

**NUEVAS BASES PARA LA UTILIZACION DE LA FIBRA
EN DIETAS DE RUMIANTES**

Sergio Calsamiglia
Departamento de Patología y Producción Animal
Universidad Autónoma de Barcelona

1.- INTRODUCCION

La fibra es una entidad heterogénea formada por varios componentes químicos de composición conocida, pero cuya estructura tridimensional es variable y poco conocida. Desde el punto de vista químico, la fibra se compone de un entramado de celulosa, hemicelulosa y lignina. A efectos prácticos, se ha definido en términos de Fibra Bruta (FB), Fibra Neutra (FND) y Ácido (FAD) Detergente, y se utiliza para la predicción de la calidad de los forrajes, la ingestión de la materia seca, la digestibilidad y el valor energético de los alimentos. Desde el punto de vista de la nutrición de los rumiantes, la fibra puede definirse como el conjunto de componentes de los vegetales que tienen baja digestibilidad y promueven la rumia y el equilibrio ruminal.

La fibra (y particularmente los forrajes) constituye el componente fundamental de las raciones en la mayor parte de los sistemas productivos de rumiantes. Sin embargo, los niveles de incorporación en las raciones varían entre márgenes muy superiores (25-45% FND) a los niveles recomendados de proteína (15-18%), grasa (4-7%) y cenizas (8-10%). La flexibilidad que generalmente se concede a los niveles de fibra puede justificarse en parte por la variabilidad en las necesidades energéticas del animal, pero con frecuencia es el reflejo de la falta de conocimientos sobre sus efectos en los niveles de producción o en su función nutritiva.

En animales de producción baja o moderada, las recomendaciones tratan de establecer límites máximos de fibra. El exceso de fibra reduce la capacidad de ingestión de alimentos, la digestibilidad de la ración, la síntesis de proteína microbiana ruminal, y el aporte de energía. Por el contrario, en animales de alta producción en los que la ración debe tener una elevada densidad energética, las recomendaciones se preocupan de establecer mínimos. La falta de fibra resulta en una depresión de la grasa en la leche, acidosis, laminitis y desplazamiento de abomaso, debido a desequilibrios físicos (falta de llenado ruminal) o fermentativos (reducción del pH ruminal; Allen, 1991). Cuando las estrategias de formulación se orientan a la reducción de los niveles de fibra (en particular de fibra forrajera) y a la utilización de subproductos, la composición, estructura, forma

y comportamiento de la fibra en el rumen cobra una importancia adicional. Estas consideraciones tienen especial relevancia en muchas explotaciones lecheras de España, ya que con frecuencia el aporte de fibra forrajera es limitante.

En el presente artículo se presentan algunos conceptos nuevos en relación a la utilización de la fibra como criterio de formulación en el ganado vacuno lechero.

2.- FIBRA

2.1.- Química y analítica

Los hidratos de carbono fibrosos constituyen la fibra vegetal. Desde el punto de vista químico, la fibra es un agregado de componentes que no constituyen una entidad propia, y que se compone de un entramado tridimensional de celulosa, hemicelulosa y lignina, pero frecuentemente se le asocian minerales y otros componentes. En la mayoría de los sistemas de alimentación, la fibra se define con los siguientes parámetros (Van Soest, 1982):

a.- Fibra bruta: Consiste en el residuo insoluble después de una incubación en una solución ácida, seguida por una alcalina. El residuo contiene celulosa, pero está contaminada con cantidades variables de hemicelulosa, lignina y compuestos nitrogenados. La magnitud de la contaminación de la FB depende mucho del tipo de vegetal y de su estado de desarrollo fisiológico, lo que conduce a errores que dificultan su interpretación, por lo que el uso de la FB en los sistemas actuales debe ser limitado (Van Soest, 1982).

b.- Fibra neutro detergente (FND): Es el material insoluble en una solución detergente neutra, y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Además, existen otros componentes minoritarios como residuos de almidón, cenizas y nitrógeno. Las recomendaciones recientes de Van Soest et al. (1991) para la determinación de FND sugieren la utilización de amilasas termoestables específicas (libres de actividad hemicelulasa, proteasa o glucanasa), especialmente en concentrados o ensilados de maíz, y la corrección por el contenido en cenizas.

c.- Fibra ácido detergente (FAD): Es el material insoluble en una solución detergente ácida, y está constituida fundamentalmente por celulosa y lignina, aunque suelen existir otros componentes minoritarios como nitrógeno y/o minerales. Como en el caso de la FND, Van Soest et al. (1991) sugieren la corrección por el contenido en nitrógeno y cenizas. La diferencia entre FND y FAD consiste fundamentalmente en hemicelulosa. Es necesario apuntar que la determinación secuencial de FAD y lignina permite un cálculo más preciso del contenido de celulosa y hemicelulosa, pero el método no secuencial es más adecuado para la determinación de cenizas ácidas insolubles, taninos y nitrógeno insoluble en FAD.

A pesar de las recomendaciones técnicas sobre la metodología analítica y sus correcciones (Van Soest et al. 1991), la mayor parte de las ecuaciones y recomendaciones disponibles a través de los sistemas de formulación están basados en la utilización de una mezcla de valores de FND y FAD determinados con y sin correcciones, y de forma secuencial y no secuencial, por lo que se hace difícil aplicar las recomendaciones actuales a las nuevas definiciones químicas de las

fracciones fibrosas.

2.2.- Degradación ruminal de la fibra

La fibra se fermenta en el rumen lentamente por la acción de las bacterias fibrolíticas. El proceso de degradación de la fibra se inicia con la adhesión de las bacterias a la pared vegetal, proceso que se realiza a una velocidad inversamente proporcional al grado de lignificación de dicha pared. Una vez adheridas, la degradación de los componentes de la pared celular progresa por la acción de las celulasas y hemicelulasas, y varía en función de la composición, el entramado tridimensional de los componentes y el grado de lignificación. Las bacterias fibrolíticas producen glucosa o pentosas como productos intermedios, y utilizan mayoritariamente vías fermentativas que conducen a la producción de acetato como producto final. Durante el proceso fermentativo de la fibra se pierde un carbono en forma de metano, por lo que el proceso es energéticamente menos eficaz que la fermentación de otros nutrientes. Sin embargo, el acetato juega un papel muy importante en el aporte de precursores para la síntesis de grasa en la glándula mamaria, y por lo tanto la producción de acetato (y en consecuencia el aporte de fibra y la supervivencia de las bacterias fibrolíticas) es imprescindible. La degradabilidad efectiva en el rumen de la fibra potencialmente degradable depende de la velocidad de tránsito ruminal y de su velocidad de degradación (cuadro 1).

3.- LA FIBRA Y LA FUNCION RUMINAL

La fibra, como nutriente, contribuye al mantenimiento del funcionamiento ruminal (llenado ruminal y estímulo de las contracciones ruminales) y de las condiciones ruminales (pH, a través de la secreción salivar dependiente de la masticación y la rumia; Nocek, 1994). Estas dos funciones dependen de la composición, la degradabilidad y la forma de presentación de la fibra. Por otro lado, la fibra supone un inconveniente, en el sentido que limita el contenido energético de las raciones (baja digestibilidad) y el potencial de ingestión (Mertens, 1987). La formulación correcta de raciones debe buscar el equilibrio entre la ingestión máxima de materia seca (niveles bajos de FND) y el mantenimiento de las funciones y condiciones normales del rumen (aportando unos niveles mínimos de FND y FAD).

3.1.- La simbiosis ruminal

El medio ruminal es un ecosistema con unas características bien definidas y poco variables. En él habitan numerosas especies microbianas, siendo las bacterias y los protozoos las más numerosas. Los microorganismos ruminales cumplen dos funciones principales (Church, 1989):

- a.- La digestión de los alimentos ingeridos por los rumiantes;
- b.- El aporte de nutrientes en forma de productos de fermentación (ácidos grasos volátiles) y cuerpos microbianos (ricos en proteína).

Cuadro 1.- Velocidad de paso¹ y de degradación¹, y degradabilidad teórica² de la fibra.

Ingrediente	Velocidad de paso (%/h)	Velocidad de degradación (%/h)	Degradación teórica (% Fibra degradable)
Concentrados			
Bagazo de cerveza	3	4-8	57-63
Pulpa cítricos	2.5	4-8	62-76
Pulpa remolacha	2.5	4-8	62-76
Semilla algodón	2.5	3-5	55-67
Alfalfa, pellets	3.0	8-10	73-77
Cebada	3.5	4-6	53-63
Avena	4.0	4-6	50-60
Grados destilería	4.0	6-8	60-67
Maíz, molido	6.0	7-9	54-60
Maíz, partido	5.0	5-7	50-58
Glutenfeed	6.0	6-8	50-57
Leguminosas			
Calidad alta (>18%PB)			
Corte Largo	4.0	3-6	43-60
Corte Medio	4.5	3-6	40-57
Corte Pequeño	6.0	3-6	33-50
Calidad media (<18%PB)			
Corte Largo	3.0	3-6	50-67
Corte Medio	3.5	3-6	46-63
Corte Pequeño	4.0	3-6	43-60
Gramineas			
Corte Largo	3.0	2-4	40-57
Corte Medio	4.0	2-4	33-50
Corte Pequeño	4.5	2-4	31-47
Ensilado de Maíz			
Maduro			
Corte normal	3.0	3-6	50-67
Corte pequeño	6.0	4-8	40-57
Intermedio			
Corte normal	2.5	4-8	62-76
Corte pequeño	5.0	8-10	62-67
Inmaduro			
Corte normal	2.0	4-8	67-80
Corte pequeño	4.0	8-10	67-71

¹ Adaptado de Sniffen et al. (1992) a nivel de ingestión 3 veces el mantenimiento.² Calculado utilizando la ecuación de Orskov y McDonald (1979).

La estrategia alimentaria de los rumiantes se basa en la simbiosis establecida entre los microorganismos ruminales y el animal. Mientras el rumiante aporta alimentos y las condiciones medioambientales adecuadas (temperatura, acidez, anaerobiosis, ambiente reductor,...), las bacterias utilizan parcialmente los alimentos haciendo útiles los forrajes (de otra forma indigestibles para los mamíferos) y aportando productos de la fermentación con valor nutritivo para el rumiante (los ácidos grasos volátiles) y sus propios cuerpos microbianos. La característica más peculiar de las bacterias fibrolíticas es su capacidad de digerir la fibra, produciendo acetato como producto principal de fermentación. El acetato es fundamental para la síntesis de grasa de la leche. Sin embargo, es esencial que el pH ruminal se mantenga por encima de 6.0 para garantizar las condiciones idóneas para su funcionamiento.

A medida que se conocen los efectos de las condiciones del medio ruminal sobre la actividad y desarrollo de las diversas poblaciones microbianas será más fácil predecir el aporte de nutrientes derivados de una ración. El nuevo sistema de valoración de raciones desarrollado en la Universidad de Cornell (Russel et al., 1992; Sniffen et al., 1992) incluye en sus cálculos muchos de estos factores, como los grupos bacterianos (fibrolíticos y amilolíticos), los productos de fermentación, el impacto del pH ruminal, las velocidades de fermentación de los hidratos de carbono y proteínas, etc.

Las raciones deben formularse con el objetivo de obtener el máximo rendimiento, respetando los principios básicos de la simbiosis ruminal. En consecuencia, los niveles de hidratos de carbono en la ración deben aportar el máximo de energía al animal manteniendo el equilibrio ruminal entre la flora fibrolítica y la amilolítica. El aporte máximo de energía requiere la optimización de la ingestión de materia seca (que depende fundamentalmente de los niveles de FND). El equilibrio ruminal requiere una fermentación de velocidad moderada (que depende de la cantidad, el tipo y el procesado de azúcares, almidones y fibras solubles) y el aporte de niveles mínimos de fibra que garanticen el llenado ruminal, que estimulen la rumia, y que permitan la suficiente secreción salivar para garantizar un pH ruminal superior a 6,0 (que depende de la cantidad, el tipo y la forma de la FND de la ración).

3.2.- Control del pH ruminal: importancia de la secreción salivar y de la capacidad tampón de los alimentos

La pieza central del control del equilibrio ruminal es el pH, ya que de éste depende, directa o indirectamente, la supervivencia de las bacterias fibrolíticas, el equilibrio de la microflora ruminal y, en consecuencia, la concentración relativa de los principales ácidos grasos volátiles (Dirkesen, 1969). El pH ruminal es la consecuencia del equilibrio entre la producción de ácido y la capacidad tampón del medio ruminal.

a.- La producción de ácido depende de la fermentabilidad de la ración, que a su vez depende de la cantidad y de la velocidad de degradación de los almidones. El riesgo de acidosis es tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad y la velocidad de degradación de los almidones. Asimismo, el riesgo de acidosis es mayor cuando el pienso se administra en una o dos tomas diarias, y disminuye con la administración de concentrado mediante collares magnéticos o en raciones unifeed.

b.- La capacidad tampón del medio ruminal depende de la cantidad de saliva segregada

por el rumiante y de la capacidad tampón de los alimentos ingeridos. La cantidad de saliva segregada por minuto de masticación o rumia, permanece relativamente constante independientemente del tipo de alimento (Welch y Smith, 1970). Sin embargo, el tiempo empleado para la masticación y rumia depende del contenido en paredes celulares, de tal manera que a mayor contenido en fibra, mayor tiempo de masticación, y en consecuencia mayor secreción de saliva (Welch y Smith, 1970). Además, la forma de presentación del forraje juega un papel fundamental en la cantidad de saliva segregada, siendo mayor para el heno, intermedio para el ensilado y el pasto, y bajo para el forraje en forma de pellet (Bailey y Balch, 1959). Por último, el tamaño de partícula también afecta al tiempo de masticación y rumia, con el consiguiente efecto sobre la secreción salivar. Estos factores juegan un papel fundamental en el mantenimiento de las condiciones ruminales, y repercuten en la incidencia del síndrome de acidosis ruminal, en el nivel graso de la leche y en la incidencia de desplazamientos de abomaso.

Por otro lado, la capacidad tampón del rumen depende de los alimentos ingeridos. La capacidad tampón de los alimentos es uno de los factores más importantes en el control del pH ruminal. La capacidad tampón depende de la capacidad de intercambio iónico (fundamentalmente dependiente de grupos carboxilo, amino e hidroxilos alifáticos y fenólicos) y de la fermentación de la proteína a amoníaco (Van Soest et al., 1991). El cuadro 2 indica la capacidad de intercambio iónico y el equivalente en carbonato cálcico de diferentes ingredientes (McBurney et al., 1981; Van Soest et al., 1991). Es interesante observar que tanto forrajes (alfalfa) como concentrados (pulpa de remolacha, colza) pueden tener una capacidad de intercambio iónico elevada, mientras otros forrajes (silo de maíz, raygras, paja) y concentrados (harina de soja y girasol) tienen una capacidad de intercambio iónico escasa. El uso de esta información permite valorar los riesgos de acidosis dependiendo del tipo de alimento utilizado y la posible necesidad de utilizar sustancias tampón para controlar el pH ruminal. Entre los aditivos más comúnmente utilizadas para el control del pH ruminal están el bicarbonato, y el óxido de magnesio. Estos productos tienen funciones distintas, ya que mientras el bicarbonato es por definición una sustancia tampón (resistencia al cambio de pH), el óxido de magnesio es una sustancia alcalinizante. Resultados de una extensa revisión bibliográfica indican que las sustancias tampón son útiles en raciones a base de ensilados de maíz, pero su efecto en raciones que contienen heno de alfalfa como forraje principal es escaso (Erdman, 1989).

4.- EL CONCEPTO Y LA IMPORTANCIA DE LA FIBRA EFECTIVA

Las características nutricionales de la fibra no sólo dependen de su composición, sino de las interacciones entre sus componentes y de la forma cómo se presenta al animal. Por estas razones, no es suficiente con considerar únicamente el análisis químico como método de valoración de la calidad de un forraje, y es necesario observar el tamaño de partícula y el manejo de la ración. Estas consideraciones dificultan la formulación de raciones y la predicción de la respuesta de los animales a una ración determinada.

Cuadro 2.- Capacidad de intercambio iónico (CII) y cantidades de FND o MS equivalentes a 100 g de carbonato cálcico (McBurney et al., 1989; Van Soest et al., 1991)

Ingrediente	FND, %MS	CII, meq/100 g	Equivalente CaCO ₃	
			FND, kg	kg MS
Heno alfalfa	45	50	4	9
Trébol	65	30	6	10
Bermudagrass	70	11	17	25
Silo maíz	44	15	13	30
Semilla algodón	29	57	4	12
Granos destilería	50	35	6	11
Bagazo cerveza	62	29	7	11
Guinea grass	72	22	10	13
Henolado hierba	43	25	8	19
Avena	37	17	12	31
Colza	26	100	2	8
Reed canarygrass	49	21	4	12
Raygras	41	24	8	20
Harina soja	12	41	5	40
Pulpa remolacha	51	70	3	5
Harina girasol	19	37	5	29
Heno timothy	63	30	7	11
Paja	80	13	15	19

El uso de subproductos, el tipo de forraje y el procesado fino de algunos forrajes (para permitir un mejor ensilado, o los henos en forma de pellet) ha resultado en la aparición de síndromes típicamente asociados a la falta de fibra en la ración (acidosis, disfunción ruminal, desplazamientos de abomaso,...). Muchos subproductos comúnmente utilizados en raciones de rumiantes son ricos en fibra y pueden utilizarse para reemplazar parcialmente los forrajes de la ración. Esta sustitución es particularmente importante en nuestro país, donde la calidad de los forrajes es frecuentemente limitada. Aunque estos subproductos contienen fibra, existe acuerdo general en considerar que esta fibra no tiene el mismo efecto a nivel ruminal (Firkins, 1992). Esta problemática ha dado lugar a la aparición del concepto de "fibra efectiva" o "fibra funcional" o "FND-efectiva = FNDe". La fibra efectiva puede definirse como la capacidad real de la fibra para estimular la rumia y la salivación, que resulta en el mantenimiento de las condiciones ruminales óptimas para la producción de leche, y depende del tipo, la forma y el tamaño de la fibra que estimula la rumia. En base a estos principios se han desarrollado índices de valor forraje (Sudweeks et al., 1981; Santini et al., 1983) que estiman el tiempo de masticación y/o rumia por kg de MS, y que han servido de base para estimar el valor de fibra efectiva (FND-e). Con el fin de mantener el llenado ruminal y las condiciones fermentativas adecuadas, se recomienda que el 80% de la FND se aporte en forma de FND-e, o bien el 22,4% de la FND-e en % de la MS ingerida. La implementación de éstos conceptos en la práctica tiene dos problemas:

a.- La disponibilidad de valores de FND-e de los alimentos es limitada. En la actualidad existen valoraciones establecidas por la Universidad de Michigan y por la Universidad de Cornell (Sniffen et al., 1992; cuadros 3 y 4). Es probable que los valores estimados recientemente por la Universidad de Cornell se acerquen más a la realidad que los utilizados por la Universidad de

Michigan.

Cuadro 3.- Valores de fibra efectiva (FND-e) según las recomendaciones de la Universidad de Michigan y de la Universidad de Cornell (Sniffen et al., 1992).

Ingrediente	Michigan	Cornell
Leguminosas	100	92
Alfalfa deshidratada	100	6
Gramíneas	100	92
Ensilado de Maíz	100	81
Bagazo de Cerveza	25	18
Segundillas	25	2
Pulpa remolacha	25	33
Pulpa cítricos	25	33
Algodón	50	100
Cebada, molida	25	34
Trigo, molido	25	34
Avena, molida	25	34
Maíz, entero	25	100
Maíz troceado		56
Maíz, molido	25	60
Harina de Soja	25	23
Gluten Feed	25	36
Harina de pescado	25	9
Hominy feed	25	9
Granos de destilería	25	4
Harina de sangre	25	9
Gluten meal	25	36
Harina de carne y hueso	25	8

Cuadro 4.- Valor de Fibra efectiva (FND-e) de forrajes en función del tipo de forraje y el tamaño de partícula (Sniffen et al., 1992).

Forraje y Tamaño de Partícula	Fibra Efectiva, (%FND)
Leguminosas	
Largo	92
20% > 2,54 cm	82
< 0,635 cm	67
Gramíneas	
Largo	98
20% > 2,54 cm	88
< 0,635 cm	73
Ensilado de Maíz	
Normal	71
Pequeño	61

b.- La determinación práctica del valor FND-e en función del tamaño de partícula es

difícil de estandarizar. La American Society of Agricultural Engineering (ANSI, 1988) ha establecido una normativa estándar para la determinación de la distribución del tamaño de partículas en los forrajes. Sin embargo, esta metodología oficial es poco práctica, y sólo útil para forrajes.

Más recientemente, Lammers et al. (1996) han desarrollado y validado un sistema a pequeña escala que permite valorar la distribución de tamaños de partícula de forrajes y mezclas Unifeed, y que puede permitir establecer recomendaciones específicas para raciones de ganado vacuno lechero de una forma objetiva. Este sistema se basa en la separación de las partículas de forrajes o raciones Unifeed en tres tamaños (grande, mediano y pequeño) utilizando el llamado “Separador de Partículas de la Universidad Estatal de Pennsylvania”. El sistema consiste en la separación de partículas y la representación de los resultados en un gráfico Weibull, a partir del cual se pueden extrapolar valores porcentuales de los tamaños de partícula. Los resultados preliminares de la utilización de dicho instrumento indican que es más importante la distribución (variación) en tamaño de partículas que la media en sí. También parece evidente que las recomendaciones utilizadas hasta el presente eran conservadoras, y que tamaños de partícula más pequeños pueden mantener el funcionamiento ruminal adecuado. Utilizando este sistema, las recomendaciones sobre la distribución de las partículas de varios tamaños se presenta en el cuadro 5 (Heindrichs y Lammers, 1997).

Cuadro 5.- Distribución de tamaños de partícula utilizando el separador de la Universidad Estatal de Pennsylvania.

Tamaño	Ensilado Maíz	Henolados	Unifeed
> 1.9 cm	2-4 % si no es el único forraje	10-15% en silo hermético	6-10% mínimo
	10-15% si contiene grano aplastado	15-25% en silo de zanja o muy húmedo	
1.9 - 0.8 cm	40-50%	30-40%	30-50%
< 0.8 cm	40-50%	40-50%	40-60%

5.- EL USO DE LA FIBRA COMO CRITERIO DE FORMULACION DE RACIONES

La FND se utiliza como índice de volumen de la ración y supone un límite a la capacidad de ingestión de la ración. Trabajos desarrollados en la Universidad de Wisconsin sugieren que la capacidad de ingestión de los animales se estima como el 1,2% del peso vivo como mínimo en forma de FND (Mertens, 1987). Por encima de éste nivel, la FND puede limitar la ingestión de alimentos, y en ningún caso debe superar el 1.4-1.5% del peso vivo. La mayoría de programas de ordenador utilizan fórmulas de predicción de la ingestión basadas en el peso vivo del animal y/o el contenido en FND de la ración.

La FAD debe reducirse al máximo para optimizar el contenido energético de la ración, pero deben aportarse unos niveles mínimos que mantengan el equilibrio ruminal. Las

recomendaciones para cada estado de lactación se presentan en el cuadro 6 (Hutjens, 1990).

Cuadro 6.- Niveles recomendados (% materia seca) para las distintas fracciones de hidratos de carbono.

Fracción	Estado de Lactación		
	Principio	Media	Tardía
FAD	19	21	24
FND	28	32	36

5.1.- Factores que afectan a las recomendaciones de FND

En los últimos años el uso de la FND como criterio determinante de la ingestión de alimentos o como valor indicativo de llenado y función ruminal ha cambiado mucho. El nivel de inclusión de subproductos fibrosos en las raciones, los niveles elevados de azúcares y almidones, el procesado de los forrajes, la reducción del tamaño de partícula, y las nuevas técnicas de manejo pueden afectar a las recomendaciones clásicas (NRC, 1989). Se ha comentado anteriormente que una de las funciones principales de la FND es la de mantener las condiciones de llenado y el pH ruminal. Esta función depende directamente de la forma de la fibra, ya que su efecto es fundamentalmente de carácter físico. El funcionamiento normal del rumen requiere el mantenimiento de una masa de forraje en el rumen. El NRC (1989) ya sugiere la necesidad de garantizar un mínimo de FND procedente de forrajes (el 75% de la FND). En las condiciones típicas españolas, donde el uso de subproductos con contenidos elevados de fibra (algodón, glutenfeed,...) es elevado, se deben establecer las recomendaciones en base a FND procedente de forrajes (FND-f). En este sentido, el uso del 0,9% del peso vivo (el 75% de 1,2% del peso vivo) como nivel mínimo de FND-f es necesario. Pero aún así, es frecuente encontrar problemas o imprecisiones en la formulación. Las recomendaciones de fibra en la ración no son rígidas, y están afectadas por numerosos factores (cuadro 7). Aunque estos matices pueden complicar la formulación de raciones, también nos aportan flexibilidad y precisión en el uso de ingredientes, y frecuentemente la solución a problemas patológicos asociados a la alimentación.

El cuadro 8 especifica con mayor detalle las modificaciones que pueden realizarse en los niveles de FND de la ración en función de las características de la ración. Así, los niveles de FND-f considerados normales para vacas de alta producción (0,9-0,95% del peso vivo) pueden reducirse a 0,85% del peso vivo cuando la ración total contiene entre el 1,1 y el 1,2% del peso vivo en forma de FND total; y los niveles pueden aún ajustarse más (ingestión de FND procedente de fibra al 0,75% del peso vivo) en raciones en las que la ingestión de FND total alcanza el 1,3-1,4% de peso vivo mediante el uso de subproductos. En ningún caso las raciones deben superar el 1,2% del peso vivo como FND procedente de forrajes, porque limitaría la capacidad de ingestión de alimentos.

Cuadro 7.- Factores alimenticios que afectan a las concentraciones de fibra en la ración necesarias para mantener el funcionamiento ruminal adecuado

Factor	Necesidades de fibra en la ración
Aumento en los niveles de HCNF	Aumenta
Aumento en la fermentabilidad de los HCNF	Aumenta
Distribución del pienso separado del forraje	Aumenta
Fuente de fibra	Variable
Disminución del tamaño de partícula	Aumenta
Aumento en la frecuencia de distribución de comidas	Disminuye
Suministro de tampones	Disminuye

Cuadro 8.- Niveles recomendados de ingestión de FND proveniente de forrajes (FND-f)

FND-f, % peso vivo	Observaciones
0,75	Mínimo si la ración contiene entre 1,3 y 1,4% del PV como FND total a través del uso de fibras de subproductos.
0,85	Mínimo si la ración proporciona entre 1,1 y 1,2% del PV como FND total en raciones ricas en almidones
0,90	Niveles moderadamente bajos
0,95	Niveles normales
1,00	Niveles moderadamente altos
1,10-1,20	Máximo

5.2.- Factores que afectan a las recomendaciones de FAD

El establecimiento de recomendaciones de FAD (NRC, 1989) ha sido recientemente cuestionadas, en favor de la consideración exclusiva de los niveles de FND. Los resultados experimentales demuestran que es posible reducir los niveles de FAD de las raciones si los niveles de FND son adecuados y se utilizan sustancias tampón como factor preventivo. Erdman (1988) sugirió que la adición de 200 g/d de bicarbonato en raciones de ganado vacuno lechero equivalen a 3 o 4 unidades de porcentaje de FAD. Aunque los datos utilizados para obtener esta estimación eran limitados, es posible sugerir la inclusión de bicarbonato (200 g/d) a partir de concentraciones de FAD inferiores al 20%. Como se ha comentado anteriormente, el efecto (y la necesidad) de bicarbonato es mayor en raciones a base de ensilado de maíz, y menor con henos y ensilados de leguminosas.

6.- VALORACION DE LA CALIDAD DE LOS FORAJES

Las consideraciones previamente expuestas en relación a la formulación adecuada de la fibra en las raciones de vacas de alta producción son fundamentales para el buen funcionamiento del rumen y la producción máxima del animal. En este sentido, el proceso de formulación y seguimiento del programa de alimentación debe ser riguroso y sistemático. Para conseguir una precisión aceptable en la composición de raciones es necesario conocer la composición de los ingredientes utilizados, especialmente los forrajes. En relación a éstos, es necesario establecer pautas estándares de toma de muestras, análisis y valoración de la calidad de los forrajes.

6.1.- Toma de muestras

Uno de los factores fundamentales que afectan a la representatividad de los análisis realizados es la metodología de la toma de muestras.

Las muestras deben tomarse cuidadosamente para que sean representativas del tipo de producto que tenemos. La calidad de un análisis nunca puede ser superior a la calidad de la muestra tomada. Cómo tomar muestras, cuántas y con qué frecuencia son aspectos fundamentales (y frecuentemente ignorados) de la labor de control de la alimentación en el vacuno lechero. Existen una serie de recomendaciones que deben seguirse rigurosamente para obtener una buena muestra (Martin y Linn, 1991):

a.- Una muestra de forraje debe pertenecer a un mismo lote. Un lote se define como el producto obtenido de la misma cosecha, al mismo estado de madurez, de la misma especie y variedad y del mismo campo cosechado con menos de 24 h de intervalo.

b.- Existen equipos diseñados para la toma de muestras de forrajes. Numerosos laboratorios norteamericanos sólo aceptan muestras para análisis que hayan sido tomadas con material específico y bajo una normativa estricta. Estas sondas deben ser suficientemente largas (de 36 a 54 cm) y de un diámetro superior a 1,5 cm.

c.- Debe tomarse la muestra desde la parte posterior de una bala cuadrada con entrada perpendicular de la sonda, ya que la distribución de hojas y ramas no es homogénea en una bala (Martin y Linn, 1991). Deben tomarse 20 muestras de un mismo lote para realizar un análisis preciso (recomendaciones de la American Forage and Grassland Council). El cuadro 9 representa la variación obtenida en 20 muestras distintas de un mismo lote, comparado con la media. Se observa que, al tomar una sola muestra, se corre el riesgo de obtener valores erróneos de FND (entre 34 y 54%), FAD (entre 29 y 37%) y valores relativos de forrajes (entre 103 y 184). El impacto de éstos errores puede ser muy importantes a la hora de garantizar la productividad máxima de los animales, y muestran la necesidad de que la toma de muestras sea rigurosa en relación al protocolo recomendado.

d.- Las muestras deben conservarse en una bolsa cerrada herméticamente y en un lugar fresco. Esto es fundamental para la determinación precisa de la materia seca.

Cuadro 9.- Variación en los resultados de análisis de muestras individuales o compuestas de henos de un mismo lote (Martin y Linn, 1989).

Muestra (bala)	PB	FND	FAD	VRF
1	20,3	54.1	36.9	103
2	18,4	48.7	35.8	117
3	20.5	39.1	32.5	151
4	20.5	39.2	32.0	152
5	21.9	40.3	32.1	148
6	20.3	38.5	31.5	156
7	19.8	38.3	31.4	156
8	18.4	44.3	36.1	128
9	22.4	37.0	29.4	166
10	20.3	40.0	32.7	148
11	18.9	39.0	32.5	152
12	20.8	41.2	31.5	145
13	18.2	44.6	35.3	128
14	19.8	41.5	32.7	142
15	20.8	42.0	33.4	139
16	21.3	38.5	31.4	156
17	21.5	33.7	28.6	184
18	21.4	33.9	39.3	181
19	21.2	35.7	30.3	170
20	20.4	40.6	32.1	146
Mínimo	18.2	33.7	28.6	103
Máximo	22.4	54.1	36.9	184
Media	20.4	40.5	32.4	148
Compuesta ^a	20.7	40.7	31.5	147

^a Muestra compuesta de las 20 submuestras anteriores.

La necesidad de tomar muestras y analizar la calidad de los forrajes se basa en la gran variabilidad existente entre muestras de forrajes dependiendo del estado de madurez y de las condiciones de recolección y conservación. El cuadro 10 muestra el resultado de numerosos análisis realizados sobre muestras distintas de los mismos forrajes (Martin y Linn, 1991). Las variaciones en los contenidos de FND y FAD deben hacernos reflexionar sobre la necesidad de tomar en consideración la toma de muestras y el análisis de los forrajes. El seguimiento adecuado de la alimentación de las granjas productivas en relación a los hidratos de carbono requiere la toma de muestras de forrajes, su análisis y valoración, y la formulación de raciones de acuerdo con las recomendaciones.

Cuadro 10.- Medias y variación de los valores de FND, FAD y VRF en henos y ensilados (Martin y Linn, 1991).

Forraje	n ^a	FND		FAD		VRF ^b	
		Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
Henos							
Leguminosas	1499	44,6	26-75	34,4	20-52	134	63-261
Legum-gram	885	50,4	21-72	36,9	17-49	114	68-339
Gramínea	292	61,6	39-80	39,2	24-52	90	60-165
Ensilados							
Leguminosas	692	44,2	23-67	36,4	17-52	131	68-311
Legum-gram	211	48,8	35-66	38,3	24-52	115	68-179
Gramíneas	10	57,2	44-67	41,6	33-47	94	77-134
Ensilado Maíz	581	44,8	22-76	28,1	12-52	---	---

^a Número de muestras analizadas

^b Valor Relativo del Forrajes (Ver apartado 5.3).

6.2.- Criterios de calidad en los forrajes

La calidad de los forrajes es la pieza fundamental de la formulación de raciones en rebaños de alta producción. Y a pesar de ello, la atención prestada a este aspecto es muy limitada y ciertamente infravalorada.

Según lo explicado anteriormente, los forrajes constituyen el factor limitante de la producción animal en cuanto que aportan la mayor parte de la FND (que limita la ingestión) y FAD (que determina el valor energético de la ración). Con frecuencia hemos considerado la proteína de las leguminosas como criterio de valoración de su calidad. Sin embargo, un déficit proteico debido a una alfalfa con poca proteína tiene una solución relativamente fácil: utilizar más suplementos proteicos (soja). Sin embargo, cuando la ingestión o la digestibilidad de la ración se ve comprometida como consecuencia de la calidad del forraje, no hay solución. Debemos redefinir el concepto de calidad de forrajes para la alimentación de los rumiantes, de tal manera que éste dependa de su capacidad de estimular la máxima producción, lo que a su vez depende de la capacidad de ingestión (FND) y de su digestibilidad (FAD). Esta estrategia de valoración de forrajes ha estimulado a investigadores de la Universidad de Minnesota (Linn y Martin, 1989) a desarrollar un índice de calidad de forrajes: el Valor Relativo de Forrajes (VRF).

El Valor Relativo de los Forrajes combina los factores nutricionales más importantes (el potencial de ingestión y su digestibilidad). El potencial de ingestión viene determinado por el contenido de FND según la siguiente fórmula:

$$IMS (\% PV) = 120/FND(\%MS)$$

La digestibilidad de la MS se calcula en función del contenido en FAD:

$$DMS (\%) = 88,9 - (0,779 \times FAD, \%)$$

El valor relativo de los forrajes (exceptuando el ensilado de maíz) se calcula como:

$$VRF = (DMS \times IMS) / 1,29$$

donde MS=materia seca; IMS=ingestión de MS; DMS=digestibilidad de la MS.

Este valor es un índice y no tiene unidades, pero permite comparar la calidad (entendida como la capacidad de un forraje de producir una respuesta productiva mayor) de leguminosas, gramíneas y sus mezclas, bien sean en fresco, ensiladas o henificadas. Este sistema de valoración ha sido adoptado oficialmente por el *American Forage and Grassland Council* como criterio de valoración de la calidad de los forrajes. El cuadro 11 muestra la clasificación por calidad de estos forrajes.

Cuadro 11.- Clasificaciones de calidad de leguminosas, gramíneas y sus mezclas (no incluye el ensilado de maíz; Linn y Martin, 1989)

Clasificación ^a	% Materia Seca		VRF ^b
	FND	FAD	
Excelente	<41	<31	>151
Primera	40-46	31-35	151-125
Segunda	47-53	36-40	124-103
Tercera	54-60	41-42	102-87
Cuarta	61-65	43-45	86-75
Quinta	>65	>45	<75

^a Clasificación asignada por la "American Forage and Grassland Council"

^b Valor Relativo de Forrajes desarrollado por la Universidad de Minnesota.

Si se analiza con detalle la relación entre el nivel de producción, la capacidad de ingestión y los límites recomendados de fibra en la ración, se puede concluir que la calidad del forraje (valorado en función de su potencial de ingestión y digestibilidad) es el factor limitante de la producción, y que en vacuno de producción media-alta, es necesaria la utilización de forrajes con un VRF superior a 125. Sería interesante que productores, ganaderos y profesionales del sector lechero adoptaran este nuevo sistema de valoración de forrajes.

7.- CONCLUSIONES

La formulación correcta de la fibra requiere la toma de muestras y valoración correcta de los forrajes y la formulación correcta de la FND considerando conceptos de FND procedente de forrajes, el tamaño de partícula y la fibra efectiva. Además, es necesario realizar una valoración crítica de los resultados productivos en función de la ingestión, la producción y composición de la leche, la condición corporal, y la incidencia de síndromes patológicos.

8.- REFERENCIAS

- ALLEN, M.S. (1991) *Vet. Clin. North Am.* **7**, 327.
- AM. NATL. STAND. INST. (1988) *ANSI/ASAE S424*.
- BAILEY, C.B. y BALCH, C.C. (1959) *Br. J. Nutr.* **15**, 383.
- CHURCH, D.C. (1989) *The Ruminant Animal*. O&B Books, NJ.
- DIRKSEN, C. (1969) *3rd Intl. Symp. Physiology of Digestion of Ruminants* (Ed. Phillipson).
- ERDMAN, R.A. (1989) *J. Dairy Sci.* **71**, 3246.
- HEINRICH, A.J. y LAMMERS, B.P. (1997) *NRAS Publ.* **99**, pg. 268.
- HUTJENS, M.F. (1990) *Ocasional Publication. Minn.-Illi.-Wis. Extension Service*.
- LAMMERS, B.P., BUCKMASTER, D.R., HEINRICH, A.J. (1996) *J. Dairy Sci.* **79**, 922.
- LINN, J. y MARTIN, N. (1989) *Minn. Dairy Conf.*, pg 9.
- MARTIN, N. y LINN, J. (1991) *Minnesota Extension Service. AG-FO-2637*.
- McBURNEY, M.I., VAN SOEST, P.J. y CHASE, L.E. (1981) *Corn. Nutr. Conf.* Pg. 16.
- MERTENS, D.R. (1987) *J. Anim. Sci.* **64**, 1548.
- NRC. 1989. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th ed. NAC. Washington, DC.
- ORSKOV, E.R. y McDONALD, I. (1979) *J. Agric. Sci. Camb.* **92**, 499.
- RUSSEL, J.B., O'CONNORS, J.D., FOX, D.G, VAN SOEST, P.J. y SNIFFEN C.J. (1992) *J. Anim. Sci.* **70**, 355.
- SANTINI, F.J., HARDIE, A.R., JORGENSEN, N.A. y FINNER, M.F. (1983) *J. Dairy Sci.* **66**, 811.
- SNIFFEN, C.J., O'CONNORS, J.D., VAN SOEST, P.J., FOX, D.G. y RUSSEL J.B. (1992) *J. Anim. Sci.* **70**, 3562.
- SUDWEEKS, E.M., ELY, L.O., MERTENS, D.R. y SISK L.R. (1981) *J. Anim. Sci.* **53**, 1406.
- VAN SOEST, P.J. (1982) *Nutritional Ecology of the Ruminant Animal*. C.U.P., Ithaca, NY.
- VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B. y LEWIS, B.A. (1991) *J. Dairy Sci.* **74**, 3583.
- WELCH, B. y SMITH. (1970) *J. Dairy Sci.* **73**, 797.