

# ALIMENTACIÓN DEL VACUNO DE LECHE:

## 3. TAMAÑO DE PICADO DEL FORRAJE Y FIBRA EFECTIVA

A.B. Rodríguez<sup>1-2</sup>, P. Llorente<sup>3</sup>, S. Andrés<sup>1</sup>, F.J. Giráldez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ganadería de Montaña, CSIC-ULE

<sup>2</sup> Pania Animal S.L.

<sup>3</sup> INATEGA S.L.

Emails:

A.B. Rodríguez (rganabel@gmail.com)

P. Llorente (pablollorente@inatega.com)

S. Andrés (sonia.andres@eae.csic.es)

F.J. Giráldez (j.giraldez@eae.csic.es)

### INTRODUCCIÓN

El forraje es un ingrediente esencial en la alimentación del ganado vacuno de leche. Su inclusión en las raciones es necesaria para lograr un adecuado funcionamiento del tracto digestivo y conseguir que los animales expresen su máximo potencial productivo sin alterar su salud y bienestar.

Los forrajes, no obstante, tienen un contenido de energía limitado y un alto contenido en fibra, por lo que en la ración de vacas de alta producción deben incluirse en la proporción mínima necesaria. Además, con objeto de mejorar la ingestión y la digestibilidad, así como el mezclado con otros ingredientes de la ración – cuando se administra en raciones unifeed – es necesario picar el forraje para disminuir el tamaño de partícula.

No obstante, el tamaño de picado puede condicionar el efecto de la inclusión de forraje, de manera que tanto el exceso como el defecto de picado pueden resultar perjudiciales tanto para la salud de los animales como para su rendimiento productivo.

En este artículo se analiza cómo el tamaño de picado del forraje puede influir en la ingestión, digestibilidad y producción y composición de la leche, así como la diferencia existente entre fibra y fibra efectiva y las recomendaciones actuales para vacuno de leche en lo que se refiere a contenido de fibra efectiva en las raciones.

## ¿EL TAMAÑO DE PICADO DEL FORRAJE INFLUYE EN LA INGESTIÓN, DIGESTIBILIDAD Y EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE?

La respuesta a esta pregunta es sí, en términos generales. No obstante, los resultados en los trabajos científicos son variables porque dependen, entre otros factores, del tipo de forraje, del nivel en el que se haya incluido en la ración, de los tamaños de picado que se comparen y del resto de ingredientes de la ración.

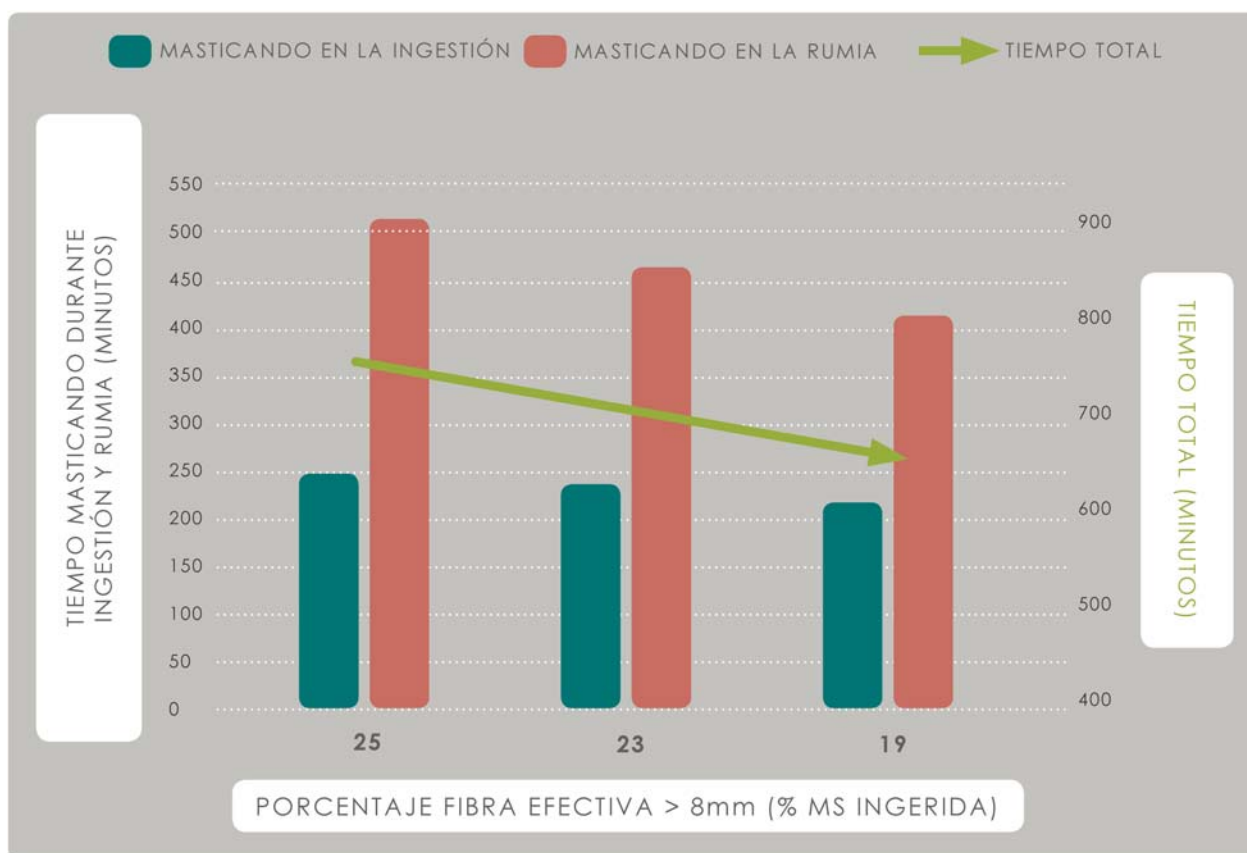
A medida que se reduce el tamaño de partícula del forraje también se acorta el tiempo dedicado a la rumia y el número de masticaciones durante la ingestión y la rumia y ello favorece la ingestión, ya que, por una parte, el animal tiene, más tiempo para dedicar a la ingestión y se reduce el efecto saciante asociado con el número de masticaciones y, por otra, aumenta el ritmo de paso del alimento a través del tracto digestivo.



**FIGURA 1**

A medida que se reduce el tamaño de las partículas se reduce el número de masticaciones, el tiempo de rumia y la producción de saliva y se incrementa el ritmo de paso y la ingestión.

Tal y como se observa en la Figura 2, existe una relación directa entre el tamaño de picado del forraje y el nº de masticaciones, el tiempo de rumia, la producción de saliva y la ingestión, resultados que han sido ratificados por Teimuri Yansari et al. (2004) y Beauchemin y Yang (2005).

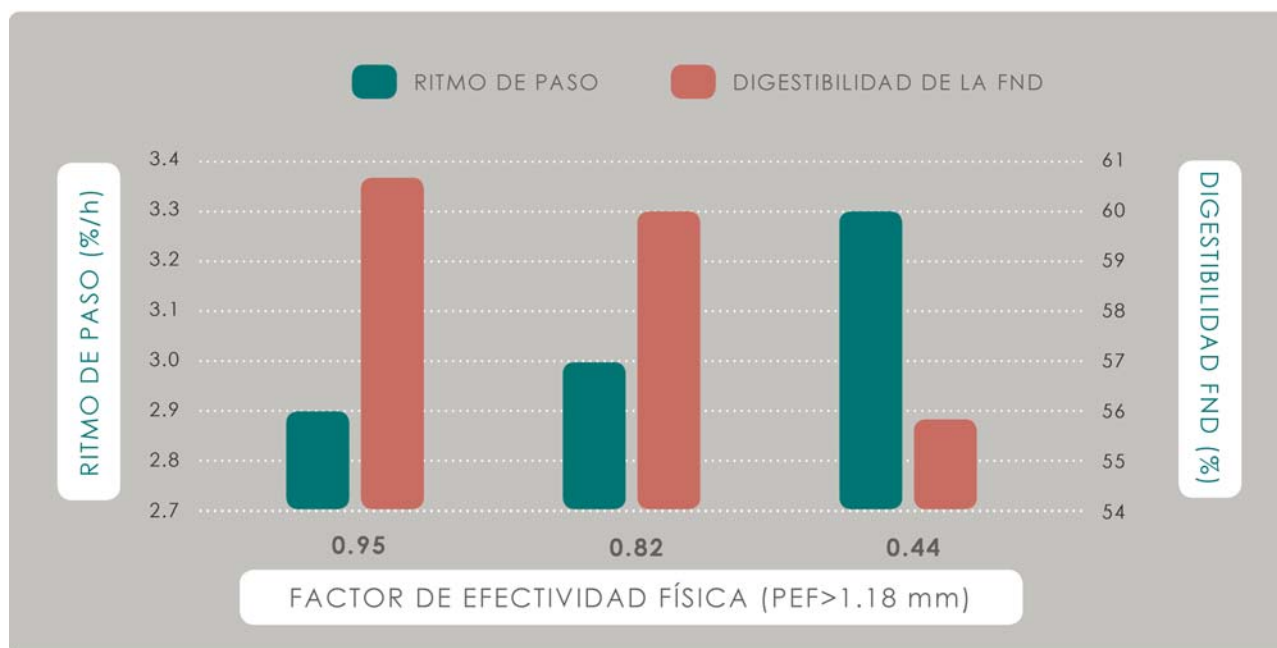


**FIGURA 2**

Al disminuir el porcentaje de fibra efectiva del forraje disminuye el tiempo empleado por los animales en masticar durante la ingestión y durante la rumia, y tiempo total. Elaboración propia a partir de los resultados encontrados por Yang & Beauchemin (2006).

Por otra parte, la mayoría de los autores coinciden en señalar que conforme se reduce el tamaño de las partículas de alimento se incrementa la superficie de acceso a los microorganismos ruminales y, por consiguiente, se aumenta la velocidad de digestión, incrementando la digestibilidad. Sin embargo, si el tamaño de partícula es muy pequeño, el incremento en la velocidad de paso del alimento a través del tracto digestivo hace que las partículas estén un menor tiempo en el rumen y contrarrestará el aumento en el ritmo de digestión y la digestibilidad puede incluso disminuir. Las partículas más pequeñas permanecen menos tiempo en el rumen,

por lo que están menos tiempo disponibles para los microorganismos ruminales y disminuye la digestibilidad, particularmente la de la fibra (Yang & Beauchemin, 2005) (Figura 3).



### FIGURA 3

Efecto del tamaño de las partículas sobre el ritmo de paso y la digestibilidad de la FND. Elaboración propia a partir de los resultados de Teimuri Yansari et al. (2004).

Un tamaño de partícula demasiado pequeño también ha sido asociado con un descenso del pH ruminal y una caída de la relación acético/propiónico. El pH del rumen en condiciones normales se encuentra entre 6.2 y 7 y es resultado del balance entre la producción de ácidos durante la fermentación del alimento en el rumen y los sistemas de amortiguación del pH. Durante la rumia se produce gran cantidad de saliva, que contiene bicarbonatos y fosfatos que neutralizan los ácidos (ácidos grasos volátiles y lactato) producidos en la fermentación de los hidratos de carbono (p.e celulosa, hemicelulosa, almidón).

La rumia y, por tanto, la producción de saliva se estimulan cuando el animal consume alimentos con alto contenido de fibra (fibra bruta o fibra neutro detergente), como los forrajes. Por el contrario, cuando el animal ingiere alimentos concentrados con elevado contenido en carbohidratos fácilmente fermentables como el almidón, disminuye la rumia, la producción de saliva y se incrementa la producción de ácidos, disminuyendo como consecuencia de todo ello el pH del rumen. Además, si el forraje se pica demasiado, la fibra no es efectiva para estimular la

rumia y la producción de saliva, por lo que se incrementan los problemas de acidosis (pH inferiores a 6,2).

La reducción del pH puede tener diferentes efectos perjudiciales, siendo la reducción del contenido de grasa de la leche uno de ellos. Así, por ejemplo, Grant et al. (1990) no encontraron diferencias en la ingestión o la producción de leche entre dietas que contenían alfalfa ensilada con 3 diferentes tamaños de partícula (grueso con 3.1 cm, fino con 2.0 cm y un tamaño intermedio obtenido de la mezcla de ambos tamaños) pero sí en el contenido de grasa de la leche y atribuyeron este efecto a una caída en el pH ruminal en las dietas con la alfalfa más picada. Al disminuir el pH del rumen se altera la producción de ácido acético (precursor de la grasa de la leche) y se modifica la biohidrogenación de los ácidos grasos, apareciendo productos intermediarios que pueden reducir la síntesis de grasa (Yang et al., 2001; Shingfiel et al. 2010).



**FIGURA 4**

Un tamaño de partícula grande o pequeño afecta al número de masticaciones, la producción de saliva y la ingestión de alimento.

En resumen, el tamaño de partícula tiene el potencial de afectar la ingestión de alimento, la digestibilidad y la producción de leche de las vacas lecheras, pero sus efectos dependen del tipo de forraje, nivel de inclusión y el método de conservación de los forrajes utilizados (Narollahi et al., 2015), siendo necesario establecer el tamaño óptimo para lograr los beneficios y evitar los perjuicios que causan tamaños excesivamente grandes o pequeños. En consecuencia, a la hora de formular las raciones para vacuno de leche, es necesario prestar atención no solo al contenido de fibra sino también al tamaño de partícula de los alimentos, para que la fibra aportada sea realmente efectiva.

### **¿QUÉ ES LA FIBRA EFECTIVA?**

El concepto de fibra efectiva surge de la necesidad de establecer las necesidades mínimas de fibra que mantienen un contenido adecuado de grasa en la leche. Mertens (1997) estableció el concepto de fibra físicamente efectiva (peFND), que es el tamaño mínimo que precisan las partículas de un forraje para estimular la secreción de saliva, mantener un pH por encima de 6 y la naturaleza bifásica del contenido ruminal (NRC, 2001), así como la adecuada digestión de la fibra (Yang et al., 2002).

Así, teóricamente, la fibra de cualquier alimento puede ser tan efectiva como la fibra de un forraje, si no se producen cambios en el contenido graso de la leche. No obstante, la FND de los piensos concentrados, cuyos componentes principales son los granos de cereal, es menos efectiva debido a un menor tamaño de partícula, por lo que no proporciona la textura física del forraje para mantener unas condiciones ruminales apropiadas y los niveles de producción de leche.

El término de peFND engloba, por tanto, información sobre la composición química y la distribución de los tamaños de partícula de la ración.

### **¿CÓMO SE MIDE LA FIBRA EFECTIVA?**

Existen en la actualidad diferentes métodos comercializados para determinar de forma cuantitativa la distribución del tamaño de las partículas en las raciones ofertadas al ganado, que básicamente consisten en una serie de tamices dispuestos de forma apilada con tamaño decreciente y variable de poro, de manera que las partículas de la ración, dispuesta inicialmente en el tamiz superior, puedan quedar separadas en los diferentes niveles de acuerdo a su tamaño y siguiendo el procedimiento establecido para su uso. Los métodos se pueden clasificar en métodos en húmedo o en seco.

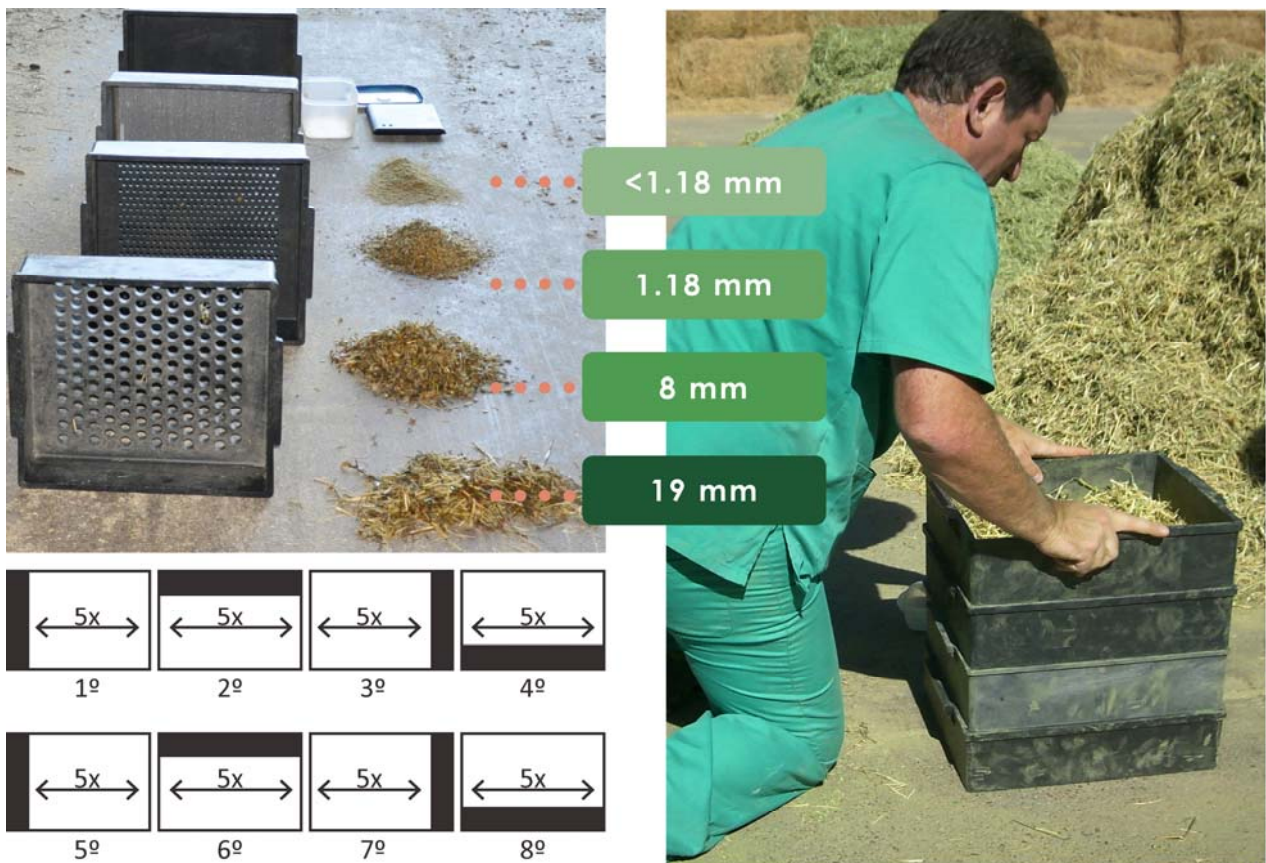
Los métodos en húmedo precisan utilizar agua para desplazar la muestra de un tamiz al siguiente, simulando cómo las partículas del alimento están totalmente saturadas de agua, fluyen a través del canal omasal. Los métodos en seco no utilizan agua y la separación únicamente se realiza mediante la vibración-agitación, horizontal e incluso vertical, de las bandejas con diferente tamaño de criba.

A partir de las cantidades de alimento recogidas en cada una de los tamices, se calcula el factor de efectividad física (pef) como proporción de las partículas retenidas en los distintos tamices o grupos de tamices y la peFND, calculada como el producto del porcentaje de FND del alimento y el pef. La mayoría de los autores coinciden en calcular la fibra efectiva por la cantidad de alimento que atraviesa el cedazo de 8 mm y que es mayor de 1,18 mm.

### **¿QUÉ ES EL MÉTODO DE SEPARACIÓN DE PENNSYLVANIA?**

Existen diferentes métodos y equipos en el mercado pero el más usado es el denominado PSPS (Pennsylvania State TMR and Forage Particle Separator) (Figura 5), diseñado a partir de las investigaciones realizadas por diversos autores (Lammers et al., 1996). Este método se utiliza para separar partículas de raciones unifeed y forrajes e inicialmente consistía en 2 tamices con tamaño de poro 19 y 8 mm y una caja ciega inferior para recoger el alimento de menor tamaño, de manera que las partículas de la ración, dispuesta en el primer cajón, puedan quedar separadas en los dos niveles de acuerdo a su tamaño.

A partir de las investigaciones de Kononoff et al. (2003) se incluyó un tercer cedazo en el PSPS, con un tamaño de 1,18 mm, por ser el tamaño de partícula crítico de permanencia en el rumen en vacas y ovejas (Poppi et al., 1980, 1981). Las partículas de tamaño menor de 1,18 mm no estimulan la rumia, ni mantienen las condiciones apropiadas (Mertens et al., 1986) y abandonan el rumen arrastradas por la fase líquida, que deja el rumen a mayor velocidad. La adición del tamiz de 1,18 mm permite una descripción más precisa de la finura de la muestra y de la longitud media de las partículas. Por último, un cuarto cedazo de 4 mm ha sido introducido recientemente en el PSPS (Heinrichs, 2013).



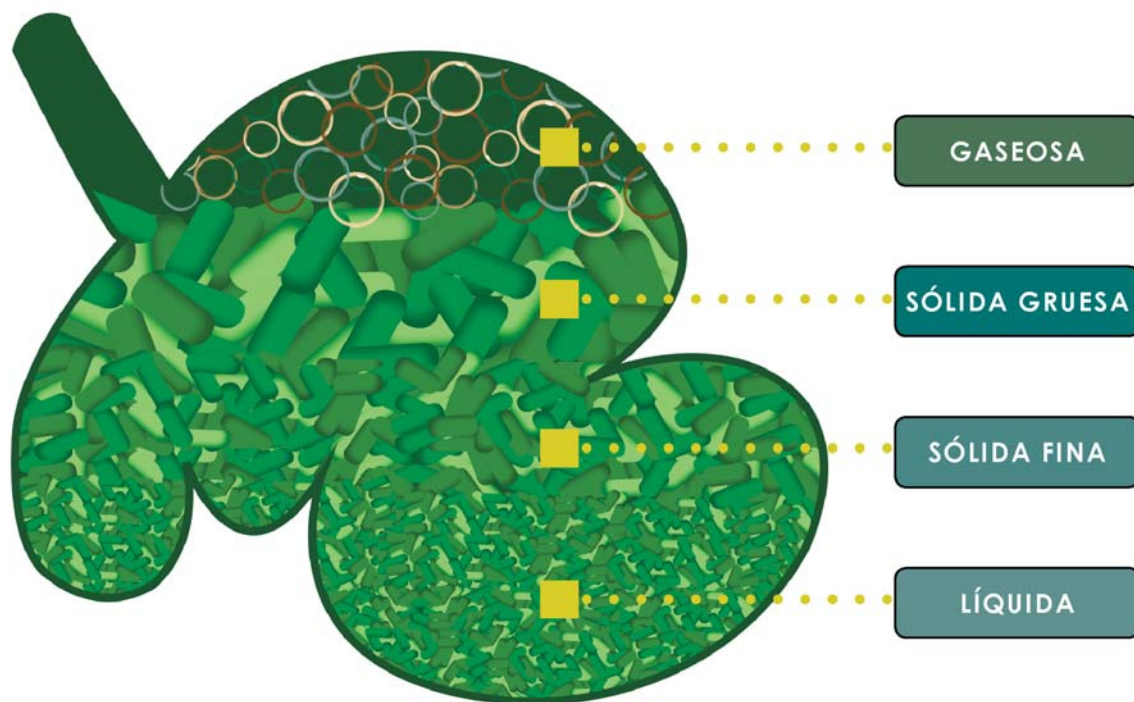
**FIGURA 5**

PSPS, separador de partículas de TMR y forrajes de la Universidad de Pennsylvania, con los tamaños de criba y los movimientos que se precisan realizar para su correcto manejo.

### ¿POR QUÉ USAR CRIBAS CON TAMAÑO DE PASO DE 19, 8, 4 y 1.18 mm?

La elección de los tamaños de los diferentes cedazos obedece a la estructura de estratos en el rumen (Figura 5). El primer tamaño (19 mm) muestra el tamaño de partícula adecuado para estimular la rumia, producir saliva y, por ende, mantener las óptimas condiciones de pH ruminal. El siguiente tamaño (8 mm) recoge principalmente aquellas partículas del alimento que serán parte de la fase sólida del contenido ruminal y que precisarán de unos tiempos de rumia y de hidratación para permitir su degradación microbiana, estos tiempos dependerán de la digestibilidad de esta fracción. Típicamente, la fracción de 4 mm estaría formada por aquellas partículas del alimento, fibrosas o no, que serán atrapadas inicialmente en la fase sólida del rumen, hidratadas con bastante facilidad pero que serán degradadas rápidamente con un pequeño tiempo de rumia y por acción microbiana, y que no tendrán un impacto significativo sobre la capacidad buffer en el rumen.





**FIGURA 6**

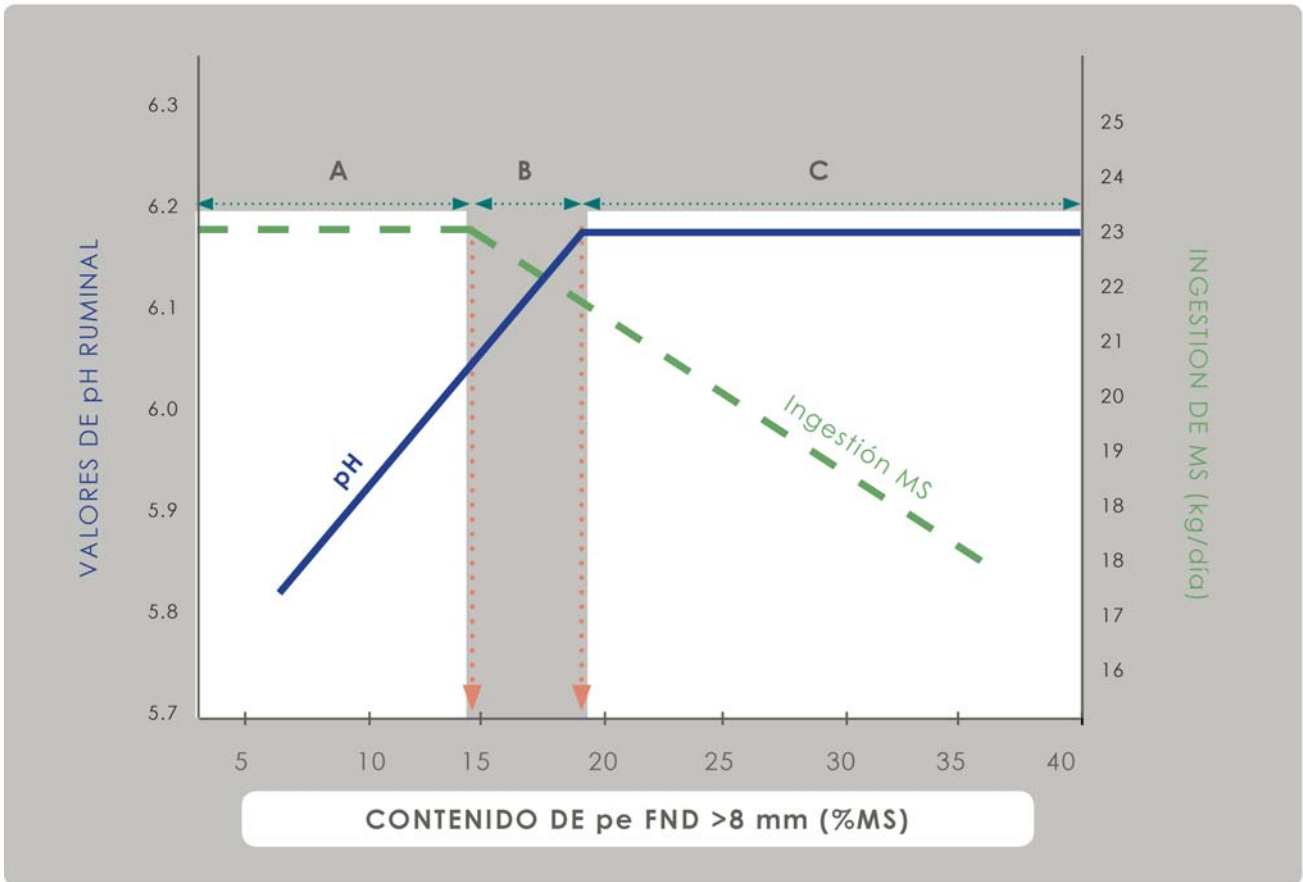
El tamaño de las partículas en digestión en el rumen y los productos de fermentación se disponen en 4 capas diferentes.

En el cuarto cedazo, con un tamaño de 1,18 mm, generalmente aparecerán los cereales y aquéllos componentes con hidratos de carbono fácilmente degradables y que abandonan el rumen en la fracción soluble y que se tomará como referencia para estimar la peFND tanto para ganado ovino como vacuno a niveles de mantenimiento.

### ¿CUÁL ES EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE FIBRA EFECTIVA EN LA RACIÓN?

Zebeli et al. (2010a) estudiaron la respuesta de vacas lecheras a las características químicas y fisiológicas de la dieta a través de modelos matemáticos, con el fin de optimizar las dietas para cubrir las necesidades de fibra efectiva, expresadas como % de peFND > 8 mm (peFND<sub>>8mm</sub>). Para ello utilizaron datos de 64 estudios y 257 dietas diferentes y consideraron el tamaño de 8 mm

como umbral para mantener las condiciones fisiológicas adecuadas de pH ruminal, actividad ruminal y digestión de la fibra.



**FIGURA 7**

Relación entre el contenido de peFND>8mm y la ingestión de materia seca (línea verde) y el pH ruminal (azul). A) Área típica de dietas consumidas por vacas de alta producción en la etapa de lactación temprana, con alta demanda de nutrientes y energía y en riesgo de acidosis. B) Zona de seguridad en riesgo por acidosis aunque más deficiente en ingestión a medida que se incrementa el contenido de peFND>8mm. C) Área típica de las dietas de vacas en las etapas de lactación media y tardía. Elaboración propia a partir del modelo de Zebeli et al. (2010a, 2012).

Los resultados de este trabajo (Figura 8) señalan que, para vacas de alta producción, en la etapa de lactación media y tardía, el contenido mínimo de peFND>8mm debe situarse entre un 17 y un 18.5% para mantener las condiciones ruminales de pH y mantener una ingestión de MS relativamente alta. En la etapa de lactación temprana (< 16 semanas), el % de peFND>8mm debe situarse entre el 14-15%.

Zebeli et al. (2010b) también recomiendan un contenido de peFND>1.18mm de un 30-32% para mantener el pH por encima de 6.2 y evitar el riesgo de acidosis y la depresión de grasa láctea,

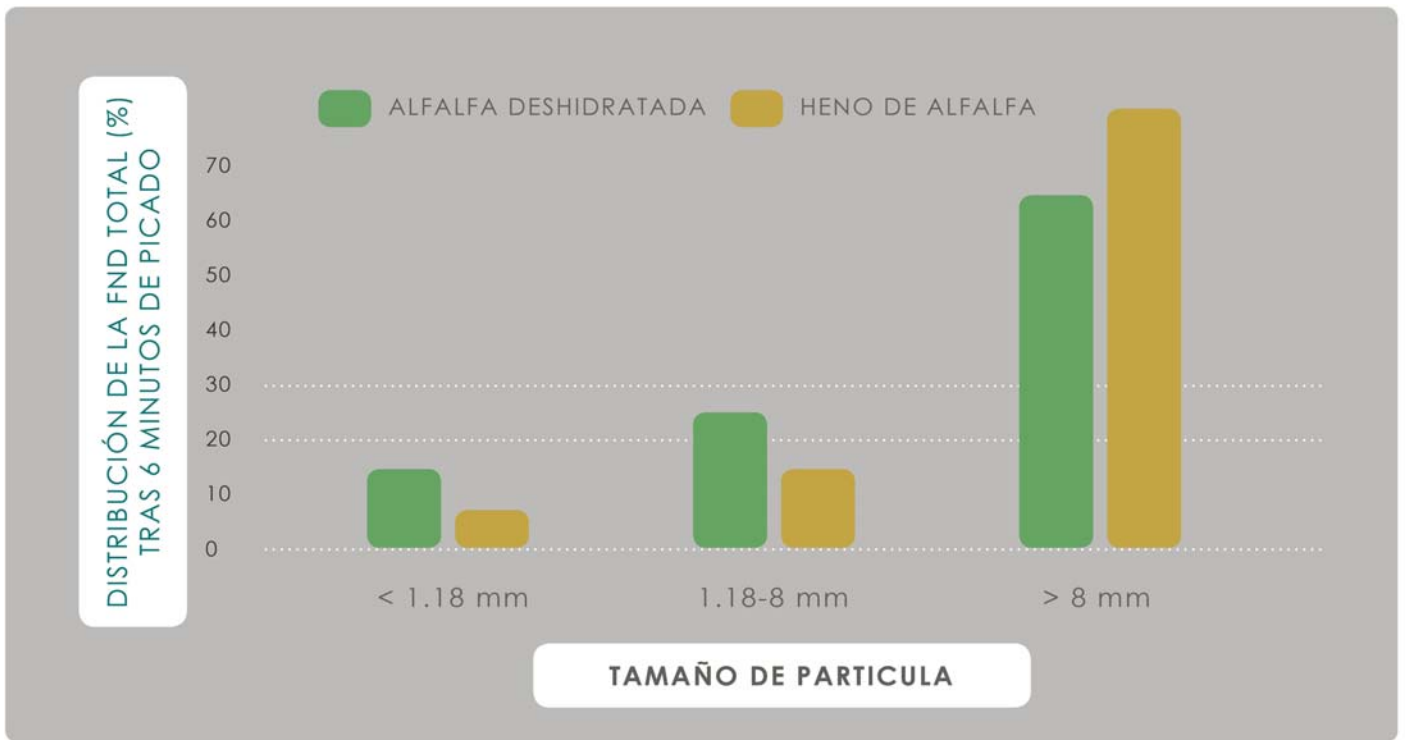
sin tener un efecto perjudicial sobre la ingestión o la producción de leche. Además, sugieren que deben evitarse las dietas que contienen valores de la relación  $\text{peFND}_{>1.18\text{mm}}/\text{almidón degradable}$  en el rumen menores de 1.45. Mertens (1997), por su parte, recomienda un contenido de fibra físicamente efectiva de la ración ( $\text{peFND}_{>1.18\text{mm}}$ ) de un 19.7% para mantener un 3.4% de grasa en la leche y un 30% de  $\text{peFND}_{>1.18\text{mm}}$  para mantener un pH ruminal mayor de 6.

La determinación del porcentaje de fibra efectiva con el método diseñado por la Universidad de Pennsylvania es una herramienta muy útil en condiciones prácticas de explotación y se ha convertido en un referente a nivel mundial para determinar la distribución de las partículas de la ración, por su facilidad de uso, limpieza, bajo coste y rapidez. Su repetibilidad es aceptable, si bien la cantidad de tamaños que se puede manejar es limitada y precisa de manejo manual, por lo que puede inducir a cierto error si el procedimiento de uso varía dependiendo de la fuerza de agitado, velocidad y diferencias individuales (Kononoff et al., 2003).

El concepto de fibra efectiva tampoco tiene en consideración las diferencias entre dietas, tales como la relación forraje/concentrado, la forma de presentación de los cereales, fermentabilidad del almidón del cereal, etc., de los alimentos que componen la ración (p.e. contenido de fibra soluble). Por ello es difícil establecer recomendaciones prácticas de carácter general y las recomendaciones deben ir estableciéndose de acuerdo con la experiencia que se vaya adquiriendo en condiciones particulares.

Un ejemplo claro de ello es la diferente respuesta al picado del forraje durante la preparación de la mezcla unifeed dependiendo del tipo de forraje empleado. Así, por ejemplo, cuando se pica alfalfa deshidratada en un carro unifeed se observa que tras 3 minutos de mezclado hay un 10 % de fibra menor de 1.18 mm y alrededor de un 25 % comprendido entre 1.18 y 8 mm. Sin embargo, cuando se pica heno de alfalfa, tras 3 minutos apenas se ha conseguido reducir el tamaño de partícula, habiendo menos de un 4% de fibra menor de 1.18 mm y un 14% de partículas con tamaños comprendidos entre 1.18 y 8 mm. Es decir, más del 80% del heno tiene fibra de tamaño superior a 8 mm (ver figura 8).

Tras 3 minutos, en el caso de la alfalfa deshidratada se consigue una distribución adecuada de tamaño de partícula, que permitirá una mezcla homogénea de la ración y no limitará la ingestión y aportará el % suficiente de fibra efectiva. Sin embargo, en el caso del heno de alfalfa, será necesario incrementar el tiempo de mezclado porque sigue existiendo un % muy alto de partículas mayores de 8 mm, lo que reducirá la ingestión y no permitirá que se consiga una ración unifeed homogénea.



**FIGURA 8**

Para lograr un tamaño de picado adecuado del forraje se requiere menos tiempo para la alfalfa deshidratada que para el heno de alfalfa. Elaboración a partir de datos propios.

En consecuencia, en el caso de la alfalfa deshidratada será suficiente con un tiempo de picado de 3 minutos y en el caso del heno será necesario utilizar tiempos de picado mayores, consumiendo más tiempo de la mano de obra y de energía (tiempo de funcionamiento del carro mezclador).



**FIGURA 9**

La alfalfa deshidratada precisa menos tiempo de picado y permite elaborar la ración de forma más rápida

## BIBLIOGRAFIA

- Beauchemin, K.A. & Yang, W.Z. (2005). Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*, 88: 2117–2129.
- Grant, R.J., Colenbrander, V.F., Mertens, D.R. (1990). Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. *Journal of Dairy Science*, 73: 1834–1842.
- Heinrichs, J. (2013). The Penn State Particle Separator. DSE 2013-186. [http://extension.psu.edu/animals/dairy/nutrition/forages/forage-quality-physical/separator/extension\\_publication\\_file](http://extension.psu.edu/animals/dairy/nutrition/forages/forage-quality-physical/separator/extension_publication_file)
- Kononoff, P. J., Heinrichs, A.J. (2003). The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 86: 1445-1457.

- Kononoff, P. J., Heinrichs, A.J. and Buckmaster, D. R. (2003). Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science*, 86:1858–1863
- Lammers, B.P., Buckmaster, D.R., Heinrichs, A.J. (1996) A Simple Method for the Analysis of Particle Sizes of Forage and Total Mixed Rations. *Journal of Dairy Science*, 79, 922–928.
- Mertens, D.R. (1986). Effect of physical characteristics, forage particle size and density on forage utilization. *Proceedings of Nutrition Symposium*. American Feed Industry Association: St Louis, MO, pp 91.
- Mertens, D.R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80: 1463-1481.
- Narollahi, S.M., Imani, M., Zebeli, Q. (2015). A meta-analysis and meta-regression of the effect of forage particle size, level, source and preservation method on feed intake, nutrient digestibility, and performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98: 1-14.
- NRC (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th revision. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Poppi, D.P., Minson, D.J., Ternouth., J.H. (1981). Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 3. The retention time in the rumen of large feed particles. *Australian Journal of Agricultural Research*, 32:123-137.
- Poppi, D.P., Norton, B.W., Minson, D.J., Hendricksen, R.E. (1980). The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *Journal of Agricultural Science*, 94: 275-280.
- Shingfield, K.J., Bernard, L., Leroux, C., Chilliard, Y. (2010). Role of trans fatty acids in the nutritional regulation of mammary lipogenesis in ruminants. *Animal*, 4:7:1140-1166
- Teimouri Yansari, A., Valizadeh, R., Naserian, A., Christensen, D.A., Yu, P., Eftekhari Shahroodi, F. (2004). Effects of Alfalfa Particle Size and Specific Gravity on Chewing Activity, Digestibility, and Performance of Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 87: 3912–3924.
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. (2005). Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*, 88:1090–1098.

- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. (2006). Physically effective fiber: Method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89: 2618-2633.
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., Rode, L.M. (2001). Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84: 2203–2216.
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., Rode, L.M. (2002). Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on site and extent of digestion. *Journal of Dairy Science*, 85: 1958-1968.
- Zebeli, Q., Aschenbach, J.R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B.N., Drochner, W. (2012). Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95: 1041-1056.
- Zebeli, Q., Mansmann, D., Ametaj, B.N., Steingass, H., Drochner, W. (2010a). A model to optimise the requirements of lactating dairy cows for physically effective neutral detergent fibre. *Archives of Animal Nutrition*, 64, 265-278.
- Zebeli, Q., Mansmann, D., Steingass, H., Ametaj, B.N. (2010b). Balancing diets for physically effective fibre and ruminally degradable starch: A key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of dairy cattle. *Livestock Science*, 127: 1-10.