

Artículo ganador de la IV Edición Premio "Cristobal de la Puerta"

Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche de vaca

P.J. Álvarez Nogal*

teromante de sus ácidos grasos insaturados (AGI), en especial del ácido oleico y del linoleico (Grundy, 1994); o la potencial acción anticancerígena del ácido butírico y de los esfingolípidos, según se desprende de investigaciones llevadas a cabo con modelos animales (Parodi, 1999). Pero sin duda alguna, los componentes que más vienen llamando la atención de un tiempo a esta parte son los conjugados del ácido linoleico (CLA), de los que se confía ejerzan en el organismo humano las acciones beneficiosas ya mostradas en animales de experimentación (véase el apartado siguiente). Cabe asimismo la posibilidad de ver la grasa de la leche como portadora, natural o putativa, de unos AG poliinsaturados (AGPI) que también viene suscitando un alto interés en los últimos años, los ácidos omega-3, con cuyos efectos sobre la salud de las personas posiblemente estemos más familiarizados.

El enriquecimiento de la leche bien con CLA bien con ácidos omega-3 permitiría, por un lado, elevar en el ser humano la ingestión de ambos nutrientes de un modo tan sencillo y familiar a la vez como es la toma de leche y, por otro, revalorizar las virtudes nutritivas de este alimento al tiempo que se contribuye a potenciar su consumo. En este trabajo aludiremos a las posibles alternativas para llevar a cabo dichos enriquecimientos, aunque serán las que se materializan a través de las prácticas ganaderas, concretamente de la alimentación de las vacas lecheras, las que ocupen casi toda la atención. Y lo haremos después de analizar las acciones beneficiosas atribuidas a los CLA y los ácidos omega-3 y de repasar las bases fisiológicas reguladoras de lo que no es sino una modificación del perfil de los AG de la grasa de leche.

Los conjugados del ácido linoleico y los ácidos omega-3 en la salud humana

Los CLA son una mezcla de isómeros del ácido linoleico (C18:2) cuya estructura química difiere en la posición y en la configuración espacial (cis o trans) de los dos dobles enlaces en la cadena carbonada, de modo que son muchas las formas teóricamente posibles. Se les atribuyen diversas acciones beneficiosas sobre el organismo humano, un listado de las cuales figura en la **Tabla 1**. A la espera de su confirmación en pacientes

Introducción

Siempre se ha tenido a la leche como uno de los alimentos naturales más completos desde el punto de vista nutritivo, destacando sobre todo como excelente proveedor de proteínas de alto valor biológico y de Ca fácilmente asimilable por el organismo humano. En un contexto médico-dietético su valoración, sin embargo, ha ido a la baja desde que se estableciera la conexión entre las enfermedades cardiovasculares (ECV) y el consumo de grasas de origen animal, esto es, de grasas saturadas, entre las cuales la grasa láctea aparece especialmente señalada en vista de su riqueza en los ácidos grasos saturados (AGS) láurico, mirístico y palmítico, conocidos por su acción hipercolesteromante a resultas de la elevación que provocan en los niveles plasmáticos de lipoproteínas de baja densidad (LBD) (Grundy, 1994). Así se explica que un buen número de consumidores (el 60% en el caso de los españoles según una encuesta realizada por el Centro Informático de Estadísticas y Sondeos, S.A. en el año 2001) prefieran como opción de compra la leche y/o los derivados lácteos rebajados total o parcialmente de grasa. Esta dinámica pudiera ser otra dando a conocer los atributos positivos de la grasa de la leche desde el punto de vista de la salud humana. Por ejemplo, la acción hipocoles-

*Dr. Veterinario. Departamento de Producción Animal de la Universidad de León

Tabla 1. Acciones atribuidas a los CLA y los ácidos omega-3 en el organismo humano (elaboración propia)

I. A los CLA:

1. Acción anticancerígena: inhibición del crecimiento tumoral.
2. Acción antiaterogénica: protección contra la aterosclerosis.
3. Acción antilipogénica: limitación en la acumulación de grasas de reserva ("efecto antiobesidad").
4. Acción antidiabética: normalización de la tolerancia a la glucosa.
5. Acción inmunomoduladora: mejora de la respuesta inmunitaria.
6. Acción mineralizadora del esqueleto.

II. A los ácidos omega-3:

1. Acción protectora frente a algunos tumores comunes (mama y colon).
2. Acción reguladora de los niveles plasmáticos de colesterol: prevención de las enfermedades cardiovasculares.
3. Propiedades antiinflamatorias.

voluntarios y/o de su verificación en estudios epidemiológicos, no queda más remedio que calificar de potenciales dichas acciones, ya que la información existente al respecto surge de experiencias realizadas con animales de laboratorio y también sobre cultivos celulares; añádase que los CLA probados fueron sintetizados químicamente y no se tiene la certeza de que su composición sea coincidente con la de aquellos otros de origen natural presentes en los alimentos (McGuire y McGuire, 2000; Bauman et al., 2001). Dicho esto particularicemos en algunas de las referidas acciones. (Tabla 1)

La acción antiaterogénica se fundamenta en la reducción que ocasionan en el nivel plasmático de las LBD (McGuire y McGuire, 2000), cuya oxidación contribuye junto con otros eventos fisiopatológicos al desarrollo de la aterosclerosis, la más frecuente de las causas subyacentes en la mortalidad asociada a las ECV. A nadie se le oculta la valía de esta acción como réplica contra el argumento del carácter hipercolesteromiante de la grasa láctea señalado en la introducción. Hasta tal punto ha sido comprobada en animales de laboratorio la menor incidencia de procesos tumorales (en concreto de tumores mamarios) a resultas de la ingestión de CLA (Ip et al., 1999), que la National Academy of Sciences de los EE.UU. de Norteamérica, en su publicación "*Carcinogens and Anticarcinogens in the Human Diet*" (NRC, 1996) concluye que: "...los CLA son los únicos ácidos grasos que se han mostrado inequívocamente capaces de inhibir procesos cancerígenos en pruebas animales". Se vincula esta acción anticancerígena de manera explícita al *cis-9,trans-11* CLA (Ip et al., 1999), también llamado ácido ruménico, del mismo modo que se asume la implicación específica del *trans-10,cis-12* CLA en la función antilipogénica (Park et al., 1999). Así pues, éstos son los dos únicos conjugados que por el momento se han mostrado biológicamente activos, de ahí que en ellos se particu-

larice toda alusión a los CLA. Son el resultado de la actividad metabólica de los microorganismos ruminales sobre los lípidos ingeridos por los animales a través de su ración diaria (Bauman et al., 2001, razón por la cual aparecen en los alimentos provenientes de los rumiantes, especialmente en la leche, que se constituye así, tal cual o como derivado lácteo, en la principal fuente alimenticia de CLA para el ser humano.

Dentro de los AGPI unos pertenecen a la familia omega-3 y otros a la familia omega-6. Se incluyen en la primera los ácidos α -linoléico (C18:3), eicosapentanoico (EPA; C20:5) y docosahexaenoico (DHA; C22:6) y en la segunda los ácidos linoleico, γ -linoléico y araquidónico (C20:4). Las acciones y propiedades atribuidas a los ácidos omega-3, recogidas también en la Tabla 1, han sido inferidas a partir de estudios epidemiológicos, clínicos y bioquímicos llevados a cabo sobre poblaciones humanas (Ordoñez et al., 2003). Súmese a ellas el papel específico del DHA en las funciones cerebral y nerviosa (Noble, 1998), lo que remarca su importancia en dos fases muy concretas del ciclo vital de la especie humana, la fase prenatal-neonatal y la senectud. Se viene aconsejando duplicar la ingestión de ácidos omega-3 por las personas y aproximarla a 750 mg/semana (Department of Health, 1994), contribuyendo con ello además a que la relación ácidos omega-6/omega-3 en la dieta humana se acerque al valor recomendado de 4-5/1, bastante distante del 20-30/1 actual en los países occidentales a consecuencia de un consumo excesivo de ácidos omega-6 (linoleico en especial). La citada relación ha acabado por desbancar a la clásica AGPI/AGS como indicativa de la calidad grasa de los alimentos para el ser humano.

Bases fisiológicas de la modificación del perfil graso de la leche

Como toda la materia grasa de la leche de vaca (95-98%) se presenta en forma de triglicéridos (ésteres de los AG con glicerol); el resto es una mezcla de lípidos diversos entre los que aparecen los esfingolípidos. En función del número de átomos de C que contengan, los AG se encuadran en tres grupos: de cadena corta (4-10 C), de cadena intermedia (12-16 C) y de cadena larga (≥ 18 C). Los de cadena corta y la mitad más o menos de los de cadena intermedia se originan en las células epiteliales mamarías mediante la síntesis *de novo*, en la que subyace también la formación de grasa en el tejido adiposo. En ella el acetato de origen ruminal actúa como principal precursor y como proveedor también de C para el alargamiento de las cadenas, hasta un máximo de 16 (ácido palmítico (C16:0)) en las células mamarías y de 18 (ácido esteárico (C18:0)) en los adipocitos (Salter et al., 2002). La otra mitad de los AG de cadena intermedia y todos los de cadena larga llegan a la glándula mamaria vía sanguínea desde una doble fuente: tisular y alimenticia.

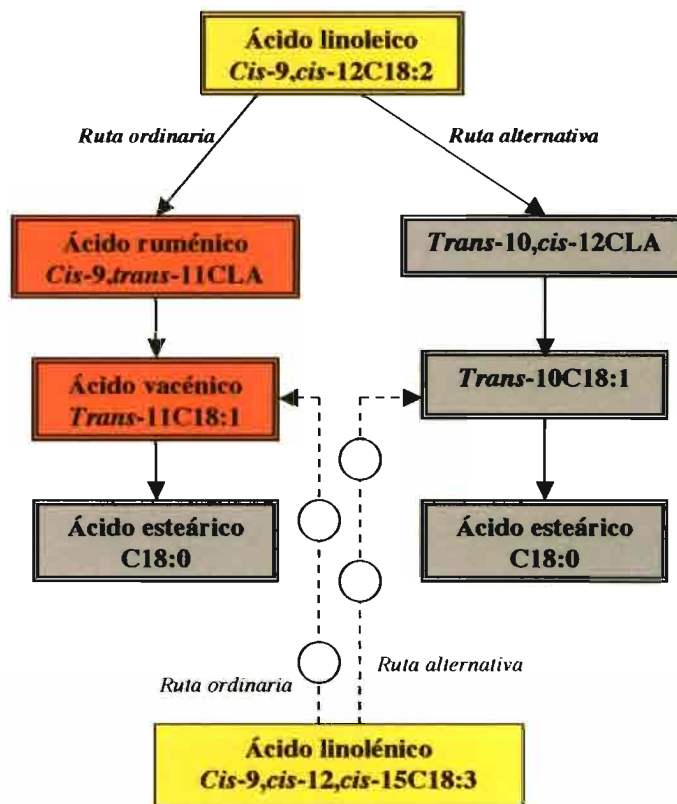


Se refiere la primera a los AG no esterificados circulantes por el plasma que resultan en su mayoría de la movilización de las reservas grasas corporales. Los dos principales AGS sintetizados en el tejido adiposo son el palmítico y el esteárico, una proporción de los cuales es objeto de desaturación (inserción de un doble enlace) y de transformación por tanto en sus correspondientes insaturados (palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1)) (Salter et al., 2002); quiere eso decir que los AG susceptibles de llegar a la ubre desde los depósitos grasos de la propia vaca son esencialmente estos cuatro. La segunda es una fuente exógena: AG de origen alimenticio, que tras ser librados en el rumen, digeridos y, a continuación absorbidos en el intestino delgado, son transportados -como quilomicrones y lipoproteínas de muy baja densidad- vía linfática al hígado y desde aquí a través de la sangre a las distintas partes del cuerpo, por ejemplo la glándula mamaria. Es obvio que en este último trasvase de AG reside la principal, y casi única, capacidad de maniobra para influir sobre la composición en AG de la leche, más concretamente sobre su contenido en AGI, y a nadie se le oculta el protagonismo que en este sentido adquiere la alimentación como responsable del aporte lipídico diario a las vacas productoras de leche. Llegados a este punto es imprescindible recordar qué tipo de transformaciones experimentan las grasas alimenticias a lo largo del proceso digestivo característico de los rumiantes.

La primera transformación es la lipólisis o desdoblamiento por parte de las lipasas microbianas, liberándose los AG integrantes. Tratándose de los clásicos alimentos para rumiantes de origen vegetal, y a la vista del tipo de grasa que contienen, está claro que predominan los AGI, que, a diferencia de los AGS, resultan tóxicos para la población microbiana ruminal, encargándose ella misma de la detoxificación mediante un proceso de hidrogenación (o saturación) (Doreau et al., 1997). Esta reacción afecta a una elevada proporción de los AGI que llegan al rumen y que abandonan por tanto una vez saturados, siendo determinante de la peculiar solidez de las grasas corporales (sebos) de los rumiantes en general. Los AGI refractarios a la hidrogenación atraviesan intactos los preestómagos y llegan al intestino delgado, donde son absorbidos con los demás AG y el resto de nutrientes allí presentes; ya hemos indicado cómo, a continuación, pueden alcanzar entre otros destinos la glándula mamaria, explicando así la aparición en la materia grasa de la leche de algunos AGI idénticos a los existentes en los ingredientes alimenticios.

La hidrogenación ruminal más estudiada y mejor conocida es la de los dos AGPI mayoritarios en la fracción lipídica de los alimentos vegetales para el ganado, el ácido linoleico y el linoléico. Se desarrolla conforme a dos rutas metabólicas (Bauman et al., 2001) que denominamos ordinaria y alternativa. La primera es la que prevalece en condiciones de alimentación ordinarias, es decir, con la constancia acostumbrada en la selección de los ingredientes que componen la ración y con la regularidad de rigor en la frecuencia y el horario de distribución diaria de la comida, condiciones tales que posibilitan el asentamiento de una población microbiana característica y perfecta-

Figura 1. Diagrama indicativo de la hidrogenación ruminal de los ácidos linoleico y linoléico (adaptado de Bauman et al., 2001)



mente equilibrada. En determinadas circunstancias (cambios súbitos de ingredientes o incorporación de otros no convencionales, consumo compulsivo de las vacas, etc.), la población microbiana se desequilibra y se alteran los patrones de fermentación ruminal, siendo entonces cuando la hidrogenación discurre según la ruta alternativa. En la Figura 1 se detallan ambas rutas para el ácido linoleico, mostrando los principales compuestos intermedios formados en el transcurso de una y de otra antes de llegar al AGS final (ácido esteárico); se indica asimismo el compuesto en que converge la hidrogenación del ácido linoléico según la ruta de que se trate. (Figura 1).

Destacamos de la hidrogenación lo siguiente:

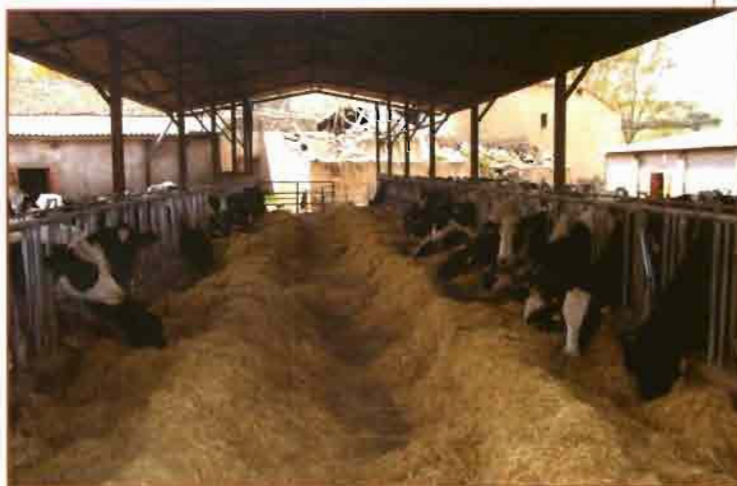
- No tiene necesariamente que llegar hasta el final, lo que significa que unos u otros metabolitos intermedios abandonan como tales el rumen y una vez en el intestino delgado son absorbidos, sabiendo ya lo que ocurre a partir de aquí.
- La formación como metabolitos intermedios en la hidrogenación del ácido linoleico de sus dos conjugados más relevantes: el *cis-9,trans-11CLA* y el *trans-10, cis-12CLA*.
- La formación de dos isómeros *transC18:1* dignos de mención, el *trans-11C18:1* (llamado también ácido vacénico) y el *trans-10C18:1*, generados a partir de ambos AGPI pero cada uno por una ruta metabólica distinta. A partir del *trans-11C18:1* cabe la síntesis endógena de *cis-9,trans-11CLA* en el organismo de la vaca, preferentemente en la glándula ma-

maria, con el enzima $\Delta 9$ -desaturasa como agente catalizador de la reacción (Griinari et al., 2000). Por su parte, el trans-10C18:1 ha sido implicado, junto con el trans-10,cis-12CLA, en la inhibición de la síntesis de la grasa láctea que acarrea el consumo por parte de las vacas de determinados tipos de ración (Griinari y Bauman, 2003).

En ocasiones ingresan en el rumen AGPI de 20 y 22 átomos de C, como ocurre cuando a la ración se incorporan determinados aceites de pescado, uno de los ingredientes alimenticios para vacas lecheras más investigados en los últimos 10-12 años por su interés como agentes capaces de elevar en la grasa de la leche la concentración tanto de ácidos omega-3 como de CLA. Después de varias opiniones contradictorias parece ser que los AGPI de 20-22 C experimentan un grado importante de hidrogenación ruminal, lo que no impide el traspaso directo de algunos de ellos a la materia grasa de la leche; y tal como se cree que discurre, favorece la acumulación en el rumen de trans-11C18:1, que redunda en beneficio de la síntesis de cis-9,trans-11CLA (Doreau et al., 1999; Chilliard et al., 2001).

Existen mecanismos que brindan protección frente a la hidrogenación ruminal. Unos son naturales, como ocurre en las semillas oleaginosas gracias a su envoltura fibrosa, de cuya naturaleza química dependerá el grado de protección conferido a los aceites que contienen. En otros casos la protección se dota artificialmente mediante tratamientos tecnológicos, habiendo quien suma el calificativo bypass a los ingredientes así tratados. Dos son los procedimientos habituales al respecto. El primero se trata de mezclar AGI (libres o conjugados en aceites líquidos) con Ca para formar sales cálcicas (jabones), que deberían mantenerlos inertes en el rumen y permitir su posterior ruptura en un medio ácido como el abomaso. La realidad sin embargo es que resulta inevitable una disociación parcial en el rumen que rebaja la eficacia protectora (Doreau et al., 1997; Chouinard et al., 2001). El segundo consiste en el revestimiento con una fina capa de proteínas tratadas con formaldehído, catalogando como "encapsulados" los elementos así tratados. Aunque hoy día se le tiene por el procedimiento que mejores resultados arroja, tampoco garantiza una protección absoluta. Ha sido cifrada alrededor del 65%, perdiéndose el 35% restante como consecuencia en primer lugar de la ineficiencia del propio tratamiento tecnológico y en segundo lugar del deterioro causado por los animales al masticar y rumiar, sin olvidar que el posterior procesado de los elementos encapsulados conforme a algunas de las actuales tecnologías de piensos (extrusión, elaboración de gránulos, de copos, ...) puede comprometer aún más la eficacia protectora (Ashes et al., 1997; Chilliard et al., 2001).

Es evidente que en la alimentación de las vacas encontramos la herramienta más natural posible para el enriquecimiento graso de la leche a gusto del consumidor, en el caso que nos ocupa en ácidos omega-3 y en CLA. La clave está en saber escoger los componentes de la ración más apropiados según el perfil graso deseado, en buscar su mejor combinación, en incorporar suplementos grasos protegidos o no, etc. No hablamos sino de estrategias alimenticias como la primera de las op-



ciones para llevar a cabo el susodicho enriquecimiento y a ellas nos dedicaremos mayormente en los dos apartados siguientes. Aludiremos también a otras dos opciones, que nos sitúan en la órbita de la genética por un lado y de la tecnología industrial por otro.

Leche enriquecida en ácidos omega-3 (α -linolénico, epa y dha)

De estos tres, el único que está presente en la grasa de la leche producida por vacas consumiendo unos u otros de los alimentos de origen vegetal clásicos, es el α -linolénico, y lo hace en cantidades invariablemente bajas, incluso tratándose de vacas en pastoreo a pesar de la abundancia en dicho ácido de la hierba fresca (Kelly et al., 1998). La hidrogenación ruminal es la responsable de que así ocurra, con la hierba fresca y con cualquier otro ingrediente natural sea cual sea su contenido en el AGPI en cuestión. Hay una excepción a este respecto representada por las semillas de lino, cuyo aceite es especialmente rico en α -linolénico (50-55% de los AG). Es verdad que no se acostumbra a utilizarlas directamente como alimento para el ganado debido al alto valor del aceite que contienen, pero no faltan las pruebas experimentales con ellas como motivo de estudio. Se ha visto en efecto que cuando se administran al ganado vacuno de engorde, la presencia del susodicho ácido omega-3 en la grasa asociada al tejido muscular es superior a lo habitual (Scollan et al., 2001), lo que hace pensar en el mecanismo de protección natural de que gozan las semillas oleaginosas. Cabe esperar que la inclusión de semillas de lino en raciones para vacas lecheras provoque una respuesta análoga en la grasa láctea, pero con la incertidumbre de no saber hasta qué punto así acontece. Es mucho más fiable lógicamente basar el enriquecimiento en el suministro a las vacas de suplementos grasos protegidos, existiendo pruebas diversas que así lo confirman. Por ejemplo, con aceite de lino ya sea encapsulado o en forma de jabones (Scott, 1970), con una mezcla de semillas de soja y de colza igualmente encapsuladas (Ashes et al., 1997) y también con semillas de soja tostadas y laminadas (Doreau et al., 1999), y en todos los casos ha sido constatado un incremento significativo en el contenido de α -linolénico en la leche. Como planteamiento teórico arroja pocas dudas esta estrategia de enriquecimiento, pero no tiene mucho sentido ponerla en práctica con



el propósito de elevar la concentración de sólo uno de los tres ácidos omega-3. Pudiera estar justificada en caso de que el organismo humano tuviese capacidad para transformar en EPA y DHA todo el ácido α -linoléico que le llega, pero recientes estudios en este sentido indican que las posibilidades al respecto son escasas en personas consumiendo una dieta occidental típica, en la que suele abundar el ácido linoleico, que interfiere en las reacciones de alargamiento y desaturación del α -C18:3 para su conversión en C20:5 y C22:6 (Salter et al., 2002).

Los únicos suplementos grasos ricos en ácidos omega-3, sobre todo en EPA y DHA, son los aceites de pescado (o incluso de algas, pero en ambos casos de agua salada, de ahí su denominación también de aceites marinos), a cuya incorporación en la ración de las vacas se supedita por consiguiente la posibilidad real de producir leche enriquecida en dichos ácidos (su presencia en la leche estándar se hace indetectable) siguiendo una estrategia alimenticia. Los resultados de las pruebas realizadas con hembras lactantes (vacas, ovejas y cabras) a las que se suministra algún tipo de aceite marino apuntan en la misma dirección: el traspaso, en efecto, a la grasa de la leche de parte de los ácidos omega-3 ingeridos, un traspaso que sin embargo se ve empañado por la baja eficiencia del mismo, estimada en no más allá del 3-5% (Ashes et al., 2000; Chilliard et al., 2001). Dentro de la controversia existente respecto de cómo discurre la hidrogenación ruminal del EPA y del DHA, un hecho unánimemente aceptado es que la saturación no llega a su estadio final, lo que se traduce en una abundante presencia de isómeros *trans*C18:1 (Chilliard et al., 2001). Es notorio dentro de éstos el predominio del ácido vacénico (75-80% del total), con el beneficio que ello reporta, pero en términos cualitativos conviene destacar asimismo la formación de *trans*-10C18:1 y *trans*-9C18:1 (Franklin et al., 1999) por sus negativas implicaciones. Otro hecho compartido en las experiencias evaluadoras de los efectos de los aceites marinos es el acusado descenso que provocan en el contenido graso de la leche, creyéndose que pueda estar motivado bien por los propios EPA y DHA absorbidos, bien por metabolitos intermedios de la hidrogenación como el *trans*-10C18:1 o algún otro (Doreau et al., 1999; Chilliard et al., 2001). Sobre el *trans*-9C18:1 o ácido eláidico pesan sospechas de que pueda incrementar el riesgo de ECV. (Salter et al., 2001).

Es lógico preguntarse qué ocurre tras la administración de aceites protegidos. Teóricamente deberían, por un lado, mejorar la eficiencia de paso de los ácidos omega-3 a la leche y, por otro, mitigar los inconvenientes apuntados cuyo origen radica en el proceso de hidrogenación ruminal. La realidad es que los procedimientos de protección muestran para estos aceites en particular una eficacia tan variable como impredecible, de ahí que las respuestas se equiparen a las obtenidas con aceites desprotegidos (Franklin et al., 1999).

Además de cuanto se ha dicho, debe añadirse que la inclusión de aceites marinos en la ración trae consigo una alteración del perfil de AG de la grasa láctea en el sentido de reducir la presencia de la mayoría de los AGS, en especial de los ácidos palmítico y esteárico (Chilliard et al., 2001). Es ésta una modificación que no puede pasarse por alto toda vez que al disminuir el grado de saturación, al tiempo que aumenta el de insaturación, se está rebajando el punto de fusión de la grasa producida. La manteca elaborada a partir de esta grasa se muestra más blanda a temperaturas de refrigeración y resulta más cómoda de untar, pero también es cierto que se derrite más fácilmente y adquiere una mayor sensibilidad a las reacciones de autooxidación responsables de la aparición de sabores anormales. En honor a la verdad digamos que éste último es un problema de escasa envergadura puesto que existe una solución, o mejor una forma de prevención, tan sencilla como añadir una dosis determinada de vitamina E a la ración de las vacas productoras (Ashes et al., 1997).



No podemos terminar esta valoración del enriquecimiento de la leche en ácidos omega-3 mediante el suministro de aceites marinos, sin citar la posibilidad, aunque remota, de que haya una transmisión de sabores extraños a la leche. Y sin reparar en algo que no es precisamente baladí hoy día, la mala imagen que a los ojos de los consumidores pueda suponer dar de comer a las vacas lecheras un alimento tan poco natural para ellas como un aceite de pescado, aún informándoles que bastan muy bajos niveles de inclusión en la ración (200-300 g/día) para conseguir enriquecer la leche.

A la vista de los pros y los contras que hemos ido viendo concurren en la única estrategia alimenticia válida para aumentar la presencia en la leche de los tres principales ácidos omega-3, y a la espera de avanzar en el conocimiento y comprensión de los hechos fisiológicos subyacentes, no parece resultar lo suficientemente atractiva como para plantear su puesta en práctica en granjas comerciales. Y menos aún sabiendo que ya han aparecido en escena leches enriquecidas mediante procedimientos tecnológicos. Se tratan, en esencia, de añadir a la leche natural ácidos omega-3 extraídos industrialmente de sus fuentes naturales (pescados y algas). Como tal procedimiento tecnológico tampoco escapa a las dudas y los recelos de los consumidores, sobre todo aplicándose a uno de los alimentos más sanos y naturales de que todavía disponen. En manos de los fabricantes está rodearlo de la seguridad y credibilidad necesarias, logrado lo cual hay que aceptarlo como una forma más de diversificación de la oferta de leche (fresca o como derivados lácteos) en busca de un mayor consumo, todo lo cual repercute sin duda en beneficio de un sector productivo que aglutina a un número importante de ganaderos de nuestro país.

Leche enriquecida en conjugados del ácido linoleico (CLA)

En la Tabla 2 se muestra la concentración de CLA en diversos alimentos habituales en las comidas del hombre occidental, agrupados a título comparativo en dos bloques con la procedencia como criterio diferenciador. Salta a la vista la riqueza de los alimentos derivados de los rumiantes, con un contenido en CLA fluctuante entre 3 y 7 mg/g de grasa, es decir, 6-14 veces mayor que la media de los otros alimentos a excepción de la carne de pavo. Así pues, pocas dudas caben respecto de cuáles son las principales, por no decir casi únicas, fuentes alimenticias de CLA para el ser humano y poca discusión admite que entre ellas la leche (y sus derivados) están por encima de las carnes. (Tabla 2).

De entre los CLA identificados en las grasas sintetizadas por los rumiantes, hay uno que claramente predomina sobre los demás, el *cis-9,trans-11*CLA (ácido ruménico), con unos porcentajes de participación que en el caso de la leche se mueven entre el 80 y el 90% del total, mientras que en la carne giran alrededor del 75% (McGuire y McGuire, 2000; Bauman et al., 2001). Téngase en cuenta el tipo de ración que acostumbra a

suministrarse al ganado vacuno de engorde, una ración sumamente concentrada —con el aporte de fibra justo— que da lugar a un patrón característico de fermentación ruminal en el que se propicia la hidrogenación de los AGPI conforme a la ruta alternativa, que sabemos conduce a la formación del *trans-10,cis-12*CLA en perjuicio del *cis-9,trans-11*CLA.

Desde hace unos años se dispone de CLA sintéticos entre los que figura el ácido ruménico de turno junto con otros isómeros de composición imprecisa cuyas acciones biológicas se ignoran y les colocan bajo sospecha, lo que invita a renunciar al empleo de estos conjugados artificiales basándose en el principio de precaución. Por otro lado, sustancias naturales con efectos



anticancerígenos a buen seguro que existen, pero pocas han sido las identificadas por el momento, casi todas en recursos vegetales y a muy bajas concentraciones. Todo ello coloca en situación más prominente, si cabe, a la leche: es la fuente natural más rica en *cis-9,trans-11*CLA, del que se tiene constancia de su capacidad para inhibir la carcinogénesis en animales de laboratorio (véase más adelante). No menos interesante es el hecho de que gran parte del ácido ruménico presente en la leche cruda va a aparecer también en los derivados lácteos, ya que consigue mantenerse relativamente estable a pesar del manufacturado implícito en los procesos de fabricación y del posterior tiempo de almacenamiento (Bauman et al., 2001).

Conocemos el doble origen de los CLA presentes en la grasa de la leche (y en la grasa corporal también): una parte proviene de los CLA formados en el *transcurso* de la hidrogenación ruminal de los AGPI y de la que se libran entre medias, llegando al intestino delgado donde se absorben; otra, la más importante desde un punto de vista cuantitativo (Chouinard et al., 2001), de la síntesis endógena a partir del *trans-11*C18:1 absorbido después de escapar igualmente de las rutas de la hidrogenación. La producción ruminal de CLA y de *trans-11*C18:1 depende de tres factores, a saber, de la cantidad de sustratos precursores (AGPI) que llegan al rumen, de la iniciación y el asentamiento de la ruta ordinaria de hidrogenación y finalmente de la inhibición de la compleción de dicha ruta tal que se produzca la acumulación de ácido vacénico, y tanto este tercer

Tabla 2. Contenido en CLA (mg/g de grasa total) de diferentes alimentos humanos (adaptado de Newbold et al., 2001)

Alimentos provenientes de animales rumiantes		Otros alimentos (origen animal/vegetal)	
Leche (de vaca)	5,4 - 7,0	Carne de pollo	0,9
Queso	2,9 - 7,1	Carne de cerdo	0,6
Mantequilla	4,7	Carne de pavo	2,5
Nata	4,6	Pescado	0,3 - 0,6
Carne de vacuno (rosada)	2,9 - 4,3	Yema de huevo	0,6
Carne de vacuno (blanca)	2,7	Aceite de oliva	0,2
Carne de cordero	5,6	Aceite de maíz	0,2
Sebo de vacuno	2,6	Aceite de girasol	10,4



factor como el segundo dependen del tipo de actividad microbiana instalada en el rumen. Los tres factores vinculan claramente a la alimentación, la principal responsable en definitiva de la amplia variación existente en el contenido de CLA en la leche y el principal instrumento de que se dispone por lo tanto para consumir el enriquecimiento que nos ocupa.

La estrategia alimenticia más sencilla es la que prescinde de cualquier suplemento graso y recurre únicamente a ingredientes convencionales con su particular contenido lipídico. Las vacas que pastan producen la leche más rica en CLA gracias a la abundancia de los ácidos linoleico y linolénico en la hierba fresca, unos ácidos que sufren una merma importante a raíz de la henoificación y el ensilado (Chilliard et al., 2001). Cuando a través de una ración completa (forraje y concentrado) se proporciona a las vacas la misma cantidad de AGPI que aporta una ración a base de pastos, la cuantía de CLA en la grasa de la leche no coincide, siendo superior en el segundo caso (Bauman et al., 2001). Se piensa que pueda haber algún componente desconocido en los pastos capaz de espolear la actividad microbiana ruminal en el sentido de favorecer una producción sostenida de *trans*-11C18:1; ello ayuda a entender que en algunos casos la concentración de CLA en la leche de vacas en pastoreo haya alcanzado los 22 mg/g grasa (Dhiman et al., 1999), muy por encima de los 7 mg recogidos en la tabla. Hechos como éste permiten capitalizar, aún más, la producción de leche a partir de vacas explotadas en régimen de pastoreo.

Tratándose de vacas estabuladas sin acceso a los pastos, el enriquecimiento es posible mediante el suministro de suplementos grasos, algunos de los cuales se utilizan también con el fin de incrementar la densidad energética de las raciones para vacas lecheras de alto nivel de producción. Mucha de la información al respecto gira alrededor de tres clases de suplementos: sales cálcicas de aceites vegetales (jabones), semillas de oleaginosas procesadas tecnológicamente (sometidas a extrusión o tratadas con calor) y aceites marinos. Todas garantizan el necesario aporte de AGPI para que sobre éstos se inicie y desarrolle la hidrogenación conforme a las secuencias ya conocidas. Tanto en el caso de los jabones como de las semillas procesadas, la lentitud con que los AGPI se ponen a disposición de los microorganismos ruminales parece crear unas condiciones propicias para la acumulación de *trans*-11C18:1 y el subsiguiente incremento en la síntesis endógena de *cis*-9,*trans*-

11CLA; lo mismo que ocurre con los aceites marinos pero por causas más inciertas todavía sin aclarar (Bauman et al., 2001; Chouinard et al., 2001). Solo estableciendo comparaciones con los resultados obtenidos cuando las vacas consumen raciones estándar (control) sin ninguno de estos suplementos, es posible cuantificar el grado de enriquecimiento alcanzado en cada caso, como así han hecho Chouinard et al. (2001). Los aceites vegetales multiplican hasta 4-6 veces la concentración de CLA en la grasa de la leche, correspondiendo el mayor efecto multiplicador a las sales cálcicas del aceite de lino y después a las del aceite de soja. Las semillas de oleaginosas duplican o triplican la concentración inicial de CLA, arrojando los mejores resultados las semillas (soja, algodón, colza) sometidas a extrusión. El efecto multiplicador de los aceites marinos oscila alrededor de tres y se acompaña de un enriquecimiento simultáneo en ácidos omega-3, pero con el inconveniente ya señalado del acusado descenso que provocan en el porcentaje graso de la leche.

Hay constancia (Bauman et al., 2000) de haberse elaborado mantequilla enriquecida en CLA, lógicamente a partir de leche enriquecida al efecto mediante una fórmula tan sencilla como la administración a las vacas de una ración típica (ensilado de maíz, grano también de maíz, harina de soja acompañada de otros nutrientes proteicos y los correctores vitamínicos y minerales) suplementada con aceite de girasol (65% de ácido linoleico) no protegido pero añadido a bajos niveles para evitar la lesiva acción de las grasas sobre los microorganismos ruminales. Todo ello en el contexto de estudios biomédicos con modelos animales para evaluar la acción anticancerígena de los CLA naturales y contrastarla de paso con la de sus homónimos artificiales. La experiencia se centró alrededor de ratas tratadas con una sustancia carcinógena productora de tumores mamarios y cuya evolución se siguió en tres grupos distintos según consumieran mantequilla enriquecida, suplementos a base de CLA sintéticos y sólo la dieta control (Ip et al., 1999). Los resultados son ciertamente halagüeños desde el momento en que la incidencia de procesos tumorales fue solo del 50% en las ratas de los dos primeros grupos en comparación con las restantes, de donde se desprende además que los CLA naturales son tan eficaces como los artificiales en esa labor de contención del avance tumoral. Volviendo al enriquecimiento en sí, podemos plasmarlo en términos numéricos como sigue:

- La concentración de CLA se eleva desde los 5 mg/g AG propios de una leche estándar hasta los 41 g, es decir, unas ocho veces.
- La desagregación de los CLA muestra una muy alta contribución del *cis*-9,*trans*-11CLA, exactamente un 91%.
- El incremento en la concentración de los *trans*18:1 resulta igualmente pronunciado, pasando de los 50 mg/g AG control a los 150 g. La mitad se trata de *trans*-11C18:1, del que hay indicios de poder transformarse en *cis*-9,*trans*-11CLA en los tejidos humanos (Adlof et al., 2000).

Diversas son, por tanto, las estrategias alimenticias válidas y factibles para incrementar de manera sustancial la concentración de CLA en la grasa de la leche. Pero siendo la alimentación el más determinante factor de variación de dicha concen-

tración, no es el único, como lo demuestra el hecho de que vacas consumiendo idénticas raciones producen leche con distinto contenido en CLA (Bauman et al., 2001). Hay que buscar la explicación en las diferencias en la intensidad de actuación del enzima $\Delta 9$ -desaturasa, que en realidad interviene sobre diferentes sustratos, de modo que no solo condiciona la síntesis endógena de *cis-9,trans-11*CLA a partir del *trans-11*C18:1, sino también la conversión de AGS en sus correspondientes insaturados (por ejemplo: del palmítico en palmitoleico, del esteárico en oleico) (Grinari et al., 2000), lo que quiere decir que contribuye a modular el grado de insaturación de los componentes grasos de la leche. Dicho enzima es producto de un determinado gene, de cuyo nivel de expresión depende la actividad de aquel. Esto abre las puertas a una nueva forma de estrategia para el enriquecimiento de la leche con CLA, concretamente de orden genético, dentro de la cual caben a su vez dos opciones.



La primera se refiere a la creación de animales transgénicos, animales con el genoma modificado en la dirección interesada, en el caso que nos ocupa la inserción del gene que expresa el susodicho enzima. Aún tratándose de una opción teóricamente fundamentada, hoy por hoy no podemos verla más que como lo que es, especulativa y futurista. La segunda opción encaja dentro de la llamada selección asistida por genes (Clegg et al., 2001), aquella que, localizada la base génica de un determinado rasgo fisiológico, en este caso la actividad del enzima $\Delta 9$ -desaturasa, inspira un programa de actuación basado en el empleo como progenitores de los reproductores portadores del o de los genes en cuestión que son traspasados así a la descendencia. El éxito comercial que se vislumbra para la leche enriquecida en CLA condicionará seguramente el interés de los especialistas en genética animal por continuar las investigaciones pertinentes, de cuya evolución y resultados dependerá la consolidación o no del susodicho programa de selección como estrategia genética para enriquecer la leche. Mientras la situación no se clarifique, la única estrategia viable hoy día es la alimenticia.

¿Hasta dónde llega el interés comercial de esta leche enriquecida? El consumidor medio se muestra bastante receptivo a to-

do ese surtido de leches a las que se añaden variedad de complementos (Ca, vitaminas diversas, ácidos omega-3, fibras, jalea real,...) y no creemos que la leche enriquecida en CLA vaya a ser una excepción, sobre todo argumentando lo que sigue. En primer lugar que, a diferencia de las anteriores, no es objeto de adición alguna, sino que se enriquece de un modo absolutamente natural, tanto como que la leche sale de las ubres de las vacas ya con su contenido en CLA incrementado. En segundo lugar que el atractivo de los CLA recae en buena medida en sus acciones anticancerígena y antiaterogénica y los estudios epidemiológicos nos dicen que las ECV y el cáncer están detrás del 50 y 30% respectivamente de las muertes entre la población de las sociedades occidentales. Tan solo hay que divulgar entre los consumidores las potenciales bondades dietéticas de los CLA y luego las campañas publicitarias y de promoción harán el resto. El interés de los ganaderos hay que cimentarlo en el pago de un precio justo que les compense la complicación añadida que una producción especializada como ésta trae consigo, empezando por la pertinente adecuación de la ración alimenticia de las vacas y continuando con la independización del ordeño tal que se evite la mezcla entre leches y pueda garantizarse que la entregada es realmente leche enriquecida. En manos de los gestores de las industrias lácteas está fijar un precio suficientemente remunerador y repercutirlo posterior y convenientemente en el previo de venta al público, cuya respuesta ya sabemos es indicativa del éxito comercial de un producto y tiene mucho que ver con el devenir de éste en los mercados. Creemos que la leche enriquecida en CLA puede tener su propio nicho de mercado, como ya lo tiene por ejemplo la leche con denominación ecológica después de asumir, entre otros inconvenientes relativos a su producción, esa independencia ya reclamada para el ordeño, almacenamiento, transporte y tratamiento industrial. O como esa leche portadora exclusivamente de β -caseína A2 que al parecer se comercializa ya en supermercados de Australia, Nueva Zelanda y EE.UU. de Norteamérica. (<http://www.agrodigital.com>).

Consideración final

Desde que en 1999 se establecieron los conceptos científicos de los llamados en nutrición humana alimentos funcionales (Diplock et al., 1999), está en curso la identificación de aquellos componentes alimenticios susceptibles de engrosar la lista de los que acrediten una actividad funcional. Entre ellos figuran los CLA y los ácidos omega-3, abundantes en las grasas sintetizadas por los rumiantes y en los aceites de los pescados azules, respectivamente. La composición química de ambos hace posible su inclusión entre los integrantes grasos de la leche, de hecho los CLA aparecen en ella de forma natural, de modo que tiene sentido plantear su enriquecimiento con uno u otro en esa dinámica de obtención de alimentos funcionales, entre otros propósitos. Caben tres tipos de estrategias al respecto según se pretenda el enriquecimiento a través de la adecuación de la alimentación de las vacas productoras, de la actuación en el ámbito genético y de la tecnología industrial. La primera de ellas, la más natural sin duda, nos sitúa de lleno en la

cotidianidad de las prácticas zootécnicas en las granjas lecheras, siendo así como la ganadería hace su particular contribución a la producción de alimentos funcionales, en este caso la leche, una leche enriquecida ya en su origen, según se extrae de la glándula mamaria, no siendo por tanto objeto de añadidura alguna como ocurre cuando se enriquece industrialmente.

Bibliografía

- ADLOF A.B., DUVAL D. y EMKEN E.A. (2000). "Biosynthesis of conjugated linoleic acid in humans". *Lipids*, 35: 131-135.
- ASHES J.R., GULATI S.K., KITESSA S.M., FLECK E. y SCOTT T.W. (2000). "Utilization of rumen protected n-3 fatty acids by ruminants". En: *Recent Advances in Animal Nutrition-2000* (Ed. P.C. Garnsworthy y J. Wiseman), p. 129-140. Nottingham Univ. Press. Nottingham, UK.
- ASHES J.R., GULATI S.K. y SCOTT T.W. (1997). "Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition". *J. Dairy Sci.*, 80: 2204-2212.
- BAUMAN D.E., BARBANO D.M., DWYER D.A. y GRIINARI J.M. (2000). Technical note: Production of butter with enhanced conjugated linoleic acid for use in biomedical studies with animal models". *J. Dairy Sci.*, 83: 2422-2425.
- BAUMAN D.E., CORL B.A., BAUMGARD L.H. y GRIINARI J.M. (2001). "Conjugated linoleic acid (CLA) and the dairy cow". En: *Recent Advances in Animal Nutrition-2001* (Ed. P.C. Garnsworthy y J. Wiseman), p. 221-250. Nottingham Univ. Press. Nottingham, UK.
- CENTRO INFORMÁTICO DE ESTADÍSTICAS Y SONDEOS, S.A. (2001). "Expectativas del consumidor español respecto a la leche de vaca". *Frisona Española*, 128: 88-92.
- CHILLIARD Y., FERLAY A. y DOREAU M. (2001). "Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acids (CLA) and polyunsaturated fatty acids". *Livest. Prod. Sci.*, 70: 31-48.
- CHOUINARD P.Y., CORNEAU L., BUTLER W.R., CHILLIARD Y., DRACKLEY J.K. y BAUMAN D.E. (2001). "Effect of dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentration in milk fat". *J. Dairy Sci.*, 84: 680-690.
- CLEGG R.A., BERBER M.C., POOLEY L., ERNENS I., LARONDELLE Y., y TRAVERS M.T. (2001). "Milk fat synthesis and secretion: molecular and cellular aspect". *Livest. Prod. Sci.*, 70: 3-14.
- DEPARTMENT OF HEALTH (1994). "Report on health and social subjects 41. Nutritional aspects of cardiovascular disease". HMSO, London.
- DHIMAN T.R., ANAND G.R., SATTER L.D. y PARIZA M.W. (1999). "Conjugated linoleic acid content of milk from cows fed different diets". *J. Dairy Sci.*, 82: 2146-2156.
- DIPLOCK A.T., AGGETT P.J., ASHWELL M., BORNET F., FERN E.B. y ROBERFROID M. (1999). "Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document". *Br. J. Nutr.*, 81, S1.
- DOREAU M., CHILLIARD Y., RULQUIN H. y DEMEYER D.I. (1999). Manipulation of milk fat in dairy cows". En: *Recent Advances in Animal Nutrition-1999* (Ed. P.C. Garnsworthy y J. Wiseman), p. 81-109. Nottingham Univ. Press. Nottingham, UK.
- FRANKLIN S.T., MARTIN K.R., BAER R.J., SCHINGOETHE D.J. y HIPPEN A.R. (1999). "Dietary marine algae (*Schizochytrium* sp.) increases concentrations of conjugated linoleic, docosahexaenoic and transvaccenic acids in milk of dairy cows". *J. Nutr.*, 129: 2048-2052.
- GRIINARI J.M. y BAUMAN D.E. (2003). "Update on theories of diet-induced milk fat depression and potential applications". En: *Recent Advances in Animal Nutrition-2003* (Ed. P.C. Garnsworthy y J. Wiseman), p. 115-155. Nottingham Univ. Press. Nottingham, UK.
- GRIINARI J.M., CORL B.A., LACY S.H., CHOUINARD P.Y., NURMELA K.V.V. y BAUMAN D.E. (2000). "Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by D9-desaturase". *J. Nutr.*, 130: 2285-2291.
- GRUNDY S.M. (1994). "Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids". *Am. J. Clin. Nutr.* 60 (6 Suppl): 986S-990S.
- IP C.S., BANNI E., ANGIONI E., CARTA G., MCGINLEY J., THOPSON H.J., BARBANO D. y BAUMAN D.E. (1999). "Conjugated linoleic acid-enriched butter alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats". *J. Nutr.*, 129: 2135-2142.
- KELLY M.L., KOLVER E.S., BAUMAN D.E., VAN AMBURGH M.E. y MULLER L.D. (1998). "Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows". *J. Dairy Sci.*, 81: 1630-1636.
- MCGUIRE M.A. y MCGUIRE M.K. (2000). "Conjugated linoleic acid (CLA): A ruminant fatty acid with beneficial effects on human health". *Proceed. Amer. Soc. Anim. Sci.-1999*.
- NOBLE R.C. (1998). "Manipulation of the nutritional value of eggs". En: *Recent Advances in Animal Nutrition-1998* (Ed. P.C. Garnsworthy y J. Wiseman), p. 49-66. Nottingham Univ. Press. Nottingham, UK.
- N.R.C. (1996). "Carcinogens and Anticarcinogens in the Human Diet". National Academy Press. Washington, D.C.
- ORDOÑEZ J.A., CAMBERO M.I., D'ARRIGO M. y DE LA HOZ L. (2003). "Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la salud humana y enriquecimiento de la carne y productos cárnicos en ácidos grasos de la familia n-3 (1ª parte)". *Alimentación, Nutrición y Salud*, 10: 10-18.
- PARK Y., STORKSON J.M., ALBRIGHT K.J., LIU W. y PARIZA M.W. (1999). "Evidence that the *trans*-10, *cis*-12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition changes in mice". *Lipids*, 34: 235-241.
- PARODI P.W. (1999). "Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat". *J. Dairy Sci.* 82: 1339-1349.
- SALTER A.M., DANIELS Z.C.T.R., WYNN R.J., LOCK A.L., GARNSWORTHY P.C. y BUTTERY P.J. (2002). "Manipulating the fatty acid composition of animal products. What has and what might be achieved?". En: *Recent Advances in Animal Nutrition-2002* (Ed. P.C. Garnsworthy y J. Wiseman), p. 33-44. Nottingham Univ. Press. Nottingham, UK.
- SCOLLAN N.D., CHOI N.J., KURT E., FISHER A.V., ENSER M. y WOOD J.D. (2001). "Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle". *Brit. J. Nutr.*, 85: 115-124.
- SCOTT T.W., COOK L.J., FERGUSON K.A., McDONALD I.W., BUCHANAN R.A. y LOFTUS HILLS G. (1970). "Production of poly-unsaturated milk fat in domestic ruminants". *Austr. J. Sci.*, 32:291-293.