

Efecto de los aceites y semillas en dietas para rumiantes sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. Revisión

Effect of oils and seeds in ruminant diets on milk fat fatty acid profile. Review

Andrés L. Martínez Marín^a, Manuel Pérez Hernández^a, Luis M. Pérez Alba^a, Domingo Carrión Pardo^a, Gustavo Gómez Castro^a, Ana I. Garzón Sigler^a

RESUMEN

Este trabajo presenta una revisión del efecto de la adición de aceites y semillas ricos en ácidos grasos insaturados, a la dieta de las hembras rumiantes, sobre el contenido de ácidos grasos de la grasa láctea. Cuando se incluyen aceites y semillas en la dieta, los cambios del perfil de ácidos grasos de la leche ocurren en el mismo sentido en vacas, ovejas y cabras. Algunos de los efectos observados son comunes a todos los aceites y semillas con independencia del ácido graso mayoritario que aportan a la dieta (oleico, linoleico o α -linolénico): no suelen afectar negativamente al contenido de ácido butírico, reducen el de ácidos grasos saturados de cadena media, y aumentan el de ácidos grasos insaturados. Los aceites y semillas ricos en ácido linoleico aumentan el contenido de los ácidos vaccénico, ruménico y 18:1-trans10 y el valor de la relación entre los ácidos grasos n-6 y n-3 en la grasa láctea. La inclusión de aceite o semilla de lino en la dieta también aumenta el contenido de los ácidos vaccénico y ruménico en la grasa láctea, pero no afecta al contenido de 18:1-trans10 y reduce el valor de la relación entre los ácidos grasos n-6 y n-3. En conclusión, la inclusión de aceites y semillas en la dieta de las hembras rumiantes modifica extensamente el perfil de ácidos grasos de la grasa láctea. El efecto más favorable desde el punto de vista de la salud humana se consigue con la inclusión de aceite o semilla de lino.

PALABRAS CLAVE: Lípidos, Rumiantes, Leche, Grasa láctea, Ácidos grasos.

ABSTRACT

This paper reviews the effect of plant lipids added to dairy ruminant diets on milk fat fatty acid profile. Changes in milk fatty acid profile when oils and oilseeds are added to the diet are broadly similar in cows, ewes and goats. Some of the observed effects are common to all oils and oilseeds whatever the quantitatively main fatty acid (i.e. oleic or linoleic or α -linolenic acids) they supply to the diet: butyric acid content does not usually change, medium chain saturated fatty acid content is lowered and unsaturated fatty acid content increases. Oils and oilseeds rich in linoleic acid raise the content of vaccenic, rumenic and trans10-18:1 and increase the n-6 to n-3 ratio in milk fat. Adding linseed oil or linseeds to the diet also increases vaccenic and rumenic acid contents, but does not affect that of trans10-18:1 in milk fat and lower its n-6 to n-3 ratio. As a conclusion, including oils and oilseeds into dairy ruminant diets widely modifies milk fat fatty acid profile. Best results from human health point of view are obtained adding linseed oil or linseeds to the diet.

KEY WORDS: Lipids, Ruminants, Milk, Milk fat, Fatty acids.

INTRODUCCIÓN

La evidencia científica indica claramente que el consumo de ácidos grasos saturados (AGS) de cadena media -láurico (12:0), mirístico (14:0)

INTRODUCTION

Consumption of medium-chain saturated fatty acids (SFA) -lauric (12:0), myristic (14:0) and palmitic (16:0)- is known to increase

Recibido el 5 de marzo de 2012. Aceptado el 13 de agosto de 2012.

^a Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales, Carretera Madrid-Cádiz, km. 396, 14071 Córdoba. España. pa1martm@uco. Correspondencia con el primer autor.

y palmítico (16:0)- aumenta el riesgo de enfermedad cardiovascular en las personas, y que el consumo de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la serie n-6, representados mayoritariamente por el ácido linoleico (18:2-cis9,cis12), deben reducirse en beneficio de los AGPI de la serie n-3, representados principalmente por el ácido α -linolénico (18:3 n-3)⁽¹⁾. La Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC)⁽²⁾ recomienda que la relación AGPI/AGS de la grasa de la dieta sea superior a 0.6. En adición, Simopoulos⁽³⁾ señaló que un valor inferior a 4 de la relación entre los AGPI n-6 y n-3 de la grasa consumida se asocia con una reducción de la mortalidad por enfermedad cardiovascular y del riesgo de cáncer de mama, y tiene efectos positivos en enfermos de cáncer de colon y artritis reumatoide.

En contra de lo señalado, la grasa láctea está compuesta mayoritariamente por AGS de cadena media^(4,5). Además, la relación entre los ácidos linoleico y α -linolénico es por término medio superior a 5, cuando la dieta suministrada está compuesta por forrajes conservados y alimentos concentrados^(4,6,7). Por otra parte, el suministro de raciones muy concentradas ricas en AGPI a las hembras rumiantes, puede ocasionar un aumento del contenido de 18:1-trans10 en la grasa láctea⁽⁶⁾ cuyo consumo se relaciona con un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular⁽⁸⁾. No obstante, la grasa láctea también aporta a la dieta algunos ácidos grasos que pueden tener propiedades favorables para la salud humana: el ácido butírico (4:0) parece ejercer un efecto protector frente al cáncer de colon⁽⁹⁾; los ácidos oleico (18:1-cis9) y vaccénico (18:1-trans11) reducen el riesgo de enfermedad cardiovascular^(10,11); el segundo es además precursor del ácido ruménico (18:2-cis9,trans11)⁽¹²⁾ al que se le atribuyen numerosos efectos positivos entre los que destaca la actividad anticancerígena⁽¹³⁾.

Es bien conocido que las fuentes vegetales de grasa más indicadas para modificar el perfil de ácidos grasos de la leche a través de la dieta,

cardiovascular disease risk in humans. In addition, intake of n-6 series polyunsaturated fatty acids (PUFA) – primarily linoleic acid (cis9,cis12-18:2) – should be reduced in favor of n-3 series PUFA, mostly α -linolenic acid (18:3 n-3)⁽¹⁾. The Spanish Society of Community Nutrition (Sociedad Española de Nutrición Comunitaria - SENC)⁽²⁾ recommends that the dietary fat PUFA/SFA ratio be higher than 0.6. The ratio between n-6 and n-3 PUFA is also important, with values below 4 associated with reductions in mortality from cardiovascular disease and breast cancer, and with positive effects in colon cancer and rheumatoid arthritis sufferers⁽³⁾.

Milk fat contains mostly medium-chain SFA^(4,5), and its average linoleic acid/ α -linolenic acid ratio is greater than 5 when feed consists of preserved forage and concentrated feeds^(4,6,7). Feeding female ruminants highly concentrated rations rich in PUFA can raise trans10-18:1 levels in milk fat⁽⁶⁾. Consumption of trans10-18:1 rich fat has been related to cardiovascular disease risk⁽⁸⁾. However, milk fat also provides some fatty acids with beneficial effects in human health. Butyric acid (4:0) can have a protective effect against colon cancer⁽⁹⁾, and oleic (cis9-18:1) and vaccenic acids (trans11-18:1) reduce cardiovascular disease risk^(10,11). Vaccenic acid is also a precursor to rumenic acid (cis9,trans11-18:2)⁽¹²⁾ to which numerous benefits have been attributed, including anticancer activity⁽¹³⁾.

When added to ruminant diets, seeds and oils rich in unsaturated fatty acids (UFA) are known to modify the fatty acid profile of milk fat (Table 1)^(14,15). This review is aimed at highlighting the effect that inclusion of UFA-rich seeds and oils in the diets of female ruminants has on the fatty acids relevant to human health found in milk fat.

EFFECT ON MILK FAT SHORT- AND MEDIUM-CHAIN SATURATED FATTY ACIDS CONTENT

Inclusion of oil and oil seeds in feed similarly affects contents of the different fatty acid groups

EFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

son las semillas oleaginosas y los aceites ricos en ácidos grasos insaturados (AGI)^(14,15). En el Cuadro 1 se muestra el contenido de ácidos grasos en la grasa aportada por algunos aceites y semillas.

El objetivo del presente trabajo fue revisar el efecto de la inclusión de aceites y semillas ricos en ácidos grasos insaturados en la dieta de las hembras rumiantes, sobre los ácidos grasos de la grasa láctea relevantes para la salud humana.

EFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS SATURADOS DE CADENA CORTA Y MEDIA DE LA GRASA LÁCTEA

La inclusión de aceites y semillas oleaginosas en la dieta produce respuestas del mismo sentido sobre el contenido de los distintos grupos de ácidos grasos de la grasa láctea en vacas, ovejas y cabras. Algunos de los efectos observados en la grasa láctea son comunes a todos los aceites y semillas: el contenido de ácido butírico no suele afectarse negativamente (Cuadros 2, 4 y 6), se reduce el de los AGS de cadena media y aumenta el de los ácidos grasos de 18 átomos de carbono, especialmente los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) (Cuadros 3, 5 y 7).

Numerosos trabajos de investigación realizados con rumiantes lecheros muestran que el aumento de AGI en la dieta disminuye el contenido de los AGS de cadena corta y media en la grasa láctea. De acuerdo con Chilliard y Ferlay⁽¹⁵⁾, dicha respuesta puede tener un doble origen. Por un lado, la disminución de la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen por efecto de los AGI sobre la fermentación microbiana de las paredes vegetales, que reduciría la cantidad de sustrato (acetato) disponible para la síntesis *de novo* de AGS de cadena corta y media en las células mamarias. Por otra parte, la actividad de las enzimas responsables de la síntesis *de novo* podría inhibirse por el aumento de la disponibilidad de ácidos grasos de cadena larga para la ubre debido a su mayor absorción en el intestino.

Cuadro 1. Contenido de ácidos grasos insaturados de algunas semillas y aceites (%)[†]

Table 1. Unsaturated fatty acid content of some seeds and oils (%)[†]

	Acid			Crude fat
	Oleic (cis9-18:1)	Linoleic (cis9,cis12-18:2)	α -linolenic (18:3 n-3)	
Seeds				
Rapeseed	21.7	8.51	3.48	40.7
High oleic sunflower	31.8	3.19	0.12	40.9
Cotton	3.23	8.67	0.03	17.9
Regular sunflower	9.32	27.5	0.17	44.6
Safflower	4.67	24.51	0.0	31.5
Soy bean	4.14	10.2	1.5	19.8
Flaxseed	6.92	4.29	16.8	34.7
Oils				
High oleic sunflower	85.6	5.3	0.2	100
Olive	78.2	6.2	0.0	100
Rapeseed	56.9	20.3	8.4	100
Cotton	18.6	49.7	0.0	100
Soy	22.2	52.5	7.7	100
Corn	26.8	55.2	1.0	100
Sunflower	22.3	61.6	1.0	100
Flaxseed	20.8	12.9	50.5	100

[†] Values from FEDNA⁽⁶⁴⁾, except safflower seed⁽⁶⁵⁾ and high-oleic sunflower oil⁽²⁴⁾.

in the milk fat of cows, ewes and goat does. Some effects are common among all oils and seeds: butyric acid content is not affected (Tables 2, 4 and 6); medium-chain SFA decrease; and 18-carbon fatty acids, especially monounsaturated fatty acids (MUFA), increase (Tables 3, 5 and 7). Several studies on dairy ruminants have shown that increases in dietary UFA lower short- and medium-chain SFA contents in milk fat. This response may originate in two main effects⁽¹⁵⁾. First, volatile fatty acid production in the rumen decreases because UFA affect microbial fermentation of plant cell walls, which would reduce the amount of substrate (i.e. acetate) available for *de novo* short- and medium-chain SFA synthesis in the mammary cells. Second, the activity of enzymes responsible for *de novo* synthesis may be inhibited by the increased availability of long-chain fatty acids for the udder caused by their greater absorption in the intestine.

For *de novo* synthesis to occur, the acetate must activate acetyl-CoA via the enzyme acetyl-

La síntesis *de novo* requiere que el acetato se active a acetyl-CoA por la enzima acetyl-CoA sintetasa, y posteriormente sea carboxilado por la enzima acetyl-CoA carboxilasa para formar malonil-CoA. La elongación de la cadena se realiza por la enzima ácido graso sintetasa mediante reacciones sucesivas de condensación descarboxilativa de moléculas de acetyl-CoA (o butiril-CoA) con malonil-CoA. Bernard *et al.*^(16,17) señalaron que la inhibición de las enzimas

CoA synthase, which is then carboxylated by the enzyme acetyl-CoA carboxylase to form malonyl-CoA. The enzyme fatty acid synthase causes chain elongation through successive decarboxylative condensation reactions between acetyl-CoA (or butyryl-CoA) molecules with malonyl-CoA. The inhibition of lipogenic enzymes may not be the principal cause of the decline in short- and medium-chain SFA content in milk fat in response to increased UFA

Cuadro 2. Respuesta del contenido de ácidos grasos de cadena corta y media de la grasa láctea a la inclusión de aceites y semillas en la dieta de vacas (expresada como porcentaje de variación respecto al grupo testigo del experimento)

Table 2. Response of milk fat short- and medium-chain fatty acid contents to inclusion of oils and seeds in diets for cows (expressed as percentage variation *versus* control treatment)

Ref.	Fat source	Inclusion level	4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0
25	Flaxseed	7.0%	-7 †	-19 †	-21 †	-29 †	-29 †	-19 †	-29 †
	Flaxseed ^a	7.0%	+7 †	-7 †	-7 †	-19 †	-24 †	-17 †	-28 †
26	Rapeseed ^b	1.0 kg/d	0	+5	0	-8	-16 †	-6	-21 †
	Sunflower seed ^b	1.0 kg/d	-3	0	0	-14 †	-20 †	-9 †	-19 †
	Sunflower seed ^b	1.4 kg/d	+6	-5	-14 †	-31 †	-38 †	-20 †	-33 †
	Flaxseed ^b	1.0 kg/d	0	+5	+7	-3	-11	-4	-16 †
	Flaxseed ^b	1.4 kg/d	+6	0	-7 †	-22 †	-33 †	-18 †	-29 †
27	Flaxseed	16.4%	0	-7 †	-8 †	-14 †	-20 †	-13 †	-28 †
	Flaxseed ^c	16.8%	-4	-16 †	-20 †	-25 †	-36 †	-20 †	-31 †
28	Soy bean ^d	7.5%	—	-12 †	-24 †	-18 †	-44 †	-29 †	-16 †
	Flaxseed ^d	7.5%	—	-7	-16	-13 †	-29 †	-18 †	-7 †
	Sunflower seed ^d	7.5%	—	-9	-14	-16 †	-24 †	-13 †	-8 †
	Cotton seed ^d	7.5%	—	-9	-19 †	-15 †	-24 †	-11 †	-10 †
29	Flaxseed	12.4%	-1	-4	-12 †	-19 †	-24 †	-14 †	-14 †
	Flaxseed ^c	14.8%	-11	-27 †	-37 †	-44 †	-44 †	-30 †	-32 †
	Flaxseed oil	5.8%	-35 †	-53 †	-62 †	-68 †	-64 †	-53 †	-45 †
35	Soy oil	4.0%	—	—	-16	-19 †	-23 †	-17 †	-13 †
	Flaxseed oil	4.0%	—	—	-2	-15 †	-22 †	-15 †	-22 †
46	Flaxseed oil ^e	3.0%	—	—	—	—	—	—	-41 †
	Flaxseed oil ^f	3.0%	—	—	—	—	—	—	-27 †
56	Soy bean	2.7 kg/d	—	—	-23	-31 †	-36 †	-24 †	-23
	Soy bean ^g	2.7 kg/d	—	—	-44 †	-39 †	-39 †	-31 †	-22
63	Flaxseed	4.2%	0	-1	-1	-5	-6	-4	-10 †
66	Flaxseed oil	250 g/d	-1	-2	-6	-14 †	-21 †	-11 †	-15 †
67	Flaxseed	6.5%	-4	-2	-3	-5	-7	-7 †	-8 †
68	Rapeseed oil	2.0%	-8	-6	-7	-22 †	-41 †	-31 †	-22 †
	Sunflower oil	2.0%	-6	-5	-6	-21 †	-32 †	-33 †	-22 †

a= micronized; b= ground; c= extruded; d= toasted.

e= diet with 65/35 forage/concentrate ratio; f= diet with 35/65 forage/concentrate ratio; g= expanded.

† Significant difference ($P < 0.05$).

EFFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

lipogénicas podría no ser la causa principal (aparte de la disminución de sustrato para la síntesis *de novo* por una interferencia con la digestión ruminal) de la disminución del contenido de AGS de cadena corta y media de la grasa láctea en respuesta al aumento del aporte de AGI a los animales, y que otras causas podrían estar implicadas. En este sentido, la disminución de la síntesis *de novo* podría

intake^(16,17), aside from the decrease it produces in the substrate available for *de novo* synthesis by interfering with ruminal digestion. The decrease in *de novo* synthesis may be due to the inhibitory effect of the higher availability of long-chain fatty acids to the mammary gland on acetyl-CoA carboxylase and fatty acid synthase activities. *In vitro* studies have shown that the pattern of synthesized fatty acids

Cuadro 3. Respuesta del contenido de ácidos grasos de 18 átomos de carbono de la grasa láctea a la inclusión de aceites y semillas en la dieta de vacas (expresada como porcentaje de variación respecto al grupo testigo del experimento)

Table 3. Response of milk fat 18-carbon fatty acids contents to inclusion of oils and seeds in diets for cows (expressed as percentage variation *versus* control treatment)

Ref.	Fat source	Inclusion level	18:0	trans10-18:1	trans11-18:1	cis9-18:1	c9,cis12-18:2	cis9,trans11-18:2	18:3n-3
25	Flaxseed	7.0%	+38 †	—	—	—	—	—	—
	Flaxseed ^a	7.0%	+46 †	—	—	—	—	—	—
26	Rapeseed ^b	1.0 kg/d	+69 †	#	+35	+47 †	-11	+22	0
	Sunflower seed ^b	1.0 kg/d	+63 †	#	+78 †	+41 †	+22 †	+61 †	0
	Sunflower seed ^b	1.4 kg/d	+81 †	#	+258 †	+58 †	+44 †	+235 †	0
	Flaxseed ^b	1.0 kg/d	+61 †	#	+18	+24 †	-17	+4	+71 †
	Flaxseed ^b	1.4 kg/d	+98 †	#	+85 †	+51 †	-11	+61 †	+129 †
27	Flaxseed	16.4%	+51 †	+39 †	+74 †	+17 †	-11 †	+42	+252 †
	Flaxseed ^c	16.8%	+53 †	+148 †	+138 †	+18 †	-16 †	+90	+344 †
28	Soy bean ^d	7.5%	+13 †	—	+64 †	+17 †	+27 †	+60 †	+17
	Flaxseed ^d	7.5%	+5	—	+57 †	+22 †	+12	+55 †	+41 †
	Sunflower seed ^d	7.5%	+5	—	+49 †	+8 †	+8	+36 †	-7
	Cotton seed ^d	7.5%	+6	—	+41 †	+8 †	+1	+19 †	0
29	Flaxseed	12.4%	+65 †	-36	-34	+35 †	-24 †	-43	-3
	Flaxseed ^c	14.8%	+41 †	+618 †	+85 †	+29 †	-5	+65 †	+79 †
	Flaxseed oil	5.8%	+36 †	+590 †	-28	+51 †	-9 †	-16	-19 †
35	Soy oil	4.0%	+12	—	+318 †	—	+21 †	+273 †	0
	Flaxseed oil	4.0%	+32 †	—	+105 †	—	-9	+150 †	+170 †
46	Flaxseed oil ^e	3.0%	+110 †	+86	+188 †	+56	—	+116 †	—
	Flaxseed oil ^f	3.0%	+31 †	+71	+243 †	-3	—	+214 †	—
56	Soy bean	2.7 kg/d	-2	—	+14	—	-6	-9	0
	Soy bean ^g	2.7 kg/d	+9	—	+73 †	—	-5	+56 †	+35
63	Flaxseed	4.2%	+24	—	+3	+13 †	-3	-2	+42
66	Flaxseed oil	250 g/d	+27 †	0	+52	+30 †	-14 †	+75	+17 †
67	Flaxseed	6.5%	+15 †	—	+13 †	+6 †	-7	+135 †	+8
68	Rapeseed oil	2.0%	+26 †	—	+76 †	+36 †	+21 †	+13 †	-7
	Sunflower oil	2.0%	+25 †	—	+198 †	+19 †	+59 †	+56 †	-22 †

a= micronized; b= ground; c= extruded; d= toasted.

e= diet with 65/35 forage/concentrate ratio; f= diet with 35/65 forage/concentrate ratio; g= expanded.

† Significant difference ($P < 0.05$).

trans10-18:1 added to trans11-18:1.

deberse al efecto inhibitorio de la mayor cantidad de ácidos grasos de cadena larga disponibles para la glándula mamaria sobre las actividades de las enzimas acetil-CoA carboxilasa y ácido graso sintetasa. Resultados de investigaciones *in vitro* citados por Bauman y Davies⁽¹⁸⁾ muestran que el patrón de ácidos grasos sintetizados cambia hacia los de cadena más corta cuando la relación acetil-CoA carboxilasa/ácido graso sintetasa disminuye en las células mamarias. El mismo efecto se obtiene cuando la relación acetil-CoA/malonil-CoA aumenta.

A partir de los datos obtenidos con vacas, ovejas y cabras al investigar la respuesta al consumo de AGI, puede inferirse que el acortamiento de la longitud de cadena de los ácidos grasos sintetizados en la ubre señalado por Bauman y Davies⁽¹⁸⁾ parece depender de la especie. En experiencias realizadas con cabras en las que el consumo calculado de grasa aportada por

changes towards short chain acids when mammary cells exhibit a decrease in the acetyl-CoA carboxylase/fatty acid synthase ratio or an increase in the acetyl-CoA/malonyl-CoA ratio⁽¹⁸⁾.

Research on the response to UFA intake in cows, ewes and goat does suggests that shortening of synthesized fatty acid chain length in the udder is apparently species-dependent⁽¹⁸⁾. In studies with goat does, no reductions in milk fat caproic (6:0) and caprilic (8:0) acid contents were observed at a fat intake of 1 to 3 g/kg live weight/d from oils or seeds⁽¹⁹⁻²⁴⁾. In cows⁽²⁵⁻²⁹⁾ and ewes⁽³⁰⁻³⁴⁾, caproic and caprilic acid contents in milk fat were reduced significantly in response to a fat intake of 1 to 3 g/kg live weight/d from oils or seeds. In other studies, no effect has been observed with inclusion of oils or seeds in feed. Bu *et al*⁽³⁵⁾ reported no differences in milk fat caprilic acid content in cows administered 1 g/kg live weight/d soy oil *versus* those in a control.

Cuadro 4. Respuesta del contenido de ácidos grasos de cadena corta y media de la grasa láctea a la inclusión de aceites y semillas en la dieta de ovejas (expresada como porcentaje de variación respecto al grupo testigo del experimento)

Table 4. Response of milk fat short- and medium-chain fatty acid contents to inclusion of oils and seeds in diets for ewes (expressed as percentage variation *versus* control treatment)

Ref.	Fat source	Inclusion level	4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0
30	Soy oil ^a	100 g/d	+19 ‡	-28 ‡	-39 ‡	-59 ‡	-54 ‡	-30 ‡	-26 ‡
	Soy oil ^b	100 g/d	+6 ‡	-14 ‡	-26 ‡	-50 ‡	-52 ‡	-31 ‡	-26 ‡
31	Flaxseed	6.7%	-14 ‡	-36 ‡	-54 ‡	-49 ‡	-39 ‡	-28 ‡	-21 ‡
	Sunflower seed	5.9%	-4	-44 ‡	-42 ‡	-40 ‡	-34 ‡	-25 ‡	-17 ‡
32	Soy oil	6.0%	+22 ‡	-30 ‡	-32	-47 ‡	-42 ‡	-31	-20 ‡
33	Sunflower oil	6.0%	+6 ‡	-34 ‡	-42 ‡	-52 ‡	-45	-17 ‡	-23 ‡
34	Olive oil	3.0%	+4	-15 ‡	-21 ‡	-29 ‡	-29 ‡	-12 ‡	-22 ‡
	Soy oil	3.0%	+5	-18 ‡	-27 ‡	-36 ‡	-35 ‡	-17 ‡	-23 ‡
	Flaxseed oil	3.0%	+2	-12 ‡	-18 ‡	-27 ‡	-28 ‡	-11 ‡	-26 ‡
36	Olive oil	6.0%	+5	-6	0	-26 ‡	-34 ‡	-24 ‡	-12 ‡
65	Experiment 1								
	Flaxseed	6.5%	+5	-4	-10	-18 ‡	-22	-16 ‡	-3
	Flaxseed oil	2.2%	+3	+1	+1	-4	-7	-10 ‡	-14
	Experiment 2								
	Safflower seed	7.7%	—	-4 ‡	-8 ‡	-14 ‡	-12 ‡	-2	-28 ‡

^a= diet with 75/25 forage/concentrate ratio; ^b= diet with 60/40 forage/concentrate ratio.

‡ Significant difference (*P*<0.05).

EFFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

aceites o semillas estuvo comprendido entre 1 y 3 g/kg peso vivo/día⁽¹⁹⁻²⁴⁾ no se observó reducción del contenido de los ácidos caproico (6:0) y caprílico (8:0) en la grasa láctea. En experiencias realizadas con vacas⁽²⁵⁻²⁹⁾ y ovejas⁽³⁰⁻³⁴⁾ se ha observado que el contenido de los ácidos caproico y caprílico en la grasa láctea se reduce significativamente por el consumo de cantidades de grasa aportadas por aceites o semillas comprendidas entre 1 y 3 g/kg peso vivo/día. Como excepción a lo señalado, Bu *et al*⁽³⁵⁾ no observaron diferencias en el contenido de ácido caprílico de la grasa láctea entre vacas que consumieron 1 g/kg peso vivo/día de aceite de soya, y las que consumieron la dieta testigo. Gómez-Cortés *et al*⁽³⁶⁾ tampoco observaron diferencias en el contenido de los ácidos caproico y caprílico de

Likewise, Gómez-Cortés *et al*⁽³⁶⁾ observed no differences in milk fat caproic and caprilic acid contents among ewes fed a diet containing 2 g/kg live weight/d olive oil and those in a control. Still other studies produced negative results with milk fat caproic and caprilic acid contents decreasing in goat does fed a diet containing 1.5 g/kg live weight/d soy oil⁽³⁷⁾, or 2 g/kg live weight/d soy or sunflower oil⁽³⁸⁾.

EFFECT ON MILK FAT OLEIC ACID CONTENT

Inclusion of oils and oil seeds in ruminant diets generally increases milk fat oleic acid content (median variation vs control = +28 %) (Table 3, 5 and 7). Oleic acid in milk fat can have two origins⁽³⁹⁾. Mammary gland can uptake preformed oleic acid in blood plasma which

Cuadro 5. Respuesta del contenido de ácidos grasos de 18 átomos de carbono de la grasa láctea a la inclusión de aceites y semillas en la dieta de ovejas (expresada como porcentaje de variación respecto al grupo testigo del experimento)

Table 5. Response of milk fat 18-carbon fatty acids contents to inclusion of oils and seeds in diets for ewes (expressed as percentage variation *versus* control treatment)

Ref.	Fat source	Inclusion level	18:0	trans10-18:1	trans11-18:1	cis9-18:1	c9,cis12-18:2	cis9,trans11-18:2	18:3n-3
30	Soy oil ^a	100 g/d	+30 †	+362 †	+911 †	+32 †	+28 †	+476 †	-37 †
	Soy oil ^b	100 g/d	+31 †	+278 †	+695 †	+18 †	+4 †	+210 †	-39 †
31	Flaxseed	6.7%	+75 †	—	+67 †	+22 †	+52 †	+50 †	+100 †
	Sunflower seed	5.9%	+52 †	—	+67 †	+19 †	+78 †	+130 †	+56 †
32	Soy oil	6.0%	+56	+219 †	+198 †	+26 †	+28 †	+231 †	+31 †
33	Sunflower oil	6.0%	+33	+488 †	+286 †	+26 †	+31	+285 †	-20 †
34	Olive oil	3.0%	+45 †	+193 †	+167 †	+49 †	-24 †	+133 †	-31 †
	Soy oil	3.0%	+28 †	+185 †	+736 †	+13 †	+59 †	+562 †	+2
	Flaxseed oil	3.0%	+43 †	+67 †	+447 †	+15 †	-12 †	+308 †	+106 †
36	Olive oil	6.0%	+29 †	+400 †	-17	+58 †	-35 †	-36	-32 †
44	Rapeseed oil	3.5%	-40 †	—	—	—	-63 †	+700 †	-25
	Rapeseed oil	7.0%	+2	—	—	—	-55 †	+400 †	-6
	Flaxseed oil	3.5%	-13	—	—	—	-29	+150	-48 †
	Flaxseed oil	7.0%	-47 †	—	—	—	-62 †	+275 †	-58 †
65	Experiment 1								
	Flaxseed	6.5%	+14 †	—	+30	+16 †	-14 †	+20 †	+145 †
	Flaxseed oil	2.2%	+5	—	+139 †	+8 †	-3	+121 †	+77 †
	Experiment 2								
Safflower seed	7.7%	+70 †	—	+43 †	+13 †	+10 †	+47 †	+2	

^a= diet with 75/25 forage/concentrate ratio; ^b= diet with 60/40 forage/concentrate ratio.

† Significant difference ($P < 0.05$).

la grasa láctea entre ovejas a las que se suministró una dieta que aportó diariamente 2 g/kg peso vivo de aceite oliva y las que consumieron la dieta testigo. En sentido contrario, otros investigadores^(37,38) observaron en cabras que el suministro de una dieta que aportó 1.5 g/kg peso vivo de aceite de soya y 2 g/kg peso vivo de aceite de soya o girasol,

comes either from dietary oleic acid absorbed unchanged in small intestine, or from adipose fat reserves mobilized when animals are in negative energy balance. In addition, oleic acid can be generated in the udder through the action of the enzyme delta-9 desaturase on stearic acid (18:0), which in turn comes from ruminal biohydrogenation (RBH) of 18-carbon

Cuadro 6. Respuesta del contenido de ácidos grasos de cadena corta y media de la grasa láctea a la inclusión de aceites y semillas en la dieta de cabras (expresada como porcentaje de variación respecto al grupo testigo del experimento)

Table 6. Response of milk fat short- and medium-chain fatty acid contents to inclusion of oils and seeds in diets for goat does (expressed as percentage variation *versus* control treatment).

Ref.	Fat source	Inclusion level	4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0
19	Rapeseed oil	2.0%	-7	-4	+9	+10	-2	-4	-9
	Rapeseed oil	4.0%	-5	-7	+8	+3	-17 †	-14 †	-17 †
	Rapeseed oil	6.0%	+18	0	+1	0	-25 †	-13 †	-16 †
20	Rice oil	5.1%	+13	-8	-14	-39 †	-45 †	-39 †	-16 †
	Rapeseed oil	5.1%	+4	-17	-29	-45 †	-48 †	-43 †	-67 †
	Soy oil	5.1%	-1	-14	-22	-46 †	-44 †	-44 †	-25 †
21	Soy oil	4.5%	—	-16	-24	-38 †	-49 †	-46 †	-28 †
	Soy bean	22.4%	—	-15	-18	-25 †	-31 †	-26 †	-16 †
22	Soy oil	2.5%	+5	0	-5	-17 †	-32 †	-23 †	-18 †
24	High oleic sunflower oil	48 g/d	+3	+2	+3	-9	-25 †	-17 †	-24 †
	Sunflower oil	48 g/d	+2	+4	+7	-5	-21 †	-13 †	-25 †
	Flaxseed oil	48 g/d	+2	+4	+7	-5	-18 †	-15 †	-24 †
37	Soy oil ^a	100 g/d	-1	-6 †	-13 †	-23 †	-29 †	-19 †	-15 †
	Soy oil ^b	100 g/d	+1	-8 †	-6 †	-17 †	-21 †	-16 †	-18 †
38	Sunflower oil ^c	130 g/d	+14 †	-8 †	-20 †	-35 †	-47 †	-37 †	-37 †
	Flaxseed oil ^c	130 g/d	+16 †	-4	-12 †	-28 †	-41 †	-35 †	-39 †
	Sunflower oil ^d	130 g/d	+8	-10	-20 †	-35 †	-45 †	-33 †	-37 †
	Flaxseed oil ^d	130 g/d	+14 †	-1	-7	-24 †	-38 †	-31 †	-38 †
43	Flaxseed ^e	11.2%	+4	-8 †	-10 †	-24 †	-43 †	-26 †	-28 †
	High oleic sunflower oil	3.6%	+2	-6 †	-12 †	-27 †	-46 †	-27 †	-31 †
69	Cotton seed	90 g/d	—	—	—	—	—	-15 †	+1
	Flaxseed	160 g/d	—	—	—	—	—	-28 †	-18 †
70	Sunflower seed	150 g/d	+10 †	+2	-4 †	-11 †	-17 †	-13 †	-9 †
71	Soy bean	10%	—	—	—	-6	-20 †	-8	-24 †
	Soy bean	20%	—	—	—	-20 †	-28 †	-17 †	-27 †
72	Rapeseed ^f	20%	+8 †	+2	-3	-15 †	-27 †	-15 †	-19 †
	Rapeseed ^g	20%	+9 †	+4	+1	-14 †	-25 †	-16 †	-32 †

a= diet with 63/37 forage/concentrate ratio; b= diet with 35/65 forage/concentrate ratio.

c= diet containing grass hay; d= diet containing corn silage.

e= seed treated with formaldehyde.

f= diet with 55/45 forage/concentrate ratio; g= diet with 65/35 forage/concentrate ratio.

† Significant difference ($P < 0.05$).

EFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

respectivamente, afectó negativamente al contenido de dichos ácidos grasos en la grasa láctea en comparación con la dieta testigo.

EFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDO OLEICO DE LA GRASA LÁCTEA

De acuerdo con los datos presentados en los Cuadros 3, 5 y 7, la inclusión de aceites y semillas en la dieta aumenta generalmente el contenido de ácido oleico (18:1-cis9) de la grasa láctea (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +28 %). El ácido oleico de la grasa láctea puede tener dos orígenes: 1) ácido oleico preformado procedente de la dieta o de la grasa corporal movilizada y captado de la sangre por la glándula mamaria, y 2) ácido oleico formado en la ubre por la acción de la enzima delta-9 desaturasa sobre el ácido esteárico (18:0), procedente a su vez de la movilización de reservas grasas o de la biohidrogenación ruminal (BHR) de los AGI de 18 átomos de carbonos de la dieta⁽³⁹⁾. Enjalbert *et al*⁽⁴⁰⁾ observaron en vacas que aproximadamente la mitad del ácido esteárico captado por la glándula mamaria se desatura a ácido oleico.

Martínez Marín *et al*⁽⁴¹⁾ observaron en cabras que el contenido de 18:1-cis9 en la grasa láctea aumentó con el suministro de 32 g diarios de aceite de girasol alto oleico respecto a la misma dieta sin aceite añadido (19.08 vs 13.63 %), pero el valor no fue diferente al observado en las dietas que aportaron 48 y 66 g (17.80 y 19.58 %), aunque hubiera sido lógico encontrar más ácido oleico en la grasa láctea de las cabras que consumieron mayor cantidad de dicho ácido graso. Una posible explicación es que el ácido oleico se convierte a una amplia variedad de isómeros trans en el rumen⁽⁴²⁾. Otra posible causa sería la inhibición de la enzima delta-9 desaturasa por la mayor disponibilidad de AGPI y ácidos grasos trans en la glándula mamaria⁽¹⁵⁾. En este sentido, se ha observado⁽⁴³⁾ en cabras menores valores de actividad de la enzima delta-9 desaturasa en respuesta a la adición de 3.6 % de aceite de girasol alto oleico a una dieta testigo. En el

UFA in the diet or from adipose fat reserves mobilized when animals are in negative energy balance. Approximately half of the stearic acid taken up by the cow mammary gland is desaturated to oleic acid⁽⁴⁰⁾.

In a study with goat does, milk fat cis9-18:1 content increased in response to supplementation of 32 g/d of high oleic sunflower oil (19.08 %) compared to a control (13.63 %)⁽⁴¹⁾. However, the value for the 32 g/d supplementation level did not differ from those obtained with 48 g/d (17.80 %) or 66 g/d (19.58 %) supplementation levels, even though a higher milk fat oleic acid content could be expected in the does that consumed more of this fatty acid. One possible explanation is that in the rumen oleic acid is converted into a variety of trans fatty acid isomers⁽⁴²⁾. Another cause could be inhibition of delta-9 desaturase in response to the greater availability of PUFA and trans fatty acids for the mammary gland⁽¹⁵⁾. Indeed, lower delta-9 desaturase levels have been reported in goat does after addition of 3.6 % high oleic sunflower oil to a control diet⁽⁴³⁾. Increasing the oil concentration in the diet was reported to cause a linear decline from 0.673 to 0.587 in the cis9-18:1/18:0+cis9-18:1 ratio, suggesting that stearic acid desaturation does not increase at the same rate as its uptake by the mammary gland⁽⁴¹⁾. This is supported by a linear decrease in cis9-14:1/14:0+cis9-14:1 ratio values in the same study. In another study with goat does, addition of high oleic sunflower oil to alfalfa hay diets lowered stearic acid content (12.7 %) and raised oleic acid content (27.7 %) in milk fat more than when added to a corn silage diet (13.8 % and 23.5 %, respectively)⁽⁶⁾. Using data from this study, the resulting cis9-18:1/18:0+cis9-18:1 ratio is lower in the corn silage diets than in the alfalfa hay diets, with or without added oil.

The same general trend has been reported in ewes. Addition of 3.5 % rapeseed oil to diets for ewes lowered milk fat stearic acid content (7.5 %) compared to a control diet (12.5 %) and one with 7.5% rapeseed oil (12.8 %), which

Cuadro 7. Respuesta del contenido de ácidos grasos de 18 átomos de carbono de la grasa láctea a la inclusión de aceites y semillas en la dieta de cabras (expresada como porcentaje de variación respecto al grupo testigo del experimento)

Table 7. Response of milk fat 18-carbon fatty acids contents to inclusion of oils and seeds in diets for goat does (expressed as percentage variation *versus* control treatment)

Ref.	Fat source	Inclusion level	18:0	trans10-18:1	trans11-18:1	cis9-18:1	c9,cis12-18:2	cis9,trans11-18:2	18:3n-3
6	High oleic sunflower oil ^a	130 g/d	+84 †	+817 †	+59	+50 †	—	+36	-47 †
	Flaxseed oil ^a	130 g/d	+27 †	+1138 †	+424 †	-10	—	+310 †	+116 †
	High oleic sunflower oil ^b	130 g/d	+112 †	+900	+371 †	+67 †	—	+209 †	-30 †
	Flaxseed oil ^b	130 g/d	+80 †	+314	+1856 †	-6	—	+876 †	+128 †
	High oleic sunflower oil ^c	130 g/d	+169 †	+631 †	+167 †	+87 †	—	+107	-43 †
	Flaxseed oil ^c	130 g/d	+96 †	+154	+1051 †	+12 †	—	+822 †	+93 †
19	Rapeseed oil	2.0%	+4	—	—	+11	+5	—	+3
	Rapeseed oil	4.0%	+9	—	—	+32 †	0	—	-9
	Rapeseed oil	6.0%	+6	—	—	+34 †	+7	—	+6
20	Rice oil	5.1%	+62 †	—	—	+30 †	-5	+57	+17
	Rapeseed oil	5.1%	+91 †	—	—	+44 †	-6	+21	+4
	Soy oil	5.1%	+70 †	—	—	+38 †	+24	+87	+4
21	Soy oil	4.5%	+52 †	—	—	—	+12	—	+142 †
	Soy bean	22.4%	+55 †	—	—	—	+3	—	-29
22	Soy oil	2.5%	+37 †	—	+214 †	+10 †	+14 †	+199 †	-10 †
24	High oleic sunflower oil	48 g/d	+84 †	+92 †	+104 †	+41 †	-23 †	+52	-16
	Sunflower oil	48 g/d	+69 †	+62	+267 †	+21 †	+28 †	+174 †	-15
	Flaxseed oil	48 g/d	+58 †	+11	+262 †	+15	-12	+145 †	+283 †
37	Soy oil ^d	100 g/d	+22 †	+91 †	647 †	+13 †	+17 †	+524 †	-31 †
	Soy oil ^e	100 g/d	+21 †	+112 †	347 †	+7 †	+12 †	+235 †	-18 †
38	Sunflower oil ^f	130 g/d	+82 †	-47	+497 †	+22 †	+5	+345 †	-45 †
	Flaxseed oil ^f	130 g/d	+68 †	-67	+457 †	+7	-35 †	+299 †	+11
	Sunflower oil ^a	130 g/d	+85 †	+634 †	+626 †	+15 †	+25 †	+421 †	-21
	Flaxseed oil ^a	130 g/d	+67 †	+255	+358 †	+11 †	-20 †	+212 †	+263 †
43	Flaxseed ^g	11.2%	+96 †	#	+94 †	+33 †	-4 †	+42 †	+139 †
	High oleic sunflower oil	3.6%	+108 †	#	+69 †	+54 †	-30 †	+17 †	-28 †
54	Flaxseed oil	3.4%	+53 †	—	+190 †	+18	0	+133 †	+325 †
	Sunflower oil	3.4%	+44 †	—	+290 †	+9	+55 †	+283 †	+25
	Flaxseed	3.4%	+69 †	—	+30	+29 †	-14 †	0	+200 †
	Sunflower seed	3.4%	+77 †	—	+130 †	+25 †	+36 †	+33 †	+25
	Soy bean	3.4%	+84 †	—	-10	+38 †	+50 †	-33	0
69	Cotton seed	90 g/d	—	—	+89	-15	—	+40	-18
	Flaxseed	160 g/d	—	—	+411 †	-16	—	+222 †	+119 †
71	Soy bean	10%	+75 †	—	—	+33 †	+45 †	—	+8 †
	Soy bean	20%	+107 †	—	—	+43 †	+64 †	—	+8 †
72	Rapeseed ^h	20%	+67 †	+67 †	+40 †	+44 †	-7 †	+19 †	+8 †
	Rapeseed ⁱ	20%	+75 †	+224 †	+388 †	+36 †	-16 †	+333 †	+63 †

a= diet containing corn silage; b= diet containing alfalfa hay; c= diet containing rye grass hay.

d= diet with 63/37 forage/concentrate ratio; e= diet with 35/65 forage/concentrate ratio; f= diet containing grass hay.

g= seed treated with formaldehyde.

h= diet with 55/45 forage/concentrate ratio; i= diet with 65/35 forage/concentrate ratio.

trans10-18:1 added to trans11-18:1.

† Significant difference ($P < 0.05$).

EFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

trabajo de Martínez Marín *et al*⁽⁴¹⁾, el valor de la relación 18:1cis-9/18:0+18:1cis-9 disminuyó linealmente (de 0.673 a 0.587) al aumentar la concentración de aceite en la dieta, lo que sugiere que la desaturación del ácido esteárico no aumentó al mismo ritmo que su captación por la glándula mamaria. También se observó una disminución lineal del valor de la relación 14:1-cis9/14:0+14:1-cis9, lo que apoyaría esta hipótesis. Datos obtenidos con cabras presentados por Chilliard *et al*⁽⁶⁾ indican que la inclusión de aceite de girasol alto oleico en dietas basadas en heno de alfalfa, disminuye el contenido de ácido esteárico y aumenta el de ácido oleico en la grasa láctea (12.7 y 27.7 %), más que si se añade a una dieta basada en ensilado de maíz (13.8 y 23.5 %). Con los datos de dicho trabajo puede calcularse que la relación 18:1-cis9/18:0+18:1-cis9 fue menor en las dietas con ensilado de maíz en comparación con las dietas con heno de alfalfa, con o sin aceite añadido. En ovejas⁽⁴⁴⁾ observaron que el contenido de ácido esteárico de la grasa láctea fue menor cuando la dieta incluyó 3.5 % de aceite de colza (7.5 %) en comparación con la dieta testigo y la que incluyó 7.5 % de aceite, que no fueron diferentes entre sí (12.5 y 12.8 %), en tanto que el contenido de 18:1-cis (mayoritariamente 18:1-cis9) fue mucho más elevado en las dietas con aceite añadido, más con 3.5 % que con 7.5 % de aceite (48.9 y 37.7 %, respectivamente), que en la dieta testigo (16.1 %).

El efecto de los aceites y semillas ricos en ácido linoleico o α -linolénico sobre el contenido de ácido oleico de la grasa láctea depende de la eficacia de la BHR que aumenta con el contenido de forraje de la dieta⁽⁴⁵⁾. El aumento de la proporción de forraje de la dieta permite una BHR más completa de los AGPI, aumentando la disponibilidad de ácido esteárico para la enzima delta-9 desaturasa mamaria, lo que resulta en un aumento del contenido de ácido oleico en la grasa láctea. En este sentido, se ha observado⁽⁴⁶⁾ que el contenido de ácido oleico de la grasa láctea en vacas fue mayor cuando se les suministró una dieta con 65 %

were not different⁽⁴⁴⁾. In the same study, cis 18:1 (mostly cis9-18:1) was much higher in the oil-containing diets (48.9 % in 3.5% diet; 37.7 % in 7.5% diet) than in the control (16.41 %).

How oils and seeds rich in linoleic or α -linolenic oil affect milk fat oleic acid content depends on RBH efficacy, which increases with diet forage content⁽⁴⁵⁾. A higher diet forage content allows for more complete RBH of PUFA, increasing stearic acid availability for mammary gland delta-9 desaturase and consequently producing a higher milk fat oleic acid content. For example, milk fat oleic acid content in cows was greater when they were fed a diet containing 65 % forage and 3 % flaxseed oil compared to a diet containing 35 % forage and 3 % flaxseed oil (23.8 vs 14.4 %)⁽⁴⁶⁾. In another study, milk fat oleic acid content in ewes decreased from 13.76 to 13.01 % when forage percentage in a diet containing 100 g soy oil/d was reduced from 75 to 60 %⁽³⁰⁾.

Studies with cows^(35,47), ewes⁽⁴⁴⁾ and goat does^(24,48) have shown that the type of oil added to a diet affects milk fat oleic acid content. In studies with ewes fed soy⁽³²⁾, sunflower⁽³³⁾ or olive oil⁽³⁶⁾ enriched diets with the same forage/concentrate ratio (20/80), milk fat 18:0+cis9-18:1 content was lower in the soy oil (5.87 %) and sunflower oil (5.69 %) diets than in the olive oil diet (10.56 %), but all had higher levels than the control with no added oil. These differences in oleic acid content, despite use of the same amounts of total UFA in the diet, can be explained by differences in the main BHR paths for the principal fatty acids in each oil⁽⁴¹⁾.

Addition of oil seeds to the diet has a slightly different effect. In a study using cows fed diets containing the same crude fat content (1.4 %), milk fat oleic acid content was higher in the diet containing soy bean (26.51 %) than in that containing cotton seed (24.37 %)⁽²⁸⁾. When crude fat (2.8 %) was provided by flaxseed or sunflower seed, no increase in milk fat oleic

de forraje y 3 % de aceite de lino en comparación con una dieta con 35 % de forraje y la misma cantidad de aceite (23.8 vs 14.4 %). Igualmente, Mele *et al.*⁽³⁰⁾ encontraron que el contenido de ácido oleico en la grasa láctea de ovejas fue menor cuando el forraje de una dieta que incluyó 100 g/día de aceite de soya se redujo de 75 a 60 % (13.76 vs 13.01 %).

Resultados obtenidos con vacas^(35,47), ovejas⁽⁴⁴⁾ y cabras^(24,48) indican que la respuesta del contenido de ácido oleico de la grasa láctea varía según el tipo de aceite que se incluye en la dieta. En los trabajos con ovejas a las que se suministraron dietas con la misma relación forraje/concentrado (20/80) que incluyeron aceite de soya⁽³²⁾, girasol⁽³³⁾ u oliva⁽³⁶⁾, el incremento del contenido de 18:0+18:1-cis9 en la grasa láctea fue menor en las dietas con aceite de soya (5.87 %) o de girasol (5.69 %) que en la dieta con aceite de oliva (10.56 %) en comparación con la dieta testigo sin aceite añadido. Las diferencias observadas a pesar de un aporte similar de AGI totales con las dietas, podrían justificarse por las vías principales de BHR de los ácidos grasos mayoritarios en cada uno de los aceites⁽⁴¹⁾.

En cuanto al efecto de las semillas, Liu *et al.*⁽²⁸⁾ observaron en vacas que el contenido de ácido oleico de la grasa láctea fue mayor cuando la dieta aportó una cantidad similar de grasa bruta (1.4 %) de semilla de soya en comparación con semilla de algodón (26.51 vs 24.37 %). En este trabajo, el aporte de grasa bruta (aproximadamente 2.8 %) de semilla de lino o girasol no aumentó el contenido de ácido oleico de la grasa láctea en comparación con el tratamiento que incluyó semilla de algodón (24.18 y 24.42 % vs 24.37 %). En vacas⁽²⁹⁾ observaron que una dieta con semilla de lino cruda aumentó el contenido de ácido oleico de la grasa láctea más que otra que incluyó semilla de lino estruzada, aunque ambas aportaron la misma cantidad de grasa bruta (5 %), en comparación con la dieta testigo (23.51 y 22.41 % vs 17.40 %, respectivamente). Estos

acid content was observed when compared to the cotton seed diet (24.18 and 24.42 % vs 24.37 %). Seed treatment can also affect milk fat oleic acid levels. For instance, in a study using cows fed diets with the same crude fat level (5 %), milk fat oleic acid content increased more in the diet containing raw flaxseed (23.51 %) than in one containing pressed flaxseed (22.41 %), compared to a control diet (17.50 %). These results suggest that each kind of oil seed provides a different degree of protection against RBH for the oil it contains, and that this protection is affected by processing method.

EFFECT ON MILK FAT LINOLEIC AND α -LINOLENIC ACID CONTENTS

The effect of oils and seeds on milk fat linoleic and α -linolenic acid contents differs depending on the principal fatty acid they supply to the diet (Table 3, 5 and 7). Oils and seeds rich in oleic acid generally reduce the content of these fatty acids in milk fat (median variation vs. control= -24 % for linoleic acid and -31 % for α -linolenic acid). As expected, dietary addition of oils and seeds rich in linoleic acid normally increases milk fat linoleic acid content (median variation vs control= +24 % with oils and +44 % with seeds). However, addition of oils rich in linoleic acid reduces milk fat α -linolenic acid content (median variation vs control= -21 %) while seeds rich in linoleic acid raise it only slightly (median variation vs control= +8 %). Inclusion of flaxseed oil or flaxseed in the diet normally has a negative effect on milk fat linoleic acid content (median variation vs control= -17 % for oil and -14 % for seeds), and a positive effect on α -linolenic acid content (median variation vs control= +106 % for oil and +129 % for seeds). The opposing effects on milk fat linoleic acid and α -linolenic acid contents in response to diet enrichment with one or the other indicates that these fatty acids are not independently incorporated into triglycerides⁽¹⁵⁾, and may actually compete for the preferred esterification on glycerol at sn-3 position. The positive effect of flaxseed oil and flaxseed on milk fat α -linolenic acid content is to be expected

EFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

resultados sugieren que cada tipo de semilla oleaginosa ofrece un diferente grado de protección al aceite que contiene frente a la BHR, y que dicha protección depende de como ha sido procesada.

EFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE LOS ÁCIDOS LINOLEICO Y α -LINOLÉNICO DE LA GRASA LÁCTEA

De acuerdo con los datos presentados en los cuadros 3, 5 y 7, el efecto de los aceites y semillas sobre el contenido de los ácidos linoleico y α -linolénico de la grasa láctea es diferente según el ácido graso mayoritario que aportan a la dieta. En general, los aceites y semillas ricos en ácido oleico reducen el contenido de ambos ácidos grasos en la grasa láctea (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: -24 y -31 %, para los ácidos linoleico y α -linolénico, respectivamente). Respecto a los aceites y semillas ricos en ácido linoleico, puede calcularse que su inclusión en la dieta produce normalmente un incremento del contenido del ácido linoleico en la grasa láctea (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +27 y +44 % para los aceites y las semillas, respectivamente), mientras que el efecto sobre el contenido de ácido α -linolénico es negativo en el caso de los aceites (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: -21 %) y ligeramente positivo con las semillas (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +8 %). La inclusión de aceite o semilla de lino en la dieta tiene normalmente un efecto negativo sobre el contenido de ácido linoleico en la grasa láctea (mediana de las variaciones significativas respecto al control: -17 y -14 % para los aceites y las semillas, respectivamente) y positivo sobre el de ácido α -linolénico, que es ligeramente mayor con las segundas (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +106 y +129 %, respectivamente). Los efectos opuestos observados en el contenido de los ácidos linoleico y α -linolénico de la grasa láctea en respuesta al enriquecimiento de la dieta con

because these are the only vegetal fat sources, which provide a significant amount of this fatty acid to animals when included in the diet (Table 1).

Due to RBH, the average amount of PUFA that arrive intact in the duodenum under normal conditions ranges from 10 to 15 % of that in the diet⁽⁴⁹⁾. For example, in a study using cows, milk fat linoleic and α -linolenic acid contents were 75 % of their duodenal flow contents, representing a theoretical transference rate of 7 to 11 % PUFA from diet to milk⁽⁵⁰⁾. Based on a metanalysis of data from cows⁽⁵¹⁾, average linoleic acid transference rate for soy beans was 13 % and that for sunflower seeds was 6 %, while the same rate was 3 % for linolenic acid from flaxseed. A series of other studies using cows⁽⁴⁶⁾, ewes⁽³⁰⁾ and goat does^(16,17) report transference rates of 2-3 % for linoleic and α -linolenic acids from oils included in the diet. The higher transference rates of soy beans and sunflower seeds compared to their respective oils suggests that the seeds provide a certain degree of protection against RBH for the fatty acids they contain.

EFFECT ON MILK FAT VACCENIC AND RUMENIC ACID CONTENTS

Vaccenic acid is the principal precursor in stearic acid production in the RBH routes of linoleic and α -linolenic acids, and rumenic acid is an intermediary in the linoleic acid RBH route⁽⁵²⁾. Inclusion of oils and seeds rich in linoleic and α -linolenic acids in the diet notably increases milk fat vaccenic acid content (Tables 3, 5 and 7). These increases are similar among oils and seeds rich in linoleic acid (median variation vs control= +333 % for oils and +67 % for seeds) and those rich in α -linolenic acid (i.e. flaxseed; median variation vs control= +310 % for oil and +85 % for seeds). Increases also occur in rumenic acid levels, and again these vary little between oils and seeds rich in linoleic acid (median variation vs control= +278 % for oils and +56 % for seeds) and those rich in α -linolenic acid (i.e. flaxseed; median variation vs control = +214 % for oil and +58 % for seeds). Rumenic acid is not an intermediary in the α -linolenic

uno u otro de ellos indican que estos ácidos grasos no son incorporados de forma independiente a los triglicéridos⁽¹⁵⁾ y posiblemente compiten por esterificarse preferentemente en la posición sn-3 del glicerol. Por otro lado, el efecto positivo del aceite y la semilla de lino sobre el contenido de ácido α -linolénico en la grasa láctea concuerda con el hecho de que éstas son las únicas fuentes vegetales de grasa cuya inclusión en la dieta supone un aporte significativo de dicho ácido graso a los animales (Cuadro 1).

A causa de la BHR, el promedio de AGPI que llega intacto al duodeno en condiciones normales es 10 a 15 % de los presentes en la dieta⁽⁴⁹⁾. Por otro lado, Glasser *et al.*⁽⁵⁰⁾ observaron en vacas que el contenido de los ácidos linoleico y α -linolénico en la grasa láctea es el 75 % de su contenido en el flujo duodenal, lo que supone una transferencia teórica de 7 a 11 % de los AGPI desde la dieta hasta la leche. A partir del metanálisis de datos obtenidos con vacas⁽⁵¹⁾ se calculó que la transferencia promedio del ácido linoleico aportado por las semillas de soya y girasol de la dieta es 13 y 6 %, respectivamente, y que la del ácido α -linolénico aportado por la semilla de lino es 3 %. Los trabajos con vacas⁽⁴⁶⁾, ovejas⁽³⁰⁾ y cabras^(16,17) indican que la transferencia de los ácidos linoleico y α -linolénico aportados por los aceites incluidos en la dieta está en torno a 2-3 %. Las mayores transferencias observadas con las semillas de soya y girasol en comparación con sus aceites, sugieren que las semillas proporcionan un cierto grado de protección a los ácidos grasos que contienen, frente a la BHR.

EFFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE LOS ÁCIDOS VACCÉNICO Y RUMÉNICO DE LA GRASA LÁCTEA

El ácido vaccénico es el principal isómero previo a la producción de ácido esteárico en las rutas de BHR de los ácidos linoleico y α -linolénico, y el ácido ruménico es un intermediario en la vía de BHR del ácido linoleico⁽⁵²⁾. De acuerdo con

RBH route; therefore the raise in milk fat rumenic acid content in response to addition of flaxseed oil or flaxseed to the diet is probably due to greater vaccenic acid production in the rumen, which increases its amount absorbed and later desaturated to rumenic acid in the udder by delta-9 desaturase⁽⁵²⁾. Inclusion of acids and seeds rich in oleic acid have only a moderate effect on milk fat vaccenic and rumenic acid contents (median variation vs control= +136 for oils and +171 % for seeds). This occurs because rumenic acid is not an intermediary in the oleic acid RBH route and, although isomerization of oleic acid results in a wide variety of trans MUFA in the rumen, vaccenic acid is not the most abundant among them^(36,42,53). Milk fat vaccenic acid content is two to three times higher than that of rumenic acid, and the ratio between them is strictly linear⁽⁴⁷⁾.

The fact that oils cause a higher increase in milk fat vaccenic and rumenic acid contents, than do seeds, indicates that either the latter provide a certain amount of protection against RBH, allowing a larger proportion of the PUFA in the diet to arrive in the intestine intact, or they help RBH to be more complete, because they gradually release PUFA in the rumen, leading to greater stearic acid production. In both cases, the result is the same: ruminal production of vaccenic and rumenic acids is reduced. In simultaneous comparisons of the dietary inclusion of oils and seeds rich in linoleic and α -linolenic acids, the oils were reported to increase vaccenic acid content an average of 48 % more than did seeds and rumenic acid content 69 % more than seeds^(31,34,36,54). Nonetheless, this trend has not been observed in other studies^(24,55).

Oil type and seed processing affect milk fat vaccenic and rumenic acid contents. For example, in a study using cows, milk fat vaccenic and rumenic acid contents were higher with inclusion of soy oil (12.89 and 1.02 %, respectively) than with the same amount of cotton oil (11.81 and 0.60 %, respectively) or

EFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

esto, la inclusión de aceites y semillas ricos en ácido linoleico o α -linolénico en la dieta aumenta marcadamente el contenido de ácido vaccénico en la grasa láctea (Cuadros 3, 5 y 7). En general, el incremento es similar con ambas clases de aceites y semillas (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +333 y +67 % con aceites y semillas ricos en ácido linoleico y +310 y +85 % con aceite y semilla de lino). El efecto sobre el ácido ruménico también es similar entre ambos grupos de aceites y semillas (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +278 y +56 % con aceites y semillas ricos en ácido linoleico y +214 y +58 % con aceite y semilla de lino). Dado que el ácido ruménico no es un intermediario en la BHR del ácido α -linolénico, el incremento del contenido de ácido ruménico en la grasa láctea en respuesta a la adición de aceite o semilla de lino a la dieta es debido probablemente a una mayor producción de ácido vaccénico en el rumen, aumentando la cantidad que es absorbida y posteriormente desaturada en la ubre por la enzima delta-9 desaturasa⁽⁵²⁾. La inclusión de aceites y semillas ricos en ácido oleico en la dieta tiene una repercusión moderada sobre el contenido de los ácidos vaccénico y ruménico de la grasa láctea (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +136 y +171 %). Este efecto se explica porque el ácido ruménico no es un intermediario en la BHR del ácido oleico y, aunque la isomerización del ácido oleico resulta en la producción de una amplia variedad de AGMI trans en el rumen, el ácido vaccénico no es el más abundante entre ellos^(36,42,53). Hay que destacar que el contenido de ácido vaccénico en la grasa láctea es 2-3 veces mayor que el de ácido ruménico, existiendo una relación estrictamente lineal entre ambos⁽⁴⁷⁾.

El hecho de que los aceites provoquen mayor aumento del contenido de los ácidos vaccénico y ruménico en la grasa láctea que las semillas, indica que éstas ofrecen cierto grado de protección de los ácidos grasos que contienen frente a la BHR, permitiendo que una mayor

corn oil (11.16 and 0.69 %, respectively)⁽⁴⁷⁾. This difference is possibly due to the higher PUFA content in soy oil (Table 1). Inclusion of whole soy bean in the diet is reported to have no effect on milk fat vaccenic (4.28 % vs 3.76 % in control) and rumenic acid (0.31 % vs 0.34 % in control) contents⁽⁵⁶⁾. In contrast, inclusion of expanded soy bean did increase the levels of both fatty acids (6.49 % for vaccenic, 0.53 % for rumenic). Extrusion of flaxseed also resulted in a greater increase in vaccenic (2.07 % vs 1.51 % in control) and rumenic acid (1.12 % vs 0.84) levels than crude flaxseed (vaccenic= 2.75 % vs 0.98 % in control; rumenic= 1.27 vs 0.44 % in control)^(27,29). These differences are attributed to the easier access of RBH microorganisms to the PUFA in the processed seeds than in the whole seeds.

EFFECT ON MILK FAT TRANS10-18:1 ACID CONTENT

Very few authors have reported trans10-18:1 content in milk fat separately from the trans11-18:1 value (Tables 3, 5 and 7). The limited available data on milk fat trans10-18:1 content suggests it increases when the diet is enriched with oleic acid (median variation vs control= +224 %), linoleic acid (median variation vs control= +249 %) and to a lesser extent α -linolenic acid (median variation vs control = +148 %); this excludes one abnormally high value⁽⁶⁾. These increases probably occur because trans10-18:1 acid is the main resulting fatty acid after isomerization of oleic acid by ruminal microorganisms^(42,53). Diets rich in easily fermentable carbohydrates and/or linoleic acid increase milk fat trans10-18:1⁽⁵⁷⁾ content due to a change in RBH routes that produces more trans10-18:1 from linoleic acid via trans10,cis12-18:2⁽⁵⁸⁾. Finally, the α -linolenic acid RBH route is less likely to promote formation of trans10-18:1 than the linoleic acid route^(59,60).

Reducing the proportion of forage in the diet is known to cause a linear increase in duodenal trans10-18:1 flow, which can raise from 4 to 25 % of total trans 18:1 isomers under these circumstances^(61,62). A similar effect has been

cantidad de los AGPI aportados por la dieta llegue intacta al intestino, o bien favorecen que la BHR sea más completa porque liberan a los AGPI gradualmente en el rumen y, en consecuencia, ocurre una mayor producción de ácido esteárico; en ambos casos, la producción ruminal de los ácidos vaccénico y ruménico se reduciría. Por otra parte, en algunos trabajos en los que se ha comparado simultáneamente la inclusión de aceites y semillas ricos en ácido linoleico y α -linolénico en la dieta se ha observado que los primeros aumentan el contenido de los ácidos vaccénico y ruménico en la grasa láctea un promedio de 48 y 69 %, respectivamente, más que las segundas^(31,34,36,54). Sin embargo, esta diferencia no se ha observado en otros trabajos^(24,55).

Según el tipo de aceite y el procesado de las semillas, se han observado diferencias en la respuesta del contenido de los ácidos vaccénico y ruménico de la grasa láctea. En el trabajo de Zheng *et al.*⁽⁴⁷⁾, el contenido de los ácidos vaccénico y ruménico en la grasa láctea de vacas fue mayor cuando se incluyó aceite de soya en la dieta que cuando se adicionó la misma cantidad de aceite de algodón o maíz (12.89 y 1.02 % vs 11.81 y 0.60 % y 11.16 y 0.69 %, respectivamente). Este efecto podría explicarse porque el aceite de soya tiene mayor contenido de AGPI que los otros dos (Cuadro 1). Liu *et al.*⁽⁵⁶⁾ observaron que la inclusión de semilla de soya entera en la dieta no afectó al contenido de los ácidos vaccénico y ruménico de la grasa láctea en comparación con la dieta testigo (4.28 y 0.31 % vs 3.76 y 0.34 %), pero la inclusión de igual cantidad de semilla de soya expandida sí provocó un aumento significativo de ambos ácidos grasos (6.49 y 0.53 %). La extrusión de la semilla de lino produce mayor aumento del contenido de los ácidos vaccénico y ruménico en la grasa láctea en comparación con la semilla de lino cruda (2.07 y 1.12 % vs 1.51 y 0.84 %, y 2.75 y 1.27 % vs 0.98 y 0.44 %, respectivamente)^(27,29). Las diferencias observadas por estos autores son atribuibles a que el acceso de los microorganismos responsables de la BHR a los

reportado in ewe milk fat trans10-18:1 levels, where content increased to 0.87 % in a treatment with a 60 % forage base diet with added soy oil, and to 0.60 % in one with a 75 % forage base including the same amount of oil⁽³⁰⁾. However, this effect was not observed in another study involving addition of 3 % flaxseed oil in diets for cows with 65 and 35 % forage content⁽⁴⁶⁾.

Milk fat trans10-18:1 content in UFA-enriched diets also varies in response to forage type. For example, in goat does fed a corn silage diet, milk fat trans10-18:1 content increased to 3.0 % with addition of 3 % high oleic flaxseed oil and to 2.2 % with addition of 3 % high oleic acid sunflower oil (0.2 % content in control)⁽⁵⁴⁾. In contrast, when the diet was based on alfalfa hay and the same quantities and types of oils added, no differences in trans10-18:1 content were observed. Similar results were reported in goat does with addition of 130 g/d flaxseed oil or sunflower oil to diets based on corn silage or alfalfa hay⁽³⁸⁾.

EFFECT ON MILK FAT N-6 : N-3 RATIO

When added to ruminant diets, oils and seeds rich in oleic acid do not apparently affect the n-6 to n-3 PUFA ratio^(24,26,34). However, this ratio was reported to be higher in goat does fed a diet supplemented with rapeseed oil (5.77 %) than in those fed the same diet supplemented with soy oil (3.90 %) or regular sunflower oil (4.24 %)⁽⁴⁸⁾. Addition of oils and seeds rich in linoleic acid to diets does increase the n-6 to n-3 PUFA ratio in milk fat compared to a control^(24,26,34). In goat does, ratio values increased linearly at increasingly higher inclusion levels (0, 32, 48 and 66 g/d) of regular sunflower oil, although a clear effect was observed only at the highest level (ratio values = 6.30; 5.90; 6.70 and 11.46, respectively)⁽⁴¹⁾. Ratio values have been reported to decline in cows⁽⁶³⁾, ewes⁽³⁴⁾ and goat does⁽²⁴⁾ when using a diet enriched with α -linolenic acid. For example, the addition of flaxseed oil in progressively higher levels (0, 32, 48 and 66 g /d) to a goat doe diet steadily lowered ratio values (ratio values= 6.03; 2.88; 2.30 and 1.85, respectively)⁽⁴¹⁾.

EFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

AGPI aportados por las semillas procesadas es más fácil que a los aportados por las semillas enteras.

EFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDO 18:1-TRANS10 DE LA GRASA LÁCTEA

Relativamente pocos autores han reportado el contenido de 18:1-trans10 de la grasa láctea como un valor individual separado del valor de 18:1-trans11 (Cuadros 3, 5, 7). De acuerdo con los valores disponibles, el contenido de 18:1-trans10 de la grasa láctea aumenta cuando la dieta se enriquece en ácido oleico, linoleico y, en menor medida, α -linolénico (mediana de las variaciones significativas respecto al testigo: +224, +249 y +148 %, respectivamente; excluyendo el valor anormalmente elevado de Chilliard *et al*⁽⁶⁾). Estos efectos pueden explicarse porque el ácido 18:1-trans10 es el principal ácido graso resultante de la isomerización del ácido oleico por los microorganismos ruminales^(42,53). Por otro lado, las dietas ricas en carbohidratos fácilmente fermentables y el ácido linoleico incrementan el contenido de 18:1-trans10 en la grasa láctea⁽⁵⁷⁾ debido a un cambio en las vías de la BHR que resulta en mayor producción de 18:1-trans10 desde ácido linoleico vía 18:2-trans10,cis12⁽⁵⁸⁾. Finalmente, la BHR del ácido α -linolénico es menos propensa a promover la formación de 18:1-trans10 que la del ácido linoleico^(59,60).

Es bien conocido que la disminución de la proporción de forraje de la dieta ocasiona un incremento lineal del flujo duodenal de 18:1-trans10, cuya proporción en dichas circunstancias puede pasar del 4 al 25 % del total de isómeros 18:1-trans^(61,62). En este sentido, Mele *et al*⁽³⁰⁾ observaron mayor contenido de 18:1-trans10 en la grasa láctea de ovejas que consumieron una dieta basal con 60 % de forraje adicionada de aceite de soya en comparación con las que recibieron una dieta con 75 % de forraje y la misma cantidad de aceite (0.87 y 0.60 %, respectivamente). Sin embargo, este efecto no se observó en otro trabajo⁽⁴⁶⁾ por adición de 3 %

CONCLUSIONS

Milk fat contents of fatty acids relevant to human health can be modified by addition of UFA-rich oils and seeds to diets for cows, ewes and goat does. Trends in content changes are similar between these species and mainly depend on the principal fatty acid supplied by the oil or seed. Overall, inclusion of flaxseed oil or seed to raise the α -linolenic acid supplied to the animals has the most favorable effects on milk fat fatty acid profile for the purposes of human health.

End of english version

aceite de lino a dietas de vacas con 65 y 35 % de forraje.

Otro factor que modula la variación del contenido de 18:1-trans10 de la grasa láctea en respuesta al consumo de dietas enriquecidas en AGI es el tipo de forraje presente en aquéllas. Chilliard *et al*⁽⁵⁴⁾ observaron que el contenido de 18:1-trans10 en la grasa láctea de cabras fue mayor cuando se adicionó 3 % de aceite de lino o aceite de girasol alto oleico a una dieta basada en ensilado de maíz (3.0 y 2.2 % vs 0.2 % en el tratamiento testigo) pero no hubo variaciones significativas cuando se incluyó la misma cantidad de aceite en una dieta basada en heno de alfalfa. Resultados similares se obtuvieron⁽³⁸⁾ cuando añadieron 130 g al día de aceite de lino o girasol a dietas para cabras basadas en ensilado de maíz o heno de alfalfa.

EFECTO SOBRE EL VALOR DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ÁCIDOS GRASOS N-6 Y N-3 DE LA GRASA LÁCTEA

Los aceites y semillas ricos en ácido oleico no parecen afectar al valor de la relación entre los AGPI de las series n-6 y n-3 de la grasa láctea cuando se añaden a la dieta^(24,26,34). Como excepción, Matsushita *et al*⁽⁴⁸⁾ observaron que el valor de la relación fue mayor en cabras que

consumieron aceite de colza en comparación con las que consumieron aceite de soya o aceite de girasol normal, que no fueron diferentes entre sí (5.77 % vs 3.90 y 4.24 %). La adición de aceites y semillas ricos en ácido linoleico a la dieta aumenta el valor de la relación entre los AGPI de las series n-6 y n-3 de la grasa láctea en comparación con la dieta testigo^(24,26,34). En cabras⁽⁴¹⁾ observaron que el valor aumentó linealmente con la adición de cantidades crecientes de aceite de girasol normal a la dieta (0, 32, 48 y 66 g/día) pero el efecto fue claro solamente con el nivel más alto de inclusión (valores de la relación: 6,30, 5,90, 6,70 y 11,46, respectivamente). La disminución del valor de la relación entre los AGPI de las series n-6 y n-3 de la grasa láctea se ha observado en vacas⁽⁶³⁾, ovejas⁽³⁴⁾ y cabras⁽²⁴⁾ cuando la dieta se enriquece en ácido α -linolénico. Martínez Marín *et al.*⁽⁴¹⁾ compararon una dieta testigo con la misma dieta adicionada con 32, 48 y 66 g diarios de aceite de lino y observaron que el valor de la relación disminuyó significativamente ya con el nivel más bajo de inclusión de aceite (valores de la relación: 6,03, 2,88, 2,30 y 1,85, respectivamente).

CONCLUSIONES

El contenido de los ácidos grasos de la grasa láctea relevantes para la salud humana puede modificarse mediante la adición de aceites y semillas ricos en AGI a la dieta de vacas, ovejas y cabras. Los cambios observados tienen el mismo sentido en las tres especies y dependen principalmente del ácido graso mayoritario en el aceite o la semilla suministrada. En conjunto, la inclusión de aceite o semilla de lino en la dieta para aumentar el aporte de ácido α -linolénico a los animales tiene los efectos más favorables sobre el perfil de ácidos grasos de la grasa láctea desde el punto de vista de la salud humana.

LITERATURA CITADA

- Williams CM. Dietary fatty acids and human health. *Ann Zootech* 2000;49(3):165-180.
- SENC, Sociedad Española de Nutrición Comunitaria. Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria. 2008. Disponible: <http://www.nutricioncomunitaria.com/generica.jsp?tipo=docu&id=2>. Consultado 20 diciembre, 2011.
- Simopoulos AP. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp Biol Med* 2008;233(6):674-688.
- Moate PJ, Chalupa W, Boston RC, Lean IJ. Milk fatty acids. I. Variation in the concentration of individual fatty acids in bovine milk. *J Dairy Sci* 2007;90(10):730-739.
- Park YW, Juárez M, Ramos M, Haenlein GFW. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin Res* 2007;68(1):88-113.
- Chilliard Y, Glasser F, Ferlay A, Bernard L, Rouel J, Doreau M. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur J Lipid Sci Technol* 2007;109(8):828-855.
- Tsiplakou E, Zervas G. Comparative study between sheep and goats on rumenic acid and vaccenic acid in milk fat under the same dietary treatments. *Livest Sci* 2008;119(1):87-94.
- Hodgson JM, Wahlqvist ML, Boxall JA, Balazs ND. Platelet trans fatty acids in relation to angiographically assessed coronary artery disease. *Atherosclerosis* 1996;120(1-2):147-154.
- Parodi PW. Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J Dairy Sci* 1999;82(6):1339-1349.
- Benito P, Caballero J, Moreno J, Gutiérrez-Alcántara C, Muñoz C, Rojo G, *et al.* Effects of milk enriched with ω -3 fatty acid, oleic acid and folic acid in patients with metabolic syndrome. *Clin Nutr* 2006;25(4):581-587.
- Field CJ, Blewett HH, Proctor S, Vine D. Human health benefits of vaccenic acid. *Appl Physiol Nutr Metab* 2009;34(5):979-991.
- Turpeinen AM, Mutanen M, Aro A, Salminen I, Basu S, Palmquist DL, *et al.* Bioconversion of vaccenic acid to conjugated linoleic acid in humans. *Am J Clin Nutr* 2002;76(3):504-510.
- Benjamin S, Spener F. Conjugated linoleic acids as functional food: an insight into their health benefits. *Nutr Metab (Lond.)* 2009;6(September):36-48.
- Ashes JR, Gulati SK, Scott TW. Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *J Dairy Sci* 1997;80(9):2204-2212.
- Chilliard Y, Ferlay A. Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reprod Nutr Dev* 2004;44(5):467-492.
- Bernard L, Leroux C, Faulconnier Y, Durand D, Shingfield KJ, Chilliard Y. Effect of sunflower-seed oil or linseed oil on milk fatty acid secretion and lipogenic gene expression in goats fed hay-based diets. *J Dairy Res* 2009;76(2):241-248.
- Bernard L, Bonnet M, Leroux C, Shingfield KJ, Chilliard Y. Effect of sunflower-seed oil and linseed oil on tissue lipid metabolism, gene expression, and milk fatty acid secretion in Alpine goats fed maize silage-based diets. *J Dairy Sci* 2009;92(12):6083-6094.
- Bauman DE, Davis CL. Biosynthesis of milk fat. In: Larson BL, Smith VR editors. *Lactation: A comprehensive treatise*. Vol 2. New York, NY, USA: Academic Press; 1974:31-75.
- Okine EK, Goonewardene LA, Mir Z, Mir P, Wang Z, Chanmugam PS. Influence of canola oil on the fatty acid profile in goats' milk. *Can J Anim Sci* 2003;83(2):323-325.

EFECTO DE LOS ACEITES Y SEMILLAS EN DIETAS PARA RUMIANTES SOBRE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

20. Maia FJ, Branco AF, Mouro GF, Coneglian SM, dos Santos GT, Minella TF, *et al.* Inclusão de fontes de óleo na dieta de cabras em lactação: produção, composição e perfil dos ácidos graxos do leite. *Rev Bras Zootec* 2006;35(4):1504-1513.
21. Silva MMC. Suplementação de lipídios em dietas para cabras leiteiras [tesis doctoral]. Viçosa, Minas Gerais, Brasil: Universidad Federal de Viçosa; 2005.
22. Bouattour MA, Casals R, Albanell E, Such X, Caja G. Feeding soybean oil to dairy goats increases conjugated linoleic acid in milk. *J Dairy Sci* 2008;91(6):2399-2407.
23. Ollier S, Leroux C, de la Foye A, Bernard L, Rouel J, Chilliard Y. Whole intact rapeseeds or sunflower oil in high-forage or high-concentrate diets affects milk yield, milk composition, and mammary gene expression profile in goats. *J Dairy Sci* 2009;92(11):5544-5560.
24. Martínez Marín AL, Gómez-Cortés P, Gómez Castro AG, Juárez M, Pérez Alba LM, Pérez Hernández M, *et al.* Animal performance and milk fatty acid profile of dairy goats fed diets with different unsaturated plant oils. *J Dairy Sci* 2011;94(11):5359-5368.
25. Mustafa AF, Chouinard PY, Christensen DA. Effects of feeding micronised flaxseed on yield and composition of milk from Holstein cows. *J Sci Food Agric* 2003;83(9):920-926.
26. Collomb M, Sollberger H, Bütikofer U, Sieber R, Stoll W, Schaeren W. Impact of a basal diet of hay and fodder beet supplemented with rapeseed, linseed and sunflowerseed on the fatty acid composition of milk fat. *Int Dairy J* 2004;14(6):549-559.
27. Akraim F, Nicot MC, Juaneda P, Enjalbert F. Conjugated linolenic acid CLnA, conjugated linoleic acid CLA and other biohydrogenation intermediates in plasma and milk fat of cows fed raw or extruded linseed. *Animal* 2007;1(6):835-843.
28. Liu ZL, Yang DP, Chen P, Lin SB, Jiang XY, Zhao WS, *et al.* Effect of dietary sources of roasted oilseeds on blood parameters and milk fatty acid composition. *Czech J Anim Sci* 2008;53(5):219-226.
29. Chilliard Y, Martin C, Rouel J, Doreau M. Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane output. *J Dairy Sci* 2009;92(10):5199-5211.
30. Mele M, Buccioni A, Petachi F, Serra A, Banni S, Antongiovanni M, *et al.* Effect of forage/concentrate ratio and soybean oil supplementation on milk yield, and composition from Sarda ewes. *Anim Res* 2006;55(4):273-285.
31. Zhang RH, Mustafa AF, Zhao X. Effects of feeding oilseeds rich in linoleic and linolenic fatty acids to lactating ewes on cheese yield and on fatty acid composition of milk and cheese. *Anim Feed Sci Technol* 2006;127(3):220-233.
32. Gómez-Cortés P, Frutos P, Mantecón AR, Juárez M, de la Fuente MA, Hervás G. Milk production, conjugated linoleic acid content, and *in vitro* ruminal fermentation in response to high levels of soybean oil in dairy ewe diet. *J Dairy Sci* 2008;91(4):1560-1569.
33. Hervás G, Luna P, Mantecón AR, Castañares N, de la Fuente MA, Juárez M, Frutos P. Effect of diet supplementation with sunflower oil in milk production, fatty acid profile and ruminal fermentation in lactating dairy ewes. *J Dairy Res* 2008;75(4):399-405.
34. Bodas R, Manso T, Mantecón AR, Juárez M, de la Fuente MA, Gómez-Cortés P. Comparison of the fatty acid profiles in cheeses from ewes fed diets supplemented with different plant oils. *J Agric Food Chem* 2010;58(19):10493-10502.
35. Bu DP, Wang JQ, Dhiman TR, Liu SJ. Effectiveness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairy cows. *J Dairy Sci* 2007;90(2):998-1007.
36. Gómez-Cortés P, Frutos P, Mantecón AR, Juárez M, de la Fuente MA, Hervás G. Addition of olive oil to dairy ewe diets: effect on milk fatty acid profile and animal performance. *J Dairy Sci* 2008;91(8):3119-3127.
37. Mele M, Serra A, Buccioni A, Conte G, Pollicardo A, Secchiari P. Effect of soybean oil supplementation on milk fatty acid composition from Saanen goats fed diets with different forage:concentrate ratios. *Ital J Anim Sci* 2008;7(3):297-311.
38. Bernard L, Shingfield KJ, Rouel J, Ferlay A, Chilliard Y. Effect of plant oils in the diet on performance and milk fatty acid composition in goats fed diets based on grass hay or maize silage. *Br J Nutr* 2009;101(Aug):213-224.
39. Martínez Marín AL, Pérez Hernández M, Pérez Alba L, Gómez Castro G, Garzón Sígler AI. Efecto de la grasa de la dieta sobre la grasa láctea de los rumiantes: una revisión. *Interciencia* 2010;35(10):723-729.
40. Enjalbert F, Nicot MC, Bayourthe C, Moncoulon R. Duodenal infusions of palmitic, stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows. *J Nutr* 1998;128(9):1525-1532.
41. Martínez Marín AL, Gómez-Cortés P, Gómez Castro G, Juárez M, Pérez Alba L, Pérez Hernández M, *et al.* Effects of feeding increasing dietary levels of high oleic or regular sunflower or linseed oil on fatty acid profile of goat milk. *J Dairy Sci* 2012;95(4):1942-1955.
42. Mosley EE, Powell GL, Riley MB, Jenkins TC. Microbial biohydrogenation of oleic acid to trans isomers *in vitro*. *J Lipid Res* 2002;43(2):290-296.
43. Bernard L, Rouel J, Leroux C, Ferlay A, Faulconnier Y, Legrand P, Chilliard Y. Mammary lipid metabolism and milk fatty acid secretion in alpine goats fed vegetable lipids. *J Dairy Sci* 2005;88(4):1478-1489.
44. Cieslak A, Kowalczyk J, Czauderna M, Potkanski A, Szumacher-Strabel M. Enhancing unsaturated fatty acids in ewe's milk by feeding rapeseed or linseed oil. *Czech J Anim Sci* 2010;55(11):496-504.
45. Martínez Marín AL, Pérez Hernández M, Pérez Alba L, Gómez Castro G. Digestión de los lípidos en los rumiantes: una revisión. *Interciencia* 2010;35(4):240-246.
46. Lóor JJ, Ferlay A, Ollier A, Doreau M, Chilliard Y. Relationship among trans and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. *J Dairy Sci* 2005;88(2):726-740.
47. Zheng HC, Liu JX, Yao JH, Yuan Q, Ye HW, Ye JA, *et al.* Effects of dietary sources of vegetable oils on performance of high-yielding lactating cows and conjugated linoleic acids in milk. *J Dairy Sci* 2005;88(6):2037-2042.
48. Matsushita M, Tazinafo NM, Padre RG, Oliveira CC, Souza NE, Visentainer JV, *et al.* Fatty acid profile from Saanen goats fed a diet enriched with three vegetable oils. *Small Ruminant Res* 2007;72(2):127-132.
49. Givens DI, Kliem KE, Gibbs RA. The role of meat as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. *Meat Sci* 2006;74(1):209-218.

50. Glasser F, Doreau M, Ferlay A, Loor JJ, Chilliard Y. Milk fatty acids: mammary synthesis could limit transfer from duodenum in cows. *Eur J Lipid Technol* 2007;109(8):817-827.
51. Glasser F, Schmidely P, Sauvant D, Doreau M. Digestion of fatty acids in ruminants: a meta-analysis of uows and variation factors: 2. C18 fatty acids. *Animal* 2008;2(5):691-704.
52. Bauman DE, Baumgard LH, Corl BA, Griinari JM. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proc Am Soc Anim Sci*. 1999. [on line]: <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0940.pdf>. Accessed Jan 13, 2012.
53. AbuGhazaleh AA, Riley MB, Thies EE, Jenkins TC. Dilution rate and pH effects on the conversion of oleic acid to trans C18:1 positional isomers in continuous culture. *J Dairy Sci* 2005;88(12):4334-4341.
54. Chilliard Y, Ferlay A, Rouel J, Lamberet G. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J Dairy Sci* 2003;86(5):1751-1770.
55. Nudda A, Battacone G, Usai MG, Fancellu S, Pulina G. Supplementation with extruded linseed cake affects concentrations of conjugated linoleic acid and vaccenic acid in goat milk. *J Dairy Sci* 2006;89(1):277-282.
56. Liu S, Wang J, Bu D, Wei H, Zhou L, Luo Q. The effect of dietary vegetable oilseeds supplement on fatty acid profiles in milk fat from lactating dairy cows. *Agric Sci in China* 2007;6(8):1002-1008.
57. Shingfield KJ, Griinari JM. Role of biohydrogenation intermediates in milk fat depression. *Eur J Lipid Sci Technol* 2007;109(8):799-816.
58. McKain N, Shingfield KJ, Wallace RJ. Metabolism of conjugated linoleic acids and 18:1 fatty acids by ruminal bacteria: products and mechanisms. *Microbiology* 2010;156(2):579-588.
59. AbuGhazaleh AA, Jacobson BN. The effect of pH and polyunsaturated C18 fatty acid source on the production of vaccenic acid and conjugated linoleic acids in ruminal cultures incubated with docosahexaenoic acid. *Anim Feed Sci Technol* 2007;136(1):11-22.
60. Jouany JP, Lassalas B, Doreau M, Glasser F. Dynamic features of the rumen metabolism of linoleic acid, linolenic acid and linseed oil measured in vitro. *Lipids* 2007;42(4):351-360.
61. Piperova LS, Sampugna J, Teter BB, Kalscheur KF, Yurawecz MP, Ku Y, *et al.* Duodenal and milk trans octadecenoic acid and conjugated linoleic acid CLA isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of cis-9-containing CLA in lactating dairy cows. *J Nutr* 2002;132(6):1235-1241.
62. Loor JJ, Ueda K, Ferlay A, Doreau M, Chilliard Y. Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of trans fatty acids and conjugated linoleic acids in response to dietary forage: concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *J Dairy Sci* 2004;87(8):2472-2485.
63. Côrtes C, da Silva-Kazama DC, Kazama R, Gagnon N, Benchaar C, Santos GTD, *et al.* Milk composition, milk fatty acid profile, digestion, and ruminal fermentation in dairy cows fed whole flaxseed and calcium salts of flaxseed oil. *J Dairy Sci* 2010;93(7):3146-3157.
64. FEDNA. Normas Fedna para la formulación de piensos compuestos. Madrid, España: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal; 2003.
65. Bouattour MA. Efectos de la utilización de diferentes fuentes de grasa vegetal para incrementar el ácido linoleico conjugado en leche de pequeños rumiantes e interacción de enzimas fibrolíticas [tesis doctoral]. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona; 2007.
66. Offer NW, Marsden M, Dixon J, Speake BK, Thacker FE. Effect of dietary fat supplements on levels of n-3 polyunsaturated fatty acids, trans acids and conjugated linoleic acid in bovine milk. *Anim Sci* 1999;69(3):613-625.
67. Caroprese M, Marzano A, Marino R, Gliatta G, Muscio A, Sevi A. Flaxseed supplementation improves fatty acid profile of cow milk. *J Dairy Sci* 2010;93(6):2580-2588.
68. Dai XJ, Wang C, Zhu Q. Milk performance of dairy cows supplemented with rape seed oil, peanut oil, and sunflower seed oil. *Czech J Anim Sci* 2011;56(4):181-191.
69. Nudda A, Battacone G, Fancellu S, Carboni GA, Pulina G. The use of linseed and cottonseed to change the fatty acid profile in early lactation dairy goats. *CIHEAM Options méditerranéennes series A* 2007;(74):49-53.
70. Zucali M, Bava L, Penati C, Rapetti L. Effect of raw sunflower seeds on goat milk production in different farming systems. *Ital J Anim Sci* 2007;6(1):633-635.
71. Schmidely P, Morand-Fehr P, Sauvan D. Influence of extruded soybeans with or without bicarbonate on milk performance and fatty acid composition of goat milk. *J Dairy Sci* 2005;88(2):757-765.
72. Andrade PVD, Schmidely P. Influence of percentage of concentrate in combination with rolled canola seeds on performance, rumen fermentation and milk fatty acid composition in dairy goats. *Livest Sci* 2006;104(1):77-90.