat Sci.*, 34: 327-334.
- Madron, M.S., D.G. Peterson, D.A. Dwyer, B.A. Corl, L.H. Baumgard, D.H. Beerman and D.E. Bauman. 2002. Effect of extruded full-fat soybeans on conjugated linoleic acid content of intramuscular, intermuscular, and subcutaneous fat in beef steers. *J. Anim. Sci.*, 80: 1135-1143.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food). 1975. Technical bulletin 33: Energy allowances and feeding systems for ruminants. London.
- Malau-Aduli, A.E.O., B.D. Siebert, C.D.K. Bottema and W.S. Pitchford. 1998. Breed comparison of the fatty acid composition of muscle phospholipids in Jersey and Limousin cattle. *J. Anim. Sci.*, 76: 766-773.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentaci n). 2004. El consumo de carne en Espa a. <http://www.mapa.es/alimentacion/pags/comercializacion/estudios/consumocarne.pdf>. Consultado: 26/06/07.
- Martin, C., L. Brossard and M. Doreau. 2006. M canismes d'apparition de l'acidose ruminale latente et cons quences physiopathologiques et zootechniques. *INRA Prod. Anim.*, 19: 93-108.
- Martin, J.C. and K. Valeille. 2002. Conjugated linoleic acids: all the same or to everyone its own function. *Reprod. Nutr. Dev.*, 42: 525-536.
- McGuire, M.A. and M.K. McGuire. 1999. Conjugated linoleic acid (CLA): a ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0938.pdf>. Consultado: 20/02/07.
- Mir, Z., M.L. Rushfeldt, P.S. Mir, L.J. Paterson and R.J. Weselake. 2000. Effect of dietary supplementation with either conjugated linoleic acid (CLA) o linoleic acid rich oil on the CLA content of lamb tissues. *Small Rum. Res.*, 36: 25-31.
- Morand-Fehr, P. and G. Tran. 2001. La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilis s en alimentation animale. *INRA Prod. Anim.*, 14: 285-302.
- Noci, F., P. O'kiely, F.J. Monahan, C. Stanton and A.P. Moloney. 2005. Conjugated linoleic acid concentration in M. *Longissimus dorsi* from heifers offered sunflower oil-based concentrates and conserved forages. *Meat Sci.*, 69: 509-518.
- Nuernberg, K., J. Wegner and K. Ender. 1998.

MARTÍNEZMARÍN

- Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. *Liv. Prod. Sci.*, 56: 145-156.
- Nuernberg, K., D. Dannenberger, G. Nuernberg, K. Ender, J. Voigt, N.D. Scollan, J.D. Wood, G.R. Nute and R.I. Richardson. 2005. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of *longissimus* muscle in different cattle breeds. *Liv. Prod. Sci.*, 94: 137-47.
- Okeudo, N.J. and B.W. Moss. 2007. Intramuscular lipid and fatty acid profile of sheep comprising four sex-types and seven slaughter weights produced following commercial procedure. *Meat Sci.*, 76: 195-200.
- Owens, F.N., D.S. Secrist, W.J. Hill and D.R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: A review. *J. Anim. Sci.*, 76: 275-286.
- Pariza, M.W. 2004. Perspective on the safety and effectiveness of conjugated linoleic acid. *Am. J. Clin. Nutr.*, 79(Supp.): 1132S-6S.
- Pratoomyot, J., P. Srivilas and T. Noiraksar. 2005. Fatty acids composition of 10 microalgal species. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 27: 1179-1187.
- Piperova, L.S., J. Sampugna, B.B. Teter, K.F. Kalscheur, M.P. Yurawecz, Y. Ku, K.M. Morehouse and R.A. Erdman. 2002. Duodenal and milk trans octadecenoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of cis-9-containing CLA in lactating dairy cows. *J. Nutr.*, 132: 1235-1241.
- Plascencia, A., M. Estrada and R.A. Zinn. 1999. Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 77: 2603-2609.
- Ponnampalam, E.N., A.J. Sinclair, A.R. Egan, S.J. Blakeley and B.J. Leury. 2001a. Effect of diets containing n-3 fatty acids on muscle long-chain n-3 fatty acid content in lambs fed low- and medium-quality roughage diets. *J. Anim. Sci.*, 79: 698-706.
- Ponnampalam, E.N., A.J. Sinclair, A.R. Egan, S.J. Blakeley, D. Li and B.J. Leury. 2001b. Effect of dietary modification of muscle long-chain n-3 fatty acid on plasma insulin metabolites, carcass traits, and fat deposition in lambs. *J. Anim. Sci.*, 79: 895-903.
- Qiu, X., M.L. Eastridge and J.L. Firkins. 2004a. Effects of dry matter intake, addition of buffer, and source of fat on duodenal flow and concentration of conjugated linoleic acid and trans-11 C18:1 in milk. *J. Dairy Sci.*, 82: 4278-4286.
- Qiu, X., M.L. Eastridge and J.L. Firkins. 2004b. Effects of substrate, passage rate, and pH in continuous culture on flows of conjugated linoleic acid and trans C18:1. *J. Dairy Sci.*, 87: 3743-3479.
- Raes, K., S. De Smet, A. Balcaen, E. Claeys and D. Demeyer. 2003. Effect of diets rich in N-3 polyunsaturated fatty acids on muscle lipids and fatty acids in Belgian Blue double-muscling young bulls. *Reprod. Nutr. Dev.*, 43: 331-345.
- Raes, K., S. De Smet and D. Demeyer. 2001. Effect of double-muscling in Belgium Blue young bulls on the intramuscular fatty acid composition with emphasis on conjugated linoleic acid and polyunsaturated fatty acids. *Anim. Sci.*, 113: 199-221.
- Raes, K., S. De Smet and D. Demeyer. 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 113: 199-221.
- Realini, C.E., S.K. Duckett, G.W. Brito, M. Dalla Rizza and D. De Mattos. 2004. Effect of pasture vs concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Sci.*, 66: 567-577.
- Reynolds, C.K., V.L. Cannon and S.C. Loerch. 2006. Effects of forage source and supplementation with soybean and marine algal oil on milk fatty acid composition of

Archivos de zootecnia vol. 56 (R), núm., p. 64.

NUTRICIÓN SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE DE LOS RUMIANTES

- ewes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131: 333-357.
- Rhee, K.S., D.F. Waldron, Y.A. Ziprin and K.C. Rhee. 2000. Fatty acid composition of goat diets vs intramuscular fat. *Meat Sci.*, 54: 313-318.
- Risvik, E. 1994. Sensory properties and preferences. *Meat Sci.*, 36: 67-77.
- Roche, H.M. 1999. Unsaturated fatty acids. *Proc. Nutr. Soc.*, 58: 397-401.
- Roche, H.M., E. Noone, A. Nugent and M.J. Gibney. 2001. Conjugated linoleic acid: a novel therapeutic nutrient? *Nutr. Res. Rev.*, 14: 173-187.
- Rowe, A., F.A.F. Macedo, J.V. Visentainer, N.E. Souza and M. Matsushita. 1999. Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. *Meat Sci.*, 51: 283-288.
- Sackmann, J.R., S.K. Duckett, M.H. Gillis, C.E. Realini, A.H. Parks and R.B. Eggleston. 2003. Effects of forage and sunflower oil levels on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J. Anim. Sci.*, 81: 3174-3181.
- Santercole, V., R. Mazzette, E.P.L. De Santis, S. Banni, L. Goonewardene and J.K.G. Kramer. 2007. Total lipids of Sarda sheep meat that include the fatty acid and alkenyl composition and the CLA and trans-18:1 isomers. *Lipids*, 42: 361-382.
- Santos-Silva, J., R.J.B. Bessa and I.A. Mendes. 2003. The effect of supplementation with expanded sunflower seed on carcass and meat quality of lambs raised on pasture. *Meat Sci.*, 65: 1301-1308.
- Santos-Silva, J., R.J.B. Bessa and F. Santos-Silva. 2002. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. *Liv. Prod. Sci.*, 77: 187-194.
- Santos-Silva, J., I.A. Mendes, P.V. Portugal and R.J.B. Bessa. 2004. Effect of particle size and soybean oil supplementation on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular lipids of lambs. *Liv. Prod. Sci.*, 90: 79-88.
- Sauvant, D. et P. Bas. 2001. La digestion des lipides chez le ruminant. *INRA Prod. Anim.*, 14: 303-310.
- Sauvant, D., S. Giger-Reverdin et F. Meschy. 2006. Le contrôle de l'acidose ruminale latente. *INRA Prod. Anim.*, 19: 69-78.
- Sauvant, D., F. Meschy et D. Mertens. 1999. Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *INRA Prod. Anim.*, 11: 49-60.
- SCF (Scientific Committee for Food). 1993. Nutrient and energy intakes for the European Community. <http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out89.pdf>. Consultado: 26/06/07.
- Schmid, A., M. Collomb, R. Sieber and G. Bee. 2006. Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Sci.*, 73: 29-41.
- Scollan, N. 2003. Strategies for optimising the fatty acid composition of beef. www.iger.bbsrc.ac.uk/publications/Innovations/In2003/Ch7.pdf. Consultado: 13/03/07.
- Scollan, N.D., N.J. Choi, E. Kurt, A. Fisher, M. Enser and J.D. Wood. 2001. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *Br. J. Nutr.*, 85: 115-124.
- Scollan, N., J.F. Hocquette, K. Nuernberg, D. Dannenberg, I. Richardson and A. Moloney. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci.*, 74: 17-33.
- SENC (Sociedad Española de Nutrición Comunitaria). 2007. Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria. <http://www.nutricioncomunitaria.com/generica.jsp?tipo=docu&id=2>. Consultado: 26/06/07.
- Sinclair, L.A., S.L. Cooper, S. Chikunya, R.G. Wilkinson, K.G. Hallet, M. Enser and J.D. Wood. 2005a. Biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids in the rumen and their effects on microbial metabolism and plasma fatty acid concentrations in sheep.

MARTÍNEZMARÍN

- Anim. Sci.*, 81: 239-248.
- Sinclair, L.A., S.L. Cooper, J.A. Huntington, R.G. Wilkinson, K.G. Hallet, M. Enser and J.D. Wood. 2005b. Biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids in the rumen and their effects on microbial metabolism and plasma fatty acid concentrations in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 123-124: 579-596.
- Smith, S.B., D.K. Lunt, K.Y. Chung, C.B. Choi, R.K. Tume and M. Zembayashi. 2006. Adiposity, fatty acid composition, and delta-9-desaturase activity during growth in beef cattle. *Anim. Sci. J.*, 77: 478-486.
- Sonon Jr., R.N., D.C. Beitz, A.H. Trenkle, J.R. Russell and R. Rosmann. 2004. Conjugated linoleic acid (CLA) concentrations in beef tissues from cattle finished on pasture initially with limited grain. *J. Anim. Sci.*, 82(Supp. 1): 134.
- Subrt, J., R. Filipcik, Z. Zupka, M. Fialová, and E. Dracková. 2006. The content of polyunsaturated fatty acids in intramuscular fat of beef cattle in different breeds and crossbreeds. *Arch. Tierz.*, 49: 340-350.
- Tanaka, K. 2005. Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminant products and its physiological functions. *Anim. Sci. J.*, 76: 291-303.
- Troegeler-Meynadier, A., L. Bret-Bennis and F. Enjalbert. 2006. Rates and efficiencies of reactions of ruminal biohydrogenation of linoleic acid according to pH and polyunsaturated fatty acids concentrations. *Reprod. Nutr. Dev.*, 46: 713-724.
- Van Nevel, C.J. and D.I. Demeyer. 1996. Influence of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Reprod. Nutr. Dev.*, 36: 53-63.
- Varela, A., B. Oliete, T. Moreno, C. Portela, L. Montserrat, J.A. Carballo and L. Sánchez. 2004. Effect of pasture finishing on the meat characteristics and intramuscular fatty acid profile of steers of the Rubia Gallega breed. *Meat Sci.*, 67: 515-522.
- Vasta, V. and A. Priolo. 2006. Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. *Meat Sci.*, 73: 218-228.
- Velasco, S., V. Cañeque, C. Pérez, S. Lauzurica, M.T. Díaz, F. Huidobro, C. Manzanares and J. González. 2001. Fatty acid composition of adipose depots of suckling lambs raised under different production systems. *Meat Sci.*, 59: 325-333.
- Wachira, A.M., L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson, M. Enser, J.D. Wood and A.V. Fisher. 2002. Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. *Br. J. Nutr.*, 88: 697-709.
- Williams, C.M. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech.*, 49: 165-180.
- Williams, C.M. and G. Burdge. 2006. Long-chain n-3 PUFA: plant v. marine sources. *Proc. Nutr. Soc.*, 65: 42-50.
- Wood, J.D., M. Enser, A.V. Fischer, G.R. Nute, R.I. Richardson and P.R. Sheard. 1999. Manipulating meat quality and composition. *Proc. Nutr. Soc.*, 58: 363-370.
- Wu, Z., A. Ohajuruka and D.L. Palmquist. 1991. Ruminant synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 74: 3025-3034.
- Zamaria, N. 2004. Alteration of polyunsaturated fatty acid status and metabolism in health and disease. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44: 273-282.
- Zembayashi, M. and K. Nishimura. 1996. Genetic and nutritional effects on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of steers. *Meat Sci.*, 43: 83-92.
- Zembayashi, M., K. Nishimura, D.K. Lunt and S.B. Smith. 1995. Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *J. Anim. Sci.*, 73: 3325-3332.

Recibido: 17-04-07. Aceptado: 28-06-07.

Archivos de zootecnia vol. 56 (R), núm., p. 66.