



GRASAS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES. REVISIÓN

FATS IN RUMINANT NUTRITION. REVIEW

Edmundo Apráez-Guerrero^a Zoot MSc PhD, Arturo L. Gálvez-Cerón^a Zoot MSc PhD

Recibido: 16-jun-2015

Aceptado: 14-ago-2015

RESUMEN

El uso de las grasas en la suplementación de rumiantes sigue siendo controversial, pues a ella se le atribuyen efectos diversos; por una parte, se ha reportado que disminuye la proteína y tiene un efecto variable sobre la grasa de leche, puede disminuir la digestión de carbohidratos y materia orgánica, fundamentalmente de la fracción fibrosa, incrementar la producción de propionato; estos trastornos se atribuyen a modificaciones en el ecosistema ruminal, puesto que estudios *In vitro* han demostrado que los lípidos tienen un efecto negativo sobre la población bacteriana, lo que implica no sólo la protección de los lípidos contra el ataque microbiano, sino la protección de los microorganismos contra el efecto negativo de los lípidos, puesto que la suplementación con grasas reduce la población protozoal, por lo que el valor energético de las grasas para rumiantes resulta difícil de calcular con exactitud, debido a las interacciones negativas entre los lípidos y carbohidratos en el rumen. Por otra parte, el suministro de grasa en la dieta de vacas produce efectos variables en los productos lácteos, que a veces aumentan o pueden disminuir, como ejemplo, un aumento en el contenido de grasa de la dieta de los rumiantes, generalmente resulta en la disminución en el contenido de proteína de la leche, especialmente en caseína; debido a ello, la suplementación tiene efectos negativos en la fabricación del queso. La incorporación de lípidos en las dietas de ganado de engorde es altamente dependiente de la especie; sin embargo, la inclusión de grasa en las raciones generalmente mejora el crecimiento en el ganado ovino y bovino.

Palabras clave: lípidos, valor energético, bovinos, ovinos

ABSTRACT

The use of fats in ruminant supplementation remains controversial because a variety of effects is attributed to it. On the one hand, it has been reported that it decreases the protein and has a variable effect on milk fat; it can also decrease the digestion of carbohydrates and organic matter, mainly, of the fibrous fraction, and increase propionate production. These disorders are attributed to changes in the ruminal ecosystem because *In vitro* studies have shown that lipids have a negative effect on the bacterial population. This involves not only protecting lipids from microbial attack, but also the protection of microorganisms against the negative effect of lipids because the fat supplementation reduces protozoa population; therefore, the energy value of fats for ruminants is difficult to assess accurately due to negative interactions between lipids and carbohydrates in rumen. On the other

^a Profesores tiempo completo, Departamento de Producción y Procesamiento Animal, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. epapraz@gmail.com, galvezceron@udenar.edu.co

hand, the provision of dietary fat in cows produces a variety of effects in dairy products, thus, sometimes they increase and other times they decrease. For example, an increase in fat of the diet of ruminants, generally results in the reduction of the content of milk protein, especially casein because the supplementation has negative effects on the manufacture of cheese. The incorporation of lipids in the diets of beef cattle is highly dependent on the species; however, the inclusion of fat in diets of sheep and cattle usually improves their growth.

Keywords: lipids, energy value, cattle, sheep

INTRODUCCIÓN

La digestión y el metabolismo de la grasa difieren entre las especies animales. En los rumiantes, la grasa de la dieta sufre transformaciones como la hidrogenación en el rumen y, por ello, el intestino dispone y absorbe principalmente ácidos grasos saturados. La actividad lipolítica y la velocidad de este proceso varía con la calidad del forraje (madurez y contenido de N), el tamaño de las partículas y las modificaciones estructurales de la molécula de lípidos que inhiben el ataque de las isomerasas bacterianas. La suplementación con grasas disminuye la proteína y tiene un efecto variable sobre la grasa de leche, dependiendo de la fuente de lípidos utilizada. Cuando se administra lípidos protegidos, el contenido de ácido linoleico se incrementa en la leche, pero la calidad organoléptica puede afectarse.

Actualmente, en todo el mundo, se trabaja de manera denodada en la manipulación ruminal de procesos físico-químicos, encaminados al control de los efectos antimicrobianos de los ácidos grasos y la regulación de la biohidrogenación microbiana de los mismos, a fin de mejorar el rendimiento y la calidad nutricional de los productos animales.

En la presente revisión se pretende confrontar, en parte, los conceptos, teorías y procedimientos utilizados por numerosos investigadores, acerca de las bondades generadas por la suplementación energética con grasas, aspecto que resulta de importancia en el contexto de la producción animal, donde una buena parte de los hatos lecheros especializados presentan dificultades en el suministro de energía para animales de mediana y alta producción.

Efectos de las grasas en la digestión de carbohidratos

La suplementación con lípidos puede disminuir la digestión de carbohidratos y materia orgánica^[1], fundamentalmente de la fracción fibrosa^[2], con un incremento en la producción de ácido propiónico y disminución del acético, butírico y la metanogénesis.

Estos resultados dependen de: (1) la cantidad de grasa, puesto que se han observado efectos negativos cuando las dietas contienen menos del 5%; (2) el tipo de grasa: los trastornos han sido más notorios con ácidos grasos poliinsaturados (AGP)^[3, 4]; el aceite de pescado ha resultado ser la excepción, pues, no obstante ser rico en AGP, tiende a aumentar la digestibilidad^[5]; (3) la naturaleza de la dieta: la grasa tiene un efecto menos negativo con dietas ricas en heno que con las dietas ricas en ensilaje de maíz^[6, 7]; (4) la cantidad de Ca soluble en el rumen: se ha observado que un suplemento de Ca soluble contrarresta el efecto negativo de la grasa en la digestión de carbohidratos^[8]; (5) en menor medida, las especies animales: los trastornos de la digestión ruminal pueden ser menores en las vacas lecheras que en ovejas^[9]. No está claro si esto puede estar relacionado con un mayor consumo de alimento de los bovinos que los ovinos, respecto a las necesidades de mantenimiento.

Estos trastornos se atribuyen a modificaciones en el ecosistema ruminal. Estudios in vitro han demostrado que los lípidos tienen un efecto negativo sobre la población bacteriana, acción que resultó más pronunciada sobre cepas celulolíticas con AG poliinsaturados que

con AG saturados, y puede ser contrarrestada por cationes divalentes tales como Ca ^[10, 11]. Otro efecto de la suplementación de grasas es la disminución de la población protozoaria, lo que contribuye a la celulolisis. Esta disminución es especialmente grande para grasa poliinsaturada; la defaunación con aceite de linaza es casi completa ^[12].

El efecto positivo del Ca se puede explicar por la formación de sales de Ca en rumen ^[13] y se ha demostrado que la suplementación de lípidos reduce la concentración de Ca ionizado en el fluido ruminal ^[12]. La falta de Ca puede ser un factor limitante para la unión de las bacterias a las partículas ^[14].

Protección de los lípidos

Numerosos ensayos se han realizado para reducir la hidrogenación de lípidos y los trastornos de la digestión de carbohidratos en el rumen, mediante diferentes técnicas de protección. Esto implica no sólo la protección de los lípidos contra ataque microbiano, sino la protección de los microorganismos contra el efecto negativo de los lípidos. El uso de semillas de oleaginosas en lugar de aceites permite una ligera protección ^[15].

Los diferentes tratamientos, ya sean físicos o químicos, han mejorado la protección. El primer método, desarrollado hace 25 años, consistió en la encapsulación de una emulsión de aceite con proteínas tratadas con formaldehído. Este recubrimiento se interrumpe en el abomaso, de modo que la absorción intestinal se produce después de la hidrólisis de los triglicéridos por la lipasa pancreática. La protección es generalmente parcial, debido a la acción física de la masticación y a que los productos comerciales no son bien tratados ^[16]. Sin embargo, esta técnica es la única que permite gran aumento en la absorción de ácidos grasos poliinsaturados ^[17].

Recientemente se han saponificado ácidos grasos. Este proceso fue propuesto por Jenkins y Palmquist ^[18], debido a la asociación de Ca y AG como jabones, comúnmente llamados sales, que son inertes en el rumen. Luego se ha demostrado que las sales de Ca de acei-

tes insaturados son ampliamente hidrogenadas, lo que sugiere su disociación cuando el pH cae postprandialmente ^[19, 20]. Este papel del pH fue confirmado in vitro por Van Nevel y Demeyer ^[21]. La ausencia de un efecto negativo de estas sales sobre la digestión ruminal de carbohidratos puede deberse, o bien a un cambio en las sales de Ca después de que se han hidrogenado, o a una acción positiva de Ca ionizado por la mejora de la adhesión de las bacterias a las partículas.

Gránulos de grasa son generalmente considerados como grasas protegidas. Con estos productos, las alteraciones ruminales son generalmente bajas o moderadas sobre AG C16 y C18 ^[22] y con aceites de pescado hidrogenados ricos en AG C20 y C22 ^[23], pero esto puede ser debido a la saturación de los AG más que a la cristalización. Sin embargo, Sundstprl ^[24] observó disminuciones de la digestibilidad de la fibra cruda con aceites de pescado saturados que tenían un alto punto de fusión.

Digestión intestinal y absorción de grasas en los rumiantes

Aunque los mecanismos generales de la absorción intestinal de los lípidos son los mismos para los rumiantes y no rumiantes, existen algunas diferencias que, en parte, están relacionados con la naturaleza de los lípidos que llegan al duodeno, además de las diferencias en digestibilidad entre los AG en función de la especie animal.

Digestibilidad de la grasa en rumiantes. A menudo se considera que la suplementación con grasas aumenta la digestibilidad de la misma. Esta es una consecuencia de (1) la subestimación de la ingesta de grasa en las dietas no suplementadas con grasa, en la que los AG de las estructuras celulares no son fáciles de extraer por métodos clásicos, mientras que los lípidos suplementarios, que generalmente son triacilgliceroles, son más fáciles de extraer; (2) el equilibrio de AG a nivel ruminal, el cual es bastante positivo con dietas no suplementadas y negativo con dietas suplementadas con grasa.

Se han obtenido resultados fiables mediante mediciones entre el duodeno y el íleon, o entre el duodeno y las heces, en ellos se mostró una amplia variación en la digestibilidad intestinal, de 55 a 92%, donde la digestibilidad intestinal no depende de la ingesta de AG, y la capacidad de absorción en la vaca lechera puede ser superior a 1 kg/día, con diferentes fuentes de grasa o aceite de colza infundido en el duodeno ^[25]. Valores para la misma fuente de grasa no mostraron un claro efecto de la composición de la dieta: por ejemplo, la digestibilidad de aceite de soja varía entre el 70% ^[27] y 92% ^[27].

Errores metodológicos no explican estas diferencias, ya que valores muy diferentes a menudo se encuentran en el mismo experimento. Una posible explicación es que la formación de micelas podría depender, ya sea en la proporciones de los diferentes AG, o en la producción de sales biliares que se relaciona con la naturaleza de la AG. Esta hipótesis no ha sido evaluada por los datos experimentales, pero podría explicar la observación de que la sustitución del aceite de colza por aceite de pescado hidrogenado disminuye la digestibilidad de todo AG ^[23].

La digestibilidad depende de la longitud de la cadena pero no difirió entre los 16 y 18 C: 79 y 77% en promedio, respectivamente. Además, la digestibilidad parece ser menor para C20 y C22, pero pocos resultados están disponibles para estos AG. De los datos de la literatura se calcula que la digestibilidad promedio de C18 son 77, 85, 83 y 76% con 0, 1, 2 y 3 dobles enlaces ^[28].

Efecto de la suplementación con grasas sobre el valor energético de las dietas

El valor energético de las grasas para rumiantes es difícil de dar con exactitud, debido a las interacciones negativas entre los lípidos y carbohidratos en el rumen. Vermorel et al ^[29] propusieron, para vacas lecheras, 20,5 MJ de EN/kg MS para las grasas que disminuyen moderadamente la digestión de carbohidratos. Este valor es consistente con los valores propuestos en otros países. Si se supone que los

lípidos no afectan la digestión de los carbohidratos en absoluto (como sales de Ca de aceite de palma, por ejemplo), este valor asume que la eficiencia de utilización de la energía metabolizable es 80%.

En los no rumiantes, el valor de energía de las grasas también es difícil de determinar, debido a las interacciones entre AG saturados e insaturados. La energía metabolizable aparente de los lípidos varía en la misma forma que su digestibilidad porque las interacciones entre lípidos y digestibilidad de la fibra son moderadas. No importa si el método de medición utilizada es la calorimetría directa, la digestibilidad de lípidos o efecto en el rendimiento, el contenido de energía metabolizable está entre 30 MJ/kg para grasas saturadas como el sebo, y 40 MJ/kg para aceites vegetales, siendo intermedia para manteca de cerdo o grasa de ave ^[30]. Esta energía se reduce, especialmente para las grasas ricas en AG saturados, cuando el nivel de inclusión de grasa aumenta.

Grasa láctea

El suministro de grasa en la dieta de vacas produce efectos variables en los productos lácteos, que a veces aumenta o puede disminuir hasta 10 g/kg en el contenido de grasa de la mantequilla ^[31]. Según reportes en la literatura, los efectos negativos son aproximadamente los mismos en número que los efectos positivos. Las grasas saturadas no alteran mucho la grasa de la mantequilla (+0,5 g/kg en promedio). Las oleaginosas tienden a reducir la grasa de la mantequilla al igual que los aceites libres (-0,9 y - 2,8 g/kg respectivamente) ^[33]. El mayor efecto negativo se obtiene con los aceites de pescado, que puede estar entre -5 y -10 g/kg ^[5]. En la suplementación con grasas protegidas, el efecto de los lípidos ha resultado positivo o insignificante, con valores de +6,4, +4,0 y +0,4 g/kg para aceites vegetales encapsulados, grasas animales encapsuladas y sales de Ca de aceite de palma, con ingestas medias diarias de 690, 940 y 590 g/d, respectivamente ^[33].

El efecto de los lípidos de la dieta en la grasa de la leche tiende a ser positivo, o menos negativo en la lactancia temprana que después del pico de lactancia. Esto probablemente tiene que ver, en parte, con un efecto de dilución, debido al aumento de producción de leche en la fase temprana de lactancia y, por otra parte, por la mayor contribución de los lípidos de la dieta a la deposición de grasa corporal tras el pico de lactación^[32]. Los contenidos de grasa en la mantequilla son debidos a las variaciones específicas de AG de cada leche.

La adición de lípidos a la dieta puede resultar en una disminución de la secreción de leche y la proporción de AG de cadena corta y media. Esto debido a (1) el incremento habitual en la proporción de propionato de etilo en la mezcla de AGV ruminal, en detrimento de acetato y butirato, que son precursores de la grasa de la leche; (2) la inhibición de la síntesis AG de cadena media y corta y, especialmente, de cadena larga en la ubre^[34], en particular por el AG de la estructura trans^[35]; al mismo tiempo, los AG exógenos se transfieren a la leche y aumentan la secreción de AG de cadena larga. Cuando se compara con AG C16 y C18, la tasa de transferencia es menor para AG de cadena corta y media^[36], probablemente debido a las transformaciones que se producen en el rumen o en el hígado; la tasa de transferencia es también menor para AG C20 y C22^[37].

La grasa de la leche es, por lo tanto, el resultado del equilibrio que se produce entre la disminución de la síntesis de novo y el aumento de la absorción de AG preformado. El aumento de la grasa de la leche con aceites encapsulados se debe a (1) una pequeña reducción de los precursores de la síntesis de novo, debido a la protección parcial, (2) la inhibición de la síntesis de novo por AG poliinsaturados en comparación con los productos hidrogenados y (3) la ausencia de un efecto de dilución debido a que estos lípidos generalmente no aumentan la producción de leche. Sin embargo, el conocimiento del efecto de la naturaleza de AG sobre la extensión de la inhibición de la síntesis mamaria y de absorción de AG todavía debe mejorar.

Para muchas fuentes de grasa de la dieta, siempre es difícil predecir la variación de la grasa láctea. Todas las suplementaciones se han hecho con sales de Ca de aceite de palma, de modo que es difícil generalizar esta tendencia en todos los suplementos grasos.

Proteína de la leche

Un aumento en el contenido de grasa de la dieta de los rumiantes generalmente resulta en una disminución en el contenido de proteína de la leche. Esta tendencia es general en las vacas después del pico de lactación, cualquiera que sea la fuente de lípidos^[38]; sin embargo, la disminución parece ser menor con aceites encapsulados que con grasas animales encapsuladas, esta última resulta en una mayor producción de leche^[39]. La disminución en el contenido de proteína de la leche se produce tan pronto como la grasa se añade a la dieta; la magnitud de la disminución para el mismo incremento en el contenido de grasa en la dieta puede ser más baja con alto el consumo de grasas. En la lactancia temprana, la depresión en el contenido de proteína es baja con las dietas ricas en grasas. Esto puede estar relacionado con el efecto muy pequeño sobre la producción de leche en la lactancia temprana^[40]. La disminución en el contenido de proteína se explica por una disminución en contenido de caseína.

El promedio de veinte comparaciones mostraron que la adición de lípidos a la dieta resultó en una disminución de 1,6 g/kg de proteína, así como para el contenido de caseína^[40]. Una parte notable de estas disminuciones se explica por el aumento en la producción de leche, el total de proteína excretada está moderadamente afectado por la suplementación de grasas. Como consecuencia, Wu y Huber^[38] atribuyeron la disminución en el contenido de proteína a la reducción de aminoácidos absorbidos por la ubre a medida que aumenta la producción de leche por la adición de grasa. Sin embargo, ésta disminuye en el contenido de proteína y la excreción se produjo con la infusión duodenal de aceite de colza, incluso cuando el balance proteico fue ampliamente positivo^[41].

La adición de metionina y/o lisina protegida tiene un efecto positivo en el contenido de proteína de la leche con las dietas ricas en grasa como con las dietas clásicas, pero no se encontró interacción positiva ^[40], de manera que, es poco probable que sea una limitante en la absorción de estos dos aminoácidos.

La suplementación con lactosa podría aliviar, en parte, la caída en el contenido de proteína ^[42]. La causa de la limitación en la absorción de aminoácidos podría estar relacionado con modificaciones hormonales, entre las cuales se puede mencionar la resistencia del tejido mamario a la insulina ^[43].

En ovejas lecheras, la suplementación de grasas también se traduce en una disminución en el contenido de proteína, típicamente entre 0,4 y 3,5 g/kg. En contraste, ninguna variación se ha observado en cabras ^[44].

Consecuencias en términos de valor tecnológico y la calidad organoléptica de la leche. La disminución en el contenido de proteína, especialmente en caseína, debido a la suplementación con lípidos, tiene efectos negativos en la fabricación del queso, en particular en la capacidad de rendimiento, tiempo de coagulación del cuajo, la firmeza de la cuajada y el tiempo reafirmante de ésta ^[45, 46].

Con vacas de alto rendimiento, la leche es a menudo pobre en proteínas, incluso sin la suplementación de lípidos, de modo que los problemas de fabricación de queso se pueden producir cuando se suministran los lípidos suplementarios. Además, cuando los ácidos grasos poliinsaturados se incrementan en la leche, las cremas requieren más tiempo de batido para hacer mantequilla ^[47].

Un aumento en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados en la leche disminuye su punto de fusión ^[48] y conduce a una mejor extensibilidad de mantequillas, cuando están a 4°C. A pesar de ello, se observó poco incremento en la dureza de la mantequilla cuando se administró grasas saturadas a las vacas, lo cual puede ser debido a la acción que ejerce la desaturasa mamaria ^[49].

Además, la adición de lípidos a las dietas de vacas lecheras se considera, a menudo, que

tiene un efecto negativo en las cualidades organolépticas de los productos lácteos, cuando se modifica la composición de ácidos grasos de la leche, en especial la proporción de ácido linoleico. Wong et al ^[50], Edmonson et al ^[47], Badings et al ^[51] y Goering et al ^[52] obtuvieron, mediante la suplementación de lípidos, grasa de la leche que contenían hasta 30 g de ácido linoleico/100 g. Observaron: (1) un sabor insípido de la mantequilla y el queso. La calidad de los quesos como el Gouda o Cheddar fue considerado como "aceptable" hasta 15 g de ácido linoleico/100 g, aunque tuvieron una suave consistencia harinosa. También se observaron gustos definidos como 'grasoso', 'grasa vieja' o 'rancia'; (2) una tendencia de la mantequilla a la oxidación, resultando con el tiempo en un deterioro de sabor. Esto se puede evitar por adición de antioxidantes a la leche, pero no a las dietas de las vacas. Por otra parte, la oxidación conduce a una pérdida de color en los quesos.

Un sabor a "grasa y vieja", sin sabor, oxidado, también se ha observado con leches ricas en ácido oleico ^[53]. Casi no se han observado problemas con lípidos desprotegidos, que no aumentan los ácidos grasos poliinsaturados en la leche. Por otro lado, el suministro de lípidos oxidados no tiene ningún efecto sobre la composición y el sabor de la leche ^[54]. Los efectos de la grasa de la dieta sobre la lipólisis espontánea han sido revisados por ^[56]. La lipólisis (medido por la concentración de ácidos grasos libres en la leche) se incrementa por las dietas ricas en ácido palmítico, pero no por las dietas ricas en ácido esteárico o con aceites protegidos que enriquecen la leche en ácido linoleico. Sin embargo, estas tendencias ciertamente no parecen tener consecuencias significativas sobre la rancidez, y no se tienen reportes en la literatura.

Efectos de la grasa en la dieta sobre la composición de la canal y la calidad de la carne

La incorporación de lípidos en las dietas de engorde es altamente dependiente de la especie. En rumiantes, la suplementación grasa es menos practicada en animales de carne que en

los animales productores de leche, quizás porque, en general, el rendimiento no se ve limitado por la ingesta de energía. Sin embargo, la inclusión de grasa en la dieta generalmente mejora el crecimiento en el ganado ovino y bovino ^[56].

La composición de ácidos grasos del cuerpo y/o grasa de la carne, es modificada especialmente por grasa de la dieta en los no rumiantes, con consecuencias notables en la calidad de la canal. En los rumiantes, la suplementación con grasa conduce a un aumento en la proporción de grasa en las canales, sea cual sea la naturaleza de los lípidos de la dieta; pero el peso de todos los tejidos adiposos no aumentó la proporción de grasa en los músculos ^[32, 56].

Debido a la hidrogenación de los ácidos grasos en el rumen, la composición de ácidos grasos de los lípidos del cuerpo no es modificada en gran medida con la mayoría de las fuentes de lípidos. Sin embargo, la relación entre grasa saturada y ácidos grasos insaturados tiende a aumentar cuando se suministra

grasas animales y disminuye cuando se adiciona aceites vegetales.

Por otra parte, en las dietas de engorde que generalmente son ricas en concentrados, algunos de los ácidos grasos poliinsaturados escapan a la hidrogenación. En estas condiciones, las proporciones de ácido linoleico y linoléico, presentes en la grasa corporal, se incrementan. En algunos casos, este aumento puede ser de gran magnitud, el que puede estar entre 2 y 21 g de ácido linoleico por cada 100 g de grasa en los tejidos adiposos, cuando se tiene un suplemento de 120 g de aceite de soya y girasol encapsulado, por kilogramo de dieta ^[57].

Los suplementos de grasas, en general, no modifican la terneza o retención de agua en el músculo ^[56]. El efecto en el sabor es variable, en el que se ha obtenido una mejora de resultados con los lípidos de semilla de colza, según Tesfa et al ^[58]. Aunque no se observa efectos claros de la fuente de lípidos, el aumento en ácido linoleico en la grasa disminuye el sabor ^[59].

CONCLUSIONES

De las soluciones que han sido propuestas para mejorar el uso de grasas en rumiantes, la protección de los lípidos es quizá la más utilizada con el fin de limitar las alteraciones en la degradación de los carbohidratos.

Aumentar los ácidos grasos poliinsaturados y disminuir los saturados de grasa de leche y carne para mejorar el valor dietético de los productos, puede modificar las características organolépticas de los mismos.

La reducción de la grasa total disminuye el sabor de la carne, porque se reducen los lípidos intramusculares; un exceso de ácidos grasos poliinsaturados aumenta la oxidación de los productos.

La disminución en el contenido de proteína debido a lípidos de la dieta, puede ser atenuada por la asociación de lípidos con lisina y/o metionina protegida. Sin embargo, el costo extra para el productor no es compensado por un mayor precio de la leche, mientras que el costo adicional para la fábrica que manipula la composición de la leche es pagado por el consumidor.

El aumento de la demanda de productos de alta calidad dietética puede estar en contradicción con las nuevas tendencias del desarrollo de los sistemas extensivos y la limitación de los costos de producción, que implican un mejor uso de los forrajes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Doreau M, Demeyer DI, Van Nevel C. Transformations and effects of unsaturated fatty acids in the rumen: Consequences on milk fat secretion. In: Welch RA, Burns DJ, Davis SR, Popay AI, Prosser GG, editors. Milk composition, production and biotechnology. Oxford, UK: CABI; 1997. p. 73-92.

Revisión Literaria

- [2] Zinn RA. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for feedlot steers: metabolism. *Journal of Animal Science*. 1989; 67: 1038-1049.
- [3] Palmquist DL, Jenkins T C. Fat in lactation rations: a review. *Journal of Dairy Science*, 1980; 63: 1-14.
- [4] Jenkins TC. Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*. 1993; 76: 3851-3863.
- [5] Doreau M, Chilliard Y. Effects of ruminal or postruminal fish oil supplementation on intake and digestion in dairy cows. *Reproduction Nutrition Development*. 1997; 37: 113-124.
- [6] Ben Salem H, Krzeminski R, Ferlay A, Doreau M. Effect of lipid supply on in vivo digestion in cows: Comparison of hay and corn silage diets. *Canadian Journal of Animal Science*. 1993; 73: 547-557.
- [7] Smith WA, Harris B Jr, Van Horn HH, Wilcox CJ. Effects of forage type on production of dairy cows supplemented with whole cottonseed, tallow, and yeast. *Journal of Dairy Science*. 1993; 76: 205-215.
- [8] White TW, Grainger RB, Baker FH, Stroud JW. Effect of supplemental fat on digestion and the ruminal calcium requirement of sheep. *Journal of Animal Science*. 1958; 17: 797-803.
- [9] Van der Honing Y, Wieman BJ, Steg A, Van Donselar B. The effect of fat supplementation of concentrates on digestion and utilization of energy by productive dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 1981; 29: 79-92.
- [10] Galbraith H, Miller T B, Paton A M, Thompson JK. Antibacterial activity of long-chain fatty acids and the reversal with calcium, magnesium, ergocalciferol and cholesterol. *Journal of Applied Bacteriology*. 1971; 34: 803-813.
- [11] Maczulak AE, Dehority BA, Palmquist DL. Effect of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 1981; 42: 856-862.
- [12] Doreau M, Ferlay A. Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livestock Production Science*. 1995; 43: 97-110.
- [13] Palmquist DL, Jenkins T C, Joyner A E. Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 1986; 69: 102-1025.
- [14] Roger V, Fonty G, Komisarczuk-Bony S, Gouet P. Effects of physicochemical factors on the adhesion of Avicel to the ruminal bacteria *Ruminococcus javefaciens* and *Fibrobacter succinogenes sub sp succinogenes*. *Applied and Environmental Microbiology*. 1990; 56: 3081-3087.
- [15] Jenkins TC. Butylsoyamide protects soybean oil from ruminal biohydrogenation: effects of butylsoyamide on plasma fatty acids and nutrient digestion in sheep. *Journal of Animal Science*. 1995; 73: 818-823.
- [16] Ashes JR, Gulati SK, Cook LJ, Scott TW, Donnelly JB. Assessing the biological effectiveness of protected lipid supplements for ruminants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1979; 56: 522-527.
- [17] Hogan JP, Connell PJ, Mills SC. The digestion of safflower oil casein particles protected against ruminal hydrogenation in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1972; 23: 87-95.
- [18] Jenkins TC, Palmquist DL. Effect of fatty acids or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility of dairy rations. *Journal of Dairy Science*. 1984; 67: 978-986.
- [19] Ferlay A, Chabrot J, Elmeddah Y, Doreau M. Ruminal lipid balance and intestinal digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. *Journal of Animal Science*. 1993; 71: 2237-2245.

- [20] Enjalbert F, Nicot MC, Vernay M, Moncoulon R, Griess D. Effect of different forms of polyunsaturated fatty acids on duodenal and serum fatty acid profiles in sheep. *Canadian Journal of Animal Science*. 1994; 74: 595-600.
- [21] Van Nevel CJ, Demeyer DI. Effect of pH on biohydrogenation of polyunsaturated fatty acids and their Ca-salts by microorganisms in vitro. *Archives of Animal Nutrition*. 1996; 49: 151-158.
- [22] Schauff DJ, Clark J H. Effects of prilled fatty acids and calcium salts of fatty acids on rumen fermentation, nutrients digestibilities, milk production, and milk composition. *Journal of Dairy Science*. 1989; 72: 917-927.
- [23] Doreau M. Effect of supplementation with hydrogenated fish oil on digestion in cows. *Annals de Zootechnie*. 1992; 41: 137-143.
- [24] Sundstprl F. Hydrogenated marine fat as feed supplement: Digestibility of rations containing hydrogenated marine fat in sheep. *Meldingerfra Norgesh and Brukshogskole*. 1974; 161: 31.
- [25] Chilliard Y, Bauchart D, Gagliostro G, Ollier A, Vermorel M. Duodenal rapeseed oil infusion in early and midlactation cows: Intestinal apparent digestibility of fatty acids and lipids. *Journal of Dairy Science*. 1991; 74: 49-98.
- [26] Hagemester H, Kaufmann W. Verdaulichkeit von Fettsauren im Darm von Milchkuhen: Digestibility of fatty acids in the intestine of dairy cows. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*. 1979.
- [27] Barsting CF, Hvelplund T, Weisbjerg MR (1992). Fatty acid digestibility in lactating cows fed increasing amounts of protected vegetable oil or saturated fat. *Acta Agricultura Scandinavica, Section Animal Science*. 1992; 42: 148-156.
- [28] Doreau M, Ferlay A. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 1994; 45: 379-396.
- [29] Vermorel M, Sauvant D, Michalet-Doreau B. Valeur Bnerg Ctique des matitres grasses de la ration des vacheslaititres: Energy value of dietary fats in dairy cows. *Bulletin Technique CRZVTheix, INRA*. 1986; 66: 67-73.
- [30] Wiseman J. Assessment of the digestible and metabolizable energy of fats for non-ruminants. In: Wiseman [ed]. *Fats in Animal Nutrition*, 1984. London: Buttenvorths. pp. 277-297.
- [31] Stony JE, Brumby P E, Dunkley WL. Influence of nutritional factors on the yield and content of milk fat: Protected non-polyunsaturated fat in the diet. *International Dairy Federation Bulletin*. 1980; 125: 105-125.
- [32] Chilliard Y. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: A review. *Journal of Dairy Science*. 1993; 76: 3897-3931.
- [33] Chilliard Y, Vacelet JM, Durand D, Bauchart D. Portal-drained viscera (PDV) and hepatic production rates of energy metabolites in high yielding dairy cows: Effects of a fat supplement on PDV rates. *Reproduction Nutrition Development*. 1992; 32: 501 Abstr.
- [34] Chilliard Y, Gagliostro G, Fltchet J, Lefaivre J, Sebastian I. Duodenal rapeseed oil infusion in early and midlactation cows: Milk fatty acids and adipose tissue lipogenic activities. *Journal of Dairy Science*. 1991; 74: 1844-1854.
- [35] Banks W, Clapperton JL, Girdler AK, Steele W. Effect of inclusion of different forms of dietary fatty acids on the yield and composition of cow's milk. *Journal of Dairy Research*. 1984; 51: 387-395.
- [36] Stony JE, Brumby PE, Hall AJ, Johnson VW. Response of the lactating cow to different methods of incorporating casein and coconut oil in the diet. *Journal of Dairy Science*. 1974; 57: 6147.
- [37] Pennington JA, Davis L. Effects of intra-ruminal and intra-abomasal additions of cod-liver oil on milk fat production in the cow. *Journal of Dairy Science*. 1975; 58: 49-55.

Revisión Literaria

- [38] Wu Z, Huber JT. Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: A review. *Livestock Production Science*. 1994; 39: 141-155.
- [39] Chilliard Y, Doreau M, Gagliostro G, Elmeddah Y. Addition de lipides protégés (encapsulés ou sels de calcium) B la ration de vaches laitières: Effets sur les performances et la composition du lait (Protected encapsulated or calcium salts) lipids in dairy cow diets. Effects on production and milk composition). *INRA Productions Animales*. 1993; 6: 139-150.
- [40] Doreau M, Chilliard Y. Influence d'une supplémentation de la ration en lipides sur la qualité du lait chez la vache (Fat supplementation in dairy rations and its consequences on milk quality in dairy cows). *INRA Productions Animales*. 1992; 5: 103-111.
- [41] Ottou JF, Doreau M, Chilliard Y. Duodenal infusion of rapeseed oil in midlactation cows: Interaction with niacin on dairy performance and nutritional balance. *Journal of Dairy Science*. 1995; 78: 1345-1352.
- [42] Garnsworthy PC. The effects on milk yield and composition of incorporating lactose into the diet of dairy cows given protected fat. *Animal Science*. 1996; 62: 1-3.
- [43] Palmquist DL, Moser EA. Dietary fat effects on blood insulin, glucose utilization, and milk protein content of lactating cows. *Journal of Dairy Science*. 1981; 64: 1664-1670.
- [44] Chilliard Y, Bocquier F. Effects of fat supplementation on milk yield and composition in dairy goats and ewes. In: Palmquist DL, Moser EA. *La qualità delle produzioni dei piccoli ruminanti*. Varese, Italy: Camera di Commercio Industria Artigianato Agricoltura di Varese; 1981. pp. 61-78.
- [45] Remeuf F, Cossin V, Dervin C, Lenoir J, Tomassone R. Relations entre les caractéristiques physico-chimiques des laitset leur aptitude fromagère (Relationships between physico-chemical characteristics of milks and their cheese-making properties). *Lait*. 1991; 71: 397-421.
- [46] Martin B, Coulon JB. Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages: Influence des facteurs de production dans la capacité de coagulation du lait de troupeaux laitiers (Milk production and cheese characteristics. I. Influence of milk production conditions on herd milk clotting ability). *Lait*. 1995; 75: 6140.
- [47] Edmondson LF, Yoncoskie RA, Rainey NH, Douglas FW, Bitman Jr J. Feeding encapsulated oils to increase the polyunsaturation in milk and meat fat. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1974; 51: 72-76.
- [48] Palmquist DL, Beaulieu AD, Barbano DM. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science*. 1993; 76: 1753-1771.
- [49] Wong W, Jelen P, Deman JM. Softening of butter related to feeding low doses of protected tallow supplement. *Journal of Dairy Science*. 1982; 65: 1632-1638.
- [50] Wong NP, Walter HE, Vestal JH, Lacroix DE, Alford JA. Cheddar cheese with increased polyunsaturated fatty acids. *Journal of Dairy Science*. 1973; 56: 1271-1275.
- [51] Badings HT, Tamminga S, Schaap JE. Production of milk with a high content of polyunsaturated fatty acids: Fatty acid composition of milk in relation to the quality of pasteurized milk, butter and cheese. *Netherlands Milk and Dairy Journal*. 1976; 30: 118-131.
- [52] Goering HK, Gordon CH, Wrenn TR, Bitman J, King RL, Douglas FW Jr. Effect of feeding protected safflower oil on yield, composition, flavor and oxidative stability of milk. *Journal of Dairy Science*. 1976; 59: 41-25.
- [53] Middaugh RP, Baer RJ, Casper DP, Schingoethe DJ, Seas SW. Characteristics of milk and butter from cows fed sunflower seeds. *Journal of Dairy Science*. 1988; 71: 3179-3187.
- [54] Cadden AM, Urquhart A, Jelen P. Storage stability of canola-based protected lipid feed supplement and its effect on characteristics of milk and butter. *Journal of Dairy Science*. 1984; 67: 1414-1420.
- [55] Chilliard Y. Variations physiologiques des activités lipasiques et de la lipolyse spontanée dans les laits de vache, de chèvre et de femme: revue bibliographique (Physiological

- variations in lipase activities and spontaneous lipolysis in bovine, caprine and human milk: a review). *Lait*. 1982; 62: 1-31 and 126-154.
- [56] Clinquart A, Micol D, Brundseaux C, Dufrasne I, Istasse L. Utilisation des matitres grasses chezles bovinsB l'engraissement (Use of fat in fattening diets for cattle). *INRA Productions Animals*. 1995; 8: 29-42.
- [57] Garrett WN, Yang YT, Dunkley WL, Smith LM. Increasing the polyunsaturated fat content of beef and lamb. *Journal of Animal Science*. 1976; 42: 845-853.
- [58] Tesfa AT, Tuori M, Syjala-Qvist L. The influence of partial replacement of barley with dietary fat sources on growth and feed conversion efficiency of growing bulls. *Agricultural Science in Finland*. 1992; 1: 267-278.
- [59] Ford AL, Park RJ, Ratcliff D. Effect of a protected lipid supplement on flavor properties of beef. *Journal of Food Science*. 1976; 41: 94-96.