

ESTRATEGIAS DE FORMULACIÓN EN VACAS LECHERAS DE ALTA PRODUCCIÓN

Sergio Calsamiglia

Servei de Nutrició i Benestar Animal, Universitat Autònoma de Barcelona.

08193-Bellaterra

sergio.calsamiglia@uab.es

1. INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del último NRC (2001) de vacuno lechero, la producción media en EEUU ha incrementado casi un 20% (1.5% anual). En España, el incremento medio de producción ha sido casi inapreciable, en parte debido a la crisis de precios de los alimentos, pero en las zonas “no-cornisa cantábrica” el aumento ha sido de un 12% en los últimos 12 años (un 1.0% anual) a pesar de la crisis, con el mayor aumento en los últimos 3 años. Las aportaciones científicas en el área de nutrición en alimentos o nutrientes de vacas de alta producción han disminuido en favor de aspectos de manejo de la alimentación y bienestar, de la alimentación de otros periodos del ciclo productivo (la recría o el periodo de secado) o más fundamentales (interacciones con inmunidad, sistema reproductivo o genoproteómica). A pesar de ello, han habido suficientes avances en el área de formulación para que el National Research Council de EEUU, en colaboración con la industria, se haya propuesto la redacción de unas nuevas recomendaciones que probablemente estarán disponibles en 2-3 años.

La última versión del NRC (2001) introdujo numerosas modificaciones respecto a la versión anterior (NRC 1989). Estas modificaciones eran en su mayor parte sustanciales. Por ejemplo, se introdujo una ecuación empírica de estimación de la ingestión de materia

seca y se propuso un nuevo sistema de valoración energética de los alimentos basado en su composición química, la digestibilidad de los nutrientes y los efectos de la ingestión (que afectan a la velocidad de tránsito). Por primera vez se hace referencia al concepto de fibra efectiva y forrajera, con recomendaciones específicas para las fracciones de hidratos de carbono (FND, FND-forrajera, FAD y carbohidratos no fibrosos) y tamaños mínimos de fibra. En la proteína, se estableció un sistema dinámico para determinar el nivel de proteína degradable y no degradable en el rumen en función de su solubilidad, la velocidad de degradación de la proteína insoluble potencialmente degradable y de la velocidad de tránsito. También se incorporaron recomendaciones para amino ácidos esenciales (lisina y metionina), y las necesidades y aportes de minerales se establecieron en unidades de minerales digestibles en la próxima versión. Es posible que se produzcan ajustes en alguno de estos aspectos, pero es poco probable que sean profundos. Sin embargo, algunas recomendaciones que no se consideraban en el anterior NRC (2001) probablemente deberán encontrar un hueco en la nueva versión. Y otros aspectos no encontrarán el consenso o la solidez científica suficiente para su incorporación o incluso su eliminación del sistema. Indudablemente, un equipo de expertos propondrá y valorará las múltiples propuestas de modificación.

El objetivo del presente documento es aportar una serie de evidencias que podrían justificar la necesidad de incorporar alguna de estas nuevas recomendaciones, o bien una crítica sobre aspectos actualmente considerados y cuya aplicabilidad en condiciones prácticas es, a veces, dudosa, centradas en la alimentación de la vaca en producción.

2. LOS ALMIDONES

El nivel de almidón en la dieta es un factor determinante del contenido total de energía. Pero además, el almidón juega dos papeles muy relevantes en la alimentación de la vaca: a) aporta energía a las bacterias ruminales que favorecen la síntesis de proteína de calidad (con un excelente perfil de aminoácidos); y b) aporta de forma directa (bypass ruminal y digestión intestinal) o indirecta (a través del propiónico como precursor) glucosa para el animal, un metabolito esencial y que está directamente implicado en la producción de leche y la regulación de la aparición de cetosis, e indirectamente en la disponibilidad de aminoácidos para la síntesis de proteína en leche.

En el contexto de los animales de alta producción, un mayor contenido en almidones tiene, indudablemente, ventajas, por su mayor aporte de energía y sus efectos no-energéticos. Sin embargo, su nivel de inclusión está limitado por el riesgo de acidosis, que, a su vez, dependen de su velocidad de degradación y de la capacidad tamponante del rumen. Estos factores, además, están influenciados por la coordinación temporal de la fermentación de los nutrientes, donde el manejo juega un papel fundamental. Así pues, sean cuales sean las recomendaciones, deberá considerar el contexto de la dieta y el manejo que se realiza.

Respecto a los almidones hay dos aspectos que no están definidos en el NRC (2001) y deberían definirse con mayor precisión:

- a) los niveles óptimos,
- b) su degradabilidad ruminal

Los almidones mejoran el funcionamiento ruminal, estimulan la ingestión de materia seca, incrementan el valor energético de la ración y la ingestión total de energía, favorecen la síntesis de proteína microbiana, y aportan precursores para la neoglucogénesis, que es esencial en los animales de alta producción. Sin embargo, es bien sabido que un exceso de almidones o el uso de almidones de degradación rápida en el rumen conllevan un riesgo elevado de desencadenar una acidosis. En la bibliografía existe suficiente evidencia para establecer un rango de niveles máximos, siempre limitados por el tipo de cereal y su procesado. Firkins y col. (2001) realizaron un meta análisis de los resultados obtenidos en estudios *in vivo* y concluyeron que los niveles que optimizaban la producción de leche eran del 28%. Shaver y col. (2008; entre el 24 y el 30%), Bucholz y col. (2006; entre el 24 y el 30%) y Stapels y col. (2007; entre el 24 y el 26%) han establecido otros rangos de recomendaciones. Es probable que el grado de incertidumbre entre el 24 y el 30% dependa de las características de la fuente de almidón, como su velocidad de degradación en el rumen, y del contexto de la dieta completa respecto a su capacidad de generar capacidad tampón. La información bibliográfica sobre los perfiles de fermentación ruminal de los diferentes tipos de almidón está suficientemente descrita como para incorporarlo al sistema en la misma estructura diseñada para la degradación de la proteína (fracción soluble, potencialmente degradable y velocidad de degradación), y establecer niveles de degradación efectiva en función de la velocidad de tránsito. En este sentido, el lector puede referirse a los trabajos de Offner y col. (2002), que realizaron una revisión sistemática de los parámetros de degradabilidad ruminal de numerosos ingredientes de uso frecuente en vacuno lechero. Sin embargo, otro problema más complicado de resolver es la determinación de las recomendaciones en unidades de almidón total y la proporción degradable en el rumen. De hecho, hay argumentos para defender los beneficios de aportar almidón bypass, ya que el cálculo estequiométrico de la eficiencia de utilización de la energía del almidón si éste se utiliza en el rumen o en el intestino delgado demuestra que su utilización postruminal mejora en 17 unidades de porcentaje su valor energético (Cuadro 1).

Pero la respuesta en condiciones de campo no es tan fácil de resolver, ya que la reducción de la degradabilidad ruminal con frecuencia conlleva una reducción de la degradabilidad del tracto total, reduciendo su contenido energético total. El grado de incertidumbre (por no decir desconocimiento) sobre la conveniencia o no de utilizar el almidón en el rumen o en el intestino delgado se refleja en las publicaciones científicas recientes, que presentan estrategias nutritivas con objetivos divergentes, bien sea para aumentar (Klingerman y col., 2008; McCarthy y col. 2011) o reducir (Speight y col., 2007; Blanch y col. 2010) la degradabilidad ruminal del almidón. Indudablemente, cada uno de estos trabajos tiene buenos argumentos para defender su propia propuesta, pero está claro que ambas no pueden ser igualmente correctas.

Cuadro 1: Valoración estequiométrica de la utilización energético del almidón en diferentes tramos del tracto digestivo (Kcal)

	Rumen	Intestino Delgado	Intestino Grueso
Metano	-105	0	-100
Microorganismos (hexosas)	-225	0	-225
Fermentación (calor)	-50	0	-50
ED Microbiana	+200	0	0
Digestión (calor)	-2	-6	-2
Transporte	-5	-26	-5
Balance (kcal)	+811	+968	+618
Eficiencia, %	80	97	62

La degradabilidad ruminal de las diferentes fuentes de almidón se han determinado tradicionalmente por el método *in situ* (Offner y col., 2002: Cuadro 2). De este tipo de datos se han establecido valores medios de velocidad de degradación del almidón de los diferentes cereales, que varían desde el 10%/h en el grano de maíz entero al 40%/h en el trigo (Sistema de Cornell, CNCPS, 2013), resultando en degradabilidades efectivas del almidón entre el 95% en el trigo y el 65% en el grano de maíz entero. Sin embargo, si centramos la atención en aquellos cereales de uso frecuente en la alimentación del vacuno lechero, la degradabilidad efectiva de la cebada (88%) y el maíz molido (85%) no es muy distinta. En contraposición, Firkins y col. (2001) constataron a través de un meta-análisis que la degradabilidad del almidón *in vivo* es muy inferior al cálculo teórico y mucho más diferenciado entre cereales (51% para el maíz molido y 70% para la cebada). No deja de sorprender que, mientras se asume que la degradabilidad ruminal de los almidones es elevada (80-90% cuando se determina en bolsas de nylon), los resultados de mediciones *in vivo* en animales canulados muestren valores entre el 50 y el 70%. Es más que probable que parte de esta discrepancia se deba atribuir a la metodología *in situ*, que a pesar de haber sido aceptada como referencia, nunca ha sido sometida a un proceso de validación *in vivo*. En esta técnica hay dos aspectos fundamentales que probablemente contribuyen a la sobreestimación de la degradabilidad ruminal del almidón. En primer lugar, la pérdida de partículas de pequeño tamaño a través de los poros de la bolsa a las 0 h sobreestima la degradabilidad, ya que lo asume como totalmente degradable. Y por otra parte, el uso de una velocidad de paso del 6% (utilizado como estándar) que es indudablemente incorrecta para cereales molidos. E indudable que muchas de las partículas de los cereales molidos transitan por el rumen a una velocidad superior a los forrajes y, probablemente, en algunos casos a velocidades cercanas a la fracción líquida. Por eso, es probable que en harinas molidas y elevados niveles de ingestión, la velocidad de tránsito esté cercana al 12-15%. Quizás sería necesario consensuar una metodología de determinación y cálculo de la degradación de los almidones que aunque conceptualmente similar a la de las proteínas, asuma valores de tránsito más cercanos a la realidad. Quizás de esta manera los datos

derivados del metaanálisis *in vivo* de Firkins y col (2001) no sorprendían tanto y se acercarían más a la realidad.

Cuadro 2. Fracción soluble, velocidad de degradación y degradabilidad efectiva (tasa de dilución del 6%/h) de diferentes fuentes de almidón (Adaptado de Offner y col., 2002).

	Fracción soluble (%)	Velocidad de degradación (%/h)	Degradabilidad Efectiva (%)
Maíz			
Sin tratar	224	5.9	60
Partido	20	5.7	58
Molido	34	5.5	68
Copos	13	22	80
Sorgo			
Sin tratar	28	4.2	60
Molido	-	4.4	76
Cebada			
Sin tratar	52	35	91
Partido	1	6	50
Molido	46	39	86
Copos	5	34	84
Trigo			
Sin tratar	60	33	94
Subproductos	78	24	94
Otros			
Centeno	67	19	94
Bagazo cerveza	77	17	85
Gluten feed maíz	56	12	88
Triticale	45	58	95
Pulpa remolacha	0	4.9	55
Guisantes enteros	46	12	85
Guisantes troceados	41	19	89
Harina de soja	31	12	77
Patata	45	9.1	78
Silo de maíz	67	8.7	86

Trabajos en nuestro laboratorio (Calsamiglia y col., 2008) también observaron que la degradación de la materia orgánica de dietas a base de concentrado con un elevado contenido en almidón (hasta el 45%) para terneros de cebo estaba alrededor del 50-60%, y esos valores no eran distintos a los observados en los estudios *in vivo* desarrollados en nuestro laboratorio (Rotger y col., 2006; Devant y col., 2001). Otros estudios similares también obtuvieron digestibilidades ruminales de la materia orgánica entre el 43 y el 65%, con una media del 53.0% (Cole y col., 1976ab; Veira y col., 1980; Rahnemasha y col., 1987; Zinn y col., 1995; Choat y col., 2002). La evidencia de que la degradabilidad del almidón es inferior *in vivo* a la estimada con el método *in situ* es muy evidente. Entonces, ¿Estamos ignorando una realidad que la evidencia científica ha demostrado claramente? ¿Nos hemos dejado convencer por los resultados obtenidos a través de métodos indirectos o *in situ* y nos resistimos a modificar el dogma aunque los datos *in vivo* lo demuestren? Lo que parece indudable es que en las condiciones del vacuno lechero de alta producción (y en los terneros de cebo a base de concentrado), una proporción relativamente elevada de almidón no se degrada en el rumen, y ello puede comprometer la disponibilidad de energía fermentable para la síntesis de proteína microbiana y, en consecuencia, limitar el aporte de proteína total. Y los resultados de estudios *in vivo* demuestran que las producciones máximas se producen con niveles de almidón entre el 25 y el 27%, y que a mayor la degradabilidad ruminal y digestibilidad en el tracto total de ese almidón, mayor es la producción de leche (litros/d), de grasa (kg/d) y de proteína (kg/d), aunque el contenido en componentes (%) pueda disminuir (Firkins y col., 2001). Y cuanto más degradable sea el almidón, mayor será la producción. En este contexto, el maíz debe utilizarse en molido muy fino o en forma de copos. Y los límites a los niveles de almidón de la dieta los pondrá la capacidad de controlar el riesgo de acidosis, que dependerá del uso de sustancias tamponantes o aditivos, del nivel de fibra efectiva y de las condiciones de manejo. Y siendo que los niveles de almidón son determinantes en el cálculo del contenido energético de la ración, no es descabellado reducir el énfasis en el contenido energético de las raciones *per se* y centrar esfuerzos en maximizar el contenido de almidón sin caer en acidosis. Es en este contexto donde el manejo de la alimentación y el bienestar (ocasionalmente el uso de aditivos) pueden jugar un papel determinante en el aporte total de energía al animal. En este sentido, sería de mucha utilidad incorporar valoraciones de riesgo de acidosis o predicciones del pH ruminal en la nueva versión del NRC, aunque este objetivo es difícil. El sistema de Cornell (CNCPS) ha incorporado dichas predicciones, y existen varios modelos en la bibliografía (Pitt y col., 1996; Fox y col., 2004), pero son probablemente insuficientes como para establecer unas recomendaciones suficientemente justificadas científicamente, ya que factores como el tamaño de partícula de los forrajes o el comportamiento, difíciles de parametrizar, pueden tener un impacto determinante en el pH ruminal. Aún así, considero relevante aportar valores de orientación que permitan valorar el riesgo, pero es improbable que el NRC asuma esta incertidumbre.

Así que, alternativamente, nos quedará valorar el riesgo a partir de la interpretación de los diferentes nutrientes de la ración, de la valoración de las condiciones de la explotación, o a partir de las evidencias productivas. En este sentido, la interpretación tradicional del nivel bajo de grasa o la inversión grasa:proteína deberá revisarse. Ya

sabemos que la presencia de grasas insaturadas puede ser motivo de depresión de la grasa (ver apartado de grasas), pero se va acumulando evidencia de que es posible conseguir producciones con una inversión grasa:proteína de la leche sin el uso de grasas poliinsaturadas y sin generar problemas tradicionalmente asociados a la acidosis (reducción de la ingestión, reducción de la producción o aparición de laminitis). En este sentido, es casi sorprendente constatar que algunas explotaciones de alta producción mantienen los niveles de grasa y proteína invertidos sin que suponga la aparición de efectos negativos a largo plazo y/o síntomas asociados a la acidosis (laminitis, por ejemplo). Octavio Fargas (VLAP, Tona, Barcelona; comunicación personal) ha mantenido niveles medios de producción muy elevados y una inversión grasa:proteína durante periodos muy prolongados de tiempo sin otro problema aparente asociado a la acidosis. Es indudable que en las condiciones de pago de leche y sus componentes actuales, es mucho más rentable la producción de litros que la producción de componentes, y estas estrategias permiten optimizar los ingresos e incluso reducir el posible efecto del balance energético negativo sobre la reproducción, ya que dicho balance se reequilibra en la medida que se reduce el contenido en grasa de la leche se reduce. Finalmente, una nota de aclaración. Estas observaciones se basan en datos desarrollados con animales de alta producción, donde la ingestión es muy elevada y el tránsito a través del rumen es mucho más rápido. Las interacciones entre ese contexto y la dieta son probablemente la causa de este cambio de paradigma. No ha cambiado la ciencia como la aprendimos hace unos años, sino que nos han cambiado las circunstancias.

Según lo discutido en el apartado anterior, es necesario formular raciones con el máximo almidón posible limitado por el riesgo de acidosis (entre el 24 y el 28%), y con la mayor degradabilidad ruminal posible, ya que el contexto se encarga de limitarla. Existen tres caminos para incrementar el aporte total de almidón degradado en el rumen: a) incrementar la ingestión total de materia seca; b) incrementar la concentración de almidón en la ración; c) incrementar el grado de utilización (fermentación) del almidón en el rumen.

El aumento de la ingestión total de la materia seca depende del manejo, y el aumento de la cantidad total de almidón en la dieta depende de la formulación. Con una misma fórmula, la degradación del almidón puede mejorarse mediante el procesado de los alimentos ricos en almidón (molido fino, copos,...), o el procesado del grano de maíz en el silo. La bibliografía sobre los efectos del procesado (molido o copos) de los cereales sobre la fermentabilidad del almidón es extensa y supuestamente conocida, por lo que no entraremos en detalle. Pero el impacto del procesado correcto del grano en el ensilado de maíz ha sido menos interiorizado por los ganaderos. En las raciones de alta producción con silo de maíz como forraje principal, hasta el 50% del almidón total lo aporta el silo. Datos de los laboratorios DairyOne (Ithaca, NY, EEUU) indican que la digestibilidad in vitro a las 7 horas del almidón del silo de maíz varía entre 52 y 72%, y dicha variabilidad justifica la búsqueda de los factores responsables. Sniffen y col. (2009) establecieron que la degradabilidad ruminal del almidón del silo de maíz disminuía con el grado de madurez (de 80 a 73% cuando el porcentaje MS aumentaba del 30 al 38%), siendo dicha reducción más importante cuando la materia seca de silo supera el 30%. Sin embargo, es bien sabido que

el momento óptimo para maximizar la producción de mega calorías por hectárea de maíz es en un estado relativamente maduro (3/4 de la línea de leche del grano), con una materia seca por encima del 30-32%. Una revisión bibliográfica de 10 estudios muestra que el procesado del grano de maíz en los silos mejora la degradabilidad ruminal del almidón en un 5,5% (con un rango entre el 3 y el 12%), y esta mejora parece ser más importante en la medida que el grano está más maduro (Bal y col., 1997). Es más, Cooke y Bernard (2005) demostraron que el procesado del grano de maíz de los silos (rodillos de 8mm vs 2 mm) mejoraba la producción de 34 a 38 litros, atribuido a una mejora en la degradabilidad del almidón (que pasó del 75 al 87%). En consecuencia, parece haber una oportunidad de mejora en el procesado del maíz del silo.

Por último, el aumento de precios de los cereales en los últimos años ha generado interés en la reducción de los niveles de almidón por debajo de lo habitual. La línea de discusión anterior lo desaconsejaría, por lo menos desde el punto de vista técnico. Pero en cualquier caso, de reducirse los niveles de almidón sería recomendable que éste fuera muy degradable en el rumen (molido muy fino o copos), y que fuera substituido por fibras digestibles (CGM o DDGSm, por ejemplo) y no por forrajes. Hay que considerar que el procesado del maíz en forma de copos aumenta su aportación energética entre el 5 y 10%, y que la conveniencia depende no solo de factores técnicos (riesgo de acidosis), sino de las condiciones económicas. Así, es más justificable económicamente su uso cuando el coste de la energía es bajo o cuando el precio del maíz es elevado.

En resumen: parece necesario establecer recomendaciones de niveles máximos de almidón, aunque estos deberán establecerse en rangos de recomendación sujetos al riesgo de acidosis de la ración, el uso de aditivos para el control de acidosis, y al manejo de la explotación. Dicho almidón debe ser preferentemente de elevada degradabilidad en el rumen mientras el riesgo de acidosis lo permita. En condiciones de precios de cereales elevado, la utilización de copos está más justificada, y el procesado del grano de silo de maíz (rodillos) es una oportunidad que debe considerarse, sobretodo en contextos económicos difíciles.

3.- PROTEINA

Boussingault (1839) realizó los primeros balances de nutrientes en el vacuno lechero, entonces de muy baja producción, y concluyó que la eficiencia de retención de N era del 23%. Más de un siglo después, con enormes esfuerzos económicos y personales en investigación y una larga lista de publicaciones, la eficiencia media de utilización de N en bovino lechero se mantiene en el 26% (Huhtanena y Hristov, 2009). Sin lugar a duda, este largo y tortuoso camino nos ha permitido conocer en profundidad los mecanismos de utilización de la proteína en el rumiante y desarrollar modelos complejos de valoración de la degradabilidad de la proteína y la síntesis de proteína microbiana (NRC, INRA, CNCPS,...), pero toda la evidencia disponible indica que, a efectos de eficiencia, no hemos mejorado demasiado. La evidencia científica actual tampoco ha sido capaz de demostrar ventajas competitivas de los modelos más complejos basados en la degradabilidad de la

proteína (NRC, 2001; INRA 2007; CNCPS) respecto a modelos más simples basados en la proteína total (modelo Alemán). Y los trabajos de meta-análisis indican que el nivel de proteína de la dieta tiene poco efecto en la predicción de la productividad del animal ($\text{Producción (L/d)} = 21.47 + 0.595 * \%PB$; $R^2=0.04$; Huhtanen y Hristov, 2009). Este análisis crítico indica que, a pesar de todo, nuestro conocimiento sobre el papel de la proteína en la productividad de la vaca lechera sigue siendo muy limitado. Este debate, y la preocupación por el impacto medioambiental del exceso de N, han llevado a hacer una serie de preguntas que deberán resolverse:

- a) ¿Cuál es el nivel de proteína óptimo en el vacuno lechero?
- b) ¿Podemos reducir el contenido proteico de las dietas para reducir el impacto medioambiental sin afectar a la producción?
- c) ¿Es necesaria la proteína de baja degradabilidad ruminal?

Hay una primera consideración relevante. Si utilizamos el modelo del NRC (2001), una vaca que produce 25, 35 o 45 litros de leche al día necesita raciones con un 14.1, 15.2 o 16.0 % de PB. Y a los ojos de la mayor parte de los usuarios nos parecería poco. Y como nos parece poco, formulamos con un poco más... por si acaso. Este ha sido, indudablemente, el proceder en los últimos años, sin negar que, en conjunto, la productividad del vacuno lechero ha mejorado ostensiblemente. Con ello sólo quiero constatar que las recomendaciones de los sistemas de alimentación actual son inferiores al uso que hacemos en la práctica, y que, en este sentido, hay menos culpa de la ciencia o de las recomendaciones y más de nuestra incredulidad. Es indudable que esta sobrealimentación tiene una explicación, basada en la incertidumbre sobre el contenido en proteína de las materias primas utilizadas (principalmente los forrajes y subproductos). Es indudable que los niveles de proteína de las dietas se han moderado a lo largo de los últimos 10-15 años, y han pasado de un frecuente 17-18,5% de proteína (para medias de producción de 30 litros) a un valor más moderado (15.5-17.0% para niveles de producción similares). Esta tendencia se ha producido tanto en España como en Estados Unidos. Pero en el contexto de la presión de precios y/o de la contaminación medioambiental, conjuntamente con la disponibilidad de métodos rápidos y económicos para la determinación de la composición química de los alimentos, estos márgenes de seguridad deberían dejar de ser necesarios.

En un proyecto financiado por la UE (FW7-REDNEX) se ha estudiado la viabilidad de reducir aún más estos niveles con el objetivo de reducir el impacto medioambiental. Sin embargo, los resultados son claros y han demostrado que a medio plazo la reducción la proteína conlleva una reducción de la producción que desaconseja su práctica: se reducen las pérdidas por animal, pero las pérdidas por litro de leche aumentan. Si planteamos que las necesidades, siguiendo las recomendaciones actuales, oscilan entre el 15 y el 16,5% (un rango que supone una variación de hasta un 10%), lo que está claro es que hay otros factores más relevantes. Por ejemplo, la variación alrededor de una ingestión media de 22 kg de materia seca es de ± 2 kg (NRC 2001). Lo que supone un rango de variación de casi el 20%. El aporte de proteína de una dieta del 14.0% de PB y 23 kg de ingestión es similar al aporte de proteína de una dieta del 16.1% y 20 kg de ingestión. Creo que esta variabilidad

tiene un impacto muy importante en las recomendaciones de niveles de proteína y deberán ajustarse a los valores medios de la propia explotación. Una vez más, las instalaciones, las condiciones de manejo y el bienestar juegan un papel fundamental en la elaboración de las fórmulas del bovino lechero.

El otro aspecto fundamental es la necesidad o no de incluir proteínas de baja degradabilidad ruminal. Es un hecho que en España existen pocas opciones comerciales para utilizar proteínas de baja degradabilidad ruminal, probablemente por falta de demanda o de competitividad de precios. Pero después de la prohibición del uso de proteínas de origen animal, el nivel productivo en las explotaciones avanzadas sigue siendo elevado sin aparentes perjuicios por la falta de proteína bypass. Sin embargo, el uso comercial de proteína protegidas en EEUU es elevado. Esta discrepancia, desde el punto de vista científico, es desconcertante. Pero la realidad científica es menos difusa. El dogma dice que a medida que el nivel de producción aumenta, las bacterias no son capaces de aportar el total de proteína necesaria para la producción y ello requiere el aporte de proteína bypass. En consecuencia, a mayor la producción, mayor la necesidad de proteína bypass.

Hace ya unos años, los resultados de una revisión bibliográfica sugerían que la respuesta a la proteína bypass no era mayor en los animales de alta producción, e incluso la tendencia sugería que su efecto era menor (Calsamiglia, 1994). Posteriormente, Santos et al (1998) evaluaron el resultado de 127 estudios con proteína bypass para concluir que no existía evidencia de beneficio de su uso. Y estamos otra vez ante la insólita situación que el dogma gana a la evidencia científica. Los principios fisiológicos parecen claros (a más producción, más necesidad de proteína para el animal), pero la evidencia *in vivo* no lo refleja. Y el análisis crítico de la bibliografía tiene respuestas que no acusan a ninguna de las dos posturas, sino que demuestran la falta de adaptación de nuestros sistemas al conocimiento.

Desde mi punto de vista existen varias razones que justifican por qué animales de alta producción no responden (al menos tan bien como esperaríamos) al uso de proteína de baja degradabilidad ruminal:

a) La alta producción requiere aportes elevados de almidones (o hidratos de carbono no fibrosos), y ello conlleva a un aumento en la eficacia de síntesis de proteína microbiana y a una mejora en el aporte total de proteína al intestino delgado (más cantidad y más eficiente). No hay que olvidar que un incremento en los niveles de almidón no sólo incrementa la cantidad de energía disponible para la síntesis de proteína microbiana, sino que también aumenta la eficacia de síntesis microbiana, por lo que el efecto es multiplicador. Este efecto queda patente cuando se utilizan diferentes eficacias de síntesis de proteína microbiana en el contexto de las ecuaciones de predicción del NRC (2001; Cuadro 3).

Cuadro 3. Cálculo de la contribución de la proteína microbiana a las necesidades proteicas totales de producción en función del nivel de producción y la eficiencia de síntesis de proteína microbiana (ESPM, g N/kg materia orgánica fermentada en el rumen) según las ecuaciones de predicción del NRC (2001).

ESPM	Contribución teórica (%) según nivel de producción		
	25 kg/d	35 kg/d	45 kg/d
20	49	42	39
30	73	64	59
40	98	85	79

b) Los animales de alta producción tienen una ingestión elevada. Cuando la tasa de ingestión es elevada, la velocidad de tránsito también es elevada. Eso tiene dos consecuencias para el metabolismo proteico del animal. Por una parte, el tiempo de retención de la proteína disminuye, por lo que el nivel bypass aumenta (Cuadro 4). Las magnitudes de estos cambios están dentro de los rangos que se consiguen con el uso de ingredientes con proteína de baja degradabilidad ruminal. Por ejemplo, la sustitución de 1 kg de harina de soja (65% RDP) por una harina de soja protegida (40% RDP) resulta en la reducción de la degradabilidad de la proteína de la TMR de 3-4 unidades de porcentaje. Si consideramos que la predicción de ingestión media de materia seca según el NRC (2001), un animal que produce 20 litros de leche tiene una ingestión de 19 kg MS, mientras que un animal en pico de producción (54 litros) tiene una ingestión de 29 kg MS. Este aumento de ingestión conlleva cambios en la degradabilidad ruminal de la proteína de los concentrados del orden del 5-10%. Por otra parte, cuando la tasa de paso aumenta, la eficacia de síntesis de proteína microbiana también aumenta. Ambos efectos conllevan a un incremento en el flujo de proteína total (microbiana y alimentaria) al intestino delgado.

Cuadro 4. Degradabilidad efectiva de la proteína de diferentes alimentos en función de la ingestión de materia seca (adaptado del NRC, 2001).

Ingrediente	2% PV	4% PV
Silo Maíz	33	35
Heno de alfalfa	18	19
Harina de Maíz	37	47
Harina de soja	31	43
Granos de destilería	42	50
Soja entera tratada	29	39

c) Finalmente, existe evidencia sobrada que cuando el pH del medio ruminal disminuye se reduce la degradación de la proteína (Devant y col., 2001; Calsamiglia y col., 2008). Las dietas de animales de alta producción resultan en pH cercanos al límite de

acidosis, y esta situación resulta en una reducción de la degradabilidad ruminal, aumentando el flujo total de proteína alimentaria.

En este contexto, parece que las circunstancias de alta producción, que requieren un mayor aporte de proteína total, se autorregula mediante un incremento en la síntesis de proteína microbiana y un mayor flujo de proteína alimentaria. En cualquier caso, a uno se le ocurre que tal vez se produzca una limitación en la disponibilidad de proteína degradable. Hoover y Stokes (1991) demostraron en una serie de elegantes experimentos *in vivo* e *in vitro*, que cualquier reducción en la disponibilidad de proteína degradable en el rumen supone una reducción en el flujo de N bacteriano. Clark y col. (1992) también demostraron que el uso de proteínas de baja degradabilidad ruminal siempre se acompañan de una reducción en la síntesis de proteína microbiana. Si se incrementa la síntesis de proteína microbiana (más necesidades de proteína degradable) y se reduce la degradabilidad (menos disponibilidad de proteína degradable), no es descabellado pensar que en condiciones de animales de alta producción el factor limitante no sea el nivel de proteína no degradable sino todo lo contrario, la disponibilidad de proteína degradable. Quizás ahí radique la reciente “resurrección” del uso (moderado) de urea en dietas para el ganado vacuno lechero de alta producción.

En toda esta discusión, queda pendiente un último detalle: el papel de los aminoácidos esenciales. Indudablemente, las bacterias son la proteína cuantitativamente más importante en el aporte de proteína total al intestino, y su perfil tanto de lisina como de metionina son mejores que prácticamente cualquier ingrediente de uso frecuente en las raciones del bovino lechero. En este sentido, el uso de ingredientes no hace otra cosa que “empeorar” el perfil de aminoácidos disponible en el intestino. Por lo tanto, la prioridad dada a la síntesis de proteína microbiana es esencial y merecida. Pero no podemos ignorar la selección de suplementos proteicos con su perfil de aminoácidos en mente (es muy difícil mejorar el perfil de las bacterias, pero es muy fácil empeorarlo), ya que es probable que a más proteína de baja degradabilidad ruminal en la dieta, peor será el perfil de aminoácidos disponible. Como consecuencia, quizás debemos considerar el uso de aminoácidos protegidos como única alternativa. Sin embargo, las necesidades de dichos aminoácidos se han establecido en un rango cuya aplicación práctica la hacen difícil de concretar. Si consideramos el rango de mejora esperado dentro de las dietas normales, el efecto es difícil de predecir, y deben tomarse las decisiones en base a las condiciones propias de cada explotación. Ello no implica necesariamente un menor uso, sino la necesidad de comprobar los beneficios económicos en cada situación.

4.- AZÚCARES

En los últimos años ha crecido el interés en el desarrollo de recomendaciones para azúcares simples, definidos como monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos. Aunque existen tablas de concentraciones medias de azúcares en la mayoría de los ingredientes (Hall y col., 2003), su variabilidad es muy elevada, lo que limita la posibilidad de uso. En

general, los granos de cereales maduros tiene pocos azúcares, pero en los inmaduros (pastoreo o maíz de alta humedad, silos de cereales inmaduros,...) su contenido es más elevado. Los pastos frescos y/o heno puede variar considerablemente (entre el 2 y el 12%), dependiendo de las condiciones de cosecha y manejo post-cosecha. Los subproductos como las melazas o las pulpas de cítricos, tienden a tener concentraciones elevadas, aunque muy variables (entre el 12 y el 40% en la pulpa de cítricos, por ejemplo). Por el contrario, en productos derivados de fermentaciones (silos, bagazo de cerveza, granos de destilería,...) su contenido es residual.

Los azúcares fermentan rápidamente en el rumen (30 a 40%/h) y forman mayoritariamente butirato y ocasionalmente ácido láctico, en función del contexto de fermentación (Strobela y Russell, 1986). Esta fermentación rápida comporta una reducción rápida del pH ruminal, que alcanza el mínimo en 1-3 h post-ingestión, comparado con las 6-9 horas en la fermentación del almidón (Sahoo y col., 1999; Heldt y col., 1999). Los azúcares también reducen la fermentación de la fibra (Khalilia y Huhtanen, 1991), aunque este efecto parece depender de la disponibilidad o no de proteína degradable (Heldt y col., 1999).

Desde el punto de vista práctico, se han realizado numerosos estudios *in vivo* con resultados variables (Nombekela y Murphy, 1995; Broderick y col., 2000; McCormick y col., 2001; Sannes y col., 2002; Ordway y col., 2002). Aunque es difícil determinar unas recomendaciones generales, lo más razonable es formular las raciones con un 5% de azúcares con el objetivo de optimizar la producción sin afectar al estado sanitario del animal. En cualquier caso, es necesario que las dietas mantengan un buen nivel de fibra y fibra efectiva, y suficientes niveles de proteína degradable para garantizar el buen funcionamiento de la flora ruminal.

5.- GRASA

La grasa es la única alternativa energética concentrada respecto a los almidones. El contenido energético de las diferentes grasas fue revisado en la última versión del NRC (2001), con modificaciones relevantes en base a su digestibilidad intestinal, que redujo el valor energético de aquellas grasas ricas en ácidos grasos saturados en favor de un mayor valor energético de las grasas insaturadas. Por otra parte, el NRC (2001) estableció algunos criterios que, en conjunto, parecían recomendar una reducción de los niveles utilizados hasta entonces, con frecuencia cercanos al 6% de la MS. Así, la digestibilidad intestinal de la grasa, y en consecuencia su valor energético, se reduce un 2% por cada 100 g adicionales, haciendo su uso menos competitivo a medida que el contenido total de grasa aumenta en la dieta. Además, y particularmente en grasas saturadas y jabones cálcicos, la ingestión de materia seca se ve comprometida, sobre todo a medida que los niveles totales de la dieta aumentan. La consecuencia ha sido que desde entonces, los valores medios de grasa en las raciones se ha reducido ligeramente, pasando de unos valores cercanos al 6% hace unos años, a concentraciones más moderadas (del 4 al 5%).

El nivel de grasa en la dieta puede tener efectos negativos sobre la fermentación ruminal en función de la cantidad total y su grado de insaturación. Tradicionalmente, este efecto se ha atribuido al efecto negativo sobre la fermentación de la fibra. Recentemente, el efecto negativo de las grasas insaturadas sobre la producción de grasa se ha atribuido a la aparición de intermediarios de la biohidrogenación ruminal, donde se forman ácidos grasos trans, particularmente el trans-10, que afecta de forma drástica a la síntesis de grasa en la glándula mamaria. La aparición de estos intermediarios anómalos dependen no solo de la presencia de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), sino también de un contexto ruminal ácido. Fuentes y col. (2011) and Van Soest y Demeyer (1996) observaron que la tasa de lipólisis y biohidrogenación era muy elevada en el rumen, aunque se reducía a pH reducidos. A partir de las tasas de lipólisis y biohidrogenación, y la tasa de producción de ácidos grasos trans, es posible calcular la producción total de éstos ácidos grasos y determinar un nivel de riesgo para la inhibición de la síntesis de grasa en leche. Algunos modelos han incorporado cálculos del metabolismo ruminal de las grasas y el flujo de ácidos grasos al intestino delgado (CNCPS). Es quizás un poco pronto para llegar a un consenso sobre recomendaciones del nivel de ácidos grasos (totales, insaturados o poliinsaturados) que pueden afectar a la fermentación y en qué condiciones afectarían a la síntesis de grasa. Por un aparte, hay modelos empíricos (Sauvant y col., 2006) y mecanísticos (Pitt y col., 1998; Fox et al., 2004) que han propuesto ecuaciones de predicción del pH en función del perfil de nutrientes de la dieta. Sin embargo, la evidencia que corrobora estas predicciones es limitada y es poco probable que se incorporen predicciones específicas en el nuevo NRC. A pesar de ello, las predicciones disponibles pueden ser útiles para establecer una valoración objetiva de qué tipo de dietas pueden suponer un riesgo de inducir la formación de intermediarios anómalos de la biohidrogenación. En este sentido, tanto los datos de Sauvant y col. (2007) como el CNCPS apuntarían a que, dentro del modelo propuesto, pH ruminales medios por debajo de 6,25 entrarían en la categoría de riesgo. Si esta premisa se cumple, entonces deberíamos determinar el nivel máximo de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta por encima de cuyo límite la formación de ácidos grasos trans-10 induciría a una depresión de grasa en leche. Aunque dichas predicciones son difíciles de justificar con la bibliografía disponible, se ha sugerido que estos niveles no debería superar los 450 g/d de AGPI. Considerando una vaca que consume 22 kg de MS de una dieta basal sin grasa añadida (3%), la ingestión de AG totales sería de unos 550 g/d, de los cuales el 60% serían poliinsaturados (330 g/d), lo cual permitiría la inclusión de unos 120 g de ácidos grasos poliinsaturados adicionales. Estas recomendaciones serían aplicables a fuentes de grasa donde la ésta esté fácilmente disponible para la lipólisis y biohidrogenación (grasas libres o fácilmente accesibles), y podrían incrementarse cuando la grasa tiene un cierto grado de protección (jabón cálcico de grasas poliinsaturadas, semillas enteras,...).

6.- REFERENCES

BLANCH, M. 2010. *Journal Dairy Science* 2010, 77:123-128.

- BRODERICK, GA y col., 2000. *U.S. Dairy Forage Research Center*, 2000-2001 Research Report, Madison, WI. pp. 116-118.
- BUCHOLZ, H. 2006. *Proc. Western Canadian Dairy Seminar*. Alberta, Canada. 18:157-177.
- CALSAMIGLIA, s. 1994. PhD Thesis, University of Minnesota.
- CALSAMIGLIA. 2008. *Journal of Animal Science* 86 702-711
- CHOAT, W. T. y col. 2002. *Journal of Animal Science* 80: 2726-2739
- COLE, N. A. Y col. 1976a. *Journal of Animal Science* 43:483.
- COLE, N. A. Y col. 1976b. *Journal of Animal Science* 43:490.
- COOKE, K.M., and J.K. BERNARD. 2005. *Journal of Dairy Science* 88:310-316.
- DEVANT, M. 2001. *Journal of Animal Science* 79:1944-1953.
- DEVANT, M. Y col. 2001. *Journal of Animal Science* 79: 1944-1953.
- FIRKINS, J.L. y col. 2001. *Journal of Animal Science* 79(E. Suppl.):E218-E238
- FOX et al., 2004. *Animal Feed Science and Technology* 112:29-78.
- FUENTES, M.A., y col. (2011). *Animal Feed Sciences and Technology*, 169: 35–45
- HALL, M.B. y col. 2003. *Alternative Feeds for Livestock and Poultry*.
- HELDT, J.S. y col. 1999. *Journal of Animal Science* 77:2793-2802.
- HOOVER, W.H. y STOKES, S.R. (1991) *Journal of Dairy Science*. 74, 3630.
- HUHTANEN, P. y HRISTOV, A. 2009. *Journal of Dairy Science* 92:3222-3232.
- INRA 2007. Editions Quae, Versailles Cedex, France
- KHALILI, H., y P. HUHTANEN. 1991. *Animal Feed Science and Technology* 33:263-273.
- KLINGERMAN, C. M. 2009. *Journal of Dairy Science* 92:1050–1059
- McCORMICK, M.E. y col. 2001. *Journal of Dairy Science* 84:1686-1697.
- NMBEKELA, S.W., y M.R. MURHY. 1995. *Journal of Dairy Science* 78:880-885.
- NRC (1989). *National Academy of Sciences*, Washington, DC
- NRC (2001). *National Academy of Sciences*, Washington, DC
- OFFNER y col, 2003. *Animal Feed Science and Technology*, 106, 81-93
- ORDWAY, R.S. y col. 2002. *Journal of Dairy Science* 85:879-888.
- PITT y col., 1998; *Journal of Animal Science* 74: 226-244
- RAHNEMASHA, H. Y col. 1987. *Journal of Animal Science* 64:1541-1547.
- ROTGER, A. Y col. 2006a. *Journal of Animal Science* 84:1188-1196.
- ROTGER, A. Y col. 2006b. *Animal Feed Sciences and Technology* 125:73-87.
- SAHOO, A. y col. 1999. *Animal Feed Sciences and Technology* 80:83-90.
- SANNES, R.A. y col. 2002. *Journal of Dairy Science* 85:900-908.
- SANTOS, F.A.P. y col. 1998. *Journal of Dairy Science* 81:3182-3213
- SAUVANT y col. *INRA Production Animal*, 2006, 19 (2), 69-78
- SHAVER R.D. 2008. Pages 128-133 in *Proc. 6th Mid-Atlantic Nutr. Conf.*, Timonium, MD.
- SNIFFEN y col. 2009. *Proc. Cornell Nutr. Conf.*, Pg 148
- STAPLES, C.R. 2007. *Proc. 44th Florida Dairy Production Conference*. Gainesville, FL
- STROBEL, H.J., y J.B. RUSSELL. 1986. *Journal of Dairy Science* 69:2941-
- VAN NEVE, C.J.L y DEMEYER D.I. 1996. *Reproduction Nutrition et Development*, 36:53–63.
- VEIRA, D. M., y col. 1980. *Journal of Animal Science* 50:945-951.
- ZINN, R. A. Y col. 1995. *Journal of Animal Science* 73: 1239-1245.