

Conferencia

Resultados recientes sobre los efectos de la alimentación en la composición en ácidos grasos de la leche de vaca, cabra y oveja*

Recent data on effects of feeding factors on milk fatty acid composition in cow, goat and ewe

Chilliard¹, Y., Glasser¹, F., Enjalbert², F., Ferlay¹, A., Bocquier³, F. y Schmidely⁴, Ph.

INRA, UR1213 Herbivores, Equipe Tissu Adipeux et Lipides du Lait, Saint-Genès-Champagnelle, France

INRA-INPT-ENSAT-ENVIT, Université de Toulouse, Tissus Animaux, Nutrition, Digestion, Ecosystème et Métabolisme, Castanet-Tolosan Cedex, France

UMR - Elevage des Ruminants en Régions Chaudes Campus Agro_M-INRA de Montpellier, France
INRA-Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, France

Resumen

Luego de un repaso de los principales fenómenos digestivos y metabólicos asociados a la síntesis de la materia grasa de la leche, esta revisión reúne los resultados recientes sobre los efectos de la alimentación en la composición en ácidos grasos (AG) de la leche de vaca, cabra y oveja. Estos resultados son extraídos tanto de la bibliografía como de dos bases de datos desarrolladas en el INRA. Ellos confirman la gran plasticidad del perfil en AG de la leche del rumiante, principalmente para los AG saturados (C10 a C18), el ácido oleico (9c-18:1), el ácido vaccénico (11t-18:1) y otros isómeros *trans* del 18:1 y del 18:2. En comparación a las raciones ricas en concentrados y/o en silaje de maíz, las raciones a base de pasto (pastoreo directo o forraje correctamente conservado) disminuyen los AG saturados en beneficio de los 9c- y 11t-18:1, y en menor medida del 18:3 n-3 y del 9c11t-CLA. Los suplementos de aceites o granos oleaginosos presentan efectos similares, a veces más marcados, pero ellos aumentan también otros isómeros *trans* del 18:1 y del 18:2, principalmente en la medida que son agregados a raciones ricas en concentrados y/o en silaje de maíz. Los aceites y granos ricos en 18:2 n-6 (girasol, soja,...) aumentan en particular el 10t-18:1 y los 10t12c-, 8t10c-, 7t9c- y 9t11c-CLA, mientras que aquéllos que son ricos en 18:3 n-3 (lino) aumentan principalmente el 13t/14t-18:1 y los 9c12t-, 9c13t- y 11t15c-18:2. La cabra está menos sujeta que la vaca a la desviación del 11t- hacia el 10t-18:1, lo que explica probablemente la estabilidad y la elevada amplitud de respuesta a la suplementación lipídica de los 11t-18:1 y 9c11t-CLA de su leche, inclusive con

Conferencia presentada durante el 29° Congreso Argentino de Producción Animal, Mar del Plata, 18 al 20 de octubre 2006.

*Este texto ha sido también publicado en Francés en la revista «Rencontres Recherches Ruminants» (Paris, Diciembre 2007), Vol. 14, pages (321-328). Los autores le agradecen mucho al Dr. Gerardo Gagliostro por la traducción del texto original.

1. INRA, UR1213 Herbivores, Equipe Tissu Adipeux et Lipides du Lait, Site de Theix, F-63122 Saint-Genès-Champagnelle, France (Yves.Chilliard@clermont.inra.fr)

2. INRA-INPT-ENSAT-ENVIT, Université de Toulouse, UMR1289, Tissus Animaux, Nutrition, Digestion, Ecosystème et Métabolisme, Chemin de Borde-Rouge-Auzeville, BP 52627, F-31326 Castanet-Tolosan Cedex, France

3. UMR - Elevage des Ruminants en Régions Chaudes (UMR_868) Campus Agro_M-INRA de Montpellier, Bâtiment 22; 2, Place Pierre Viala, 34 060 Montpellier Cedex 1, France

4. INRA-Institut National Agronomique Paris-Grignon, 16, rue Claude Bernard -F-75231 PARIS cedex 05, France

raciones ricas en concentrados. Además, la cabra parece responder mejor que la vaca a la suplementación con 18:3 n-3. La oveja, alimentada principalmente con forrajes mediterráneos en los trabajos publicados, produce una leche más rica en 18:3 n-3, 11t-18:1 y 9c11t-CLA que la vaca en pastoreo en zona templada.

Palabras clave: vaca lechera, cabra, oveja, suplementación lipídica, ácidos grasos de la leche.

Summary

This review gives an update of available data on the effect of nutrition on milk fatty acid (FA) composition in dairy cow, goat and ewe. It starts by an overview of the main digestive and metabolic pathways involved in the milk fat secretion processes. Used data are originated from literature and from two databases developed by INRA. Altogether, analyses confirm the wide plasticity of milk FA profiles in dairy ruminant, peculiarly for the saturated FA (10 to 18 carbon), oleic (9c-18:1) and vaccenic (11t-18:1) acids, and other *trans* isomers of 18:1 and 18:2. Compared to diets with large amount of concentrate and/or maize silage, grass-based diets (grazed or correctly preserved) show a decrease in saturated FA, and increases in 9c- and 11t-18:1, and to a lesser extent, 18:3 n-3 and 9c11t-CLA. Dietary supplements of plant oil or oilseeds have similar effects, sometimes more marked, but they increase simultaneously other *trans* isomers of 18:1 and 18:2, especially when added to maize silage and/or high-concentrate diets. Oils or seeds rich in 18:2 n-6 (sunflower, soybean,...) increase particularly 10t-18:1, and 10t12c-, 8t10c-, 7t9c- and 9t11c-CLA, whereas those rich in 18:3 n-3 (linseed) enhance notably 13t/14t-18:1, and 9ct12-, 9ct13- and 11tc15-18:2. When comparing goats' with cows' results, it seems that they are less sensitive to the 11t- to 10t- shift, thus explaining the good stability and the large magnitude of the responses of their milk 11t-18:1 and 9c11t-CLA content to lipid supplementation of high-concentrate diets. Furthermore, goats seem to respond better than cows to a 18:3 n-3 supplementation. Dairy ewes, mostly fed mediterranean forages in published studies, yield milk with higher 18:3 n-3, 11t-18:1 and 9c11t-CLA than that of cows grazing pasture in temperate area.

Key words: dairy cow, goat, ewe, lipid supplementation, milk fatty acids.

Introducción

La importancia del consumo de materia grasa láctea (en Francia en 2004, fue de alrededor de 47 g/día/persona, de los cuales 45 g fueron de origen bovino, y el resto se repartió entre los productos ovinos y caprinos), y su alto contenido en ácidos grasos (AG) saturados (AGS), hacen que la misma se constituya en el principal vector del consumo de estos AG siendo algunos de ellos aterogénicos en la medida en que son consumidos en exceso. Otros AG, específicos de los productos de los rumiantes, podrían sin embargo tener efectos, favorables o no (ciertos AG *trans*, conjugados, ramificados, ...), a confirmar en el hombre (AFSSA, 2005). Resulta

entonces importante conocer los factores de variación de la composición en AG de las materias grasas lácteas, y su eventual plasticidad. Esta última depende de factores intrínsecos (genotipo, estado de lactancia, ...) o extrínsecos (condiciones ambientales). Los efectos asociados a la raza o al genotipo son significativos pero de amplitud limitada, y son observados a mediano plazo o en interacción con otras condiciones inherentes a los otros criterios a seleccionar. El efecto del estado de lactancia es importante, principalmente asociado a la movilización de reservas lipídicas en inicio de lactancia, pero dura sólo algunas semanas por año y por vaca, principalmente en las más altas productoras. Este efecto es

por lo tanto ampliamente atenuado en las mezclas de la leche (efecto rodeo, vuelta de colecta o colecta colectiva, lote o partida de fabricación), sobre todo en la medida que los partos no son agrupados dentro de la zona de colecta o de producción de leche.

Las fluctuaciones estacionales resultan cuantitativamente importantes, y se deben esencialmente a modificaciones de la alimentación, que constituyen el objetivo de la presente revisión. Los efectos de la tecnología de elaboración de las mantecas o de los quesos sobre la composición en AG de los productos lácteos son mínimas en relación a los relacionados a la alimentación de los rumiantes y por lo tanto no son presentados en la presente revisión.

1. Repaso de los fenómenos digestivos y metabólicos

1.1. Digestión

Los ácidos grasos más abundantes en la ración de los rumiantes son los 9c-18:1, 18:2 n-6 (o 9c12c-18:2, ver anexo nomenclatura) y 18:3 n-3 (o 9c12c15c-18:3).

La digestión ruminal de los galactolípidos, fosfolípidos y triacilglicéridos del alimento comienza por una lipólisis. Los jabones (sales) cálcicos de AG pueden sufrir una disociación parcial. Los AG liberados pasan luego por un proceso de isomerización y de una biohidrogenación, siendo las principales vías las presentadas en la Figura 1 para los AG poliinsaturados (AGPI).

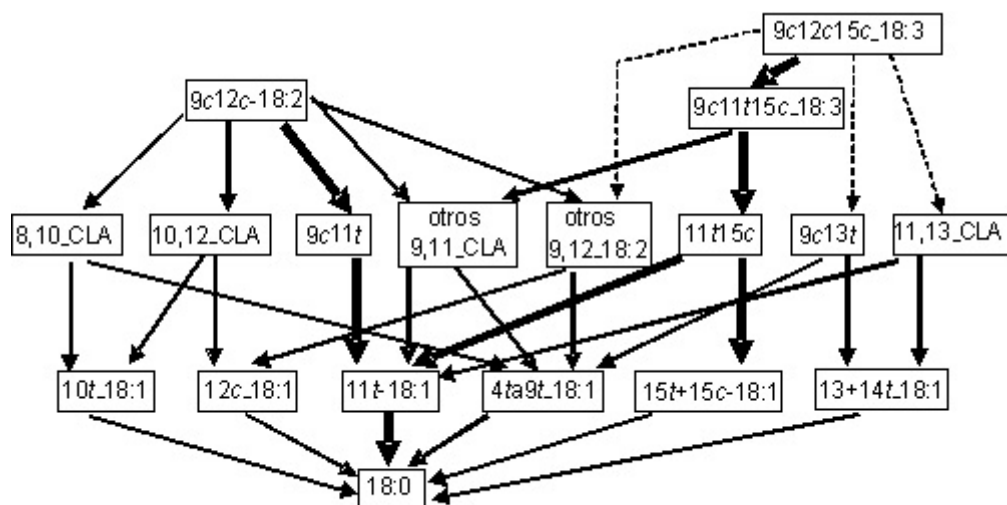


Figura 1: Principales vías conocidas o probables de la biohidrogenación ruminal de los ácidos linoleico y linolénico (en negrita, vías principales; en líneas llenas, vías probables sugeridas por los estudios *in vitro*; en líneas punteadas, vías probables con los intermediarios a precisar; cuando las configuraciones cis o trans no están indicadas, todas las combinaciones pueden existir) (adaptado de Chilliard et al, 2007)

Figure 1: Main known and putative ruminal biohydrogenation pathways for dietary 18:2 n-6 and 18:3 n-3 (bold lines for major pathways; full lines for pathways likely suggested by *in vitro* studies; dotted lines for putative pathways with intermediates remaining to be precised; when cis or trans configurations are not indicated, all combinations could exist) (adapted from Chilliard et al, 2007).

La biohidrogenación del 18:2 n-6 y del 18:3 n-3 comienza por una isomerización seguida de reducciones que conducen a la formación de 18:0. La última reducción es más lenta que las precedentes, y por ello el flujo digestivo que sale del rumen contiene principalmente 18:1 *trans* en lugar de 18:2 y 18:3 *trans*. Las dos vías principales de biohidrogenación de los AGPI son las vías 10*t* y 11*t*, siendo esta última dominante en la mayoría de las raciones utilizadas en Francia. Pero otras vías conducen a la formación de otros isómeros de posición de 18:1 y de 18:2 *trans*, tanto con raciones ricas en 18:2 n-6, como con raciones ricas en 18:3 n-3 que dan entonces lugar a la formación de dobles ligaduras 13*t* o 14*t*. La hidrogenación ruminal del 9*c*-18:1 es sobre todo directa, y conduce a la formación de 18:0, pero una isomerización en 18:1 *trans* que vaya del 6*t*- al 16*t*-18:1, principalmente 9*t*, es posible.

La hidrogenación implica la desaparición de más del 70% del 9*c*-18:1, de más del 80% del 18:2 n-6 y de más del 90% de los 18:3 n-3, 20:5 n-3 y 22:6 n-3, independientemente de la cantidad de AG insaturados ingeridos. La importancia de la hidrogenación del 18:2 n-6 resulta más débil con raciones ricas en concentrado, debido a un pH ruminal más bajo o a un contenido más alto de almidón. Los tratamientos térmicos aplicados a granos oleaginosos y la presentación de los AG bajo la forma de jabones cálcicos tienen efectos débiles en la mayor parte de los casos sobre la importancia de la biohidrogenación. El encapsulado de los lípidos por las proteínas tratadas con formol aporta una protección adecuada, pero no tiene actualmente una aplicación comercial para los AG de granos oleaginosos en Francia. Recientemente, las emulsiones de proteínas de lactosuero han permitido aumentar la transferencia de los AGPI del aceite de soja hacia la leche de vaca.

En la medida en que la vía 10*t* esté probablemente en parte orientada por una o varias bacterias amilolíticas, las raciones ricas en almidón y/o que impliquen un descenso del pH ruminal conducen a una fuerte producción de

isómeros 10*t*. Por el contrario, las raciones pobres en concentrados conducen a una fuerte proporción de isómeros 11*t*. Un aporte importante de 18:2 n-6 o de 18:3 n-3 limita la reducción de 18:1 *trans* en 18:0, y por lo tanto produce un aumento en la proporción de 18:1 *trans* en el contenido ruminal.

El balance cuantitativo de la digestión ruminal es positivo con raciones pobres en lípidos, a causa de una síntesis de AG, entre otras con un número impar de átomos de carbono, lineares o ramificados. El balance es negativo con las raciones ricas en lípidos, con un punto de equilibrio que resulta en promedio observado cuando las raciones experimentales contenían 5% de AG en relación a la materia seca ingerida. La digestibilidad intestinal de los AG está en promedio comprendida entre el 70 y el 75%, pero puede variar entre un 50 a más de un 90%. Ella no disminuye en la medida que el flujo de AG que llega al intestino aumenta, hasta un valor de 1,5 kg por día, al menos en la vaca lechera.

1.2. Metabolismo

En el rumiante, la lipogénesis *de novo* tiene lugar esencialmente, en los tejidos mamario y adiposo. La cantidad de AG liberados desde el tejido adiposo en una vaca en inicio de lactancia puede superar los 2 kg por día, y aumenta con el potencial de producción y el estado de engrasamiento de las vacas. Estos AG son ricos en 18:0 y 9*c*-18:1.

La glándula mamaria captura AG de la sangre arterial, principalmente los AG de 16 y 18 carbonos, no esterificados y los triacilglicéridos. Ella sintetiza además los AG que tengan de 4 a 16 carbonos, principalmente a partir del acetato y del β-hidroxibutirato proveniente de la fermentación ruminal de glúcidos. En la medida que la captura mamaria de AG de 16 y 18 carbonos aumenta, a causa de una suplementación lipídica o de una movilización del tejido adiposo, se observa una disminución de la síntesis de AG expresada en g/kg de leche. La síntesis mamaria de los AG resulta muy fuertemente inhibida por el 10*t*/12*c*-18:2, en interacción probable con otros AG *trans*. De esa forma, la distribución a los animales de

mezclas de los ácidos linoleicos conjugados (CLA) de síntesis, conteniendo el 10t12c-18:2 parcialmente protegido de la digestión ruminal, permite disminuir la concentración de grasa butirosa de la leche.

La glándula mamaria es capaz de desaturar alrededor de un 50% del 18:0 capturado de la sangre a 9c-18:1, y de un 10 a 40% del 11t-18:1 de origen ruminal capturado a nivel sanguíneo a 9c11t-CLA. Esta desaturación mamaria representa la principal fuente de CLA de la leche (80 a 95%) valor que está muy por delante de la captura arterial de CLA de origen ruminal, de donde surge una relación muy fuerte entre los contenidos en 11t-18:1 y en 9c11t-CLA en la leche.

En conclusion, la biohidrogenación ruminal satura parcialmente o totalmente a la mayoría de los AG insaturados de la ración, y conduce a la formación de los intermediarios *trans*, principalmente el 11t, 10t y en una menor medida el 13t, el equilibrio entre estas tres familias de AG dependerá en parte del balance entre fibras-almidón-lípidos de la ración. La glándula mamaria desatura una parte de los AG (principalmente saturados) que ella misma sintetiza o que captura en la sangre, compensando así en parte los efectos de la biohidrogenación ruminal, pero sin permitir la reconstitución del 18:2 n-6 o del 18:3 n-3.

2. Vaca Lechera

Los lípidos de la leche de vaca están formados por triacilglicéridos en un 96% a 98%. La suma de los AGS pares (entre 4 y 22C), de los AGS impares y ramificados, de los AG monoinsaturados (AGMI) y de los AGPI representa respectivamente, en promedio, alrededor de 69%, 5%, 26% y 4% de los AG totales (% de los AGT, o g/100 g de AGT) de la leche (en ausencia de suplementación lipídica). Los isómeros *trans* 18:1 y 18:2 representan menos del 4% de los AGT. Los AGS pares de cadena corta (4C a 8C) y los de cadena media (10C a 14C) representan aproximadamente un 7 y un 20% de los AGT. Las proporciones de ácido palmítico y esteárico

son, respectivamente, de 32 y de 10% de los AGT, mientras que aquellas correspondientes a los AGS pares de cadena larga (³ 20 C) son muy débiles (menos de 0,5% de los AGT).

El 9c-18:1 representa alrededor de un 73% de los AGMI totales. Estos AGMI contienen a su vez otros isómeros *cis* del 18:1, del 9c-16:1 y del 9c-14:1 pudiendo representar cada uno hasta un 1,5% de los AGT. Los AGMI *trans* están principalmente representados por los AG de 18 C que constituyen alrededor del 2,5% de los AGT. Detrás del isómero 11t- que resulta mayoritario (alrededor de 1,4% de los AGT), los isómeros 13t+14t- y 10t-pueden representar cada uno hasta un 0,5% de los AGT.

Los 18:2 no conjugados están esencialmente representados por el 18:2 n-6 cuya concentración promedio es de 2,2% de los AGT. Los isómeros *trans* no conjugados están también presentes: principalmente los 9t12t-, 9c13t-, 11t15c- (representando cada uno de ellos de 0,1 a 0,2% de los AGT). Entre los 18:2 conjugados (CLA), el isómero cuantitativamente más importante es el 9c11t-CLA (0,5% de los AGT y un 85% en promedio del CLA total). El segundo isómero identificado es el 7t9c que puede representar de 5 a 10% del CLA total. Los contenidos del 18:3 n-3 son bajos (0,5% de los AGT).

La alimentación es un medio natural y económico que permite a los productores modular en forma rápida e importante la composición de los AG de la leche, principalmente a través del aporte de suplementos lipídicos en la ración. Sin embargo, la participación de los suplementos lipídicos en la alimentación de las vacas lecheras permanece baja en los sistemas lecheros de producción y son las variaciones en la naturaleza y las proporciones respectivas de los forrajes utilizados (y principalmente del forraje pastoreado) y de los alimentos concentrados ricos en glúcidos y en proteínas los que juegan un rol determinante en las variaciones de la composición en AG de las leches de grandes mezclas (tambos diversos).

2.1. Efectos de la alimentación en pastoreo

En los países de clima templado el pasto fresco contiene de 1 a 3% de ácidos grasos, con un 50 a 75% de 18:3 n-3, con concentraciones máximas observadas en primavera y en otoño (primer crecimiento y rebrotes).

Los contenidos en AG y en 18:3 del pasto varían rápidamente al inicio de la estación de crecimiento, lo que explica que la leche sea más rica en 18:0, 9c-18:1, 11t-18:1, 9c11t-CLA y 18:3 n-3, a las tres semanas más que a las seis semanas de entrada de las vacas al pastoreo. El ingreso al pastoreo o inversamente el pasaje de una alimentación pastoril a una invernal (con poco pasto o sin él) modifican muy rápidamente (en 4-6 días) la composición en AG de la leche.

La sustitución isoenergética de una ración con silaje de maíz/torta de soja (82/18) por una ración forraje/cereales (82/18) aumenta el 18:0, el 9c-18:1, el 11t-18:1, el 9c11t-CLA y el 18:3 n-3 de la leche de 3, 7, 3, 1,2 y 0,6% de los AGT (respectivamente) y disminuye los AGS pares de 4 a 14C y sobre todo el 16:0 (13% de los AGT). Sin embargo, concentraciones de 18:3 n-3 que no superan el 1% son frecuentemente observadas en pastoreo, probablemente a causa de que el estado vegetativo del pasto es avanzado. Además, el contenido en 11t15c-18:2 (intermediario en la biohidrogenación ruminal del 18:3 n-3) es mayor en pastoreo (> 0,4% de los AGT) que con los regímenes de invierno (<0,1%).

El incremento de la participación del pasto en la ración permite generalmente obtener respuestas lineales en el aumento del contenido en 18:3 n-3, 11t-18:1 y 9c11t-CLA de la leche, y disminuciones en la concentración de los AGS de 10 a 16 C. Por lo tanto, en la medida que el pastoreo pasa de 30% a 100% de la ración, las concentraciones en 18:3 n-3 y en 9c11t-CLA de la leche resultan duplicadas o triplicadas.

Una serie de muestreos en la región francesa de Haute-Loire demostró que el pastoreo de praderas permanentes de montaña, comparado a un sistema de llanura a base de pastoreo (2/3) y silaje de maíz (1/3), disminuye en la leche el 16:0 (- 4,6% de los AGT) y

aumenta el contenido de monoinsaturados de 16C y de 18C (+ 2% de los AGT), el 9c11t-CLA (+ 0,8% de los AGT) y el 18:3 n-3 (+ 0,3% de los AGT). Gradientes de riqueza en estos mismos AG son observados en los Alpes y en el Macizo Central Francés entre lo que se denomina "alpage" (pastoreo de praderas naturales de montaña) > pradera permanente de primer pastoreo > pradera permanente de segundo pastoreo > pradera temporaria > silaje de pasturas > henos > silaje de maíz.

Los aumentos más marcados del 18:3 n-3 y del 9c-18:1 en las leches de "alpage" (pastoreo de praderas naturales de montaña) podrían deberse a aspectos particulares de la flora alpina (que reducen la biohidrogenación ruminal), y/o a una utilización mayor de los lípidos corporales, que resultan ricos en 9c-18:1. Además, el pastoreo de especies vegetales ricas en taninos, comparado al pastoreo de raigrás, aumenta el contenido de 12:0, 14:0, 16:0, 18:2 n-6 y de 18:3 n-3 disminuyendo el de 9c-18:1, 11t-18:1 y 9c11t-CLA, a causa de una reducción de la biohidrogenación ruminal inducida por los taninos.

2.2. Efectos de la naturaleza de los forrajes conservados, y del porcentaje de concentrado

El secado del pasto bajo la forma de heno va acompañado de una disminución sensible de su contenido en AG y sobre todo del 18:3 n-3, como consecuencia por un lado de la oxidación de este AG y por otra parte de la pérdida relativa de hojas, que resultan más ricas en AG que los tallos. En consecuencia, el contenido del heno en 18:3 n-3 puede resultar inferior en un orden de 50-75% respecto al silaje de pastura.

Sin embargo, la leche de vacas alimentadas con henos puede ser más rica en 18:2 n-6 et 18:3 n-3 respecto a los animales alimentados con silaje de pastura. Este hecho puede ser explicado por una hidrogenación ruminal más débil con el heno que con el silaje. Por otra parte, los henos provenientes de una pastura de calidad y secados bajo techo (en graneros) pueden tener altos contenidos en AG y en 18:3 n-3 permitiendo la producción de

una leche más rica en 18:3 n-3 que el pastoreo directo, y más rica en 11t-18:1 y en 9c11t-CLA que el obtenido con silaje de pastura. La conservación vía rollos envueltos en plásticos y el ensilado dan resultados comparables.

El ensilado de trébol rojo o de trébol blanco, en comparación al silaje de gramíneas, permite aumentar el contenido en la leche en 18:2 n-6 y en 18:3 n-3 de 0,4 y de 0,6% de los AGT, respectivamente. Las leches producidas en sistemas de agricultura biológica presentan contenidos sensiblemente superiores en 18:3 n-3 y en 9c11t-CLA. El efecto sobre el 9c11t-CLA no ha sido sin embargo observado en los trabajos a gran escala conducidos en Europa del Norte. La importante utilización de leguminosas en los sistemas de producción biológicos bien podría explicar el efecto observado sobre el 18:3 n-3.

El silaje de maíz es pobre en 18:3 n-3 y rico en 18:2 n-6 y en 9c-18:1. Este hecho explica que su utilización aumente fuertemente la relación n-6/n-3 de la leche en relación al silaje de pasturas, sin modificar el 9c11t-CLA o aumentándolo muy ligeramente.

El efecto del aumento del % de concentrado en la ración no es lineal. Podemos efectivamente distinguir en la bibliografía aquéllos ensayos que incluyen un lote testigo sea rico (86%, RF) o pobre (56%, PF) en forrajes, respectivamente. En el grupo RF, el aumento en el % de concentrado (+33% de la MSI) aumenta fuertemente la producción de leche y de materia grasa y no disminuye sino ligeramente la concentración grasa de la misma, aumentando los porcentajes de los AG de 8 a 14C, de 18:2 n-6, y disminuyendo los de 18:1, 11t-18:1 y 8:3 n-3. En el grupo PF, un aumento similar del % de concentrado (+37%) no aumenta la producción de leche y disminuye fuertemente la concentración y producción de materia grasa, disminuyendo los porcentajes de los AGS de cadena par y sobre todo del 18:0, y aumentando aquéllos de 18:1 *trans*, y de 18:2 n-6.

Se puede entonces concluir que el aumento en el % de concentrado presenta efectos muy diferentes, y a veces opuestos, sobre el perfil de los AG de la leche según sea producida a base de raciones ricas o pobres en forrajes. Los únicos puntos comunes entre los dos grupos son el aumento de los 18:2 n-6 y del 10t-18:1 (1,7 y 1,1% de AGT respectivamente, acumulando las variaciones de los grupos RF y PF). Existen también importantes interacciones de tipo forrajes-concentrados-amiláceos-lípidos sobre los AG de la leche (ver más abajo).

2.3. Efectos del aporte de materia grasa vegetal

La suplementación lipídica de las raciones ha sido utilizada por decenas de años en investigación, y en una cierta medida en los sistemas de producción, para modificar las respuestas productivas y el metabolismo energético de las vacas lecheras y/o la composición en AG de la leche. Una parte de esos efectos zootécnicos tiene como objetivo, en el contexto del pago actual de la leche, el de modificar los resultados económicos del productor. Los intentos para modificar el porcentaje de una categoría de AG van asociadas a modificaciones simultáneas de otros AG, que pueden ser considerados como favorables o desfavorables para la salud humana. Por ejemplo, los regímenes de alimentación que disminuyen el contenido en AG saturados de la leche e incrementan el de los AGPI o del CLA inducen generalmente un aumento de los 18:1 *trans*.

Los efectos de los suplementos lipídicos son evaluados compilando los resultados extraídos de una base de datos bibliográficos (270 lotes de vacas suplementadas y 140 lotes de vacas no suplementadas, ver Cuadro 1), y también utilizando los resultados de trabajos específicos (bibliografía y Cuadro 2).

Cuadro 1: Respuestas de los principales ácidos grasos de la leche de vaca (Y, en % AG totales) en función de una variación específica en el contenido en la ración ingerida (g/kg MSI) en 18:2 n-6 o en 18:3 n-3 (F. Glasser, A. Ferlay, Y. Chilliard, enviado para publicación).

Table 1: Responses of the main fatty acids in cow milk (Y, % total FA). to a specific increase in the concentration (g/kg DMI) of 18:2 n-6 or 18:3 n-3 in dietary intake (F. Glasser, A. Ferlay, Y. Chilliard, submitted for publication).

AG de la leche (Y)	Respuesta al 18:2 (X en g/kg MSI) ^a	Respuesta al 18:3 (X en g/kg MSI) ^b
4:0-14:0	32,6(±0,8) -0,37(±0,04) X (N=37, R ² =0,94)	29,3(±0,7) -0,38(±0,04) X (N=21, R ² =0,96)
16:0	33,0(±0,7) -0,41(±0,03) X (N=37, R ² =0,94)	33,1(±0,7) -0,41(±0,04) X (N=21, R ² =0,95)
18:0	8,0(±0,51) + 0,21(±0,02) X (N=37, R ² =0,90)	9,6(±0,9) + 0,19(±0,05) X (N=21, R ² =0,80)
18:1 <i>cis</i>	18,7(±2,4) + 0,29(±0,10) X (N=19, R ² =0,65)	18,4(±1,2) + 0,32(±0,06) X (N=15, R ² =0,87)
18:1 <i>trans</i>	0,99(±1,38) + 0,18(±0,06) X (N=21, R ² =0,65)	0,8(±1,0) + 0,20(±0,05) X (N=19, R ² =0,73)
18:2 total	2,0 (±1,5) + 0,25(±0,05) X: protegidos + 0,06 (±0,05, NS) X: no protegidos (N= 37, R ² =0,93)	2,3 (±1,0) + 0,12(±0,05) X (N= 21, R ² =0,71)
9c11t-CLA	0,89 (±0,12) + 0,0084(±0,0059, NS) X (N= 6, R ² =0,96)	0,68 (±0,23) + 0,022(±0,014, NS) X (N= 15, R ² =0,51)
18:3	0,58 (±0,13) + 0,0088(±0,0072, NS) X (N= 31, R ² =0,90)	0,52 (±0,13) + 0,021(±0,007) X (N= 21, R ² =0,54)

^a comparaciones de lotes de vacas en las cuales la ingestión de 18:2 n-6 varió fuertemente, mientras que la de 18:3 n-3 varió poco. ^b comparaciones de lotes de vacas en las cuales la ingestión de 18:3 n-3 varió fuertemente, mientras que la de 18:2 n-6 varió poco.

2.3.1. Ácidos grasos saturados y ácido oleico de la leche

En la medida que la disponibilidad en AG de 18 átomos de carbono aumenta como consecuencia de un aporte alimentario incrementado, se observa una disminución de la secreción y sobre todo de la concentración en AG de cadena media (de 8:0 a 14:0 o 16:0).

El potencial de disminución de los AG de 10:0 a 16:0 es importante. Por ejemplo, estos 4 AG pasan de 56 a 29% de los AGT luego de de adicionar un 5% de aceite de lino a una ración a base de heno. Entre los 8 tipos de aportes de aceite de oleaginosas estudiados en la base de datos, los más débiles valores de 6:0 a 16:0 han sido observados con los aceites de girasol y, sobre todo, de lino. En forma inversa, utilizando suplementos lipídicos ricos en ciertos AG de cadena media (como

los jabones cálcicos de aceite de palma ricos en 16:0), las concentraciones en AG correspondientes aumentan en la leche.

La secreción de 18:0 en la leche puede ser aumentada o bien por un aporte de 18:0 contenido en el alimento, o bien por el aporte de AG insaturados de 18 átomos de carbono como consecuencia de su hidrogenación total o parcial a 18:0 en el rumen. Lo mismo puede decirse para el 9c-18:1, sea de origen alimentario (alrededor de un 20%), o bien proveniente de la síntesis en la glándula mamaria (alrededor de un 80%) por la desaturación de 18:0.

El aporte de aceites vegetales no protegidos, ricos en ácido oleico, linoleico o linolénico, o de granos oleaginosos, incrementa fuertemente las proporciones de 18:0 y de 9c-18:1 de la leche. Así, el aporte de lípidos de girasol, de colza o de lino (1,5 a 3% de la

ración, bajo la forma de aceite o de granos) permite multiplicar, de manera dosis-dependiente, por 1,18 a 1,35 el contenido de 9c-18:1 de la leche (ver por ejemplo el Cuadro 2). Sin embargo, el aporte de aceites vegetales no protegidos trae aparejado además un aumento de la producción de 18:1 *trans* en el rumen y en la leche, en particular con los aceites ricos en AGPI (ver más adelante).

Las respuestas de los AG saturados y del 18:1 *cis* ante el enriquecimiento de las raciones sea en 18:2 n-6 o en 18:3 n-3 han sido estimadas en el Cuadro 1. Puede observarse que las pendientes de las rectas de regresión (aumento del porcentaje del AG de la leche en la medida que aumenta el AGPI proveniente del alimento en 1 g/kg de MSI) son muy similares para los dos tipos de aporte de AGPI, ya

se trate de los 4:0-14:0 (- 0,37 a 0,38), el 16:0 (- 0,41), el 18:0 (+ 0,19 a 0,21) o el *cis*-18:1 (+ 0,29 a 0,32).

2.3.2. Ácidos grasos poliinsaturados de la leche

En raciones no suplementadas con lípidos, la proporción de 18:2 n-6 en los AG de la leche está generalmente comprendida entre 2 y 3%. En la medida que las raciones son enriquecidas en granos o en aceites ricos en 18:2 n-6 como la soja o el girasol, ese porcentaje aumenta generalmente de 0,5 a 1,5%. Sin embargo, respuestas más altas fueron observadas utilizando granos de soja extrusados (+ 1,9% de los AGT), micronizados (+ 2,4% de los AGT) o tostados (+ 3,0% de los AGT).

Cuadro 2: Efecto de la naturaleza del forraje y del suplemento lipídico (aceite de girasol, AGi, o de lino, AL, en % de la MS ingerida) sobre la producción de leche, el tenor graso (TG) y la composición en ácidos grasos (% AG totales) de la leche de vaca (tomado de Chilliard et al, 2007)¹

Table 2: Combined effects of forage source and lipid supplement (sunflower oil, AGi, or linseed oil, AL, % DMI) on cow milk yield, milk fat content and milk fatty acid composition (% total FA) (from Chilliard et al, 2007).

Forraje	Aceite ²	Dosis	Leche (kg/l)	TG (g/kg)	9c-18:1	18:2n-6	18:3n-3	9c11t-CLA	18 :3/18 :2 ³
Silaje de maíz ⁴	-	-	27,9	38,9	16,0	1,7	0,3	0,6	0,17
	AGi	1,5	29,2	35,2	18,2	2,1	0,3	1,7	0,13
		3,0	30,2	31,9	20,4	2,2	0,3	2,5	0,11
	AL	1,5	30,2	36,9	17,5	1,7	0,5	1,4	0,29
		3,0	29,7	33,7	18,9	1,6	0,6	2,1	0,38
Silaje de pastura ⁵	-	-	25,6	37,2	17,4	1,6	0,7	0,7	0,44
	AGi	1,5	25,9	36,5	21,4	1,8	0,7	1,1	0,37
		3,0	27,7	34,6	23,4	2,0	0,6	1,9	0,31
	AL	1,5	27,1	36,6	21,0	1,6	0,9	1,0	0,55
		3,0	26,7	35,8	22,4	1,5	0,8	1,7	0,51

¹ 20 vacas en dos cuadratos latinos 5x5 replicados; ² HT rico en 18:2 n-6, HL rico en 18:3 n-3; ³ relación 18:3 n-3/18:2 n-6; ⁴ 47% silaje de maíz, 13% heno de gramíneas, 40% concentrados; ⁵ 60% silaje de pastura, 5% heno de pastura, 35% concentrado.

Se dice muy a menudo que una manera de limitar la hidrogenación ruminal es la distribución de los lípidos bajo la forma de granos en lugar de aceite, porque la cubierta de los granos limitaría la accesibilidad de las bacterias a los lípidos. De este modo, la suplementación con granos de soja crudos o tratados aumenta más fuertemente que el aceite el contenido de 18:2 n-6 de la leche. Los resultados son sin embargo contradictorios entre los diversos estudios y resulta necesario realizar investigaciones adicionales para confirmar estas tendencias ya que existen pocas comparaciones directas entre el aceite y el grano.

La respuesta del 18:2 "total" al aporte en la ración del 18:2 n-6 (Cuadro 1) es globalmente no significativa con los lípidos no protegidos, pero con una pendiente de 0,25 en la medida que los mismos son protegidos. No podemos sin embargo excluir que una parte de la respuesta del 18:2 "total" sea debida a los isómeros *trans*.

En Europa, excluyendo a los forrajes, solamente el lino permite realizar aportes importantes de 18:3 n-3, que representa más de 50% de los AG de este grano. A título de comparación, una vaca consumiendo 20 kg de MS por día puede ingerir hasta 400 g de 18:3 n-3 por día en pastoreos de primavera o de otoño, y la misma cantidad si ella recibe una ración de invierno (sin pasto) adicionada con de 3,7% de aceite de lino (o 12% de grano de lino).

Suplementando a las vacas con grano o con aceite de lino, el aumento en el contenido en 18:3 n-3 de la leche varía entre +0,3 y 0,9% de los AGT según los estudios, y los 21 trabajos analizados de la base de datos indican una respuesta promedio de +0,5% de AGT. Además la introducción de 1,5 o de 3% de aceite de lino en la ración no permite aumentar el 18:3 n-3 de la leche de forma proporcional a la cantidad ingerida por las vacas (Cuadro 2). El conjunto de resultados sugiere que el grano de lino, crudo o extrusado, no aumenta más que el aceite el contenido en 18:3 de la leche. La proporción de 18:3 n-3 esperada es más débil que las observadas en

las vacas pastoreando una pastura de buena calidad (ver más arriba).

La colza contiene también el 18:3 n-3 (alrededor de un 7% de los AGT), pero como para el 18:2 n-6, el aporte de grano o de aceite de colza no protegidos no permite aumentar significativamente el 18:3 n-3 de la leche. En cambio, el grano de soja, en el cual los lípidos contienen alrededor de un 8% de 18:3 n-3, permite aumentar el 18:3 n-3 de la leche (+ 0,3% de los AGT en la base de datos, y hasta 0,6-0,7% de los AGT cuando el mismo es tostado o micronizados).

La respuesta del 18:3 "total" al enriquecimiento de las raciones en 18:3 n-3 (Cuadro 1) es globalmente significativa pero muy débil (pendiente de 0,021).

2.3.3. Ácidos grasos *trans* y CLA de la leche

La composición de las leches en CLA y en 18:1 *trans* depende de dos factores principales 1) el aporte alimenticio de AGPI (18:2 n-6 o 18:3 n-3) para la formación de CLA y de 18:1 *trans* en el rumen, y 2) los regímenes de alimentación que modifican la actividad microbiana de hidrogenación ruminal de esos AG. Las combinaciones entre estos factores provocan grandes variaciones en el contenido de los AG, en CLA y en 18:1 *trans* (hasta un 4-5% de 9c11t-CLA y 10-12% de 11t-18:1). Existen interacciones fuertes entre tipos de forraje, concentrados a base de almidón y suplementos lipídicos (ver más abajo).

Los aceites vegetales ricos en 18:2 n-6 (girasol, soja) o 18:3 n-3 (lino) aumentan fuertemente el contenido en CLA de la leche. Este efecto es lineal ante el agregado de cantidades crecientes de aceite a la ración (hasta 3-4% de la MS, al menos), con una respuesta de alrededor de 0,4% de los AGT por punto de aumento de la concentración de lípidos de la ración para la soja, el girasol o el lino (ver por ejemplo el Cuadro 2). Este efecto se explica por un fuerte aumento en la producción de 11t-18:1 en el rumen, el cual resulta luego capturado por la glándula mamaria, y desaturado a 9c11t-CLA por la delta-9 desaturasa. En cambio, un aceite rico en 9c-18:1 (oliva, colza, ...) aumenta sólo débilmen-

te la secreción de 9c11t-CLA. Las respuestas de 18:1 *trans* y de 9c11t-CLA calculadas en el Cuadro 1 son poco significativas, como consecuencia del bajo número de datos disponibles y/o de la gran dispersión en los valores observados en los diferentes experimentos.

En general, los aceites vegetales incrementan más la concentración de CLA en la leche que los granos extrusados, y estos últimos presentan un efecto superior al de los granos crudos. En comparación a los aceites, los granos disminuyen menos la secreción lipídica por parte de la glándula mamaria y aumentan en mayor medida el contenido de 18:0 de la leche, siendo el aumento de 18:1 *trans* menos importante. Parece entonces que la hidrogenación sería más completa en la medida en que los lípidos son aportados en los granos, debido probablemente a que una liberación progresiva ejerce una perturbación menos importante sobre el ecosistema ruminal que un suministro de aceite, o como consecuencia de un mayor tiempo de retención en el rumen.

Hay pocos resultados sobre la influencia de la alimentación sobre los diferentes isómeros *trans* del 18:1 y del 18:2 (conjugados o no) de la leche. La concentración en 9c11t-CLA es la que presenta en general mayor variación, como consecuencia de la importancia de su síntesis mamaria por la delta-9 desaturasa. Sin embargo, un nivel alto de 9c-18:1 de origen alimentario aumenta principalmente a los 6/7/8t-18:1 y al 7t9c-CLA de la leche; la ingestión de 18:2 n-6 aumenta los 6/7/8t-, 9t-, 10t-, 12t-18:1 y 10t12t-, 9t11t-, 8t10t-, 7t9t-, 10t12c-, 9t11c-, 8t10c-, 7t9c-CLA; y el 18:3 n-3 aumenta los 15c-, 13/14t-, 15t-, 16t-18:1, 9c12t-, 9c13t-, 11t15c-18:2, y 9t11t-, 12t14t-, 11t13t-, 12t14ct-, 12t14c-, 11t13c-, 11c13t-CLA, así como también ciertos isómeros conjugados del 18:3.

Esos efectos sobre los diferentes isómeros *trans* resultan más marcados con los aceites que con los granos y se explican por una biohidrogenación ruminal parcial de los AG de origen alimentario, combinado con la delta-9 desaturación mamaria de los 7t-, 12t- y 13t-18:1 principalmente. Los respectivos

roles fisiológicos de estos diferentes isómeros y su eventual interés nutricional para el hombre no han sido aún o han sido poco estudiadas hasta la fecha.

2.4. Interacciones

Entre el aporte de lípidos y los demás constituyentes de la ración (Porcentaje de concentrado y naturaleza de los forrajes)

Además de los efectos del tipo de lípidos alimentarios, de su forma de presentación y de la cantidad distribuida, existen importantes interacciones con la naturaleza de los forrajes y con la relación forraje:concentrado de la ración.

La suplementación con aceite de lino interactúa significativamente con la relación forraje:concentrado de la ración, aumentando de manera más importante los contenidos en la leche de 10t-18:1, 11t15c-18:2 y 18:3 n-3 con una ración rica en concentrado, o aumentando más a los 18:0 y 9c-18:1 y disminuyendo en mayor medida el 16:0 con un régimen rico en heno. Los aceites de lino y de girasol aumentan de manera superior el 9c-18:1 de la leche en la medida que la ración es a base de silaje de pastura, en comparación al silaje de maíz mientras que se obtiene un resultado inverso para el 9c11t-CLA y para los AGPI (Cuadro 2). La biohidrogenación ruminal parece entonces ser menos completa con el silaje de maíz, a causa probablemente de un pH ruminal más bajo y/o de una modificación de la población microbiana, lo que va asociado a una caída neta en la concentración grasa de la leche con el régimen silaje de maíz suplementado con aceites (Cuadro 2).

Una constante en los ensayos informados más arriba es el aumento en la concentración de la leche en 10t-18:1 con los regímenes ricos o bien en concentrado o en silaje de maíz, suplementados con AGPI. En forma adicional, estos regímenes traen aparejados una fuerte disminución en el tenor graso de la leche y se acompañan también de un aumento débil pero significativo de su contenido en 10t12c-CLA, de acuerdo con las observaciones que demuestran que el 10t12c-CLA resulta incrementado en la medida que las biohi-

drogenaciones ruminales son modificadas por los regímenes pobres en fibras, y que el 10t12c-CLA sería un precursor del 10t-18:1 en el rumen a expensas del 11t-18:1. Además, se ha recientemente demostrado que la respuesta de los AG de la leche a una suplementación en AGPI varía a lo largo del tiempo, con una inestabilidad fuerte en la medida que las raciones son ricas en concentrado o en silaje de maíz, lo que refleja probablemente las adaptaciones de la flora responsable de la

biohidrogenación ruminal. Así, con los regímenes que contienen al menos un 25% de silaje de maíz y/o 50% de concentrados la respuesta del 11t-18:1 y del 9c11t-CLA de la leche alcanza un máximo luego de dos semanas de suplementación lipídica para luego decaer o desaparecer (Figura 2), mientras que se instala en forma progresiva un incremento, a veces considerable, del 10t-18:1, del 10t12c-CLA (Figura 2) y de otros isómeros *trans*.

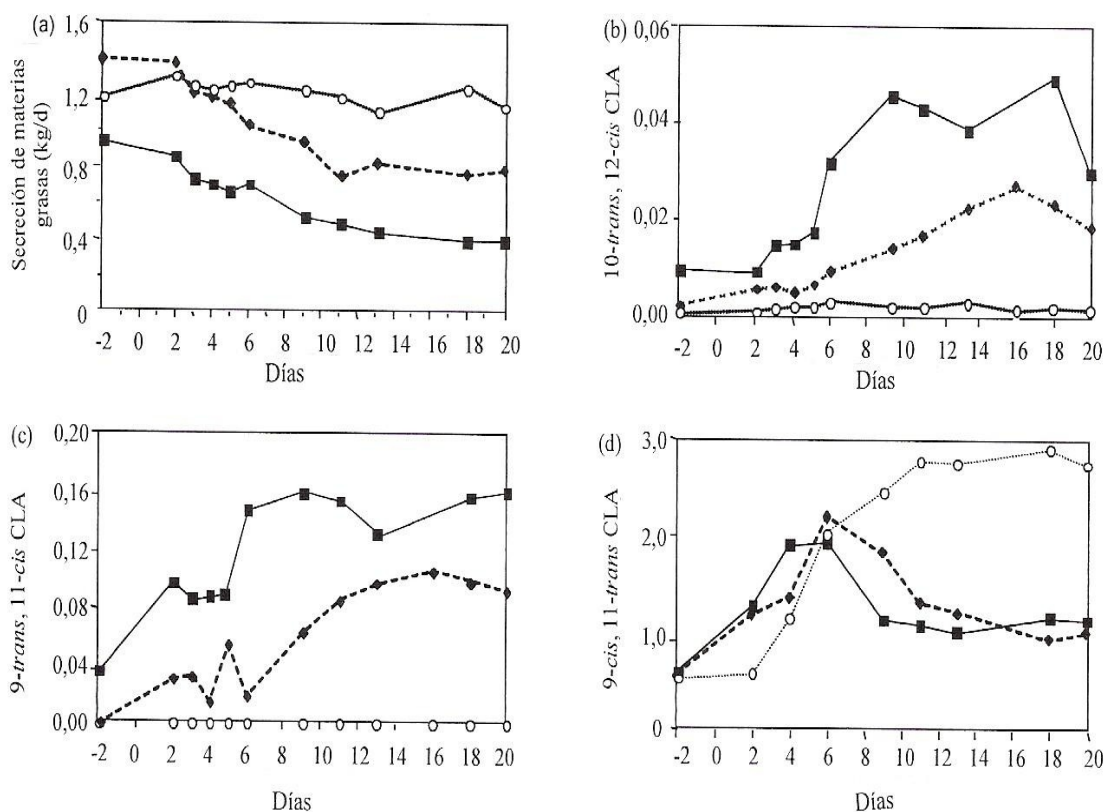


Figura 2: Efecto del regimen de base y de la suplementación en aceite vegetal sobre la secreción de materias grasas de la leche (a), y sobre su concentración (g/100g AG totales) en 10t12-CLA (b), 9t11c-CLA (c) y 9c11t-CLA (d) en la vaca que recibe un regimen "concentrado-girasol" (línea continua), "silaje de maíz-girasol" (línea discontinua) o "heno-lino" (línea punteada). (adaptado de Roy et al, 2006).
Figure 2: Effects of the basal diet and vegetable oil supplementation on milk fat secretion (a) and milk concentration (g/100g total FA) of 10t12-CLA (b), 9t11c-CLA (c) and 9c11t-CLA (d) in cows receiving concentrate-sunflower, (continuous line), corn silage-sunflower (dotted line) or hay-linseed (pointed line) (adapted from Roy et al, 2006).

En cambio, en la medida que los regímenes se basan en silaje de pasturas, de heno, o de silaje de leguminosas y de heno, la respuesta del 9c11t-CLA de la leche a los suplementos lipídicos resulta estable durante al menos 3 a 14 semanas, y el 10t-18:1 permanece inferior a 0,7-1,4% de los AGT. Luego del agregado de aceite de lino a una ración a base de heno, el 18:3 n-3 de la leche aumenta en forma ligera durante 6 días para luego regresar al nivel de base luego de 9 días. Este resultado sugiere que aún en ausencia de una desviación hacia el 10t-18:1, la microflora del rumen necesita algunos días para adaptarse al aporte de AGPI.

Se ha demostrado que el agregado de vitamina E a la ración permite evitar la desviación hacia el 10t-18:1 en vacas alimentadas con un régimen a base de silaje de maíz suplementado con lino; sin embargo, este efecto no se observa si la vitamina E es agregada luego del aumento del 10t-18:1.

3. Ovejas y cabras lecheras

Esta parte ha sido escrita a partir de la utilización (Schmidely et al.) de una base de datos publicadas sobre los efectos de las prácticas de alimentación sobre la composición en AG de la leche (120 lotes de cabras y 127 lotes de ovejas) y también de resultados obtenidos sobre 43 lotes de cabras (INRA-URH-Theix). Los valores promedio demuestran diferencias menores entre las dos especies, estando las diferencias principales asociadas a proporciones mayores de 10:0 a 14:0, y más débiles de los 18:1 *trans* (principalmente el isómero 11t), del 9c11t-CLA y del 18:3 n-3 en la cabra. Resulta sin embargo probable que estas diferencias surjan principalmente del hecho que, en la base de datos, hay más resultados de pastoreo para las ovejas que para las cabras.

3.1. Efectos de una alimentación en pastoreo

La mayor parte de los trabajos incluyen ovejas alimentadas sobre pasturas mediterráneas, con un valor nutricional variable en función al estado vegetativo del forraje incluyendo a veces especies vegetales ricas en taninos. Las raciones a base de pastura únicamente o asociadas al concentrado sin inclusión de lípidos conducen a la obtención de leches con proporciones de 18:3 n-3 que están comprendidas entre 1,0 a 1,6% de los AGT en la oveja y de 0,6 a 0,8% de AGT en la cabra. En la oveja, esta variación está ampliamente asociada al contenido en 18:3 n-3 de los forrajes pastoreados, a un ritmo de +0,3-2% de 18:3 n-3 ($\pm 0,17$) por g de 18:3 n-3/kg de materia seca ingerida (MSI). Estas raciones modifican sólo en forma ligera la proporción de 18:2 n-6 de la leche en las dos especies. En cambio, la proporción de 9c11t-CLA resulta fuertemente incrementada en las ovejas alimentadas con raciones a base de pasto solamente ($1,6 \pm 0,53\%$ de los AGT) o asociadas a concentrados no enriquecidos en lípidos ($1,3 \pm 0,6\%$ de los AGT) en comparación a las raciones sin pasto ($0,6 \pm 0,3\%$ de los AGT). En forma inversa, en la cabra, las proporciones de 9c11t-CLA de la leche resultan ligeramente menores en pastoreo ($0,5 \pm 0,1\%$ de los AGT) o con raciones secas ($0,5 \pm 0,9\%$ de los AGT), que con las raciones suplementadas con concentrados no enriquecidos en lípidos ($0,7 \pm 0,1\%$ de los AGT). Parece por lo tanto que en pastoreo, las ovejas producen cantidades de 9c11t-CLA más altas que las cabras, pero no existen comparaciones directas o indirectas utilizando pastoreos similares. Las concentraciones más altas de los 18:1 *trans* totales de la leche de oveja se observan en pastoreo ($5,7 \pm 1,1\%$ de los AGT) en comparación a raciones sin pasto ($3,4 \pm 2,5\%$ de los AGT), siendo el isómero mayoritario el 11t-18:1 (2 a 3,5% de los AGT). En la cabra

en pastoreo, los escasos resultados disponibles involucran solo al isómero 11t-18:1 (0,9 a 1,3% de los AGT). La proporción de los AGS de cadena corta o media en la leche de las 2 especies no resulta modificada por el pastoreo en comparación a raciones a base de forraje conservado complementadas con concentrados, o a raciones sin pasto, mientras que el 18:0 tiende a aumentar. Estos resultados difieren de los obtenidos en las vacas para las cuales el pastoreo reduce el contenido de 16:0 et 14:0 (ver más arriba).

3.2. Efectos de la naturaleza de los forrajes conservados

Los efectos de la naturaleza del forraje y/o de su tratamiento tecnológico son poco abundantes debido a que, la mayoría de las raciones distribuidas están basadas en henos, y el número de especies vegetales estudiadas es relativamente bajo. Para las raciones no enriquecidas en lípidos, los henos de leguminosas inducen tanto en la cabra como en la oveja proporciones de 18:3 n-3 en la leche ligeramente más altas que las obtenidas con los henos de gramíneas ($0,7 \pm 0,4$ vs $0,5 \pm 0,3\%$ de los AGT). Además, con los silajes de pasturas, las proporciones de 18:3 n-3 están comprendidas entre 0,2 a 0,4 (para el maíz) y 0,6% de los AGT (para el raigrás). En cambio, las raciones a base de silaje de maíz conducen a fuertes incrementos en el 9c11t-CLA en la oveja y la cabra (0,6 a 0,8% AGT) y a incrementos limitados del 10t12c-CLA en la oveja (0,04% de los AGT). Estas raciones inducen además proporciones importantes de 10t-18:1 (0,9 a 1,8% de los AGT) y de 11t-18:1 (2 a 4,9% de los AGT) en la leche de oveja. Sin suplementación lipídica, en la cabra los valores obtenidos para estos dos isómeros no superan sin embargo el 0,4 y el 1,2% de los AGT, respectivamente.

3.3. Efectos del porcentaje de concentrados

La proporción de los 18:1 *trans* totales no excede el 2% de los AGT para aportes de concentrado inferiores a 70% de la MSI; pero puede sin embargo alcanzar valores de 4% de los AGT ante un aporte transitorio de raciones

que contienen 100% de concentrado no enriquecido en lípidos. Así, un aumento de 10% de la MSI de concentrado induce un modesto aunque significativo incremento de 0,03% ($\pm 0,006$, $n=10$) de la proporción de los 18:1 *trans* totales. En estas condiciones, todos los isómeros *trans* del 18:1 resultan incrementados, y las variaciones más importantes involucran al 10t-18:1 que puede alcanzar hasta un 0,3% de los AGT. A causa de las débiles variaciones del 11t-18:1, la concentración en 9c11t-CLA de la leche no excede en general el 0,7% de los AGT, aún ante el aporte de altas cantidades de concentrado en estas dos especies. Los efectos del porcentaje de concentrado sobre el 10t12c-CLA parecen imperceptibles.

3.4. Efectos del aporte de materia grasa de origen vegetal e interacciones con los demás componentes de la ración

Aportes alimentarios importantes de 18:3 n-3 (esencialmente granos o aceite de lino), aumentan en promedio un +0,6% ($\pm 0,3\%$, con aceite de lino), +0,85% ($\pm 0,8$, con grano de lino sin procesar), +1,9% (con grano extrusado) y hasta un 2,8% de los AGT ($\pm 0,7\%$, con grano tratado con formol) la concentración en 18:3 n-3 de la leche de cabra o de oveja. Además, el aporte de granos de colza tal cual permite un aumento menos importante del contenido en 18:3 n-3 de la leche ($+0,4\% \pm 0,4$). Las otras formas de suplementación lipídica conducen a variaciones muy pequeñas (y también a reducciones) en el contenido de 18:3 n-3 de la leche. El conjunto de estos resultados permite demostrar que el aumento de 1 g de 18:3 n-3/kg MSI incrementa en promedio su proporción en la leche en el orden del 0,07% de los AGT ($\pm 0,006$, $n=33$). Los resultados disponibles sugieren que la cabra responde mejor que la vaca a los aportes de 18:3 n-3 alimentario.

Un aumento de la proporción de 18:2 n-6 en la leche de oveja o de cabra comprendido entre +0,5 y +1,8% de los AGT resulta generalmente observado utilizando granos o aceites ricos en 18:2n-6 (girasol, soja) a una tasa de 0,07% de los AGT ($\pm 0,02$) por g de 18:2 n-6/kg MSI.

En la cabra, un aumento del 9c11t-CLA de +1,5 a +1,7% de los AGT es obtenido con el aceite de girasol, de colza o de soja, y hasta +2,7% de los AGT ($\pm 0,7$) con el aceite de lino. La variabilidad del 9c11t-CLA de la leche se debe en parte al aporte de 18:2 n-6 en la ración así como también a la interacción entre el 18:2 n-6 alimentario y ciertas características de la ración (proporción y naturaleza del concentrado, tipo y modo de conservación de los forrajes). Así, en la cabra el aumento del 9c11t-CLA ante el aporte de aceite de lino o de girasol es más importante en la medida en que la proporción de concentrado es débil a moderada (hasta un 50% de la MSI) que cuando la misma es alta, y este AG puede superar el 5% de los AGT con un aporte del 6% de aceite de girasol, mientras que sucede lo inverso para la respuesta del 10t-18:1. Además, el aumento del 9c11t-CLA de la leche luego de la suplementación con el aceite de lino o de girasol es mayor con raciones a base de heno de alfalfa o de raigrás que con raciones a base de silaje de maíz, que favorecen al 10t-18:1. Finalmente, el aumento del 9c11t-CLA en respuesta a los aportes de aceite parece ser estable en el tiempo, lo que difiere en forma neta de los resultados obtenidos en la vaca (ver más arriba) y puede guardar relación con el hecho de que el 10t-18:1 de la leche de cabra aumente menos que en la vaca cuando ambas reciben regímenes similares. En la oveja, todos los isómeros *trans/cis* o *cis/trans* de los CLA identificados resultan aumentados (aunque en forma muy débil) ante el aporte de aceite de soja, en particular los isómeros 10t12c- y 11t13c-CLA en la medida que el nivel de concentrado aumenta en la ración. En comparación a los aceites, el aporte de diferentes granos afecta de una manera más débil al isómero 9c11t-CLA (+0,2 a + 0,7% de los AGT), probablemente a causa de una liberación más lenta de los AGPI que de esta manera resultan más fuertemente hidrogenados. Los efectos de los tratamientos físicos de los granos sobre los diferentes isómeros CLA son de poca importancia. La proporción de los 18:1 *trans* totales resulta fuertemente incrementada ante el

aporte de lípidos no protegidos bajo la forma de aceite de soja o de lino, lo que induce aumentos en el contenido de 11t-18:1 comprendidos entre 2 et 12% de los AGT en la leche, en la cabra y en la oveja. Además, la respuesta del 10t-18:1 de la leche al aporte de aceite resulta máxima (+2,5 a 3% de los AGT) en la medida que se combinan un aporte de aceite de (girasol oleico o linoleico, lino) con raciones a base de silaje de maíz o a base de heno que contengan más de 50% de concentrados. Por otra parte, y al igual que en la vaca, el 10t-18:1 aumenta en mayor medida con los concentrados de rápida degradación en el rumen en comparación a concentrados de degradación lenta. Como para los CLA, las variaciones de los diferentes isómeros *trans* del 18:1 presentan una amplitud más moderada ante un aporte de granos, en comparación a los aceites. En la mayor parte de los casos, es el isómero 11t-18:1 el que resulta aumentado.

La proporción de 9c-18:1 en la leche de ambas especies resulta fuertemente incrementada (de +5 a +11% de los AGT) ante el aporte de aceite de girasol oleico o linoleico, de sales (jabones) de Ca de aceite de oliva, de aceite o grano de colza o de grano de lupino. En forma inversa, los AG saturados de 10 a 16C disminuyen considerablemente (de -9 a -16% de los AGT) luego de la suplementación con aceites de soja, girasol o lino, o con granos de oleaginosas-proteaginosas.

Conclusión

La alimentación permite obtener una variación muy importante, y de diversas formas, en la composición de los AG de la leche. Los recientes progresos en el conocimiento sobre los mecanismos de síntesis de estos AG (digestión y metabolismo), y sobre sus efectos fisiológicos en el hombre, estimulan fuertemente la continuación de las investigaciones en curso y sus potenciales aplicaciones. Existen sin embargo pocos estudios que hayan determinado detalladamente la composición en AG de la leche comparando sistemá-

ticamente diferentes forrajes, concentrados, suplementos lipídicos, (aceites, granos, tratamientos tecnológicos) y sus interacciones. Por este motivo, resulta difícil establecer en forma precisa las leyes de respuesta de los diferentes AG de interés a la alimentación. De la misma manera, las comparaciones entre la vaca, la cabra, y la oveja resultan aún aproximativas en función al pequeño número de estudios disponibles sobre las tres especies recibiendo regímenes similares.

Las raciones a base de pastura, en pastoreo directo o forraje conservado en buenas condiciones, modifican el perfil de AG de la leche en un sentido potencialmente favorable, en comparación a raciones ricas en concentrado y/o en silaje de maíz. Las suplementaciones con oleaginosas (principalmente el lino) presentan efectos que son en parte similares al pasto, pero incrementan entre otros a los diferentes isómeros *trans* del 18:1 y del 18:2, particularmente en la medida que son agregados a raciones ricas en concentrados y/o en silaje de maíz. Los efectos potenciales de la mayoría de estos isómeros son todavía desconocidos en el animal y en el hombre. La cabra se distingue de la vaca por una respuesta fuerte y estable del 11t-18:1 y del 9c11t-CLA a la suplementación lipídica, mientras que el 10t-18:1 responde menos. La oveja, principalmente cuando está en pastoreos mediterráneos, produce una leche relativamente rica en 18:3 n-3, 11t-18:1 y 9c11t-CLA. Los efectos secundarios potenciales de las diferentes prácticas alimentarias sobre la calidad sanitaria (eventual transferencia de factores antinutricionales presentes en ciertos granos, variaciones en los nutrientes con efectos pro-oxidantes, etc), tecnológica y sensorial, y sobre la imagen de los productos lácteos exigen ser mejor evaluados.

Agradecimiento

Los Autores agradecen al Grupo de Trabajo de la AFSSA "Acides Gras des Produits Animaux" por sus estimulantes discusiones, y a la Sra. Pascale Béraud por su ayuda para la edición del manuscrito.

Bibliografía

- AFSSA. 2005. Risques et bénéfices pour la santé des AG *trans* apportés par les aliments. Recommendations. <http://www.afssa.fr>
- Bernard, L., Leroux, C. and Chilliard, Y. 2006. Characterisation and nutritional regulation of the main lipogenic genes in the ruminant lactating mammary gland. In: K. Sejrsen, T. Hvelplund and M.O. Nielsen (Eds), Ruminant physiology: Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Wageningen Academic Publishers (NL). p.295-326.
- Chilliard, Y. and Ferlay, A. 2004. Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reproduction Nutrition Development*. 45. 467-492.
- Chilliard, Y., Rouel, J., Ferlay, A., Bernard, L., Gaborit, P., Raynal-Ljutovac, K., Lauret, A. and Leroux, C. 2006. Optimising goat's milk and cheese fatty acid composition. Chapter 12 in "Improving the fat content of foods" (C. Williams and J. Buttriss, Eds), Woodhead Publishing Ltd. (Cambridge, UK). p.281-312.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J. and Doreau, M. 2007. Diet, rumen biohydrogenation, cow and goat milk fat nutritional quality: a review. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109 : 828-855.
- Dewhurst, R.J., Shingfield, K.J., Lee, M.R.F. and Scollan, N.D. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim Feed Sci Tech*. 131, 168-206.
- Doreau, M. and Ferlay, A. 1994. Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed Sci. Techn.* 45, 379-396.
- Enjalbert, F. 1995. Les lipides dans l'alimentation des ruminants. 2. Particularités de l'utilisation digestive. *Rev. Méd. Vét.* 146, 383-392.
- Griinari, J.M. and Bauman, D.E. 2006. Milk fat depression: concepts, mechanisms and management applications. In: Sejrsen K., Hvelplund T., Nielsen M.O. (Eds), Ruminant physiology: Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Wageningen Academic Publishers (NL) p. 389-417.
- Roy, A., Ferlay, A., Shingfield, K.J. and Chilliard, Y. 2006. Examination of the persistency of milk fatty acid composition responses to plant oils in cows fed different basal diets, with particular

- emphasis on trans-C18:1 fatty acids and isomers of conjugated linoleic acid. *Animal Science*. 82. 479-492.
- Sanz Sampelayo, M.R., Chilliard, Y., Schmidely, Ph. and Boza, J. 2006. Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*. 68. 42-63.
- Sauvant, D. and Bas, P. 2001. La digestion des lipids chez le ruminant. *INRA Prod. Anim.* 14, 303-310.
- Schmidely, Ph. and Sauvant, D. 2001. Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants: effets de l'apport de matières grasses ou d'aliment concentré. *INRA Prod Anim.* 14: 337-354

Anexo : nomenclatura de los ácidos grasos

Los AG son descritos indicando el número de átomos de carbono y sus dobles ligaduras, el número del 1^{er} carbono de cada doble ligadura,

contado a partir de la extremidad carboxílica (COOH)(numeración en « delta »), y finalmente la configuración espacial de la doble ligadura : *cis* -c- o *trans* -t- (en función a que las dos partes de la cadena carbonada estén situadas del mismo lado o de una parte y de la otra, respectivamente, de la doble ligadura). Por ejemplo, el 11t15c-18:2 tiene 18 carbonos y 2 dobles ligaduras en posición delta 11 (configuración *trans*) y delta 15 (configuración *cis*). Sin embargo, en el caso del ácido linoleico (18:2 n-6) y alfa-linolénico (18:3 n-3) podemos solamente indicar, para simplificar, el número de carbonos, el número de dobles ligaduras *cis* y la posición de la 1^a de ellas a partir de la extremidad metílica (CH₃)(hay identidad entre las denominaciones n-3 u omega 3, y n-6 u omega 6, respectivamente). Finalmente, un AG se denomina «conjugado» en la medida que las dobles ligaduras son distantes de dos carbonos (en lugar de tres habitualmente).