

REDVET Rev. electrón. vet. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>
Vol. 12, Nº 7 Julio/2011 – <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070711.html>

Efecto de las fuentes de grasa sobre la digestión de la fibra en los rumiantes (Effect of fat sources on fiber digestion in ruminants)

Martínez Marín, Andrés L.; Pérez Hernández, Manuel, Pérez Alba; Luís, Gómez Castro, Gustavo; Carrión Pardo, Domingo

Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba. España.

Autor de contacto. Unidad Docente de Nutrición Animal. Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales, Carretera Madrid-Cádiz, km. 396, 14071 Córdoba. España.
Correo electrónico: pa1martm@uco.es

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue revisar el efecto de la inclusión de fuentes de grasa no protegidas sobre la digestión de la fibra en los rumiantes. Es bien conocido que el aporte de grasa extra en forma de fuentes de grasa no protegidas a la dieta puede afectar negativamente a los microorganismos del rumen y, en consecuencia, a la digestión microbiana de la dieta. La bibliografía revisada indica que la fibra es el único componente de la dieta cuya digestibilidad es reducida en ocasiones. Este efecto es menos frecuente cuando el contenido de grasa extra en la dieta no supera el 4% con independencia del grado de insaturación, forma de presentación y procesado de la fuente de grasa. En los trabajos en que se observó reducción de la digestibilidad de la fibra aunque la inclusión de grasa extra en la dieta fue inferior al 4%, el forraje mayoritario aportado fue ensilado, o se utilizaron fuentes de grasa ricas en ácidos grasos poliinsaturados de más de 20 carbonos. Cuando la grasa extra se incluye por encima del 4% en la dieta, la reducción de la digestibilidad de la fibra es más frecuente pero no existe una relación clara entre los resultados observados y las características de la fuente de grasa o de la dieta. En ocasiones, la ausencia de efectos negativos de la grasa extra sobre la digestibilidad total de la fibra puede ser explicada porque la disminución de la digestión ruminal es compensada totalmente por la digestión en los tramos posteriores del tracto digestivo. El efecto negativo de las fuentes de grasa no protegidas sobre la digestibilidad de la fibra se relaciona con el efecto tóxico que los ácidos grasos insaturados de cadena larga tienen sobre las bacterias fibrolíticas y los protozoos ruminales, aunque el mecanismo de acción no ha sido aclarado.

PALABRAS CLAVE: fuentes de grasa | digestibilidad de la fibra | digestión ruminal | lípidos.

SUMMARY

The aim of this paper was to review the effect of unprotected dietary lipid sources on fiber digestion in ruminants. It is well known that extra fat included in the diet in the form of unprotected fat sources sometimes can negatively affect rumen microorganisms and alter the microbial digestion of the diet. Reviewed literature points out fiber is the only dietary component whose digestibility can be decreased. This effect is less common when extra fat is included in the diet up to 4% regardless of unsaturation degree, and type or processing of the fat source. Decreased fiber digestibility observed in some studies where extra fat was lower than 4% could be due to the inclusion of silage as the main forage in the diet, or the use of fat sources rich in polyunsaturated fatty acids over 20 carbons. When extra fat is included in the diet above 4%, decreased fiber digestibility is more common but there is not clear relationship between the observed effect and the characteristics of the fat source or the diet. In some studies, the lack of negative effects of extra fat on total fiber digestibility could be explained because digestion in the lower digestive tract completely compensated for the decrease of rumen digestion. Decreased fiber digestibility when unprotected fat sources are included in ruminant diets is related to the toxic effect that long chain unsaturated fatty acids have on rumen fibrolytic bacteria and protozoa, although the exact mechanism of action has not been determined yet.

KEYWORDS: fat sources | fiber digestibility | ruminal digestion | lipids.

INTRODUCCIÓN

Las dietas de los rumiantes contienen generalmente entre 2 y 5% de lípidos, de los que la mitad aproximadamente son ácidos grasos (Doreau y Ferlay, 1994). El incremento del tenor graso de las dietas requiere la inclusión de fuentes de grasa. Según Chilliard y Ollier (1994), la adición de lípidos a las dietas de los rumiantes puede hacerse por varias razones: 1) aumentar la concentración energética en situaciones de elevada producción; 2) reducir el riesgo de acidosis ruminal y la caída de la grasa láctea en dietas pobres en forrajes groseros; 3) modificar los ácidos grasos que pueden ser absorbidos; 4) pueden abaratar el coste de la dieta en determinadas circunstancias.

Las fuentes de grasa extra incluidas en la dieta de los rumiantes pueden estar tratadas ("protegidas") mediante procedimientos físicos o químicos (encapsulación, hidrogenación, sales de calcio, acilamidas) para minimizar la interacción con la flora microbiana ruminal (Ashes y *col.*, 1997; Jenkins, 2004). Las fuentes de grasa no protegidas son semillas oleaginosas enteras o procesadas (molidas, aplastadas, extrusionadas, micronizadas) y grasas libres de origen vegetal (aceites de girasol, soja, palma, maíz, etc.) o animal (sebo de vacuno, manteca de cerdo, mezclas, etc).

Las fuentes de grasa protegidas tienen poco (Grummer, 1988; Bayourthe y *col.*, 1993; Cruywagen y *col.*, 2003; Silva y *col.*, 2007b) o ningún efecto negativo (Pérez Alba y *col.*, 1997, Ramana Reddy y *col.*, 2003; Hashem y Harb, 2006; Gagliostro y Schroeder, 2007) sobre la digestión de los componentes de la dieta. En su revisión, Jenkins y Bridges (2007) concluyeron que el aporte de lípidos a la dieta en forma de grasas protegidas permite incrementar los ácidos grasos disponibles para la absorción intestinal a la par que se evitan o minimizan los efectos negativos sobre la población microbiana ruminal.

Por el contrario, es bien conocido que la inclusión de lípidos no protegidos en distintas formas de presentación (semillas oleaginosas, aceites y grasas) en la dieta de los rumiantes puede afectar negativamente a la población microbiana del rumen con el consiguiente efecto sobre los parámetros de fermentación ruminal y la digestión de los componentes de la dieta (Sauvant y Bas, 2001).

Respecto a los parámetros ruminales, se ha observado que la inclusión de fuentes de grasa no protegidas en la dieta modifica las concentraciones y las proporciones molares de los ácidos grasos volátiles (AGV), y reduce la producción de metano (Machmüller y *col.*, 2000; Gonthier y *col.*, 2004; Beauchemin y *col.*, 2007; Beauchemin y *col.*, 2009). La disminución de la producción de metano es relevante desde el punto de vista del impacto ambiental de la producción de rumiantes (McAllister y Newbold, 2008).

En cuanto a la digestión de la dieta, parece que la adición de fuentes de grasa no protegidas no tiene efectos negativos sobre otros componentes distintos de la fibra. En este sentido, se ha comprobado que la digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos no es afectada (Machmüller y *col.*, 2000; Silva y *col.*, 2007a,b; Martin y *col.*, 2008; Montgomery y *col.*, 2008). Respecto a la grasa, la digestibilidad aparente normalmente aumenta porque se reduce el efecto negativo que la grasa endógena fecal tiene sobre el cálculo de la digestibilidad (Palmquist, 1991). Igualmente, el efecto sobre la digestión ruminal y total de la proteína es poco relevante. En una revisión de la bibliografía, Doreau y Ferlay (1995) concluyeron que la inclusión de lípidos tiende a reducir la concentración ruminal de amoníaco pero no afecta al flujo duodenal de nitrógeno no

amoniaco; los dos componentes de este, microbiano y no microbiano, no son generalmente afectados lo que indica que el efecto sobre la degradación de la proteína y la síntesis microbiana es mínimo. Trabajos posteriores han confirmado esas conclusiones (Montgomery y *col.*, 2008; Doreau y *col.*, 2009). De forma general, la inclusión de lípidos suplementarios en la dieta de los rumiantes no afecta (Hristov y *col.*, 2005) o, en la mayoría de las ocasiones aumenta la digestibilidad total de la proteína (Lor y *col.*, 2002; Kim y *col.*, 2007; Beauchemin y *col.*, 2007).

El principal efecto achacado a los lípidos suplementarios no protegidos es la reducción de la digestibilidad de la fracción fibrosa de la dieta, esto es, fibra neutrodetergente (FND) y ácidodetergente (FAD) (Doreau y Chilliard, 1997). Los carbohidratos fibrosos son el componente mayoritario en la dieta de los rumiantes y su fermentación ruminal aporta ácidos grasos volátiles que sirven como sustratos para cubrir las necesidades de energía y la síntesis de ácidos grasos de cadena larga y glucosa (Piatkowski, 1982). Por tanto, la digestibilidad de la fibra es relevante desde el punto de vista de la producción de leche y grasa láctea.

El objetivo del presente trabajo fue revisar el efecto que la inclusión de fuentes de grasa no protegidas en la dieta de los rumiantes tiene sobre la digestión de la fibra.

EFFECTO SOBRE LA DIGESTIÓN DE LA FIBRA

El efecto del aporte de fuentes de grasa no protegidas sobre la digestión de la fibra en relación con el grado de insaturación (número de enlaces dobles), la forma de presentación (semillas oleaginosas vs aceites), tipo de procesamiento de las semillas (p.ej. enteras vs extrusionadas), y la interacción de dichos factores entre ellos y con el aporte de forraje y el nivel de inclusión en la dieta ha sido ampliamente investigado (Tabla I).

Con niveles moderados de inclusión de fuentes de grasa no protegidas para aportar hasta 4-4,5% de lípidos suplementarios a la dieta no se han observado diferencias significativas en la digestibilidad ruminal de la FND por efecto del grado de insaturación (Avila y *col.*, 2000; Montgomery y *col.*, 2008), la forma de presentación (Gonthier y *col.*, 2004; Silva y *col.*, 2007a; Doreau y *col.*, 2009), la interacción del grado de insaturación con la forma de presentación (Palmquist, 1991; Wu y *col.*, 1994) y el contenido de forraje de la dieta (Sackmann y *col.*, 2003; Ueda y *col.*, 2003). Sin embargo, en algunos trabajos se han observado efectos negativos sobre la digestibilidad de la fibra con bajos niveles de lípidos suplementarios. En el trabajo de Vafa y *col.* (2009), la inclusión de 2% de aceite de pescado a la dieta redujo significativamente la digestibilidad de

57,8 a 50,6%, pero no hubo diferencias significativas cuando se administró al 1% combinado con 1% de aceite de colza. En corderos, Machmüller y *col.* (2000) observaron que la digestibilidad se redujo significativamente debido a la incorporación de 2,5% de grasa extra en forma de semilla de girasol (41,7 vs 52,6% en la dieta control), pero no se afectó de manera significativa por la inclusión de la misma cantidad de grasa en forma de aceite de coco, semilla de colza o semilla de lino. En cabras lactantes, Silva y *col.* (2007b) observaron que la inclusión en la dieta de 4,5% de grasa extra como aceite de soja redujo significativamente la digestibilidad de la FND pero no hubo diferencias significativas cuando se aportó la misma cantidad de grasa como semilla de soja (61,0 y 67,2 vs 68,1% en la dieta control). Veira y *col.* (2001) reportaron una digestibilidad de la FAD significativamente menor cuando se incluyó 3% de aceite de soja en la dieta (43,6 vs 52,8% en la dieta control). En el trabajo de Beauchemin y *col.* (2007), la inclusión de 3,4% de grasa extra en forma de sebo de vacuno o semilla de girasol, en la dieta de novillas de estirpe cárnica redujo significativamente la digestibilidad de la FND (32,8 y 27,4 vs 38,6% en la dieta control), sin embargo, el aceite de girasol solamente ocasionó una reducción numérica. En vacas, Beauchemin y *col.* (2009) observaron que la inclusión de semilla de colza aplastada (3,9% de grasa extra) no tuvo efectos significativos sobre la digestibilidad de la materia orgánica en comparación con una dieta control que incluyó 3,1% de grasa extra en forma de jabón cálcico; sin embargo, las semillas de girasol (4,2% de grasa extra) y lino (3,7% de grasa extra), ambas aplastadas, sí tuvieron un efecto negativo significativo que fue mayor en la primera (52,0 y 58,1 vs 63,5% en la dieta control). Cabe señalar que el forraje mayoritario o exclusivo de las dietas de los trabajos mencionados fue ensilado de maíz (Machmüller y *col.*, 2000), maíz y alfalfa en cantidades iguales (Veira y *col.*, 2001), y cebada (Beauchemin y *col.*, 2007; 2009).

En algunos trabajos con aportes de grasa extra no protegida superiores a 4% no ocurren efectos negativos significativos sobre la digestibilidad total de la FND (Doreau y *col.*, 1993; Pantoja y *col.*, 1994; Zervas y *col.*, 1998), y ello con independencia del grado de insaturación (Palmquist, 1991; Hristov y *col.*, 2005), la forma de presentación (Palmquist y Conrad, 1978), y la interacción del grado de insaturación con la forma de presentación (Petit y *col.*, 1997). Cuando existe un efecto negativo, el grado de insaturación y la forma de presentación parecen ser irrelevantes. Maia y *col.* (2006) incluyeron 5,1% de grasa extra como aceite de arroz, colza o soja en la dieta de cabras de leche y observaron una disminución significativa de la digestibilidad total de la FND en las dietas con grasa extra en relación con la dieta control (27,3 vs 36,0%), pero no hubo diferencias significativas entre las tres dietas con aceite. Moore y *col.* (1986) observaron que la inclusión de un 6,3% de grasa extra en forma de semilla de algodón, aceite de algodón o grasa animal

en dietas para terneros con 62 a 76% de paja de trigo redujo significativamente la digestibilidad de la FAD en relación con la dieta control (30,7, 28,9 y 27,4 vs 35,9, respectivamente). En el trabajo de Martin y *col.* (2008), la adición de 5,7% de grasa extra en forma de semilla de lino cruda o extrusionada, o aceite de lino redujo significativamente la digestibilidad de la FND, con valores similares entre las tres fuentes de grasa (41,9, 38,1 y 42,2 vs 47,5% en la dieta control). En el trabajo de Ben Salem y *col.* (1993) se puso de manifiesto que existe una interacción entre la cantidad de lípidos suplementarios y el tipo de forraje. Dichos autores observaron que la inclusión de 7% de grasa extra en forma de aceite de colza causó una reducción de la digestibilidad de la FND significativamente mayor en relación con la dieta control cuando el forraje fue ensilado de maíz (46,9 vs 56,9%) que cuando se utilizó heno de hierba (50,4 vs 55,0%).

El efecto de una fuente de grasa no protegida en particular también está relacionado con su nivel de inclusión. Looor y *col.* (2002) no observaron diferencias significativas en la digestibilidad ruminal o total de la FAD en respuesta a la adición de 3,3% de grasa extra en forma de aceite de colza a la dieta de vacas. Sin embargo, Tesfa (1993) reportó un efecto negativo significativo sobre la digestibilidad total de la FND en respuesta a la inclusión de 6,3% de grasa extra del mismo aceite en la dieta de terneros (66,7 vs 76,9% en la dieta control). En vacas, Murphy y *col.* (1987) observaron que la digestibilidad de la materia seca se redujo significativamente por la inclusión de 4,7% de grasa extra en forma de semilla de colza aplastada en relación con la dieta control y cuando el nivel de inclusión fue solamente de 2,4% (68,3 vs 72,7 y 71,4%, respectivamente). En corderos, Manso y *col.* (2006) no observaron diferencias significativas entre la digestibilidad total de la FND de la dieta control y la que incluyó 2,5% de grasa extra en forma de aceite de palma, pero sí cuando el aporte fue 4,1%, respectivamente (50,3 vs 43,5%, respectivamente). Igualmente, Moore y *col.* (1986) no observaron diferencias significativas en la digestibilidad total de la FAD en terneros que consumieron la dieta control y los que consumieron una dieta que incluyó 2 ó 4% de grasa animal, pero sí las hubo cuando la inclusión de grasa animal fue 8% (42,5 vs 26,7%). Hess y *col.* (2001) observaron un descenso lineal significativo de la digestibilidad total en respuesta a la inclusión de 3 y 6% de aceite de soja en la dieta de novillas (59,8 y 48,2 vs 64,5% en la dieta control). En contraste con los trabajos reseñados, Bateman y Jenkins (1998) y Kucuk y *col.* (2004) no observaron diferencias significativas en respuesta a la inclusión de 2 a 8% y de 3,2 a 5% de aceite de soja en la dieta de vacas no lactantes y corderos, respectivamente.

La relación entre la disminución de la digestibilidad de la fibra y el efecto de los lípidos no protegidos sobre los AGV es variable, no observándose una relación clara entre ambos. Entre los trabajos en que se reportó un

efecto negativo sobre la digestibilidad de la fibra, Tesfa (1993) y Machmüller y *col.* (2000) observaron una reducción significativa de la concentración ruminal de AGV y de la relación acetato/propionato; sin embargo, Beauchemin y *col.* (2007, 2009) no hallaron diferencias significativas. En los trabajos en que no se reportó reducción de la digestibilidad de la fibra por la inclusión de lípidos no protegidos en la dieta, la concentración de AGV totales y la relación acetato/propionato (Avila y *col.*, 2000; Ueda y *col.*, 2003; Montgomery y *col.*, 2008) no fueron significativamente afectadas, bien únicamente se redujo de forma significativa la relación acetato/propionato (Gonthier y *col.*, 2004).

Los resultados experimentales sugieren que el efecto negativo de la inclusión de lípidos en la dieta de los rumiantes sobre la digestión ruminal y total de la fracción fibrosa de la dieta parece depender principalmente de la cantidad de grasa añadida aunque el resultado es modulado por las características de la fuente de grasa y la dieta en que se incluye. En este sentido, Clinquart y *col.* (1995) recomendaron que la inclusión de grasa extra en la dieta de bovinos de engorde se limite al 5% basándose en los resultados de numerosos trabajos experimentales. También, Hess y *col.* (2008) concluyeron que los efectos negativos sobre la digestibilidad de los componentes de la dieta no son probables en ovino y bovino de engorde cuando la grasa extra se incluye en cantidad igual o inferior al 2% en dietas forrajeras, mientras que el impacto es mínimo cuando se incluye hasta un 6% de grasa extra en dietas concentradas.

Tabla I. Efecto de diversas fuentes de grasa no protegidas sobre la digestibilidad de la fibra en rumiantes.

Autor	animales	forraje	fuentes de grasa	grasa extra %	efecto negativo sobre la digestibilidad*
1	vacas en mitad de lactación	45% heno de alfalfa	sebo	2,0	no
			grasa amarilla	2,0	no
			mezcla de ambas	2,0	no
2	vacas en secado	50% heno de bermuda	aceite de soja	2,0	no
			aceite de soja	4,0	no
			aceite de soja	6,0	no

			aceite de soja	8,0	no
			semilla colza aplastada	3,9	no
3	vacas en mitad de lactación	45% ensilado de cebada	semilla girasol aplastada	4,2	sí†
			semilla lino aplastada	3,7	sí†
4	novillas de estirpe cárnica	65% ensilado de cebada	aceite de girasol	3,4	no†
			sebo	3,4	sí
			semilla de girasol	3,4	sí
5	vacas al final de lactación	60% heno de hierba	aceite de colza	7,0	sí
		65% ensilado de maíz	aceite de colza	7,0	sí
6	vacas en secado	65% ensilado de maíz + 10% heno de alfalfa	semilla de lino aplastada	2,4	no
			semilla de lino extrusionada	2,4	no
			aceite de lino	2,4	no
7	vacas en mitad de lactación	65% ensilado de maíz	aceite de colza	5,8	no
8	vacas en mitad de lactación	61% heno de hierba	semilla de colza	4,3	no
			semilla de colza extrusionada	4,3	no
9	vacas al final de lactación	33% ensilado de hierba + 22% ensilado de maíz	semilla de lino	3,5	no
			semilla de lino micronizada	3,5	no
			semilla de lino extrusionada	3,5	no
10	novillas de	80%	aceite de soja	2,9	sí

	estirpe cárnica	heno de bromo	aceite de soja	6,2	sí
11	corderos de engorde	18%	aceite de soja	3,2	no
		heno de bromo	aceite de soja	6,3	no
			aceite de soja	9,4	no
12	vacas en mitad de lactación	18% henolado de alfalfa + 31% ensilado de maíz	aceite de colza	3,3	no†
13	corderos de engorde	68%	aceite de coco	2,5	no
		ensilado de maíz + 7%	semilla de colza	2,5	no
		heno de hierba	semilla de lino	2,5	no
			semilla de girasol	2,5	sí
14	cabras en ordeño	50%	aceite de arroz	5,1	sí
		ensilado de maíz	aceite de colza	5,1	sí
			aceite de soja	5,1	sí
15	corderos de engorde	¿? paja de cebada	aceite de palma	2,5	no
			aceite de palma	4,1	sí
16	vacas en mitad de lactación	55%	semilla de lino	5,7	sí
		ensilado de maíz + 10%	semilla de lino extrusionada	5,7	sí
		heno de hierba	aceite de lino	5,7	sí
			sebo	4,0	no
17	terneros en crecimiento	10%	germen de maíz	4,0	no
		heno de alfalfa	aceite de maíz	4,0	no
			aceite de lino	4,0	no
18	terneros en crecimiento	62%	semilla de algodón	6,3	sí†
		paja de	aceite de algodón	6,3	sí†

		cereal	grasa animal	6,3	sí‡
	terneros en crecimiento	70% paja de cereal	grasa animal	2,0	no‡
			grasa animal	4,0	no‡
			grasa animal	8,0	sí‡
19	vacas en mitad de lactación	58% heno ¿?	semilla de colza aplastada	2,4	no¶
			semilla de colza aplastada	4,7	sí¶
		42% heno de alfalfa + 16% ensilado de maíz	semilla de soja molida	2,7	no‡
20	vacas al comienzo de la lactación		mezcla de grasa hidrolizada	2,5	no‡
			mezcla de grasa hidrolizada	7,6	no‡
21	vacas al comienzo de la lactación	36% ensilado de maíz + 24% ensilado de alfalfa	mezcla de grasa animal y vegetal	5,0	no
22	cabras no lactantes ni gestantes	41% heno tifton 85	aceite de soja	4,5	no
			semilla de soja	4,5	no
23	cabras lactantes	41% heno tifton 85	aceite de soja	4,5	sí
			semilla de soja	4,5	sí
24	novillos	65% ensilado de hierba	aceite de colza	6,3	sí‡
25	vacas al comienzo de la lactación	65% heno de hierba	aceite de lino	3,0	no
		35% heno de hierba	aceite de lino	3,0	no
26	vacas al	20%	aceite de pescado	2,0	no

	comienzo de la lactación	heno de alfalfa + 20% ensilado de maíz	y aceite de colza en partes iguales aceite de colza aceite de pescado	2,0 2,0	no sí
27	vacas en mitad de lactación	27% ensilado de maíz + 27% ensilado de alfalfa	aceite de soja	3,0	sí‡
28	vacas al comienzo de la lactación	40% heno de alfalfa	semilla de algodón semilla de algodón+aceite de cártamo	2,4 4,6	no no
29	ovejas lactantes	40% heno de ryegrass	aceite de soja	5,0	no

total: 29 trabajos

15 con vacas de leche en producción

7 con vacas en secado, novillas y terneros	45 tratamientos con aceites y grasas libres	72 tratamientos:
1 con ovejas de leche en producción	26 tratamientos con semillas oleaginosas	46 sin efecto y 26 con efecto negativo
1 con cabras no gestantes ni lactantes	1 con combinación de semilla oleaginosa y aceite	Con ≤ 4% grasa extra: 33 sin efecto y 7 con efecto negativo
1 con cabras de leche en producción		Con > 4% grasa extra: 13 sin efecto y 19 con efecto negativo
3 con corderos de engorde		

*Efecto sobre la digestibilidad de la fibra neutrodetergente salvo las llamadas: †efecto sobre la materia orgánica, ‡ efecto sobre la fibra ácidodetergente, ¶ efecto sobre la materia seca. Autores: ¹Avila y col. (2000), ²Bateman y Jenkins (1998), ³Beauchemin y col. (2009), ⁴Beauchemin y col. (2007), ⁵Ben Salem y col. (1993), ⁶Doreau y col. (2009), ⁷Doreau y col. (1993), ⁸Ferlay y col. (1992), ⁹Gonthier y col. (2004), ¹⁰Hess y col. (2001), ¹¹Kucuk y col. (2004), ¹²Loor y col. (2002), ¹³Machmüller y col. (2000), ¹⁴Maia y col. (2006), ¹⁵Manso y col. (2006),

¹⁶Martin y *col.* (2008), ¹⁷Montgomery y *col.* (2008), ¹⁸Moore y *col.* (1986), ¹⁹Murphy y *col.* (1987), ²⁰Palmquist y Conrad (1978), ²¹Pantoja y *col.* (1994), ²²Silva y *col.* (2007a), ²³Silva y *col.* (2007b), ²⁴Tesfa (1993), ²⁵Ueda y *col.* (2003), ²⁶Vafa y *col.* (2009), ²⁷Veira y *col.* (2001), ²⁸Wu y *col.* (1994), ²⁹Zervas y *col.* (1998).

DIGESTIBILIDAD RUMINAL VS TOTAL

Los valores de digestibilidad total de la fibra pueden no ser representativos del efecto que las fuentes de grasa no protegidas tienen sobre la digestión ruminal; de hecho, la digestión de los carbohidratos fibrosos en el tramo posterior del tracto digestivo puede jugar un importante papel en la digestión total cuando la grasa extra causa una disminución de la digestión ruminal.

Ikwuegbu y Sutton (1982) reportaron que 45 a 65% de la digestión de la FAD tuvo lugar en el intestino de ovejas a las que se administró aceite de lino (2,1, 4,1 y 6,3% de la dieta) en comparación con un 18% en ovejas que consumieron la dieta control, pero la disminución de la digestión ruminal no fue compensada en los niveles mayores de inclusión. Sutton y *col.* (1983) reportaron que la digestión posruminal de la FND de ovejas que consumieron la dieta control representó el 16% de la digestión total; sin embargo, el suministro de 40 g/d (6,3% de la dieta) de aceite de lino o coco encapsulados aumentó dicho valor a 30 y 20%, respectivamente, y llegó a 34% cuando ambos aceites se dieron libres, pero no se compensó totalmente la reducción de la digestibilidad ruminal en ningún caso.

En vacas, Murphy y *col.* (1987) observaron una reducción lineal de la digestión ruminal de la materia seca de 52,1% en la dieta control a 46,3 y 44,4% en las dietas con 1 y 2 kg de semilla de colza aplastada, respectivamente; la digestibilidad total en la dieta con mayor inclusión de semilla colza fue inferior a las otras dos, indicando que la digestión intestinal fue insuficiente para compensar la disminución ocurrida en el rumen (68,3 vs 72,7 y 71,4%). Pantoja y *col.* (1994) observaron que la digestión ruminal de la FND se redujo linealmente de 48,9 a 43,8% al aumentar el grado de insaturación de la grasa extra incluida al 5% en la dieta de vacas pero la digestión intestinal compensó la reducción, no existiendo diferencias en la digestibilidad total que osciló de 49,2 a 62,9%. Hess y *col.* (2001) observaron la inclusión de 3 ó 6% de aceite de soja en la dieta de novillas redujo la digestibilidad ruminal de la FND en relación a la dieta control (51,2 y 43,5 vs 57,3%) y la digestión posruminal fue insuficiente para compensarla en ambos casos (digestibilidad total: 59,8 y 48,2 vs 64,5%). Sin embargo, Hristov y *col.* (2005) reportaron que el descenso de la digestibilidad ruminal debido a la inclusión de 5% de aceite de cártamo alto oleico o alto linoleico en la

dieta de terneros (63,2 vs 51,5%) fue completamente compensado por la digestión intestinal (digestibilidad total: 67,4 vs 67,3%).

POSIBLES CAUSAS DE LA DEPRESIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD RUMINAL DE LA FIBRA

Según Palmquist y Jenkins (1980), la principal causa de la depresión de la digestibilidad ruminal de la fibra de la dieta en respuesta a la inclusión de fuentes de grasa no protegidas es probablemente la inhibición del crecimiento de los microorganismos ruminales con actividad fibrolítica. Las principales especies bacterianas que participan en la fermentación ruminal de la fibra son *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*, y *Butyrivibrio* y *Prevotella spp.* (Walker, 2010). Los protozoos pueden contribuir a 5-21% de la actividad fibrolítica (Dijkstra y Tamminga, 1995). Todos los protozoos entodiniomorfos, excepto *Entodinium spp.*, poseen celulasas y la mayor actividad corresponde a *Eudoplodinium maggi* (Walker, 2010).

Ikwuegbu y Sutton (1982), Bonhomme (1990) y Ushida y *col.* (1990) demostraron que la reducción o eliminación de los protozoos resulta en una disminución de la digestión de la fibra. Czerkowski y *col.* (1975) e Ikwuegbu y Sutton (1982) demostraron el efecto negativo del aceite de lino sobre los protozoos, y Broudiscou y *col.* (1994) observaron que, además, era perjudicial para las bacterias celulolíticas y metanogénicas. Váradyová y *col.* (2007) reportaron que la inclusión de 5% de aceite de lino en la dieta de ovejas redujo la cantidad total de protozoos en relación con la inclusión de aceite de girasol o colza y la dieta control ($5,0 \times 10^4$ vs $7,5 \times 10^4$, $7,2 \times 10^4$ y $8,9 \times 10^4$ células/ml, respectivamente). Oldick y Firkins (2000) observaron que el aumento del grado de insaturación (de 12,8 a 109,7 valor yodo) de la grasa incluida en la dieta provocó un descenso lineal del número de protozoos (de $8,7 \times 10^5$ a $5,1 \times 10^5$ células/ml). Yang y *col.* (2009) compararon la inclusión de 4% de aceite de soja, 4% de aceite de lino o 4% de una mezcla de ambos en cantidades iguales en la dieta de vacas y observaron una disminución de las bacterias fibrolíticas y los protozoos en las dietas con aceite en relación con la dieta control ($3,25 \times 10^8$ vs $4,66 \times 10^8$ UFC/ml, y $9,04 \times 10^4$ vs $12,92 \times 10^4$ células/ml, respectivamente); el aceite de lino tuvo el mayor efecto sobre la cantidad de *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Fibrobacter succinogenes* y *Ruminococcus flavefaciens* en el contenido ruminal; la cantidad de *Ruminococcus albus* disminuyó un 40% en relación con la dieta control con independencia del tipo de aceite. En el trabajo de Beauchemin y *col.* (2009), la cantidad de protozoos respecto a la dieta control se redujo significativamente en respuesta a la inclusión de aproximadamente 4% de grasa extra en forma de semillas de girasol y colza pero no de lino, todas aplastadas ($8,28 \times 10^5$ vs $5,16 \times 10^5$, $5,23 \times$

10^5 y $6,35 \times 10^5$ células/ml, respectivamente). Mughetti y *col.* (2007) observaron que la cantidad de protozoos en relación con la dieta control se redujo por la inclusión de semilla de lino en la dieta de ovejas pero el efecto fue mayor cuando aquella se dio extrusionada que cuando se incorporó molida ($43,40 \times 10^4$ vs $20,61 \times 10^4$ y $25,43 \times 10^4$ células/ml, respectivamente). Estos trabajos sugieren que el efecto de las fuentes de grasa no protegidas sobre los microorganismos ruminales responsables de la digestión de la fibra depende tanto del grado de insaturación como de la forma de presentación.

Los resultados obtenidos en diferentes situaciones experimentales muestran que las principales características de las grasas que afectan negativamente a la flora microbiana ruminal son el aumento del grado de insaturación y la presencia de grupos carboxilos libres (Jenkins, 1993; Doreau y Chilliard, 1997). Se ha observado que el efecto negativo sobre la digestibilidad es menor en las dietas con suficiente calcio soluble (White y *col.*, 1958), y los resultados productivos son menos afectados cuando las dietas contienen mayor cantidad de forraje, sobre todo en forma de heno (Smith y Harris, 1993). El efecto protector del calcio podría deberse a que bloquea el grupo carboxilo de los ácidos grasos libres, formando sales cálcicas (Palmquist y *col.*, 1986); o bien facilita la adhesión de las bacterias a las partículas del alimento (Roger y *col.*, 1990). Respecto al forraje, existe la posibilidad de que las partículas presentes en el rumen protejan indirectamente a las bacterias al competir ventajosamente con ellas por la adhesión de los ácidos grasos (Harfoot y *col.*, 1974).

El mecanismo por el que las fuentes de grasa no protegidas ejercen su efecto negativo sobre los microorganismos ruminales no está claro. La capacidad de hidrolizar y biohidrogenar los lípidos de la dieta puede entenderse como un mecanismo de adaptación que han desarrollado los microorganismos ruminales para protegerse de los efectos tóxicos de los ácidos grasos poliinsaturados, que son mayoritarios en los forrajes verdes consumidos por los rumiantes (Morand-Fehr y Tran, 2001). En este sentido, Maia y *col.* (2010) observaron *in vitro* que el crecimiento de *Butyrivibrio fibrisolvens* era retrasado en presencia de los ácidos linoleico y linolénico, y no se iniciaba hasta que aquellos eran metabolizados a ácido vaccénico. En un estudio *in vitro* con 26 especies de bacterias ruminales, Maia y *col.* (2007) observaron que 11 de aquellas fueron capaces de metabolizar los ácidos linoleico y linolénico, pero ninguna especie metabolizó los ácidos eicosapentaenoico y docosahexaenoico. En dicho trabajo, ninguna especie de bacterias fibrolíticas creció en presencia de $50 \mu\text{g/ml}$ de ácidos grasos poliinsaturados; el rango de toxicidad fue eicosapentaenoico > docosahexaenoico > linolénico > linoleico. Estos autores especularon que la forma de la molécula de los ácidos grasos insaturados debida a los enlaces dobles podría causar daño a la estructura lipídica de la membrana bacteriana. Posteriormente, Maia y *col.* (2010)

concluyeron que un efecto metabólico directo es más probable que la alteración de la integridad de la membrana.

CONCLUSIONES

El efecto negativo de la inclusión de fuentes de grasa no protegidas en la dieta de los rumiantes sobre la digestibilidad total de la fracción fibrosa es improbable cuando el aporte de grasa extra no supera el 4%, no se aportan ácidos grasos poliinsaturados de más de 20 carbonos, y el forraje mayoritario de la dieta no es ensilado.

La inclusión de fuentes de grasa no protegidas en la dieta para aportar más de 4% de grasa extra afecta negativamente a la digestibilidad de la fibra en la mayoría de las ocasiones aunque los atributos de la fuente de grasa y las características de la dieta que determinan el efecto no son evidentes a partir de la bibliografía revisada. Si ocurre un efecto negativo, la disminución de la digestibilidad es mayor cuando el forraje mayoritario es ensilado.

En el caso particular de los aceites y grasas, el efecto negativo parece ser dependiente del nivel de inclusión en la dieta. A un bajo nivel de inclusión, la disminución de la digestión ruminal de la fibra podría ser compensada por una mayor digestión posruminal con lo que la digestibilidad total no se vería afectada. A un nivel elevado de inclusión, la digestión posruminal puede ser insuficiente para compensar la menor digestión en el rumen.

Claramente más estudios de digestibilidad en pequeños rumiantes de aptitud lechera son necesarios para definir niveles óptimos de inclusión de fuentes de grasa no protegidas en la dieta según las características de esta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ashes, J.R., Gulati, S.K., Scott, T.W. Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *J. Dairy Sci.*, 1997, vol. 80, p. 2204-2212.
2. Avila, C.D., DePeters, E.J., Perez-Monti, H., Taylor, S.J., Zinn, R.A. Influences of saturation ratio of supplemental dietary fat on digestion and milk yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 2000, vol. 83, p. 1505-1519.
3. Bateman, H.G., Jenkins, T.C. Influence of soybean oil in high fiber diets fed to nonlactating cows on ruminal unsaturated fatty acids and nutrient digestibility. *J. Dairy Sci.*, 1998, vol. 81, p. 2451-2458.

4. Bayourthe, C., Moncoulon, R., Vernay, M. Effect of protein-protected fat on ruminal and total nutrient digestibility of sheep diets. *J. Anim. Sci.*, 1993, vol. 71, p.1026-1031.
5. Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Benchaar, C., Holtshausen, L. Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *J. Dairy Sci.*, 2009, vol. 92, p. 2118-2127.
6. Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Petit, H.V. Methane abatement strategies for cattle: Lipid supplementation of diets *Can. J. Anim. Sci.*, 2007, vol. 87, p. 431-440.
7. Ben Salem, H., Krzeminski, R., Ferlay, A., Doreau, M. Effect of lipid supply in vivo digestion in cows: Comparison of hay and corn-silages diets. *Can. J. Anim. Sci.*, 1993, vol. 73, p. 544-557.
8. Bonhomme, A. Rumen ciliates: their metabolism and relationships with bacteria and their hosts. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1990, vol. 30, p. 203-266.
9. Broudiscou, L., Pochet, S., Poncet, C. Effect of linseed oil supplementation on feed degradation and microbial synthesis in the rumen of ciliate-free and refaunated sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1994, vol. 49, p.189-202.
10. Czerkawski, J.W., Christie, W.W., Breckenridge, G., Hunter, M.L. Changes in the rumen metabolism of sheep given increasing amounts of linseed oil in their diet. *Br. J. Nutr.*, 1975, vol. 34, p. 25-44.
11. Chilliard, Y., Ollier, A. Alimentation lipidique et métabolisme du tissu adipeux chez les ruminants. Comparaison avec le porc et les rongeurs. *INRA Prod. Anim.*, 1994, vol. 7, p. 293-308.
12. Clinquart, A., Micol, D., Brundseaux, C., Dufrasne, I., Istasse, L. Utilisation des matières grasses chez les bovins à l'engraissement. *INRA Prod. Anim.*, 1995, vol. 8, p. 29-42.
13. Cruywagen, C.W., Lategan, E.L., Hoffman, L.C. The effect of rumen inert fat supplementation and protein degradability in starter and finishing diets on veal calf performance. *South African J. Anim. Sci.*, 2003, vol. 33, p. 257-265.
14. Dijkstra, J., Tamminga, S. Simulation of the effects of diet on the contribution of rumen protozoa to degradation of fibre in the rumen. *Br. J. Nutr.*, 1995, vol. 74, p. 617-634.
15. Doreau, M., Aurousseau, E., Martin, C. Effects of linseed lipids fed as rolled seeds, extruded seeds or oil on organic matter and crude protein digestion in cows. 2009, vol. 150, p. 187-196.
16. Doreau, M., Chilliard, Y. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.*, 1997, vol. 78, p. S15-S35.
17. Doreau, M., Ferlay, A. Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 1994, vol. 45, p. 379-396.

18. Doreau, M., Ferlay, A. Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 1995, vol. 43, p. 97-110.
19. Doreau, M., Ferlay, A., Elmeddah, Y. Organic matter and nitrogen digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. *J. Anim. Sci.*, 1993, vol. 71, p. 499-504.
20. Ferlay, A., Legay, F., Bauchart, D., Poncet, C., Doreau, M. Effect of a supply of raw or extruded rapeseeds on digestion in dairy cows. *J. Anim. Sci.*, 1992, vol. 70, p. 915-923.
21. Gagliostro, G.A., Schroeder, G.F. Efectos de la suplementación con sales cálcicas de ácidos grasos insaturados sobre la digestión ruminal en vacas lecheras en pastoreo. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 2007, vol.15, p. 85-97.
22. Gonthier, C., Mustafa, A.F., Berthiaume, R., Petit, H.V., Martineau, R., Ouellet, D.R. Effects of feeding micronized and extruded flaxseed on ruminal fermentation and nutrient utilization by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 2004, vol. 87, p. 1854-1863.
23. Grummer, R.R. Influence of prilled fat and calcium salt of palm oil fatty acids on ruminal fermentation and nutrient digestibility. *J. Dairy Sci.*, 1988, vol. 71, p. 117-123.
24. Harfoot, C.G., Crouchman, M.L., Noble, R.C., Moore, J.H. Competition between food particles and rumen bacteria in the uptake of long-chain fatty acids and triglycerides. *J. Appl. Bacteriol.*, 1974, vol. 37, p. 633-641.
25. Hashem, R.H.A., Harb, M. The effect of adding protected fat in the ration of lactating awassi ewes and fattening lambs. *Jordan J. Agr. Sci.*, 2006, vol. 2, p. 35-44.
26. Hess, B.W., Moss, G.E., Rule, D.C. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *J. Anim. Sci.*, 2008, vol. 86, p. 188-204.
27. Hess, B.W., Whitney, M.B., Rule, D.C. Site and extent of digestion by beef heifers fed medium-quality hay and supplemental corn or soybean oil. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.*, 2001, vol. 52, p. 469-472.
28. Hristov, A.N., Kennington, L.R., McGuire, M.A., Hunt, C.W. Effect of diets containing linoleic acid- or oleic acid-rich oils on ruminal fermentation and nutrient digestibility, and performance and fatty acid composition of adipose and muscle tissues of finishing cattle. *J. Anim. Sci.*, 2005, vol. 83, p.1312-1321.
29. Ikwuegbu, O.A., Sutton, I.D. The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on rumen metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.*, 1982, vol. 48, p. 365-375.
30. Jenkins, T.C. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.*, 1993, vol. 76, p. 3851-3863.

31. Jenkins, T.C. Challenges of meeting cow demands for omega fatty acids. 15th Florida Ruminant Nutrition Symposium. Gainesville, USA, 2004, p. 52-66.
32. Jenkins, T.C., Bridges Jr, W.C. Protection of fatty acids against ruminal biohydrogenation in cattle. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2007, vol. 109, p. 778-789.
33. Kim, S.C., Adesogan, A.T., Badinga, L., Staples, C.R. Effects of dietary n-6:n-3 fatty acid ratio on feed intake, digestibility, and fatty acid profiles of the ruminal contents, liver, and muscle of growing lambs. *J. Anim. Sci.*, 2007, vol. 85, p. 706-716.
34. Kucuk, O., Hess, B.W., Rule, D.C. Soybean oil supplementation of a high-concentrate diet does not affect site and extent of organic matter, starch, neutral detergent fiber, or nitrogen digestion, but influences both ruminal metabolism and intestinal flow of fatty acids in limit-fed lambs. *J. Anim. Sci.*, 2004, vol. 82, p. 2985-2994.
35. Loor, J.J., Herbein, J.H., Jenkins, T.C. Nutrient digestion, biohydrogenation, and fatty acid profiles in blood plasma and milk fat from lactating Holstein cows fed canola oil or canolamide. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2002, vol. 97, p. 65-82.
36. Machmüller, A., Ossowski, D.A., Kreuzer, M. Comparative evaluation of the effects of coconut oil, oilseeds and crystalline fat on methane release, digestion and energy balance in lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2000, vol. 85, p. 41-60.
37. Maia, F.J., Branco, A.F., Mouro, G.F., Coneglian, S.M., Santos, G.T., Minella, T.F., Guimarães, K.C. Inclusão de fontes de óleo na dieta de cabras em lactação: digestibilidade dos nutrientes e parâmetros ruminais e sanguíneos. *Rev. Bras. Zootec.*, 2006, vol. 35, p. 1496-1503.
38. Maia, M.R.G., Chaudhary, L.C., Bestwick, C.S., Richardson, A.J., McKain, N., Larson, T.R., Graham, I.A., Wallace, R.J. Toxicity of unsaturated fatty acids to the biohydrogenating ruminal bacterium, *Butyrivibrio fibrisolvens*. *BMC Microbiology*, 2010, vol. 10, p. 52-62.
39. Maia, M.R.G., Chaudhary, L.C., Figueres, L., Wallace, R.J. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2007, vol. 91, p. 303-314.
40. Martin, C., Rouel, J., Jouany, J.P., Doreau, M., Chilliard, Y. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *J. Anim. Sci.*, 2008, vol. 86, p. 2642-2650.
41. Manso, T., Castro, T., Mantecón, A.R., Jimeno, V. Effects of palm oil and calcium soaps of palm oil fatty acids in fattening diets on digestibility, performance and chemical body composition of lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2006, vol. 127, p. 175-186.
42. McAllister, T.A., Newbold, C.J. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2008, vol. 48, p. 7-13.

43. Montgomery, S.P., Drouillard, J.S., Nagaraja, T.G., Titgemeyer, E.C., Sindt, J.J. Effects of supplemental fat source on nutrient digestion and ruminal fermentation in steers. *J. Anim. Sci.*, 2008, vol. 86, p. 640-650.
44. Morand-Fehr, P., Tran, G. La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *INRA Prod. Anim.*, 2001, vol. 14, p. 285-302.
45. Moore, J.A., Swingle, R.S., Hale, W.H. Effects of whole cottonseed, cottonseed oil or animal fat on digestibility of wheat straw diets by steers *J. Anim. Sci.*, 1986, vol. 63, p. 1267-1273.
46. Mughetti, L., Acuti, G., Antonini, C., De Vincenzi, S., Olivieri, O., Trabalza Marinucci, M. Effects of feeding raw or extruded linseed on the ruminal ecosystem of sheep. *Ital. J. Anim. Sci.*, 2007, vol. 6, p. 327-329.
47. Murphy, M., Uden, P., Palmquist, D.L., Wiktorsson, H. Rumen and total diet digestibilities in lactating cows fed diets containing full-fat rapeseed. *J. Dairy Sci.*, 1987, vol. 70, p. 1572-1582.
48. Oldick, B.S., Firkins, J.L. Effects of degree of fat saturation on fiber digestion and microbial protein synthesis when diets are fed twelve times daily. *J. Anim. Sci.*, 2000, vol. 78, p. 2412-2420.
49. Palmquist, D.L. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.*, 1991, vol. 74, p. 1354-1364.
50. Palmquist, D.L., Conrad, H.R. High fat rations for dairy cows. effects on feed intake, milk and fat production, and plasma metabolites. *J. Dairy Sci.*, 1978, vol. 61, p. 890-901.
51. Palmquist, D.L., Jenkins, T.C. Fat in lactation rations: review. *J. Dairy Sci.*, 1980, vol. 63, p. 1-14.
52. Palmquist, D.L., Jenkins, T.C., Joyner, A.E. Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. *J. Dairy Sci.*, 1986, vol. 69, p. 1020-1025.
53. Pantoja, J., Firkins, J.L., Eastridge, M.L., Hull, B.L. Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 1994, vol. 77, p. 2341-2356.
54. Pérez-Alba, L.M., De Souza Cavalcanti, S., Pérez Hernández, M., Martínez Marín, A., Fernández Marín, G. Calcium soaps of olive fatty acids in the diets of Manchega dairy ewes: effects on digestibility and production. *J. Dairy Sci.*, 1997, vol. 80, p. 3316-3324.
55. Petit, H.V., Rioux, R., D'Oliveira, P.S., Prado, I.N. Performance of growing lambs fed grass silage with raw or extruded soybean or canola seeds. *Can. J. Anim. Sci.*, 1997, vol. 77, p. 455-463.
56. Piatkowski, B. El aprovechamiento de los nutrientes en el rumiante. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur, 1982.

57. Ramana Reddy, Y., Krishna, N., Raghava Rao, E., Janardhana Reddy, T. Influence of dietary protected lipids on intake and digestibility of straw based diets in Deccani sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2003, vol. 106, p. 29-38.
58. Roger, V., Fonty, G., Komisarczuk-Bony, S., Gouet, P. Effects of physicochemical factors on the adhesion to cellulose Avicel of the ruminal bacteria *Ruminococcus flavefaciens* and *Fibrobacter succinogenes* subsp. *succinogenes*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1990, vol. 56, p. 3081-3087.
59. Sackmann, J.R., Duckett, S.K., Gillis, M.H., Realini, C.E., Parks, A.H., Eggelston, R.B. Effects of forage and sunflower oil levels on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J. Anim. Sci.*, 2003, vol. 81, p. 3174-3181.
60. Sauvant, D., Bas, P. La digestion des lipides chez le ruminant. *INRA Prod. Anim.*, 2001, vol. 14, p. 303-310.
61. Silva, M.M.C., Rodrigues, M.T., Rodrigues, C.A.F., Branco, R.H., Leão, M.I., Magalhães, A.C.M., Matos, R.S. Efeito da suplementação de lipídios sobre a digestibilidade e os parâmetros da fermentação ruminal em cabras leiteiras. *R. Bras. Zootec.*, 2007a, vol. 36, p. 246-256.
62. Silva, M.M.C., Rodrigues, M.T., Branco, R.H., Rodrigues, C.A.F., Sarmiento, J.L.R., Queiroz, A.C., Silva, S.P. Suplementação de lipídios em dietas para cabras em lactação: consumo e eficiência de utilização de nutrientes. *R. Bras. Zootec.*, 2007b, vol. 36, p. 257-26.
63. Smith, W.A., Harris, Jr, B. The influence of type of forage on the production response of lactation dairy cows supplemented with different types of fat. *Prof. Anim. Sci.*, 1993, vol. 8, p. 7-21.
64. Sutton, J.D., Knight, R., Mcallan, A.B., Smith, R.H. Digestion and synthesis in the rumen of sheep given diets supplemented with free and protected oils *Br. J. Nutr.*, 1983, vol. 49, p. 419-432.
65. Tesfa, A.T. Effects of rape-seed oil supplementation on digestion, microbial protein synthesis and duodenal microbial amino acid composition in ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1993, vol. 41, p. 313-328.
66. Ueda, K., Ferlay, A., Chabrot, J., Looor, J. J., Chilliard, Y., Doreau, M. Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage:concentrate ratios *J. Dairy Sci.*, 2003. vol. 86, p. 3999-4007.
67. Ushida, K., Kayouli, C., De Smet, S., Jouany, J.P. Effect of defaunation on protein and fibre digestion in sheep fed on ammonia-treated straw-based diets with or without maize. *Br. J. Nutr.*, 1990, vol. 64, p. 765-775.
68. Vafa, T.S., Naserian, A.A., Moussavi, A.R.H., Valizadeh, R., Mesgaran, M.D. Effects of different levels of fish oil and canola oil on

- in vitro dry matter and organic matter digestibility. *Res. J. Biol. Sci.*, 2009, vol. 4, p. 1171-1174.
69. Váradyová, Z., Kišidayová, S., Siroka, P., Jalč, D. Fatty acid profiles of rumen fluid from sheep fed diets supplemented with various oils and effect on the rumen ciliate population. *Czech J. Anim. Sci.*, 2007, vol. 52, p. 399-406.
 70. Veira, D.M., Charmley, L.L., Charmley, E., Lee, A.J. The effect of feeding soybean oil to mid-lactation dairy cows on milk production and composition and on diet digestion. *Can. J. Anim. Sci.*, 2001, vol. 81, p. 425-428.
 71. Walker, N.D. Nutrient requirements and metabolism of rumen microorganisms. 14 p. [Consulta: 22-07-2010] Disponible en: http://www.rumen-health.com/PDF/Walker_Nutrient_Requirements_Metabolism.pdf
 72. White, T.W., Grainger, R.B., Baker, F.H., Stroud, J.W. Effect of supplemental fat on digestion and the ruminal calcium requirement of sheep. *J. Anim. Sci.*, 1958, vol. 17, p. 797-803.
 73. Wu, Z., Huber, J.T., Chan, S.C., Simas, J.M., Chen, K.H., Varela, J.G., Santos, F., Fontes, C. Jr, Yu, P. Effect of source and amount of supplemental fat on lactation and digestion in cows. *J. Dairy Sci.*, 1994, vol. 77, p.1644-1651.
 74. Yang, S.L., Bu, D.P., Wang, J.Q., Hu, Z.Y., Li, D., Wei, H.Y., Zhou, L.Y., Loo, J.J. Soybean oil and linseed oil supplementation affect profiles of ruminal microorganisms in dairy cows. *Animal*, 2009, vol. 3, p. 1562-1569.
 75. Zervas, G., Fegeros, K., Koytsotolis, K., Goulas, C., Mantzios, A. Soy hulls as a replacement for maize in lactating dairy ewe diets with or without dietary fat supplements. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1998, vol. 76, p. 65-75.