

LA FIBRA EN LOS RUMIANTES: ¿QUÍMICA O FÍSICA?

Àlex Bach¹ y Sergio Calsamiglia²

Grupo de Investigación en Nutrición, Manejo, y Bienestar Animal

¹IRTA-Unidad de Rumiantes. ²Universidad Autónoma de Barcelona

1.- INTRODUCCIÓN

La fibra engloba un conjunto de compuestos que son indigestibles por los enzimas del tubo digestivo secretados por los mamíferos. Sin embargo, algunos de los componentes de la fibra son digestibles por enzimas producidos por bacterias del tubo digestivo. En concreto, la fibra está integrada por glucanos, ramnoglacturanos, arabinanos, arabinoglactanos, glucomananos, galactoglucomananos, xylanos, glucuronomanos, ácidos fenólicos y lignina. La lignina es el único compuesto de la fibra que es totalmente indigestible en el tracto digestivo de los rumiantes, puesto que su digestión necesita la presencia de oxígeno.

Con la excepción del vacuno de engorde intensivo, las raciones de rumiantes suelen tener un contenido elevado de fibra, especialmente las del vacuno lechero. Por ello, este artículo se centrará básicamente en el vacuno lechero. Los sistemas de alimentación de los rumiantes han ido disminuyendo progresivamente la proporción de fibra en las raciones con el fin de maximizar los aportes energéticos al animal; sin embargo, los modelos actuales de alimentación recomiendan un mínimo de fibra para asegurar un correcto funcionamiento ruminal. Las recomendaciones de inclusión de fibra en la ración del vacuno lechero marcadas por el NRC (2001) introdujeron una diferenciación química (porcentaje de fibra en la ración) y otra física (porcentaje de fibra procedente del forraje en la ración) en un intento de englobar las acciones de la fibra en el rumiante. Por un lado, la fibra fermenta lentamente, por lo que aporta relativamente poca energía al animal y genera poca cantidad de ácido en el rumen, por otro aporta una textura física al contenido ruminal que estimula la rumia, la masticación y la secreción salivar, y regula el ritmo de paso.

Este artículo revisará las dos funciones principales, químicas y físicas, de la fibra y su relación con la salud ruminal y el contenido de grasa en leche (como posible indicador de la salud ruminal).

2.- ESTRUCTURA Y REPERCUSIONES DE LA QUÍMICA DE LA FIBRA

La fibra incluye compuestos que forman parte de la pared celular de los vegetales. Los principales compuestos de la fibra son:

2.1.- Celulosa

Está formada por moléculas de glucosa unidas por mediante enlaces tipo β . En los rumiantes, la celulosa suele digerirse mejor que la hemicelulosa.

2.2.- Hemicelulosa

Engloba a un grupo de polisacáridos solubles en soluciones básicas y capaces de unirse a la celulosa a través de puentes de hidrógeno. En las gramíneas, la mayoría de la hemicelulosa son xylanos (con ramificaciones de arabinosa y ácidos glucurónicos). En los monogástricos, la hemicelulosa suele ser más digestible que la celulosa (pues la celulosa apenas se digiere en los monogástricos), pero en los rumiantes la celulosa suele ser más digestible que la hemicelulosa.

2.3.- Pectinas

Son ácidos urónicos (ácido galacturónico, ramnosa...). Se encuentran en cantidades elevadas en las leguminosas. La unión entre los polisacáridos que integran la pectina son del tipo α (como los del almidón) y por tanto las pectinas son casi totalmente degradadas en el rumen. Las pectinas se digieren más rápidamente que la celulosa o la hemicelulosa (Marounek et al., 1985), pero a diferencia de lo que ocurre con la rápida fermentación del almidón, la fermentación de las pectinas no disminuye el pH ruminal, básicamente porque las bacterias que degradan las pectinas son sensibles a pH ácidos (Marounek et al., 1985). Por tanto, la suplementación de pectinas en las raciones de rumiantes se considera una práctica segura para aportar energía.

2.4.- β -glucanos

Son polisacáridos de glucosa unidos mediante enlaces β , como la celulosa, pero que son fermentados rápidamente en el rumen. Se encuentran principalmente en las gramíneas y en la fibra de los granos de cereal.

2.5.- Lignina

Es un polímero de alcoholes de hidroxicinamil que es totalmente indigestible en el tubo digestivo de los rumiantes. La lignina ejerce un efecto negativo directo sobre la digestión total y un efecto indirecto consecuencia de impedimentos físicos que limitan el acceso de las bacterias a las zonas degradables de la fibra. Este efecto indirecto es más evidente en las gramíneas que en las leguminosas, pues las gramíneas tienen un mayor contenido de ácidos fenólicos. La concentración de lignina depende de la especie de forraje, siendo mayor en las leguminosas que en las gramíneas, y del estado vegetativo (a mayor madurez más lignina).

2.6.- Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos (ferúlico y cumárico) inicialmente habían sido considerados tóxicos para las bacterias ruminales (Akin, 1982), pero más tarde (Deetz et al., 1993) se demostró que las bacterias pueden degradar estos ácidos. Sin embargo, la concentración de los ácidos fenólicos está negativamente correlacionada con la degradación de la fibra en el rumen, siendo el ácido cumárico más potente que el ferúlico en la depresión de la degradación. De todas formas, la mayoría del ácido cumárico está unido a la lignina y no al arabinoxilano. Los ácidos ferúlicos disminuyen, mayoritariamente, el ritmo de digestión de la fibra mientras que el ácido cumárico disminuye, mayoritariamente, la digestión total debido a una limitación física del acceso microbiano a la fibra. Las gramíneas son más ricas que las leguminosas en ácidos fenólicos (sobre todo en los que se unen a la lignina mediante enlaces éster), y por ello su ritmo de degradación ruminal es inferior al de las leguminosas.

En los rumiantes, la fibra se determina mediante el uso de 3 soluciones; la neutro detergente, la ácido detergente, y una solución ácida para la determinación de la lignina. En otras especies, y en los rumiantes por motivos legales de etiquetado, la fibra también se determina usando el método de Weende, pero sus valores no son lo suficientemente descriptivos para su uso nutricional en los rumiantes. La fibra neutro detergente (**FND**) representa el residuo que se obtiene tras un lavado del ingrediente usando una solución neutro detergente. La FND incluye celulosa, hemicelulosa, y lignina (además de residuos de nitrógeno y minerales). El análisis de FND es, probablemente, el más variable y conflictivo, ya que no todos los laboratorios utilizan las mismas técnicas. El método original (Van Soest y Wine, 1967; Goering y Van Soest, 1970) utiliza el sulfito de sodio para eliminar los residuos proteicos adheridos a la fibra. Este método, sin embargo, no elimina completamente los residuos de almidón de los cereales y del silo de maíz. Van Soest et al. (1991) modificaron el método con la inclusión de una amilasa estable a la temperatura, que junto con el sulfito sódico reduce la cantidad de residuos en la FND.

La fibra ácido detergente (**FAD**) representa el residuo que se obtiene tras un lavado del ingrediente usando una solución ácido detergente. La FAD incluye la celulosa y la lignina (además de residuos de nitrógeno y minerales). El análisis de la FAD es más preciso que el de la FND. Es importante que la determinación de la FAD se realice sobre el residuo de la FND, es decir, de forma secuencial (Van Soest et al., 1991). De lo contrario los valores de la FAD pueden estar sobreestimados debido a la presencia de residuos de pectinas y otros compuestos que son solubilizados en la FND pero no en la FAD.

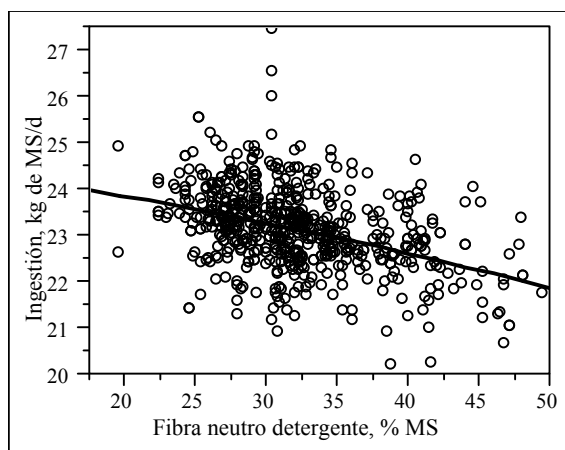
El análisis de lignina puede realizarse de dos formas: la lignina ácido detergente (**LAD**) en su variante oxidativa (con permanganato potásico), o la lignina Klason, con una digestión en dos fases con ácido sulfúrico. La lignina determinada por el método Klason es de 2 a 4 veces mayor que la LAD en las gramíneas, y un 30% mayor en las leguminosas. El método Klason es la técnica de elección para la determinación de la lignina.

Las gramíneas se digieren más lentamente que las leguminosas (a igualdad de estadios vegetativos), aunque la degradación total puede llegar a ser mayor que las leguminosas. El motivo de esta aparente discrepancia es que las gramíneas son más ricas que las leguminosas en hemicelulosa, y las leguminosas son más ricas en lignina que las gramíneas. La lignina es totalmente indigestible, y por ello las leguminas son menos digestibles. Pero la hemicelulosa de las gramíneas presenta numerosas uniones con la lignina que hacen que su ritmo de fermentación sea muy lento, aunque su digestión potencial total sea mayor que en las leguminosas. Por lo tanto, en vacas de alta producción, a pesar que la digestibilidad potencial de las gramíneas sea mayor, el elevado ritmo de paso a través del rumen resulta en mayores digestibilidades efectivas en las leguminosas que en las gramíneas. Por otro lado, el lento ritmo de degradación de las gramíneas hace que el ritmo de paso ruminal disminuya y por tanto la ingestión de materia seca (**MS**) también disminuya. Eastrige (1999) y Qiu et al. (2003) describieron aumentos en la ingestión de MS cuando compararon la misma ración a base de ensilado de maíz normal o ensilado de maíz con la mutación “*brown midrib*” que mejora sustancialmente la digestibilidad *in vitro* de la FND debido a una reducción en el contenido en lignina. Este aumento en la ingestión sólo se ha visto, en raciones con altos niveles de inclusión de ensilado (~ 40% de la MS) y FND procedente del forraje (> 21 % fFND). Por tanto, aumentos en la ingestión de MS (**IMS**) con mejoras de la digestibilidad de la fibra sólo deberían ser esperables cuando la ración contiene altos niveles de fibra.

Por otro lado, ofrecer raciones con niveles altos de forraje puede comprometer la producción de leche consecuencia de una limitación en la ingestión (Allen, 2000) o bien por una insuficiente densidad energética de la ración. Los resultados de un metanálisis realizado con más de 120 estudios publicados en el *Journal of Dairy Science* confirman la relación negativa entre el contenido de FND y la IMS (figura 1). Por ejemplo, Boddugari et al. (2001) sustituyeron el maíz y la soja de una ración por gluten feed (**CGF**)

manteniendo el forraje y todos los nutrientes constantes a excepción del almidón y la FND, y describieron un descenso progresivo de la IMS al aumentar el contenido de FND de la ración, a pesar que el consumo de FND expresado como porcentaje del peso vivo de las vacas aumentó conforme la inclusión de CGF aumentaba en la ración.

Figura 1.- Relación entre el contenido de fibra neutro detergente de la ración y el consumo de materia seca en el vacuno lechero ($R^2 = 0,15$; $P < 0,05$)



Por lo general, como el almidón es más digestible que la FND, es de esperar que la sustitución de forraje por concentrado resulte en un aumento de la digestibilidad total de la ración. La degradación del almidón en el rumen oscila entre un 60 y un 95% (Offner et al., 2003) mientras que la digestibilidad de la FND oscila entre un 20 y un 55%. Sin embargo, la digestibilidad de la FND puede disminuir con la adición de almidón debido a un efecto directo de éste sobre la digestibilidad de la FND (Grant y Mertens, 1992, Sveinbjörnsson et al., 2006), o bien por un efecto indirecto a través de una reducción del pH ruminal consecuencia de una disminución de la producción de saliva (Strobel y Russell, 1986) o bien por una producción exagerada de ácidos grasos volátiles en el rumen. Por ejemplo, Voelker y Allen (2003) sustituyeron pastoreo por pulpa de remolacha, y describieron un aumento del ritmo de degradación de la FND conforme disminuía la proporción de almidón en la ración, lo que compensaba por la pérdida teórica de energía de la ración. Varios autores (Grant, 1994; Calsamiglia et al., 1999) han descrito que pH ruminales por debajo de 6,2 reducen la degradación de la FND en el rumen. Un metanálisis realizado con 10 estudios demuestra el efecto negativo ($R^2 = 0,18$, $P = 0,08$) del pH sobre la degradación de la fibra en el rumen (figura 2). La acción negativa del pH sobre la degradación de la fibra es debida principalmente a la inactivación de las bacterias que intervienen en la degradación de la fibra.

El NRC (2001) y otros modelos nutricionales recomiendan mínimos de FND en la ración para evitar descensos del pH ruminal. El metanálisis que hemos realizado a partir de 27 estudios del *Journal of Dairy Science* confirma que existe una relación clara entre el contenido de la FND de la ración y el pH ruminal (figura 3), pero que existe una relación

ligeramente mayor entre el pH ruminal y el contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) de la ración. Estos resultados parecen indicar que o bien existe en la FND algo más que no puede ser medido mediante análisis químicos que afecta al pH ruminal, o bien el tipo y cantidad de CNF sea más importante que la cantidad y tipo de FND para mantener el pH ruminal.

Figura 2.- Relación entre el pH ruminal y la degradación ruminal de la fibra ($R^2 = 0,18$; $P < 0,05$)

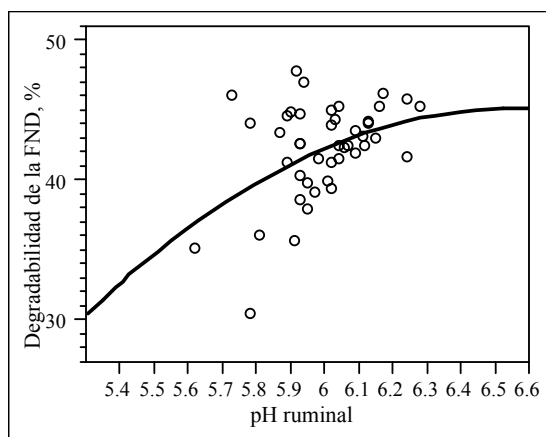
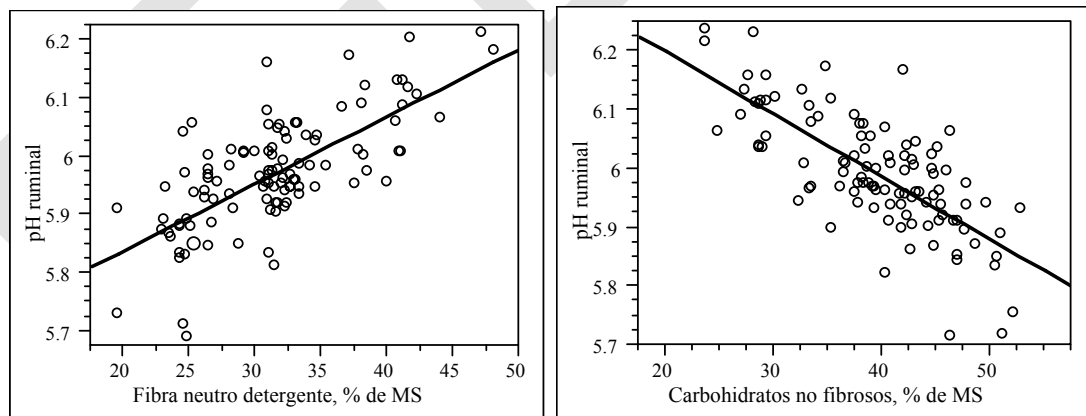


Figura 3.- Relación entre el contenido de fibra neutro detergente ($R^2 = 0,49$; $P < 0,05$) o carbohidratos no fibrosos ($R^2 = 0,54$; $P < 0,05$) en la ración y el pH ruminal en el vacuno lechero.



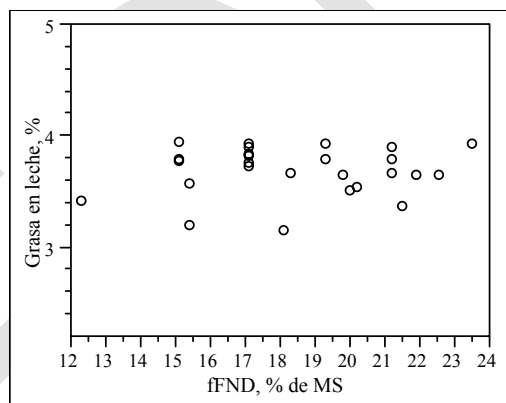
3.- REPERCUSIONES DE LA ESTRUCTURA FÍSICA DE LA FIBRA

Los requerimientos y recomendaciones mínimas de fibra en la ración son consecuencia de la capacidad de la fibra para prevenir la acidosis ruminal. La acidosis ruminal ha sido clasificada en aguda y subaguda por varios autores y con valores similares aunque no idénticos. Por ejemplo, Cooper y Klopfenstein (1996) definieron la acidosis ruminal subaguda (**ARSA**) como la aparición varios episodios durante los cuales el pH ruminal se encuentra entre 5,2 y 5,6. Keunen et al. (2002) realizaron un estudio para evaluar si la preferencia de las vacas por fibra larga aumentaba en situaciones de ARSA. Para ello inducieron ARSA y luego ofrecieron simultáneamente heno de alfalfa o alfalfa en pellets. Los autores describieron que el primer día después de ARSA no había diferencia en la preferencia por ambos ingredientes, pero el segundo día, las vacas consumieron casi la totalidad del heno pero apenas ingirieron los pellets de alfalfa.

Las características físicas de la fibra vienen determinadas por su tamaño. Poppi et al. (1985) sugirieron que las partículas de tamaño inferior a 1,18 mm abandonaban el rumen a un ritmo más elevado que aquéllas de tamaño superior. En una revisión bibliográfica, Mertens (1997) concluyó que para mantener el pH ruminal por encima de 6,0 y la grasa en leche por encima de 3,4% durante el principio de la lactación, era necesario aportar un 22% de la MS de la ración en forma de fibra físicamente efectiva (**feFND**). La feFND, en teoría, mide la capacidad de un ingrediente para estimular la secreción salivar y aumentar el pH ruminal. Se cree que la saliva representa el 30-40% del poder tamponante del rumen (Allen, 1997), y que la secreción salivar aumenta durante la rumia y la ingestión (Maekawa et al., 2002). La feFND de un ingrediente puede calcularse multiplicando la proporción de MS retenida en un cedazo de 1,18 mm por el contenido de FND del ingrediente. Sin embargo, la proporción de FND de un ingrediente no está uniformemente distribuida entre todos sus tamaños de partículas, y por ello algunos nutrólogos determinan la feFND multiplicando por el valor real de FND de las partículas de más de 1,18 mm de un ingrediente. A pesar que el sistema de feFND es lógico, su aplicación y funcionalidad no han sido validadas, y Beauchemin et al. (2003) concluyeron que una variación en feFND entre un 22 y un 42% de la MS apenas tenía repercusiones sobre la producción de leche o el contenido de grasa en leche. Además, parece que la relación entre el tamaño de partícula de las raciones y el pH ruminal es baja, a pesar de la relación descrita por Mertens (1997). Varios autores han descrito que no hay efectos sobre el tamaño de partícula sobre el pH ruminal (Yang et al, 2001; Kononoff et al., 2003; Kononoff y Heinrichs, 2003, y Einarson et al., 2004), mientras que otros (Beauchemin et al., 2003; Calberry et al., 2003, Soita et al., 2002; Krause et al., 2002) sí que han encontrado diferencias. El NRC (2001) no incluyó el sistema de feFND en su modelo del 2001, probablemente debido a la gran dificultad que presenta la estimación de los valores de feFND de los ingredientes, y terminó recomendando un mínimo de FND procedente de los forrajes (**fFND**). El metanálisis realizado muestra que no existe ninguna relación

aparente entre el porcentaje de fFND y la grasa en leche (figura 4). Una posible causa de la falta de relación sea la capacidad de selección de partículas de la ración unifeed por parte de la vaca lechera. Las vacas seleccionan en contra de las partículas de tamaño grande cuando están mezcladas en una ración unifeed. Calberry et al. (2003) realizaron un estudio con una ración que contenía un 30% silo de maíz, y un 10% de la MS en forma de alfalfa, bien heno, bien ensilado de alfalfa, o bien una mezcla al 50% de ambos. Estos autores describieron unos niveles de grasa en leche muy bajos (del orden del 2,8%) a pesar que el nivel de forraje en la ración era de un 40%. El motivo del bajo contenido de grasa en leche en este estudio podría encontrarse en el alto nivel de semilla de girasol de la ración (5% de la MS) o bien que el tamaño de partícula fue lo suficientemente grande (entre el 38 y el 44% de las partículas fueron retenidas en un cedazo de 8 mm) como para permitir un alto grado de selección de partículas del unifeed por parte de las vacas (Figura 5). Por lo tanto, un exceso de fibra larga puede resultar en bajadas de grasa en leche o en ARSA consecuencia de una selección de partículas pequeñas por parte de las vacas.

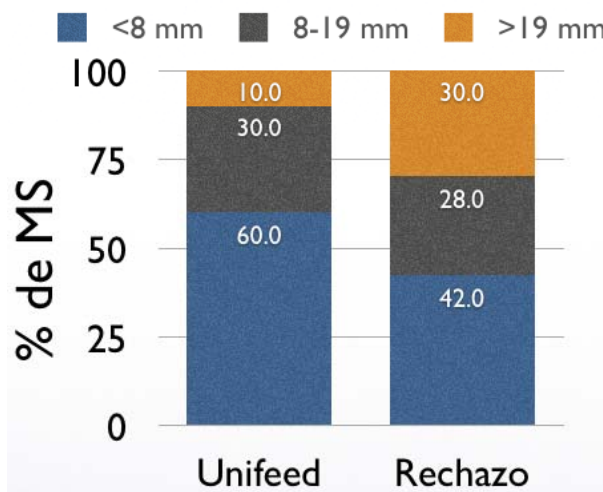
Figura 4.- Relación entre la cantidad de FND proveniente de forrajes en la ración y el contenido de grasa en leche.



Por otro lado, Einarson et al. (2004) reportaron un descenso de la grasa en leche y una mayor selección en contra de las partículas de gran tamaño al comparar una ración con heno de alfalfa molido fino (10 mm) o con heno de alfalfa molido de forma grosera (19 mm) y un alto nivel de concentrado (58% de la MS), pero no observaron diferencias cuando la ración era rica en forraje (59% de la MS). Los autores se sorprendieron por el aumento de grasa en leche al reducir el tamaño de partícula con la ración alta en concentrado, pues contradice el modelo de la feFND propuesto por Mertens (1997). Sin embargo, otros autores (Kononoff et al., 2003) también describieron incrementos en el contenido de grasa en leche con menores tamaños de partícula al comparar una ración base de ensilado de maíz con una media geométrica de las partículas de 8,8 o 7,8 mm. Estos autores describieron una mayor facilidad de las vacas por separar y selección contra las partículas de gran tamaño cuando las raciones son ricas en concentrado. Este aumento de la grasa, estuvo claramente relacionado con una menor selección de las distintas partículas de la ración. Irónicamente, las raciones molidas de forma grosera resultaron en un

consumo de partículas pequeñas (< 1,18 mm) mayor que el consumo observado con las raciones con un tamaño medio de partícula más fino debido a la selección de partículas por parte de las vacas.

Figura 5.- Distribución del tamaño de partículas en la ración y el rechazo de tres raciones con distinto tamaño de partícula (adaptado de Calberry et al., 2003)



Bach et al. (2003) realizaron un estudio junto con SEMEGA involucrando más de 100 explotaciones para determinar la relación entre el tamaño de partícula de las raciones mediante análisis de imagen digital y el contenido de grasa en leche. Sorprendentemente, se encontró una correlación negativa ($r = -0,33$) entre el perímetro medio de las partículas de la ración y el contenido de grasa en leche (figura 6), mientras que no se encontró ninguna relación entre el contenido de grasa y las fracciones del *Penn State Separator*. La falta de relación entre la grasa en leche y el *Penn State Separator* ya ha sido descrita previamente. Los resultados de la técnica digital (Bach et al., 2003), aparentemente contradictorios, podrían ser explicados por el hecho de que a mayor tamaño medio de partícula de una ración mayor es la dispersión entre los tamaños de las partículas de la ración (i.e. diferencia entre un fragmento de paja de 10 cm vs un pedazo de maíz molido a 3 mm), con lo cual las vacas podrían seleccionar con mayor facilidad los componentes de la ración que más apetecibles le resultasen. Esta teoría quedó bien ilustrada en el estudio de Kononoff et al. (2003) que demostró como la selección de partículas finas y el rechazo de las partículas fibrosas aumentaban conforme el tamaño de partícula medio de la ración aumentaba (figura 7).

Figura 6.- Relación entre el perímetro medio ($R^2 = 0,11$; $P < 0,05$) o el coeficiente de variación ($R^2 = 0,10$; $P < 0,05$) de las partículas de las raciones de 110 explotaciones de Girona y el contenido medio de grasa en leche (Bach et al., 2003)

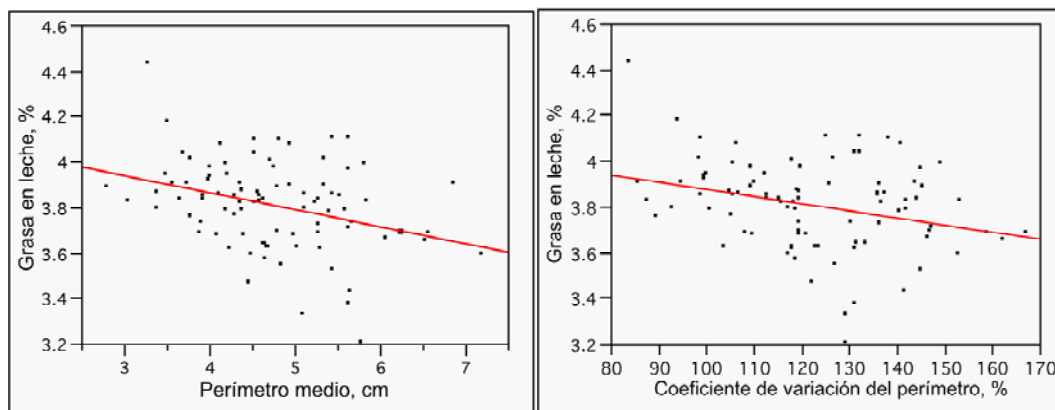
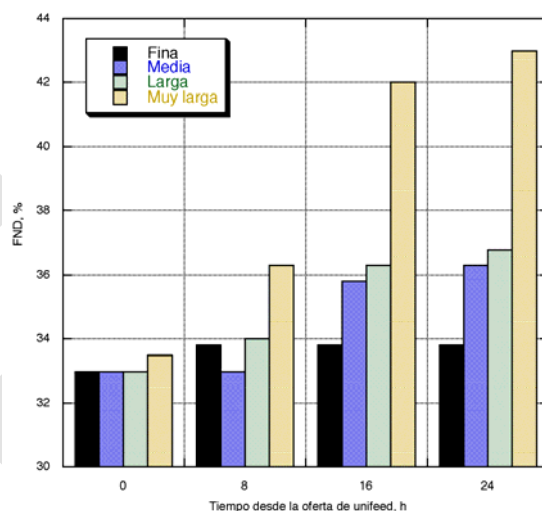


Figura 7.- Relación entre el tamaño de partícula medio de la ración y el contenido de FND en la ración del pesebre de las vacas conforme avanza el día. (Adaptado de Kononoff et al., 2003)



Las vacas al principio de la lactación suelen estar en balance energético negativo, y el llenado ruminal se considera el principal limitante de la ingestión (Allen, 1997). Hayirli et al. (2002) recopilaban datos de IMS de cerca de 700 vacas con 49 raciones distintas de varias universidades Americanas y concluyeron que la cantidad de FND de la ración era el factor relacionado con la nutrición que más proporción de la IMS explicaba. Sin embargo esta proporción sólo era del 15,3%, mientras que el 56,1% se explicaba por el efecto del día (manejo, temperatura, etc...). En general, la reducción del tamaño de partícula de las raciones suele resultar en aumentos en la ingestión sólo cuando los niveles de forraje de la ración son elevados (Einarson et al., 2004; Soita et al., 2003, Kononoff y Heinrichs, 2003), pero no cuando los niveles de forrajes son bajos (Yang et al., 2001; Krause et al., 2002). El aumento de ingestión de MS al reducir el tamaño de partícula podría ser una de las causas indirectas por la que, en ocasiones, tamaños pequeños de partícula se asocian a bajadas de

grasa en leche. Un aumento de consumo de MS suele inducir un aumento de producción de leche, y éste frecuentemente resulta en bajadas de grasa. Por otro lado, conforme se reduce el tamaño de partícula, el ritmo de fermentación mejora, y por tanto la cantidad de energía extraída por unidad de tiempo puede ser superior lo que puede también mejorar la producción de leche siempre y cuando el posible aumento de ritmo de paso no contrarreste el aumento en el ritmo de digestión.

Aumentar la capacidad de estimulación de la secreción salivar de la ración (aumentando el tamaño de partícula) manteniendo niveles mínimos de FND parece una buena estrategia para maximizar la producción de leche sin incurrir en trastornos ruminales. De hecho, la adición de feFND a la ración manteniendo la misma composición química (moliendo en mayor o menor proporción el ensilado de cebada de la ración) no disminuyó la IMS y aumentó el tiempo dedicado a la masticación (Yang y Beauchemin, 2006). En un estudio reciente (Kononoff et al., 2003) se describió un aumento en el tiempo de masticación de vacas al disminuir el tamaño de partícula (debido a un aumento de la ingestión de MS), aunque el tiempo dedicado a masticar por unidad de kg de MS consumido aumentó con la ración más grosera. En general, conforme aumenta la feFND de la ración aumenta el tiempo que la vaca dedica a masticar durante la ingestión y la rumia (Kononoff y Heinrichs, 2003; Beauchemin y Yang, 2005) con raciones ricas en alfalfa. Sin embargo, con raciones ricas en ensilado de maíz (Kononoff y Heinrichs, 2003, Kononoff et al., 2003) el tiempo de masticación durante la ingestión parece no aumentar conforme la feFND aumenta. Esta falta de aumento en la masticación puede ser debida, probablemente, a la capacidad de selección de partículas por parte de las vacas.

La relación entre el tiempo de masticación y la capacidad tampón o el pH ruminal no es muy clara. Hay dos estudios (Krausse et al., 2002; Beauchemin et al., 2003) que dan soporte a esta teoría, pero hay cuatro estudios (Kononoff y Heinrichs, 2003; Plaizier, 2004; Beauchemin y Yang, 2005; Yang y Beauchemin, 2006) que no muestran una relación entre masticación y pH ruminal. Sin embargo, los resultados del metanálisis realizado con 22 estudios del *Journal of Dairy Science* que indican sí existe una relación entre el tiempo de masticación y el pH ruminal, aunque la relación es más débil cuando se expresa por unidad de MS consumida (figura 8). La relación entre el tiempo dedicado a la masticación y la grasa en leche sólo explica el 17% de la variación observada (figura 9). Parece que lo importante es maximizar la cantidad de saliva producida por el animal a lo largo del día con el fin de aportar la máxima cantidad de saliva al rumen. Contra más tiempo se dedique a masticar, mayor capacidad tampón. Esta mayor masticación se puede conseguir con incrementos de la ingestión de materia seca (IMS) a partir de raciones con tamaños de partícula pequeños, por lo tanto, sería posible conseguir pH ruminales aceptables, y grasa elevada con tamaños de partícula pequeños y alta dedicación a la masticación. Para conseguir largos tiempos de masticación, lo más efectivo es aportar niveles elevados de FND, independientemente de su forma física, pues el metanálisis realizado no encontró

ninguna relación entre fFND o el porcentaje de forraje en la ración y el tiempo de masticación (figura 10), aunque sí mostró una tendencia ($P = 0,07$) hacia una relación positiva entre el contenido de forraje total de la ración y tiempo de masticación ($R^2 = 0,38$)

Figura 8.- Relación entre tiempo de masticación total ($R^2 = 0,33$; $P < 0,05$) o tiempo de masticación por unidad de materia seca ($R^2 = 0,07$; $P < 0,05$) y pH ruminal en el vacuno lechero.

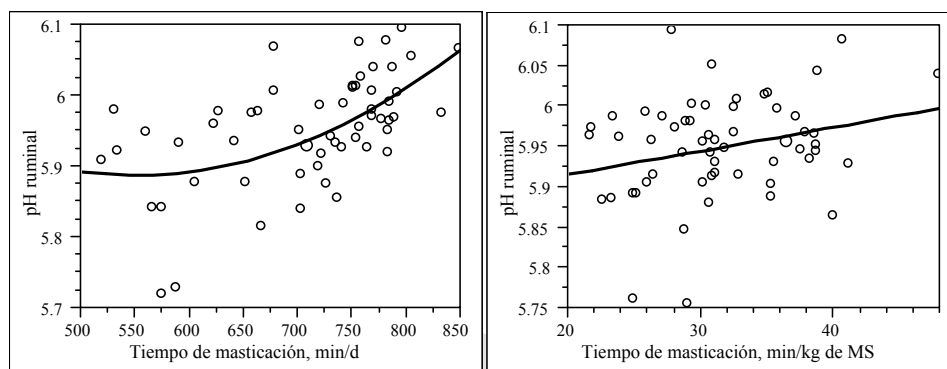


Figura 9.- Relación entre el tiempo de masticación y el contenido de grasa en leche ($R^2 = 0,17$; $P = 0,10$)

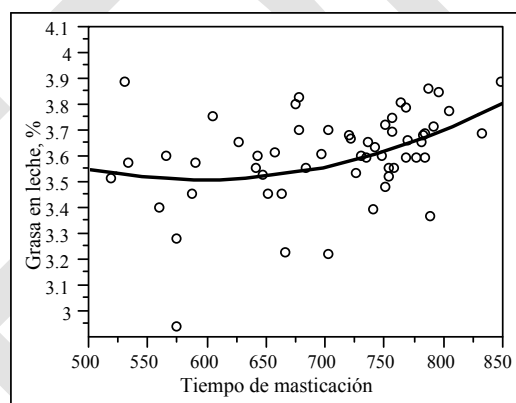
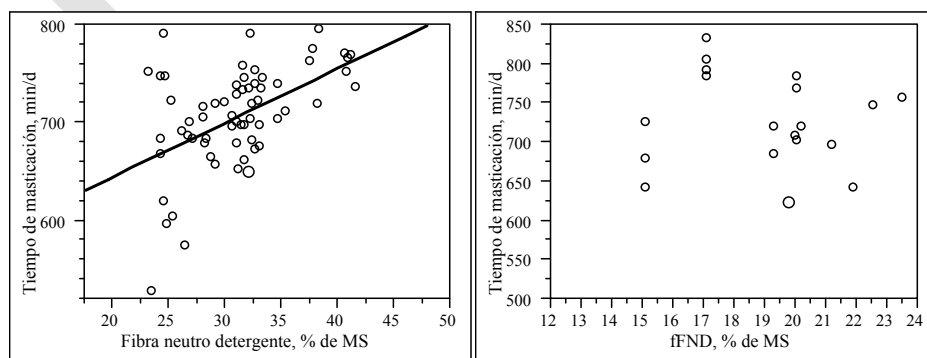


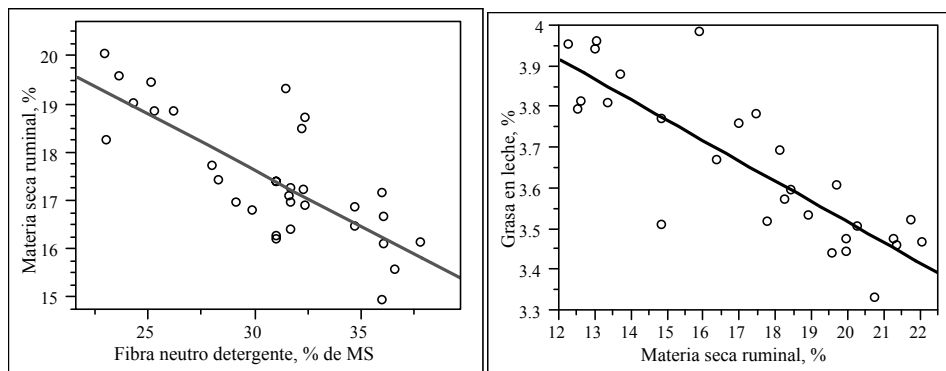
Figura 10.- Relación entre el contenido de fibra neutro detergente ($R^2 = 0,61$, $P < 0,05$) o fibra neutro detergente procedente forrajes y el tiempo de masticación en el vacuno lechero.



El tiempo de masticación disminuye cuando las partículas pasan de 16 a 8 mm, mientras que el tiempo de masticación durante la rumia baja cuando el tamaño de partícula pasa de 8 a 4 mm (de Boever et al., 1993). Por ejemplo, Yang y Beauchemin (2006) describieron un descenso del tiempo de masticación durante la rumia pero no durante la ingestión al reducir el tamaño de partícula del silo de cebada de la ración de 9,5 a 4,8 mm. El metanálisis que realizamos mostró que no existe relación entre el tiempo de masticación durante la rumia y el pH ruminal o la grasa en leche, y por tanto se concluye que el tiempo de masticación total (durante la ingestión y la rumia) es el factor que más impacto tiene sobre el pH ruminal (y la grasa en leche).

Boddugari et al. (2001) observaron que ni el tiempo dedicado a la masticación durante la ingestión ni la IMS cambiaban al comparar 4 raciones manteniendo los niveles de FND pero sustituyendo progresivamente parte del forraje por CGF. Sin embargo, la producción de leche aumentó y el contenido de grasa disminuyó conforme el CGF sustituyó el forraje, a pesar que la media del pH ruminal se mantuvo siempre por encima 6,0 con las 4 raciones. La digestibilidad efectiva de la FND en el rumen no varió al aumentar la inclusión de CGF en la ración debido a que el ritmo de paso de la FND aumentó considerablemente (6,03 a 8,47 %/h) al disminuir la cantidad de forraje en la ración. Estos resultados también han sido descritos por otros autores (Allen y Grant, 2000; Weidner y Grant, 1994) y aportan una explicación adicional a la bajada de grasa en leche observada con raciones con poco forraje. De hecho, el metanálisis realizado muestra que existe una relación negativa entre el contenido de FND de la ración y el contenido de MS ruminal (Figura 11), en parte debido a la relación negativa entre FND y IMS, y a la relación positiva ($R^2 = 0,62$; $P < 0,05$) entre IMS y contenido de MS ruminal. El contenido de MS ruminal está negativamente correlacionado con la grasa en leche (figura 11). Curiosamente, no se encontró una relación significativa entre el ritmo de paso de sólidos o de líquidos y la cantidad de MS ruminal. Por tanto, los altos contenidos de MS ruminal que se obtienen con raciones bajas en FND, lo cual se asocia con bajadas de grasa en leche, pueden ser consecuencia de la capacidad de retención de agua de la FND.

Figura 11.- Relación entre el contenido de fibra neutro detergente y el contenido de materia seca ruminal ($R^2 = 0,60$, $P < 0,05$) y la relación entre el contenido ruminal y el contenido de grasa en leche ($R^2 = 0,71$, $P < 0,05$)



4.- CONCLUSIONES

La acción de la fibra en el rumiante es doble, por un lado su composición química regula su ritmo de fermentación, y por otro su estructura física altera los tiempos de masticación y la secreción salivar. Sin embargo, valorar las cualidades físicas de la fibra resulta difícil, pues la distribución de FND no es homogénea para todos los tamaños de partícula de una ración. Además, parece que la maximización de la masticación puede conseguirse mediante aumentos de la FND, con independencia del tamaño de partícula, debido en parte a la capacidad de selección de partículas pequeñas por parte de las vacas, sobretodo con raciones ricas en concentrado. En este sentido, minimizar el coeficiente de variación de la distribución de partículas de una ración debería minimizar la capacidad de selección.

5.- REFERENCIAS

- AKIN, D.E. (1982) *Agron. J.* 74: 424.
- ALLEN, M.S. (1997) *J. Dairy Sci.* 80: 1447-1462.
- ALLEN, M.S. y GRANT R.J. (2000) *J. Dairy Sci.* 83: 322-331.
- ALLEN, M.S. (2000) *J. Dairy Sci.* 83: 1598-1624.
- BACH, A., ANGLADA, A., PUIGVERT, X. y BOSCH, Ll. (2003) *J. Dairy Sci.* 86 (Supl. 1).
- BEAUCHEMIN, K.A. y YANG, W.Z. (2005) *J. Dairy Sci.* 88: 2117-2129.
- BEAUCHEMIN, K.A., YANG, W.Z. y RODE, L.M. (2003) *J. Dairy Sci.* 86: 630-643.
- BODDUGARI, K., GRANT, R.J., STOCK, R. y LEWIS, M. (2001) *J. Dairy Sci.* 84: 873-884.
- CALBERRY, J.M., PLAIZIER, J.C., EINARSON, M.S. y McBRIDE, B.W. (2003) *J. Dairy Sci.* 86: 3611-3619.
- CALLISON, S.L., FIRKINS, J.L., EASTRIDGE, M.L. y HULL, B.L. (2001) *J. Dairy Sci.* 84: 1458-1467.
- CALSAMIGLIA, S., FERRET, A., PLAIXATS, A.J. y DEVANT, M. (1999) *J. Dairy Sci.* 82(Supl. 1):38. (Abstr.)
- COOPER, R. y KLOPFENSTEIN, T. (1996) *Effect of rumensin and feed intake variation on ruminal pH. scientific update on rumensin/ tylan/micotil for the professional feedlot consultant*. Elanco Animal Health, Greenfield, IN.
- DE BOEVER, J.L., BRABANDER, D.L. y VANACKER, J.M. (1993) *J. Dairy Sci.* 76: 1624-1634.
- DEETZ, D.A., JUNG, H.G., HELM, R.F., HATFIELD, R.D. y RALPH, J. (1993) *J. Sci. Food Agric.* 61: 423.
- EASTRIDGE, M.L. (1999) In: *Proc. Tri-State Dairy Nutrition Conference*. The Ohio State University, Columbus. pp. 179-190.

- EINARSON, M.S., PLAIZIER, J.C. y WITTENBERG, K.M. (2004) *J. Dairy Sci.* 87: 2987–2996.
- GOERING, H.K. y VAN SOEST, P.J. (1970) *Agric. Handbook* No. 379. ARS-USDA, Washington, DC.
- GRANT, R.J. (1994) *J. Dairy Sci.* 77: 1563–1569.
- GRANT, R.J. y MERTENS, D.R. (1992) *J. Dairy Sci.* 75: 2762–2768.
- HAYIRLI, A., GRUMMER, R.R., NORDHEIM, E.V. y CRUMP, P.M. (2002) *J. Dairy Sci.* 85: 3430–3443.
- KEUNEN, J.E., PLAIZIER, J.C., KYRIAZAKIS, I., DUFFIELD, T.F., WIDOWSKI, T.M., LINDINGER, M.I. y McBride, B.W. (2003) *J. Dairy Sci.* 86: 954–957.
- KONONOFF, P.J. y HEINRICHS, A.J. (2003a) *J. Dairy Sci.* 86: 2438–2451.
- KONONOFF, P.J. y HEINRICHS, A.J. (2003b) *J. Dairy Sci.* 86: 1445–1457.
- KONONOFF, P.J., HEINRICHS, A.J. y LEHMAN, H.A. (2003) *J. Dairy Sci.* 86: 3343–3353.
- KRAUSE, K.M., COMBS, D.K. y BEAUCHEMIN, K.A. (2002) *J. Dairy Sci.* 85: 1947–1957.
- MAEKAWA, M., BEAUCHEMIN, K.A. y CHRISTENSEN, D.A. (2002) *J. Dairy Sci.* 85: 1165–1175.
- MAROUNEK, M., BARTOS, S. y BREZINA, P. (1985) *Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.* 53: 50–58.
- MERTENS, D.R. (1997) *J. Dairy Sci.* 80: 1463–1482.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- OFFNER, A., BACH, A. y SAUVANT, D. (2003) *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 81–93.
- PLAIZIER, J.C. (2004) *J. Dairy Sci.* 87: 2495–2505.
- POPPI, D.P., HENDRICKSON, R.E. y MINSON, D.J. (1985) *J. Agric. Sci.* 105: 9–14.
- QIU, X., EASTRIDGE, M.L. y WANG, Z. (2003) *J. Dairy Sci.* 86: 3667–3674.
- SOITA, H.W., CHRISTENSEN, D.A., McKINNON, J.J. y MUSTAFA, A.F. (2002) *Can. J. Anim. Sci.* 82: 207–213.
- SOITA, H.W., CHRISTENSEN, D.A. y McKINNON, J.J. (2003) *Can. J. Anim. Sci.* 83: 533–539.
- STROBEL, H.J. y RUSSELL, J.B. (1986) *J. Dairy Sci.* 69: 2941–2947.
- SVEINBJÖRNSSON, J., MURPHY, M. y UDÉN, P. (2006) *Anim. Feed Sci. Technol.* (en prensa).
- VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B. y LEWIS, B.A. (1991) *J. Dairy Sci.* 74: 3583–3597.
- VOELKER, J.A. y ALLEN, M.S. (2003) *J. Dairy Sci.* 86: 3553–3561.
- WEIDNER, S.J. y GRANT, R.J. (1994) *J. Dairy Sci.* 77: 522–531.
- YANG, Z., BEAUCHEMIN, K.A. y RODE, L.M. (2001) *J. Dairy Sci.* 84: 2709–2720.
- YANG, W.Z. y BEAUCHEMIN, K.A. (2006) *J. Dairy Sci.* 89: 217–228.

FEDONA