

UTILIZACION DE LIPIDOS EN DIETAS DE RUMIANTES

D.L. Palmquist
Department of Animal Sciences
OARDC/OSU, Wooster, OH

1.- INTRODUCCIÓN

El gran aumento del potencial productivo ha estimulado la investigación de cómo aumentar el consumo de energía de los animales domésticos. Durante los últimos 20 años, los trabajos de investigación se han enfocado principalmente hacia el suministro de dietas con alto contenido en grasa para animales en lactación. El interés se ha visto favorecido por la creciente disponibilidad de grasas y aceites a un precio competitivo para la industria de piensos.

Los primeros trabajos de Maynard y colaboradores en la Universidad de Cornell (1929-1944), revisados por Palmquist y Jenkins (1980) y Palmquist (1984), demostraron la utilidad de aumentar los niveles de grasa en las dietas de vacas de leche. Sin embargo, en aquel momento ni el potencial productivo de las vacas, ni la complejidad actual de la formulación de dietas, ni la oferta de grasas se habían desarrollado como favorecer el desarrollo de esta línea de investigación y la utilización de dichos resultados.

Los primeros estudios de alimentación de los años 50 y 60, utilizando ovejas como modelo, examinaron los efectos de la adición de aceites vegetales sobre la digestibilidad de las dietas. En la mayoría de los estudios, los aceites disminuían la digestibilidad de la fibra y la relación acético:propiónico. Estos y otros resultados antiguos han sido revisados por Palmquist y Jenkins (1980) y Jenkins (1993b).

Los principales factores estudiados en los trabajos de investigación sobre la utilización de grasas en dietas de rumiantes se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Principales factores a considerar cuando se suministran grasas en dietas de rumiantes.

<p>1) Efectos sobre el rumen</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Efectos de la grasa sobre la digestibilidad ruminal b) Efectos del rumen sobre la composición de los ácidos grasos <p>2) Digestibilidad total</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Efectos de la grasa sobre la digestibilidad de los nutrientes b) Digestibilidad de la grasa <p>3) Metabolismo</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Eficacia de utilización de la energía b) Reparto de los nutrientes (incluyendo condición corporal) c) Consumo de alimento d) Reproducción <p>4) Producción</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Rendimientos b) Composición del producto <p>5) Alimentación</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Incorporación de grasas en piensos comerciales b) Grasas especiales c) Nuevas restricciones para la formulación de dietas
--

2.- METABOLISMO RUMINAL

Los lípidos de los forrajes se encuentran principalmente en forma de ácidos grasos poliinsaturados esterificados como galactosilglicéridos; la concentración de ácidos grasos en esta forma rara vez supera el 1,5% de la materia seca de la dieta. El contenido en ácidos grasos de cereales, semillas oleaginosas y grasas libres es variable, más elevado y en forma de triglicéridos (cuadro 2).

Los lípidos de forrajes, cereales y semillas quedan expuestos a la acción microbiana cuando la matriz vegetal ha sido masticada y degradada. La actividad lipolítica se ve influenciada por el estado de madurez del forraje y el contenido en nitrógeno y por el tamaño de las partículas alimenticias en el rumen (Jenkins, 1993), pero generalmente no es un paso limitante de la digestión ruminal de las grasas. Recientemente Palmquist y Kinsey (1994) han demostrado que la velocidad de hidrólisis ruminal está directamente relacionada con el grado de insaturación; los aceites son hidrolizados más rápidamente que el sebo y no se detecta hidrólisis alguna de glicéridos saturados (hidrogenados). Curiosamente, el aceite de pescado era hidrolizado a niveles comparables al sebo; quizás esto sea debido a la disposición espacial

de los ácidos grasos de cadena larga (C20-C22) insaturados en estos lípidos. Van Nevel y Demeyer (1996) observaron que la lipólisis disminuía para pH ruminales inferiores a 6 y que este proceso era más sensible a valores de pH bajos que la biohidrogenación.

Cuadro 2.- Composición en ácidos grasos (AG) de algunos alimentos habituales (Palmquist, 1988)

	AG (g /100 g MS)	Ácidos Grasos (g/100 g AG)							
		14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:00
Cereales									
Cebada	1,6		27,6	0,9	1,5	20,5	43,3	4,3	
Maíz	3,2	0,1	16,3		2,6	30,9	47,8	2,3	
Avena	3,2	0,1	22,1	1,0	1,3	38,1	34,9	2,1	
Trigo	1,0	0,1	20,0	0,7	1,3	17,5	55,8	4,5	
Forrajes									
Alfalfa deshidratada	1,4	0,7	28,5	2,4	3,8	6,5	18,4	39,0	
Ray-grass perenne		0,2	11,9	1,7	1	2,2	14,6	68,2	
Trébol blanco		1,1	6,5	2,5	0,5	6,6	18,5	60,7	2,0
Semillas oleaginosas									
Algodón	18,6	0,8	25,3		2,8	17,1	53,2	0,1	0,1
Colza	38,0		4,3	0,3	1,7	59,1	22,8	8,2	0,5
Soja	18,0	0,2	10,7	0,3	3,9	22,8	50,8	6,8	0,2
Girasol	34,7	0,1	5,5		3,6	21,7	68,5	0,1	0,1

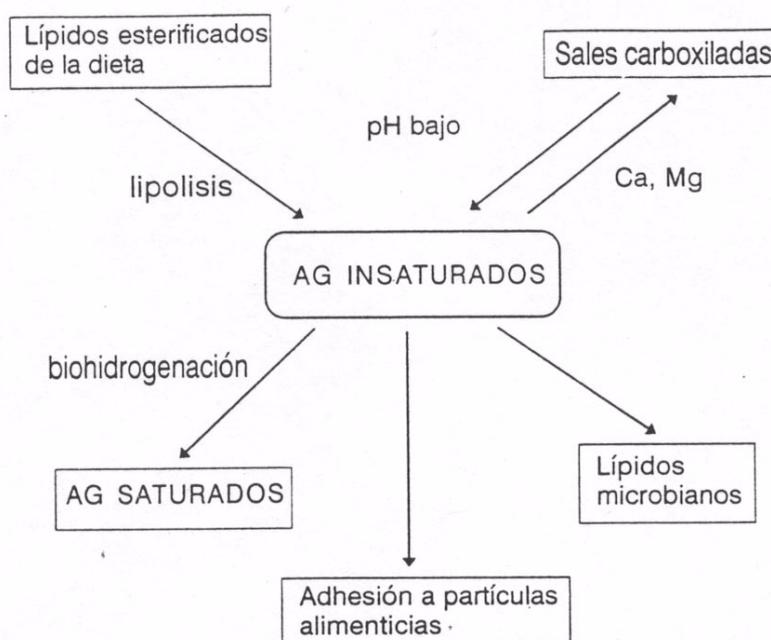
Los ácidos grasos insaturados no esterificados son muy tóxicos para las bacterias gram-positivas (celulolíticas), las bacterias metanogénicas y los protozoos (Brodiscou et al., 1994). Para minimizar estos efectos tóxicos, en el rumen tienen lugar varios procesos que se muestran en la figura 1. Mientras los lípidos esterificados se encuentran principalmente en el fluido ruminal, los ácidos grasos aparecen asociados a la superficie de las partículas; las células microbianas y las partículas alimenticias compiten por la adsorción de los ácidos grasos (Harfoot et al., 1974). Aumentando la cantidad de partículas alimenticias (p.e. forrajes) en el contenido ruminal, disminuye la adsorción de ácidos grasos sobre los microorganismos.

La biohidrogenación microbiana de los ácidos grasos, un factor muy importante del metabolismo ruminal de los lípidos, tiene lugar sobre la superficie de las partículas vegetales. Aunque la capacidad de hidrogenar numerosos isómeros posicionales ha sido descrita (Kemp et al., 1984), el modelo de mayor interés es la biohidrogenación del ácido linoleico (cis 9, cis 12 18:2) como a continuación se describe:

- 1) isomerización a cis 9, trans 11 18:2
- 2) reducción a trans 11 18:1
- 3) reducción a 18:0 (ácido esteárico).

A menudo en el paso 3 intervienen microorganismos diferentes a los de los pasos 1 y 2. Además, bajo determinadas condiciones de alimentación (alto nivel de aceites, baja proporción de forrajes, pH bajo), la acumulación de tll 18:1 puede ser importante. El primer intermediario, c9, tll 18:2 ("ácido linoleico conjugado" o "CLA") se acumula en cantidades más bajas. Su interés actual es grande ya que es un potencial agente anticancerígeno (Jiang et al., 1996). Los ácidos grasos saturados son menos tóxicos para los microorganismos ruminales que los insaturados.

Figura 1.- Procesos ruminales que modifican el tamaño del pool de ácidos grasos insaturados (Adaptado de Jenkins, 1993).



Las bacterias ruminales almacenan los lípidos primariamente en forma de ácidos grasos saturados. Un mecanismo adicional que reduce los efectos tóxicos de los ácidos grasos es la formación de sales insolubles carboxiladas (principalmente jabones cálcicos).

Los efectos tóxicos de los aceites insaturados sobre la actividad microbiana nunca quedaron claramente demostrados en los trabajos clásicos de Ikkvuegbu y Sutton (1982), quienes suministraron a ovejas 0, 13, 26 ó 40 ml/día de aceite de linaza (cuadro 3). La digestibilidad ruminal de la FAD disminuyó linealmente al aumentar la ingesta de linaza. La digestibilidad total también disminuyó linealmente, pero en menor medida debido a la fermentación cecal de la fibra no digerida en el rumen. Por tanto, la proporción de FAD fermentada en el rumen se redujo. También la relación acético:propiónico disminuyó y los protozoos desaparecieron.

En experiencias propias observamos que los ácidos grasos del sebo no inhiben la digestión de la fibra cuando se suministran en forma de sales insolubles de calcio (Palmquist y Jenkins, 1982; Jenkins y Palmquist, 1994). Asimismo, Doreau et al., (1993b) compararon los

efectos de suministrar a vacas de leche aceite de colza libre o en forma de jabones cálcicos, y observaron que la digestión de la fibra no resultaba alterada si los ácidos grasos eran ofrecidos como jabones cálcicos.

Cuadro 3.- Cantidades medias de FAD consumidas, que pasan al duodeno y son excretadas y su digestibilidad determinada en tres ovejas recibiendo una dieta control o suplementada con aceite de linaza (Ikwuegbu y Sutton, 1982).

FAD (g/d) T	Aceite de linaza (ml/d)				Efecto, P < Lineal
	0	13	26	40	
Flujo (g/d)					
Dieta	83	84	84	84	NS
Duodeno	46	60	69	72	0,05
Heces	37	40	46	49	0,05
Digestión					
Rumen	0,44	0,28	0,18	0,14	0,01
Total	0,55	0,52	0,46	0,41	0,05
Rumen/Total	0,82	0,55	0,40	0,35	0,05

El metabolismo ruminal modifica en gran medida el perfil en ácidos grasos de las grasas de la dieta disponibles para la absorción intestinal (Wu et al., 1991). Los cambios más habituales se muestran en el cuadro 4. La biohidrogenación influye en la digestibilidad de la grasa y es el principal factor que determina el perfil de ácidos grasos saturados de la grasa de los rumiantes. La grasa de la dieta tiende a disminuir la concentración de amoníaco en el rumen sin modificar el flujo duodenal de nitrógeno no amoniacal (Doreau y Ferlay, 1995). La grasa no reduce la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Stern et al., 1994).

Cuadro 4.- Efecto del metabolismo ruminal sobre el perfil en ácidos grasos (%) de la grasa de la dieta (adaptado de Wu et al., 1991).

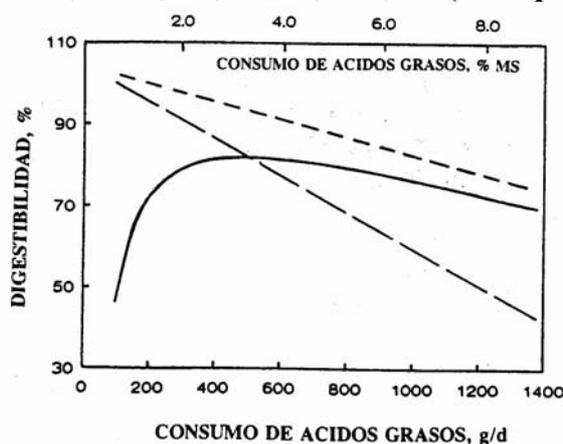
	Ácidos Grasos (%)								
	16:0	18:0	18:1	c18:1	18:02	18:03	Otros	16:0/18:0	c 18:1/18:0
Dieta									
Control	16,5	2,8		18,3	39,7	8,8	13,9		
Jabones cálcicos	34,2	3,5		26,9	22,6	4,3	8,5		
Mezcla grasa animal-vegetal	16,8	9,7	2,4	25,3	29,3	5,7	10,8		
Duodeno									
Control	20,6	46,3	4,2	10,7	11,2	1,0	6	0,44	0,23
Jabones cálcicos	34,6	32,9	3,3	14,8	7,9	0,9	5,6	1,05	0,45
Mezcla grasa animal-vegetal	19	49,3	5,9	9,8	7,4	1	7,6	0,39	0,2

3.- DIGESTIBILIDAD INTESTINAL

La digestibilidad es el factor más importante que determina el valor energético de las grasas. Los rumiantes están bien adaptados a absorber pequeñas cantidades de grasas muy saturadas (menos del 3% de la materia seca) en dietas normales. Los ácidos grasos llegan al intestino adsorbidos sobre las partículas alimenticias. Las sales biliares, que son ricas en ácido "taurocólico", permanecen ionizadas y solubles en el tramo de pH ácido del duodeno, actuando como detergentes para emulsionar los ácidos grasos. La fosfolipasa de las secreciones pancreáticas separa el ácido oleico de los fosfolípidos secretados en la bilis. Las lisolecitinas y el ácido oleico resultantes son poderosos emulsionantes que facilitan la solubilización de los ácidos grasos y la formación de micelas, a partir de las cuales los ácidos grasos son absorbidos (Moore y Christie, 1984).

Existe cierta polémica en relación con los efectos de la cantidad y composición de la grasa de la dieta sobre la digestibilidad de los ácidos grasos. Storry (1981) fue el primero en demostrar que la digestibilidad disminuía cuadráticamente al aumentar el consumo. Estos resultados fueron confirmados posteriormente por Palmquist (1991b; figura 2), Wu et al. (1991) y Weisbjerg et al. (1992). Sin embargo, otros trabajos no muestran esta relación curvilínea. De hecho, Doreau y Ferlay (1994) concluyen que no existe relación entre consumo y digestibilidad. Desde el punto de vista fisiológico, la digestibilidad debería disminuir con consumos muy altos, dada la dependencia clara de las sales biliares para promover la solubilización de los ácidos grasos muy saturados. Con altos consumos de grasa, las secreciones endógenas se diluyen. La digestibilidad de los ácidos grasos saturados también depende de la longitud de la cadena. Así, el ácido palmítico es más digestible que el esteárico (Weisbjerg et al., 1992). En el intestino existen distintas proporciones de 16:0/18:0 y 18:1/18:0 en función del tipo de grasa de la dieta (cuadro 4). Estas relaciones influyen sobre la digestibilidad de la grasa. El avance más importante en la utilización de grasas por los rumiantes probablemente vendrá de nuevas tecnologías que mejoren la digestibilidad de las grasas. En este contexto, se necesitan estudios concluyentes sobre la producción y composición de las sales biliares en función de la cantidad y tipo de grasa de la dieta.

Figura 2.- Digestibilidad aparente (—), verdadera (- - -) y marginal (—) de los ácidos grasos en vacas de leche. Regresión: $\text{Acidos Grasos absorbidos (g/d)} = -55,9 + 1,044x - 0,0002224x^2$; $r^2 = 0,837$; $n = 72$; $P < 0,001$ (Palmquist, 1991).



La grasa tiene un efecto muy pequeño sobre la digestibilidad del resto de los nutrientes, excepto para el calcio y magnesio (Kemp et al., 1966). Nosotros siempre recomendamos aumentar los niveles de calcio en dietas con altos niveles de grasa (Palmquist y Conrad, 1980), ya que la absorción tiende a ser más baja. Esto se debe a que cantidades significativas de estos minerales pueden ser secretadas al intestino grueso y unirse a los ácidos grasos no digeridos, aumentando por tanto la excreción de jabones cálcicos en las heces (Rahnema et al., 1994). Ferlay y Doreau (1995) sugirieron que aumentando el calcio en dietas con altos niveles de grasa se mejora la adhesión de las bacterias celulolíticas a sus sustratos.

4.- METABOLISMO

En los rumiantes muy poca grasa es oxidada (Palmquist, 1994). Aparentemente esto es debido a la competencia entre el acetato y los ácidos grasos de cadena larga por la activación del coenzima A en el interior de las células. Así, la oxidación de ácidos grasos aumenta cuando los animales están en una situación de déficit de energía y el aporte de acetato desde el rumen es bajo. Para un consumo de grasa óptimo, 3/4 partes de la grasa absorbida son utilizadas directamente por la glándula mamaria de vacas en lactación (Palmquist y Mattos, 1978). Dado que la incorporación directa de ácidos grasos de cadena larga en la leche es un proceso energéticamente más eficiente que la síntesis de ácidos grasos de novo (Baldwin et al., 1985), la eficacia de lactación mejora al aumentar los niveles de grasa de la dieta. Kronfeld (1976) postuló que la eficacia de lactación sería máxima cuando un 16% de la energía metabolizable fuese suministrada por ácidos grasos de cadena larga. Numerosos ensayos de alimentación han confirmado esta hipótesis (Brumby et al., 1978; Palmquist, 1992). Finalmente, en la medida en que el balance de ácidos grasos ruminalmente activos suministrados sea adecuado, la producción de metano disminuye al incorporar grasa a la ración. Por tanto, la eficacia energética aumenta al suministrar grasa. Esto es más evidente en el caso de animales en lactación y durante el verano, ya que el menor incremento de calor asociado con la digestión favorece el consumo de energía productiva (Grummer, 1992).

La modificación del nivel de grasa de las dietas es una opción útil para controlar el reparto de nutrientes. Mediante el uso de grasa para mantener constante la concentración energética de las dietas reduciendo al mismo tiempo el aporte de almidón fermentable, Palmquist y Conrad (1978, 1980) obtuvieron igual producción de leche y porcentajes de grasa y un menor engrasamiento de las vacas. Esto es posible porque dietas ricas en almidón favorecen altos niveles de insulina que aumenta el engrasamiento, mientras que la grasa de la dieta disminuye los niveles de insulina (Gagliostro et al., 1991). De hecho, la grasa puede inducir una resistencia a la insulina, aumentando por tanto la competitividad de la glándula mamaria por los nutrientes. La posibilidad de utilizar grasas para actuar sobre el reparto de nutrientes y mejorar la condición corporal al final de la lactación es muy grande y no se está sacando ventaja de esta práctica en condiciones de campo.

De todas formas existen límites a la utilización de grasa en raciones de animales en lactación. Con el desarrollo de nuevas grasas y de prácticas de manejo que eliminan el efecto ruminal, han surgido otros problemas. El suministro de grasa normalmente reduce el consumo

de alimento (Schauff y Clark, 1992). Esto es especialmente cierto al principio de la lactación, lo que provoca cierta polémica acerca de cuál es el momento de la lactación más adecuado para iniciar el suministro de grasa (Grummer, 1992). Aunque la causa se desconoce, tras la exhaustiva investigación de Choi (1996), nosotros pensamos que aunque el consumo energético total es un factor, las vacas tienen una capacidad limitada para metabolizar grasas, como se indicó anteriormente. Si la concentración de grasa de la dieta es excesiva, las vacas disminuyen el consumo total para limitar la cantidad de grasa a metabolizar. Este problema se agrava al principio de la lactación ya que las concentraciones de insulina en sangre son bajas, lo que provoca una movilización de la grasa corporal. La grasa de la dieta no impide la movilización de grasa corporal, ya que de hecho disminuye los niveles de insulina en sangre más que aumentarlos. Además, las vacas que reciben grasa tienden a perder más peso al inicio de la lactación (Chilliard, 1993). Las soluciones son limitar el engrasamiento de las vacas al parto, limitando por tanto la movilización corporal, y aumentar la concentración proteica de la ración, asegurando un consumo adecuado de proteína para maximizar la producción.

La incorporación de grasa en la dieta ha sido estudiada para mejorar la reproducción de animales en lactación. Se manejan dos tipos de argumentaciones: 1) el suministro de grasa previene la pérdida de peso corporal; 2) suministrando grasa aumenta el nivel de colesterol en sangre, el cual es un importante precursor para la síntesis de progesterona (Grummer y Carroll, 1991). Como se señaló anteriormente, la grasa no impide la movilización de grasa corporal, aunque las vacas alcancen con alguna antelación un balance energético positivo. Sklan et al. (1991) no observaron ninguna mejora en la tasa de concepción al primer servicio cuando suministraron dietas con un 2,0% de jabones cálcicos (0,5 kg/d), pero sí encontraron niveles más altos de progesterona en sangre, un porcentaje más alto de vacas preñadas a los 150 días de lactación e intervalos parto-cubrición más cortos (115 vs 149 días).

5.- PRODUCTIVIDAD

Los efectos de la suplementación con grasa sobre la producción de leche son frecuentemente variables y pequeños, lo que hace difícil encontrarles un significado. Combinando los resultados de muchos trabajos, Palmquist (1984) obtuvo que la adición de 0,5 kg de grasa aumentaba la producción de leche hasta un 10%. Cuando un 5% de grasa fue añadida a dietas al comienzo de la lactación como soja integral tostada (Rueggsegger y Schultz, 1985) o grasa by-pass en forma de "prills", la producción de leche fue más baja que la de los controles hasta las 5 ó 6 semanas de lactación, respectivamente, lo que pareció deberse al menor consumo de materia seca de las dietas suplementadas con grasa. En ambos trabajos, las vacas alcanzaron picos de lactación más altos, pero dos semanas más tarde que las del grupo control. La persistencia de la lactación mejoró en las vacas que recibían grasa. Grummer et al. (1995) suministraron un 2,8% de sebo a vacas en primera lactación. La mejora de la producción de leche no fue evidente hasta la séptima semana de lactación; a partir de ese momento la persistencia mejoró significativamente ($P < 0,01$) sobre el grupo control. Ferguson et al. (1988) señalaron que el principal efecto en vacas en primera lactación era la mejora de la persistencia de la curva de lactación. Resumiendo cinco trabajos, Grummer (1992) señaló que

el suministro de 0,5 kg de grasa aumentaba la producción de leche corregida en energía en 1,3 kg con novillas y en 2,8 kg con vacas adultas.

Scott et al. (1995) estudiaron las respuestas de vacas primíparas y múltiparas de cinco rebaños comerciales al suministro de 0,45 kg/d de jabones cálcicos. Todas las vacas recibían raciones completas (TMR) conteniendo entre un 3,7 y un 4,8% de grasa. La respuesta media en producción de leche de las vacas primíparas fue de 1,5 kg/d (un aumento del 4,0%). Las vacas múltiparas de cuatro rebaños no mostraron ninguna mejora ligada a la suplementación con grasa, mientras que en uno de los rebaños la producción diaria aumentó en 2,45 kg de leche (6,4%) y 0,14 kg grasa (10,0%). La razón de esta diferencia entre rebaños no se determinó. En vacas múltiparas cuando el potencial genético aumentaba, la respuesta en producción de leche y grasa mejoraba al aumentar la suplementación con grasa. Las vacas que llegaban al parto con una condición corporal baja respondían a la adición de grasa con mayores producciones de leche y proteína y menores de grasa que las vacas más gruesas. Las vacas que recibían dietas suplementadas con grasa tenían menos problemas sanitarios y expresiones del celo más fuertes.

La adición de grasa a las dietas puede modificar la concentración y el perfil de ácidos grasos de la leche (Grummer, 1991; Palmquist et al., 1993). El porcentaje de grasa de la leche está influenciado en gran medida por la cantidad y grado de insaturación de la grasa añadida y por la calidad de la dieta para permitir una fermentación ruminal adecuada. Jenkins (1993a) propuso la siguiente ecuación:

$$\text{Máximo de ácidos grasos insaturados añadidos a la dieta (\%)} = 0,06 \times \% \text{ FAD de la dieta}$$

Aunque el efecto de la grasa no protegida sobre el porcentaje de grasa de la leche se creyó que era debido a los efectos sobre la digestión de la fibra en el rumen y la relación acético:propiónico ruminal (Palmquist y Jenkins, 1980), actualmente va cobrando importancia la hipótesis de que es la formación ruminal de isómeros *trans* 11 18:1 lo que induce el efecto inhibitorio más fuerte sobre el contenido en grasa de la leche (Gaynor et al., 1994; Wonsil et al., 1994). El mecanismo de actuación de los t 18:1 se desconoce. Las dietas con altos contenidos en fibra y proteína mantienen fermentaciones normales y biohidrogenaciones completas hasta ácido esteárico. Generalmente, si la fermentación ruminal es normal, el suministro de grasa aumenta el porcentaje de grasa de la leche. Resumiendo resultados de 50 ensayos nosotros encontramos la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cambio de grasa en la leche} = - 0,0086 + 0,38 \times \quad \quad \quad x = \text{kg/d grasa de la dieta}$$

El aumento de la absorción de ácidos grasos de cadena larga inhibe la síntesis de novo de ácidos grasos de cadena corta por la glándula mamaria. El ácido esteárico es desaturado a ácido oleico por "estearoyl CoA desaturasa" del intestino, tejido adiposo y glándula mamaria; existen diferencias en la actividad de este enzima entre razas, lo que provoca diferencias entre razas en la relación 18:1/18:0 de la grasa de la leche (Beaulieu y Palmquist, 1995; DePeters et al., 1995). Cambios en la proporción de ácidos grasos totales de cadena C16 y C18 de la grasa de la dieta también influyen en la composición de la grasa de la leche (Grummer, 1991).

Existe interés en aumentar los ácidos grasos poliinsaturados de la grasa de la leche, lo que se puede conseguir suministrando aceites vegetales encapsulados en una matriz proteica tratada con formaldehído (Ashes, 1992). Recientemente, Jenkins et al. (1996) han demostrado que las amidas de grasas insaturadas están efectivamente protegidas de la biohidrogenación ruminal y son digestibles, dando lugar a la incorporación de ácidos grasos insaturados en la grasa de la leche (cuadro 5).

La grasa de la dieta influye significativamente en el contenido y distribución del nitrógeno de la leche (Emery, 1978, DePeters y Cant, 1992). Si el consumo de energía aumenta por un aporte mayor de carbohidratos, el contenido en proteína de la leche aumenta en 0,0036 unidades por MJ de EN1 consumida (Emery, 1978), mientras que el aporte de grasa lo disminuye en 0,0061 unidades por MJ de EN1 procedente de la grasa adicionada. Wu y Huber (1994) encontraron la siguiente relación:

$$\% \text{ proteína de la leche (Y)} = 101,1 - 0,6318 x + 0,0141 x^2 \quad (r^2 = 0,24, P < 0,01)$$

donde x = % de grasa de la dieta

Aunque se desconocen las bases fisiológicas que explican el descenso del porcentaje de proteína de la leche, sí se sabe que equilibrando el consumo de proteína, especialmente de lisina y metionina digestibles, se minimiza este problema (Canale et al., 1990; Chow et al., 1990). Aunque el suministro de grasa no disminuye la síntesis de proteína microbiana total (Stern et al., 1994), dicha síntesis puede disminuir si es menor el consumo de materia seca, lo que estaría relacionado con la reducción del contenido en proteína de la leche según Wu y Huber (1994).

Cuadro 5.- Composición en ácidos grasos de la leche de vacas Holstein recibiendo dietas sin grasa añadida o con un 3,5% de aceite de soja (SBO) o butisolamidas (BS) (Jenkins et al., 1996).

Ácidos grasos	Control	SBO	BS
4:0 ¹	1,07 ^b	1,01 ^b	1,25 ^a
6:0	1,02 ^a	0,79 ^b	1,10 ^a
8:0	0,81	0,67	0,79
10:0	2,74 ^a	1,48 ^b	2,54 ^a
12:0	5,04 ^a	3,05 ^c	4,52 ^b
14:0	14,38 ^a	10,15 ^c	13,53 ^b
16:0	37,45 ^a	27,00 ^c	35,51 ^b
16:1	1,97	2,2	2,01
C _{18:0}	9,84 ^b	14,31 ^a	10,19 ^b
cis-C _{18:1}	20,38 ^b	25,09 ^a	19,55 ^b
trans-C _{18:1}	1,69 ^b	9,48 ^a	2,72 ^b
C _{18:2}	3,60 ^c	4,77 ^b	6,28 ^a

^{a,b,c}Medias dentro de una fila con distinto superíndice difieren significativamente (P<0,05).

¹Número de átomos de carbono:número de dobles enlaces.

6.- ALIMENTACION

La clave para conseguir rendimientos óptimos con rumiantes en lactación está en mantener estable el funcionamiento del rumen, lo que se consigue mediante un consumo adecuado de forraje de alta calidad. Mantener la digestión ruminal estable supone mantener altos consumos de alimento y de digestión de la fibra, acidosis baja, relación acético:propiónico óptima y biohidrogenación ruminal de ácidos grasos insaturados óptima.

La calidad del forraje de la dieta influye en la respuesta a la grasa suplementaria. Smith et al. (1993) observaron que la fermentación ruminal fue menos óptima y la producción de leche y el porcentaje de grasa de la leche fueron más bajos cuando se suministró sebo o semillas de algodón con dietas basadas en silo de maíz, comparado con dietas a base de heno de alfalfa. Sustituyendo entre el 25-50% de materia seca del silo de maíz con heno de alfalfa se solucionó el problema. Ben Salem et al. (1993) demostraron que la adición de un 7 % de aceite de colza redujo la digestibilidad de la FND, especialmente de la fracción de hemicelulosas, en dietas con silo de maíz pero no en dietas a base de heno. Tackett et al. (1966) no observaron ninguna ventaja de aumentar el contenido en FND desde el 33 al 40% de la materia seca de la dieta cuando se añadía un 2% de sebo a raciones con un 22% de materia seca procedente de alfalfa. Los jabones cálcicos son superiores a las grasas convencionales, especialmente en dietas con silo de maíz o cuando el contenido en fibra de la ración es bajo. Firkins y Eastridge (1994) demostraron que las grasas hidrogenadas (índice de yodo menor de 30) dan lugar a consumos y producciones de leche más altos y reducen en menor medida el porcentaje de proteína de la leche, comparadas con grasas más insaturadas. Estos efectos positivos compensan la menor digestibilidad de las grasas más saturadas.

Dos principios básicos son aplicados cuando se decide utilizar grasas en dietas de lactación:

1) Utilizar grasas para aumentar la concentración energética de la ración y por tanto el consumo de energía de los animales.

2) Utilizar grasas para mantener constante la densidad energética de la ración y el consumo de energía, al tiempo que se reduce el aporte de cereales y se aumenta la proporción de forraje de la dieta.

Si bien ambos principios se ven influenciados por la composición de la ración base, las bases de la alimentación son diferentes. En la mayoría de las ocasiones se establece como objetivo el primer principio. Sin embargo, aumentar el consumo de energía en animales de alta producción es difícil; se sabe muy poco acerca de la fisiología de regulación del consumo cuando se suministran dietas con altos niveles de grasa. En mi opinión, el segundo principio, que nosotros presentamos hace años (Palmquist y Conrad, 1978, 1980) no se utiliza suficientemente en la práctica. La manipulación de la relación forraje:concentrado influye sobre la respuesta a la insulina y el engrasamiento de los animales. Muchos ganaderos encontrarían ventajas a reducir el aporte de cereales en las dietas después del pico de lactación.

Utilizando forrajes y grasa para mantener el consumo de energía previene el engrasamiento y mejora la persistencia de la lactación.

Reducir el contenido en cereales de las dietas disminuye los carbohidratos fermentables y reduce potencialmente la síntesis de proteína microbiana. Por tanto, cuando se añade grasa hay que reequilibrar las raciones. Así, el aporte de proteína indegradable debe aumentar para compensar la menor síntesis de proteína microbiana. Stern et al. (1994) demostraron que la adición de grasa no implica una reducción de la síntesis de proteína microbiana; además, dado que el número de protozoos disminuye por la suplementación con grasas (Brodisou et al., 1994), la eficacia de síntesis de proteína microbiana aumenta ya que disminuye el reciclado de nitrógeno microbiano en el rumen.

Se ha demostrado que la suplementación con grasa induce deficiencias en calcio (Palmquist y Conrad, 1980) y magnesio (Kemp et al., 1966). Aún cuando el aporte de grasa aumenta la formación de jabones insolubles en el rumen (Palmquist et al., 1986), estos jabones se solubilizan y los cationes divalentes están disponibles para su absorción en el duodeno. Rahnoma et al. (1994) sugirieron que la menor absorción está provocada por la unión de los cationes divalentes secretados al ciego con los ácidos grasos no digeridos.

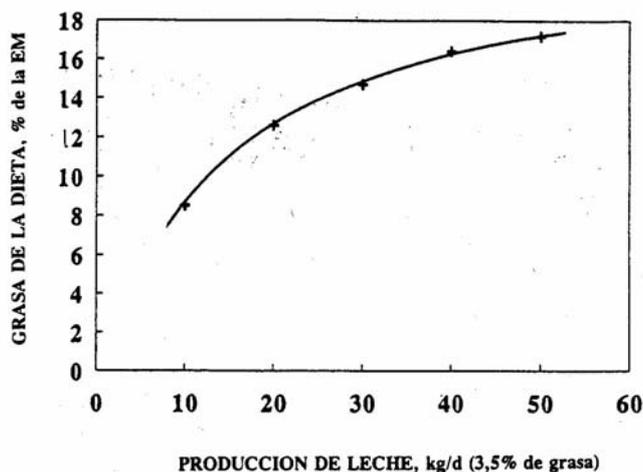
En muchos estudios la suplementación con grasa no aumenta la producción de leche. Las razones pueden ser muchas:

- 1) consumo de energía adecuado sin añadir grasa;
- 2) producción de leche demasiado baja para observar mejoras;
- 3) otros nutrientes son limitantes;
- 4) 4) cantidades de grasa excesivas.

El suministro de un exceso de grasa puede conducir a un "desequilibrio de nutrientes", por el cual el animal es incapaz de metabolizar el exceso de gMsa consumida y reduce el consumo para compensar este problema (Palmquist, 1994).

Nosotros recomendamos para uso de los ganaderos una regla sencilla, suministrar tanta grasa como la que el animal produce en la leche (Palmquist, 1991a). Esta regla tiene una base fisiológica, y depende de la digestibilidad de la grasa y de las cantidades relativas de grasa secretadas en la leche y oxidadas. Es necesario ajustar esta cantidad orientativa por la ganancia o pérdida de tejido adiposo. En la figura 3 se muestra la cantidad de grasa de la dieta, como porcentaje de la energía metabolizable consumida (y), vs la secreción de grasa en leche (x, cantidad de grasa de la dieta recomendada). Para producciones mayores de 40 kg/d de leche con un 3,5% de grasa, la curva se aproxima a una asíntota que representa la cantidad de grasa teórica para conseguir una eficacia energética máxima (Kronfold, 1976) en animales en lactación.

Figura 3.- Grasa de la dieta, (expresada como % Energía Metabolizable (EM)), vs producción de leche (kg/d de leche con un 3,5% de grasa), para una vaca de 600 kg cuando la cantidad de grasa añadida es igual a la producida en la leche. Las necesidades de energía para mantenimiento + producción se han calculado a partir del NRC (1989). EM de la dieta = ENI/0,62; EM de la grasa (Mcal/kg) = 6,0/0,84 (Palmquist, 1994).



7.- RESUMEN

El alto valor energético de las grasas (EM = aproximadamente 30 MJ/kg) hace que sean una materia prima importante en los modernos programas de alimentación para rumiantes de alta productividad, especialmente para animales en lactación. Existen grasas especialmente procesadas para minimizar sus efectos sobre el rumen y simplificar el manejo de la alimentación.

La adición de grasas puede ser utilizada no sólo para aumentar el consumo de energía, sino también para mejorar el funcionamiento del rumen, cambiar el reparto de nutrientes y modificar la composición del producto.

Importantes líneas de trabajo para la investigación sobre la utilización de grasas en rumiantes son:

- 1) Efecto de las grasas sobre la regulación del consumo de alimento y de energía total;
- 2) ¿Qué información se necesita para mejorar la digestibilidad de las grasas?
- 3) ¿Cuáles son las bases fisiológicas y metabólicas que explican el descenso del contenido en proteína de la leche cuando se añade grasa?
- 4) ¿Qué cambios se necesitan en la formulación de dietas y en las prácticas de manejo para mejorar la predicción de la respuesta en producción de leche a la adición de grasa?

8.- REFERENCIAS

- ASHES, J.R., P.S.V. WELCHS, S.K. GULATI, T.W. SCOTT y G.H. BROWN (1992) *J. Dairy Sci.* 75: 1090
- BALDWIN, B.R., N.E. FORSBERG y C.Y. HU (1985) *J. Dairy Sci.* 68: 3394.
- BEAULIEU, A.D. y D.L. PALMQUIST (1995) *J. Dairy Sci.* 78: 1336.
- BEN SALEM, H., R. KRZEMINSKI, A. FERLAY y M. DOREAU (1993) *Can. J. Anim. Sci.* 73: 547.
- BROUDISCOU, L., S. POCHET, y C. PONCET (1994) *Anim. Feed Sci. Techn.* 49: 189.
- BRUMBY, P.E., J.E. STORRY, J.A. BINES y R.~. FULFORD (1978) *J. Agric. Sci. Camb.* 91: 151.
- CANALE, C.J., L.D. MULLER, H.A. McCAHON, T.J. WHITSEL, G.A. VARGA y M.J. LORMORE (1990) *J. Dairy Sci.* 73: 135.
- CHILLIARD, Y. (1993) *J. Dairy Sci.* 76: 3897.
- CHOI, B.R. (1996) Regulatory mechanisms of feed intake in dairy cattle fed high fat diets. Ph.D. Dissertation. The Ohio State Un~v. Columbus.
- CHOW, J.M., E.J. DePETERS y R.L. BALDWIN (1990) *J. Dairy Sci.* 73: 1051.
- DePETERS, E.J. y J.P. CANT (1992) *J. Dairy Sci.* 75: 2043.
- DePETERS, E.J., J.F. MEDRANO y B.A. REED (1995) *Can. J. Anim. Sci.* 75: 267.
- DOREAU, M., A. FERLAY y Y. ELMEDDAH (1993a) *J. Anim. Sci.* 71: 499.
- DOREAU, M., H.B. SALEM y R. KRZEMINSKI (1993b) *Anim. Feed Sci. Techn.* 44: 181.
- DOREAU, M. y A. FERLAY (1994) *Anim. Feed Sci. Techn.* 45: 379.
- DOREAU, M. y A. FERLAY (1995) *Livest. Prod. Sci.* 43: 97.
- EMERY, R.S. (1978) *J. Dairy Sci.* 61: 825.
- FERGUSON, J.D., J. TORRALBA, P.L. SCHNEIDER, B. VECHIARELLI, D. SKLAN, D.S. KRONFELD y W. CHALUPA (1988) *J. Dairy Sci.* 71: 254 (Suppl. 1).
- FERLAY, A. y M. DOREAU (1995) *J. Dairy Sci.* 78: 2239.
- FIRKINS, J.L. y M.L. EASTRIDGE (1994) *J. Dairy Sci.* 77: 2357.
- GAGLIOSTRO, G., Y. CHILLIARD y M.J. DAVICCO (1991) *J. Dairy Sci.* 74: 1893.
- GAYNOR, P.J., R.A. ERDMAN, B.B. TETER, J. SAMPUGNA, A.V. CAPUCO, R.D. WALDO y M. HAMOSH (1994) *J. Dairy Sci.* 77: 157.
- GRUMMER, R.R. (1991) *J. Dairy Sci.* 74: 3244.
- GRUMMER, R.R. y D.J. CARROLL (1991) *J. Anim. Sci.* 69: 3838.
- GRUMMER, R.R. (1992) En: *Large Herd Dairy Management* Ed. Am. Dairy Sci. Assn., Champaign, IL. p 248.
- GRUMMER, R.R., P.C. HOFFMAN, M.L. LUCK y S.J. BERTICS (1995) *J. Dairy Sci.* 78: 172.
- HARFOOT, C.G., M.L. CROUCHMAN, R.C. NOBLÉ, y J.H. MOORE (1974) *J. Appl. Bact.* 37: 633
- HENDERSON, C. (1973) *J. Agric. Sci., Camb.* 81: 107.
- IKWUEGBU, O.A. y J.D. SUTTON (1982) *Br. J. Nutr.* 48: 365.
- JENKINS, T.C. y D.L. PALMQUIST (1984) *J. Dairy Sci.* 67: 978.
- JENKINS, T.C. (1993a) Strategies for including fat in dairy rations. Proc. 1993 Clemson Univ. Dairy Conf. Clemson, SC. p. 14.
- JENKINS, T.C. (1993b) *J. Dairy Sci.* 76: 3851.
- JENKINS, T.C., H.G. BATERMAN y S.M. BLOCK (1996) *J. Dairy Sci.* 79: 585.
- JERRED, M.J., D.J. CARROLL, D.K. COMBS y R.R. GRUMMER (1990) *J. Dairy Sci.* 73: 2842.
- JIANG, J., L. BJOERCK, R. FONDEN y M. EMANUELSON (1996) *J. Dairy Sci.* 79: 438.
- KEMP, A., W.B. DEIJS y E. KLUVERS (1966) *Neth. J. AGric. Sci.* 14: 290.
- KEMP, P. y D.J. LANDER (1984) *Br. J. Nutr.* 52: 171.
- KRONFELD, D.S. (1976) *Adv. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 7: 5.
- MOORE, J.H. y W.W. CHRISTIE (1984) En: *Fats in Animal Nutrition*. Ed. Butterworths, London. p. 123.
- PALMQUIST, D.L. (1984) En: *Fats in Animal Nutrition*. Ed. Butterworths, London. p. 357.

- PALMQUIST, D.L. (1988) En: Feed Science. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. p. 293.
- PALMQUIST, D.L. (1991a). Dietary fat effects on milk yield and composition. Proc. California Animal Nutr. Conf. Fresno, CA.
- PALMQUIST, D.L. (1991b) J. Dairy Sci. 74: 1354.
- PALMQUIST, D.L. (1992) En: Animal Fats Manual. Fats and Proteins Research Foundation, Ft. Myers Beach, FL.
- PALMQUIST, D.L. (1994) J. Nutr. 124: 1377S.:
- PALMQUIST, D.L. y H.R. CONRAD (1978) J. Dairy Sci. 61: 890.
- PALMQUIST, D.L. y W. MATTOS (1978) J. Dairy Sci. 61: 561.
- PALMQUIST, D.L. y H.R. CONRAD (1980) J. Dairy Sci. 63: 1.
- PALMQUIST, D.L. y T.C. JENKINS (1980) J. Dairy Sci. 63: 1.
- PALMQUIST, D.L. y T.C. JENKINS (1982) Calcium soaps as a fat supplement in dairy cattle feeding. Proc., XIIth World Congress on Diseases of Cattle, Amsterdam, The Netherland. p. 477.
- PALMQUIST, D.L., T.C. JENSINS y A.E. JOYNER (1986) J. Dairy Sci. 69: 1020.
- PALMQUIST, D.L., A.D. BEAULIEU y D.M. BARBANO (1993) J. Dairy Sci. 76: 1753.
- PALMQUIST, D.L. y D. KINSEY (1994) J. Dairy Sci. 77: 350.
- RAHNEMA, S., Z. WU, O.A. OHAJURUKA, W.P. WEISS, y D.L. PALMQUIST (1994) J. Anim. Sci. 72: 229.
- RUEGSEGGER, G. J. y L.H. SCHULTZ (1985) J. Dairy Sci. 68: 3272.
- SCHAUFF, D.J. y J.H. CLARK (1992) J. Dairy Sci. 75: 2990.
- SCOTT, T.A., R.D. SCHAUVER, L. ZEPEDA, B. YANDELL y T.R. SMITH (1995) J. Dairy Sci. 78: 2435.
- SKLAN, D., U. MOALLEM y Y. FOLMAN (1991) J. Dairy Sci. 74: 510.
- SMITH W.A., B. HARRIS Jr., H.H. van HORN y C.J. WILCOX (1993) J. Dairy Sci. 76: 205.
- STERN, M.D., G.A. VARGA, J.H. CLARK, J.L. FIRKINS, J.T. HUBER y D.L. PALMQUIST (1994) J. Dairy Sci. 77: 2762.
- STORRY, J.E. (1981) En: Recent Advances in Animal Nutrition. Ed. Butterworths, London. p. 3.
- TACKETT, V.L., J.A. BERTRAND, T.C. JENSINS, F.E. PARDUE y L.W. GRIMES (1996) J. Dairy Sci. 79: 270.
- VAN NEVEL, C.J. y D.I. DEMEYER (1996) Reprod. Nutr. Dev. 36: 53.
- WEISBJERG, M.R., T. HVELPLUND y C.F. BORSTING (1992) Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci. 42: 115.
- WONSIL, B.J., J.H. BERBEIN y B.A. WATKINS (1994) J. Nutr. 134: 556.
- WU, Z., O.A. OHAJURUKA y D.L. PALMQUIST (1991) J. Dairy Sci. 74: 3025.
- WU, Z. y J.T. HUBER (1994) Livest. Prod. Sci. 39: 141.