

EFFECTO DE LA FDN_{fe} SOBRE EL CMS, EL PH RUMINAL Y LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN CABRAS

DANIELA ESPARZA FLORES

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

Subdirección de Posgrado

**Torreón, Coahuila, México.
Diciembre de 2014.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**EFFECTO DE LA FDN_{fe} SOBRE EL CMS, EL PH
RUMINAL Y LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA
LECHE EN CABRAS**

POR

DANIELA ESPARZA FLORES

Elaborado bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



Dr. Rafael Rodríguez Martínez
Asesor principal



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras
Asesor



Dr. Raúl Villegas Vizcaino
Jefe del Departamento de Posgrado



Dr. Pedro Antonio Robles Trillo
Asesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Posgrado

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2014

Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado durante
estos dos años a través de la beca

Compendio

Efecto de la FDNfe sobre el CMS, el pH ruminal y la producción y composición de la leche en cabras

Por

Daniela Esparza Flores

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

Torreón, Coahuila, Diciembre de 2014

La fibra detergente neutro físicamente efectiva (FDNfe) integra las características físicas de la ración, como el tamaño de partícula y la proporción de forrajes, con la composición química (fibra detergente neutro) para disminuir la incidencia de desórdenes ruminales como la acidosis ruminal subaguda (ARSA). La FDNfe influye en el consumo de materia seca, en la eficacia digestiva, en la estratificación de la digesta y en la formación de la maraña ruminal, en la rumia y en la secreción de saliva que neutraliza los ácidos de la fermentación. Se han realizado varios estudios para determinar el efecto de la FDNfe a nivel ruminal y productivo en las vacas, pero solo hay pocos estudios publicados en caprinos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del contenido de FDNfe de raciones basadas con heno de alfalfa y ensilaje de sorgo

en combinación con dos tamaños de partícula del heno sobre el consumo de materia seca, el pH ruminal y la producción y composición de leche en cabras de la raza Alpina francesa.

Para este experimento, se utilizaron 8 cabras al final de la lactancia y se asignaron a un cuadrado latino 4x4 con un arreglo factorial 2x2. A las cabras se les ofrecieron dietas con dos tamaños del heno de alfalfa (corto y largo) y dos proporciones del heno y de ensilaje de sorgo (50:50 y 75:25) a libre acceso. El consumo de materia seca se determinó durante los 3 días de toma de muestra. Se recolectó líquido ruminal el último día experimental cada 4 horas y se midió inmediatamente el pH del rumen. La producción de leche se midió durante los 3 días de toma de muestras y se tomaron muestras para analizar su composición.

No se detectaron diferencias en el consumo de materia seca. El porcentaje de FDNfe no tuvo efecto sobre el pH ruminal ($P < 0.05$). La proporción de heno y ensilaje no tuvo un efecto sobre la producción de leche; sin embargo, se observó una tendencia a una producción mayor de leche en las cabras que recibieron las dietas con el heno largo ($P = 0.1$), sugiriendo un efecto debido al tamaño de partícula. Ninguno de los tratamientos afectó los porcentajes de grasa y proteína de la leche. Los resultados de este estudio sugieren que la cabra no es tan susceptible al porcentaje de FDNfe en la ración y que el ensilaje de sorgo puede ser una fuente de reemplazo para el heno de alfalfa.

Palabras clave: FDNfe, cabras, consumo de materia seca, pH ruminal, producción de leche.

Summary

**Effect of peNDF on DMI, ruminal pH and milk yield and composition of
dairy goats**

By

Daniela Esparza Flores

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

Torreón, Coahuila, December 2014

Physically effective fiber (peNDF) amalgamate the physical characteristics of rations, like particle size and forage ratio, with the chemical composition (neutral detergent fiber), and this helps to prevent the incidence of ruminal disorders like subacute ruminal acidosis (SARA). peNDF has effect on dry matter intake, digestive efficacy, ruminal mat formation, mastication and saliva secretion which neutralizes the acids produced during the ruminal fermentation. Some research is done to investigate the effect of the peNDF in the rumen and in the productive performance in dairy cows, but there is little information about the effects of peNDF on dairy goats. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the peNDF percentage of rations based in alfalfa hay and sorghum silage

in combination with two particle size of alfalfa hay on dry matter intake, ruminal pH and milk yield and composition of Alpine dairy goats.

For this experiment, 8 goats in final lactation stage were assigned to a 4x4 latin square with a 2x2 factorial design. The goats received 4 rations with two different alfalfa hay particle size (long and short) and 2 alfalfa hay:sorghum silage ratios (50:50 and 75:25). The DMI was determined during the 3 experimental days. Ruminal fluid was collected the last day of the period every 4 h during 24 h and ruminal pH was measured immediately. Milk production was determined during 3 d and milk samples were taken to analyze composition.

No differences were observed in dry matter intake. FDNfe percentage had not affected ruminal pH ($P<0.05$). The Alfalfa hay and sorghum silage ratio didn't affect milk production; however, we observed a tendency to a higher milk yield in goats fed with the long alfalfa hay ($P=0.1$), suggesting an effect due to the particle size. None of the rations affected the contents of milk protein and fat. The results suggest that goats are not as susceptible to the peNDF content in ration as the cows and that sorghum silage can be a good source to replace alfalfa hay.

Keywords: peNDF, goats, dry matter intake, ruminal pH, milk yield

Índice de contenido

Agradecimiento	iv
Compendio	v
Summary	vii
Introducción	10
Revisión de literatura	12
Fibra detergente neutro físicamente efectiva	12
Requerimiento de FDNfe	14
Métodos de medición de la FDNfe	20
Efecto de la FDNfe sobre el consumo de materia seca	26
Efecto de la FDNfe sobre la masticación	28
Efecto de la FDNfe sobre el pH ruminal y la producción de AGV	32
Efecto de la FDNfe sobre la digestibilidad	40
Efecto de la FDNfe sobre la producción y composición de leche	44
Artículo enviado a Journal of Applied Animal Research (en revisión)	49
Literatura citada general	66

Introducción

El uso óptimo de la dieta depende de la composición química y las características físicas de la ración (Mertens, 1997), y son medidas a través de la fibra detergente neutro físicamente efectiva (FDNfe) (Kononoff y Heinrichs, 2003; Krause y Combs, 2003). La FDNfe influye en el consumo de materia seca, en la eficacia digestiva, en la estratificación de la digesta y en la formación de la maraña ruminal, en la rumia, en la secreción de saliva que neutraliza los ácidos de la fermentación, en el pH ruminal previniéndose una acidosis ruminal subaguda y ayuda a crear una condiciones ruminales favorables para el crecimiento de las bacterias (Mertens, 1997; Calberry *et al.*, 2003; Tafaj *et al.*, 2005b; Yang y Beauchemin, 2005; 2009; Zebeli *et al.*, 2006; 2008a; 2009). Zebeli *et al.* (2008) sugirieron que la FDNfe_{1.18} de la dieta con un rango de 30 a 33% podría considerarse óptima para minimizar el riesgo de ARSA en vacas altas productoras. También, varios estudios han indicado que las cabras pueden tolerar una dieta alta en concentrado o baja en fibra efectiva sin causa ARSA como en las vacas. Zhao *et al.* (2011) encontraron que la FDNfe_{1.18} de la dieta arriba del 20% puede prevenir la ARSA en cabras.

Se han realizado varios estudios para determinar los efectos de la FDNfe sobre el pH ruminal (Beauchemin y Yang, 2005; Yang y Beauchemin, 2006b; 2007b), ya que en algunos la FDNfe ha sido un mal indicador del pH ruminal, mientras que en otros sí se ha considerado un buen indicador (Beauchemin y Yang, 2005). En algunos estudios se ha observado que una dieta con una cantidad alta de FDNfe incrementó la masticación y el pH del rumen; mientras que en otras

investigaciones no se observaron efectos sobre el pH ruminal (Yang y Beauchemin, 2006b; 2006c; 2009). Además, también se han observado resultados contradictorios sobre el consumo de materia seca y la producción de leche.

Debido a que las cabras y las vacas difieren en el CMS, peso corporal y comportamiento alimenticio no se puede aplicar el requerimiento de FDNfe de las vacas a las cabras ni se puede extrapolar el conocimiento de los bovinos a los caprinos (Zhao *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2014a). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del contenido de FDNfe de raciones basadas con heno de alfalfa y ensilaje de sorgo en combinación con dos tamaños de partícula del heno sobre el consumo de materia seca, el pH ruminal y la producción y composición de leche en cabras de la raza Alpina francesa.

Revisión de literatura

Fibra detergente neutro físicamente efectiva

Se debe suministrar en la ración una cantidad suficiente de energía y en forma apropiada. La energía proviene de la pared celular de los carbohidratos estructurales y no estructurales (almidón y azúcar), proteína y grasa (VandeHarr y St-Pierre, 2006).

La fibra detergente neutro (FDN) mide la fibra total, mide las características químicas del forraje, pero no las físicas (Mertens, 1997; Teimouri-Yansari et al., 2004). La FDN influye en el consumo, la densidad del alimento, la masticación, la digestibilidad, la tasa de digestión y en la disminución de la digestibilidad asociada con un incremento en el consumo (Mertens, 1997).

Las características físicas, como el tamaño de partícula y la densidad, afectan la salud de la vaca, la fermentación ruminal, el metabolismo, la producción y la grasa en la leche (Mertens, 1997; Teimouri-Yansari et al., 2004).

El uso óptimo de la dieta depende de la composición química y las características físicas de la ración (Mertens, 1997), y son medidas a través de la fibra efectiva (Kononoff y Heinrichs, 2003; Krause y Combs, 2003). El concepto de Fibra detergente neutro físicamente efectiva (FDNfe) incluye el contenido de fibra y el tamaño de partícula (Tafaj et al., 2005b; Yang y Beauchemin, 2007b; 2009; Zebeli et al., 2008a; Arzola-Alvarez et al., 2010) y por eso es más eficiente para predecir las condiciones ruminales (Zebeli et al., 2010). La FDNfe se define como las características físicas de la fibra que influyen en la masticación y la naturaleza

bifásica del contenido ruminal (maraña flotante de partículas largas sobre una de líquido y partículas chicas) (Mertens, 1997).

La fibra efectiva (FDNe) es la que mantiene el porcentaje de grasa en la leche, mientras que la FDNfe es aquella que estimula la masticación y se relaciona al tamaño de partícula (Leonardi *et al.*, 2005). La FDNe es mayor que la FDNfe en los alimentos que mantienen la grasa pero no la masticación (alimentos con grasas). La FDNfe es mayor que la FDNe en los ingredientes que afectan la fermentación y la grasa sin afectar la masticación (alimentos con azúcares). La FDNe es más difícil de determinar por diferencias entre los animales, las condiciones experimentales y los ingredientes de la dieta (Mertens, 1997).

El forraje es un componente importante de las raciones totalmente mezcladas (RTM) al proporcionar la FDNfe para mantener la salud y el funcionamiento del rumen al formular dietas con el tamaño de partícula adecuado previniéndose la acidosis ruminal subaguda (Yang y Beauchemin, 2009; Zebeli *et al.*, 2010).

La efectividad física de un forraje está determinada por el contenido de FDN, el tamaño de partícula, la distribución del tamaño de la fibra, la fragilidad intrínseca, el contenido de humedad, su origen botánico y el procesamiento que se le da, la relación F:C y de la digestibilidad de la materia orgánica (Mertens, 1997; Calberry *et al.*, 2003; Einarson *et al.*, 2004; Plaizier, 2004; Graf *et al.*, 2005; Dohme *et al.*, 2007; Tafaj *et al.*, 2006; 2007; Zebeli *et al.*, 2010). El contenido de FDNfe de las dietas se puede incrementar incorporando una proporción mayor de forraje en la dieta y aumentando el tamaño de partícula de los forrajes (Kahyani *et al.*, 2013).

La FDNfe influye en el consumo de materia seca, en la eficacia digestiva, en la estratificación de la digesta y en la formación de la maraña ruminal, en la rumia,

en la secreción de saliva que neutraliza los ácidos de la fermentación, en el pH ruminal previniéndose una acidosis ruminal subaguda y ayuda a crear una condiciones ruminales favorables para el crecimiento de las bacterias (Mertens, 1997; Calberry *et al.*, 2003; Tafaj *et al.*, 2005b; Yang y Beauchemin, 2005; 2009; Zebeli *et al.*, 2006; 2008a; 2009).

La cantidad adecuada de fibra física es importante para la función ruminal, disminuye el riesgo de desórdenes metabólicos, evita la disminución de la digestión de la fibra, consumo de materia seca y producción de leche, así como las alteraciones en la composición de leche y laminitis (Plaizier, 2004; Yang y Beauchemin, 2006b; Dohme *et al.*, 2007; Arzola-Alvarez *et al.*, 2010; Zebeli *et al.*, 2010).

Una dieta alta en FDNfe puede tener efectos negativos sobre el consumo porque es limitado y se afecta la eficacia alimenticia (Calberry *et al.*, 2003; Asadi-Alamouti *et al.*, 2009). Una dieta baja en fibra efectiva conduce a una masticación menor, por lo tanto hay menos salivación, un pH más bajo, se altera la fermentación, disminuye la proporción acetato:propionato y hay una cantidad menor de grasa en la leche (Mertens, 1997).

Requerimiento de FDNfe

Los requerimientos de FDNfe dependen de la fuente del forraje y del grano ya que varían en su contenido de FDN, en la degradabilidad y capacidad de amortiguamiento en el rumen (Einarson *et al.*, 2004). Las dietas formuladas con un 21% de FDN del forraje sin tomar en cuenta la FDN del concentrado reducen el

CMS, la producción y la grasa de la leche y causan problemas de salud como laminitis, acidosis, cetosis y desplazamiento de abomaso (Arzola-Alvarez *et al.*, 2010).

Es difícil predecir la efectividad para mantener las condiciones ruminales favorables para la fermentación (Graf *et al.*, 2005). Para determinar la eficacia de la fibra es mejor la FDNfe que el contenido de fibra de la dieta. Los carbohidratos que se digieren rápidamente, como el grano de cebada, producen un incremento en el requerimiento de fibra efectiva, lo que demuestra que existe una relación entre la fermentabilidad y el tamaño de partícula, por lo que la respuesta a éste difiere por la cantidad de concentrado de la ración (Zebeli *et al.*, 2007).

A la vaca al inicio de la lactancia se le ofrece una ración con más FDN y FDNfe para minimizar los problemas de salud ruminal como la acidosis ruminal subaguda (ARSA) o el desplazamiento de abomaso (Stone, 2004). La FDN del forraje es un indicador mejor de la FDNfe (Eastridge, 2006). El diseño de la ración y cómo actúa en el rumen es el balance entre la fibra físicamente efectiva y su asociación con el flujo salival y los carbohidratos fermentables en el rumen y los AGV resultantes (Stone, 2004). Para modificar la cantidad de FDNfe en una ración se puede manipular el tamaño de partícula, reemplazar ensilaje de alfalfa con heno cortado o reemplazar el heno con heno cortado y cambiar el concentrado (Plaizier *et al.*, 2009).

El NRC recomienda una cantidad mínima de 19% de FDN proveniente de la alfalfa con un tamaño de partícula adecuado, cuando se ofrece en una RTM y con maíz molido como fuente de energía (Stone, 2004); sin embargo, se desconoce la cantidad óptima de FDNfe en la dieta (Yang y Beauchemin, 2006c) porque el NRC

no tiene publicada una recomendación de los requerimientos de FDNfe (Yang y Beauchemin, 2006a).

Zebeli *et al.* (2010) crearon un modelo, en el cual uno de sus resultados principales fue que el efecto de la FDNfe sobre variables de respuesta diferentes mostró un punto de interrupción al alcanzar un límite; esto es, que la inclusión de la FDNfe por encima del punto de interrupción ya no afectó la respuesta de la variable. Por ejemplo, el descubrimiento de una asociación asintótica similar entre el pH del rumen y el tiempo de rumia con la FDNfe_{>8} por encima de 16.4% a 20.6% en la ración indicó la presencia de límites fisiológicos hasta un punto en que la FDNfe_{>8} ya no pueda mejorar la rumia y el amortiguamiento del rumen en el ganado lactante (Zebeli *et al.*, 2012).

Otra innovación principal de ese modelo fue la descripción matemática de la interacción entre la FDNfe y el almidón fermentable en la dieta. La determinación de la suficiencia de la fibra en la dieta necesita esencialmente tomar en cuenta la cantidad de almidón degradable de los granos cuando se predice la disminución del pH ruminal. Las vacas lecheras pueden tolerar dietas en las que la FDNfe_{>1.18} es más baja que la recomendación de 31.2% dentro de ciertos límites, cuando disminuyen la cantidad de almidón degradable en el rumen contenida en la mezcla de concentrado y el nivel de CMS (Zebeli *et al.*, 2010; 2012).

El ofrecer menos de 14.9% de FDNfe_{>8} resulta en un riesgo inminente de ARSA. Sin embargo, la inclusión de la FDNfe_{>8} por encima de 14.9% puede disminuir el CMS y la producción de las vacas lecheras. El ofrecer una cantidad de FDNfe_{>8} entre 14.8 y 18% podría ser más segura en términos de la protección de la

ocurrencia de ARSA, aunque estas dietas podrían resultar aun en un CMS más bajo (Zebeli *et al.*, 2012).

Las asociaciones contradictorias encontradas entre la FDN_{fe>8} y el pH ruminal versus el CMS enfatizan la dificultad y las limitaciones en suministrar cantidades adecuadas de FDN_{fe} a las vacas altas productoras que tienen demandas altas de energía y nutrientes. Los nutriólogos tienen el reto de formular dietas que garanticen el consumo máximo de energía y alimento para las vacas altas productoras mientras proporcionan cantidades adecuadas de FDN_{fe} para mantener la función ruminal apropiada (Zebeli *et al.*, 2012).

El uso del concepto de FDN_{fe} como un método de rutina para determinar la suficiencia de la fibra en la dieta en las vacas no se ha establecido a pesar de tener algunas ventajas en comparación con otros métodos y al gran volumen de información derivada de la investigación acerca de los efectos fisiológicos de la FDN_{fe} de la ración. La duda para usar el concepto de FDN_{fe} en la nutrición lechera parece basarse en tres limitantes principales:

1. Una limitante son los métodos diferentes que existen para medir la FDN_{fe}, lo que se refiere a la arquitectura de la criba (por ejemplo, el espacio entre hoyos, el grosor del material y la forma del instrumento) y el tamaño de los hoyos de la criba. La mayoría de los datos publicados sobre la FDN_{fe} fueron obtenidos usando el SPPS. Lammers *et al.* (1996) introdujeron el SPPS como un método simple para calcular la FDN_{fe} basado en la suma de la proporción de la MS retenida en las cribas de 19 y 8 mm del SPPS multiplicado por el contenido de FDN de la dieta (FDN_{fe>8}). Más recientemente, el mismo equipo de la Universidad Estatal de Pennsylvania (Kononoff *et al.*, 2003a) introdujo

una criba adicional de 1.18 mm y calculó la FDN_{fe} como la suma de las partículas retenidas en las cribas de 19, 8 y 1.18 mm multiplicado por el contenido de FDN de la dieta (FDN_{fe>1.18}). Sin embargo, aún no está claro si las mediciones diferentes pueden usarse indistintamente o cual medición de FDN_{fe} proporciona la estimación más exacta de las respuestas fisiológicas como la rumia, la producción de saliva, el amortiguamiento ruminal y la prevención de ARSA (Zebeli *et al.*, 2012).

2. Otra limitante se relaciona a la variación debida a diferentes procedimientos de mezclado que se usan para preparar la RTM, lo que plantea un reto para implementar la FDN_{fe} en los programas de balanceo de raciones. En consideración a esto, Heinrichs *et al.* (1999) demostraron que el tamaño de partícula y el contenido de FDN_{fe} de la ración depende fuertemente de otros factores como el tamaño del grano y factores relacionados al procesamiento, mezclado y en la forma de servir la RTM a las vacas. Estos factores pueden servir como una fuente importante de variación y entorpecer la producción de una RTM con el contenido deseado de FDN_{fe}. Se requiere de investigación adicional para estandarizar los métodos de mezclado de la RTM (Zebeli *et al.*, 2012).
3. Otra razón por la que la comunidad científica está reacia a aceptar el concepto de FDN_{fe} es la falta de evidencia fuerte entre la efectividad física de los alimentos y las respuestas digestivas importantes de las vacas como el mantenimiento del pH ruminal, el riesgo de ARSA y la digestión de nutrientes (fibra). Los resultados de las investigaciones en este aspecto no han tenido una conclusión en muchos casos. Por ejemplo, el ofrecer tamaños

de partícula diferentes o cantidades de FDNfe en las raciones afectaron el pH ruminal y la digestibilidad de la fibra en varios experimentos, pero en otros no. Esta discrepancia en los resultados dificulta sacar conclusiones acerca de los efectos de la FDNfe en la nutrición de las vacas lecheras. La composición diferente del concentrado con grano de varios grados de fermentabilidad podría explicar la mayoría de las discrepancias en los resultados reportados por diferentes artículos de investigación. De hecho, el concepto de FDNfe no toma en consideración las diferencias en la fermentabilidad ruminal de los alimentos, y esto limita la habilidad de los investigadores para proporcionar recomendaciones de la FDNfe. Por ejemplo, las respuestas de la dieta podrían ser completamente diferentes cuando se ofrece grano de cebada en lugar de maíz aunque la ración contenga la misma cantidad de FDNfe (Zebeli *et al.*, 2012).

Cuando se define el requerimiento de FDNfe, es importante tomar en cuenta la fracción de la FDNfe incluida. Las mediciones de FDNfe son diferentes cuando se miden como FDNfe_{>1.18} y FDNfe_{>8}, porque el concepto de FDNfe_{>1.18} incluye adicionalmente la fracción de la partícula entre las cribas de 8 mm y 1.18 mm. Las capacidades de predicción de la FDNfe_{>1.18} y la FDNfe_{>8} son similares para algunas variables como el pH del rumen, y este hallazgo sugiere que pueden usarse indistintamente para predecir el riesgo de ARSA. Sin embargo, sus efectos difieren para predecir otras variables fisiológicas como la masticación y la rumia y el nivel de consumo de materia seca, que son pronosticadas mejor por la FDNfe_{>8}. Este descubrimiento concuerda con el hecho que las partículas largas contribuyen mejor a la formación de la maraña ruminal; esto significa, que

la FDNfe_{>8} es un indicador mejor del llenado físico en el retículo y rumen (Zebeli *et al.*, 2012).

Zebeli *et al.* (2008) sugirieron que la FDNfe_{1.18} de la dieta con un rango de 30 a 33% podría considerarse óptima para minimizar el riesgo de ARSA en vacas altas productoras. También, varios estudios han indicado que las cabras pueden tolerar una dieta alta en concentrado o baja en fibra efectiva sin causa ARSA como en las vacas. Zhao *et al.* (2011) encontraron que la FDNfe_{1.18} de la dieta arriba del 20% puede prevenir la ARSA en cabras. Debido a que las cabras y las vacas difieren en el CMS, peso corporal y comportamiento alimenticio no se puede aplicar el requerimiento de FDNfe de las vacas a las cabras.

Métodos de medición de la FDNfe

Se han creado varios sistemas para determinar la cantidad mínima de fibra que deben contener las dietas y éstos predicen la masticación de varios alimentos o la efectividad para mantener la grasa en la leche. Se requiere un método adecuado para medir la fibra efectiva de los alimentos para poder mantener la producción de leche y la salud del rumiante. Uno de estos métodos es la evaluación del tamaño de partícula para identificar la parte de la fibra que es efectiva para estimular la rumia y la producción de saliva (Arzola-Alvarez *et al.*, 2010). Además, la efectividad de un forraje o RTM se puede medir con el porcentaje de grasa en la leche, el pH ruminal y el perfil de ácidos grasos de cadena corta (Krause *et al.*, 2002; Tafaj *et al.*, 2006).

En principio, el análisis del tamaño de partícula de la dieta es tan importante como el análisis de proteína cruda o de otros nutrientes. Las distribuciones del tamaño de partícula y la homogeneidad de las mezclas se pueden evaluar juntas cuando el objetivo es tener una ración mezclada homogéneamente que tendría un efecto positivo sobre el rendimiento productivo de las vacas altas productoras (Arzola-Alvarez *et al.*, 2010).

Se ha propuesto que para determinar las propiedades físicas del forraje se midiera el tiempo de consumo y rumia por unidad de materia seca ingerida (Dohme *et al.*, 2007), la medición de la distribución del tamaño de partícula es otra herramienta para maximizar el CMS y la producción de leche (Arzola-Alvarez *et al.*, 2010).

La FDN_{fe} es un sistema que considera la habilidad del alimento para estimular la masticación en relación al heno de zacate largo con el 100% de FDN (Stone, 2004). La FDN_{fe} es mejor para medir la efectividad física, ya que se basa en la FDN y el tamaño de partícula y afecta la masticación minimizando las variaciones debidas al tamaño del animal y el consumo (Armentano y Taysom, 2005; Mertens, 1997).

Las recomendaciones de FDN_{fe} son difíciles por la cantidad de concentrado, las fuentes de forraje y grano y la respuesta del animal, por lo tanto, el NRC no ha publicado los requerimientos de FDN_{fe} debido a que no existe un método validado (Yang y Beauchemin, 2006c; Zebeli *et al.*, 2006; 2010). Existen varios métodos para medir el tamaño de partícula que varían en el diseño y el número de cribas utilizadas. Entre más cribas se utilicen, el método será más exacto para determinar el tamaño de partícula medio pero será más caro. Las vacas tienden a seleccionar

el alimento y dejar las partículas muy largas, las cuales se determinan con 6 cribas, pero este método no está disponible en las cribas portátiles (Armentano y Taysom, 2005).

El Separador de Partícula de Penn State (SPPS) es un método rápido para medir y expresar la distribución del tamaño de partícula del forraje y la RTM y surgió como una alternativa al estándar S424 y se considera el sistema más práctico y barato que se puede realizar en la granja (Kononoff *et al.*, 2003a; 2003b; Stone, 2004; Beauchemin y Yang, 2005; Bhandari *et al.*, 2007; Zebeli *et al.*, 2010). El SPPS evalúa la selectividad en el consumo, el grado de mezclado y homogeneidad de la RTM, detecta materiales indeseables en la RTM y calcula el contenido de FDNfe en la dieta (Yang y Beauchemin, 2009; Zebeli *et al.*, 2008a; 2010).

El SPPS original consta de 2 cribas de 19 y 8 mm y una base, y un grosor de 12.2 y 6.4 mm (Kononoff *et al.*, 2003a). Al utilizar el SPPS de 2 cribas, del 6-10% de la RTM debería retenerse en la criba superior, del 30-50% en la media y del 40-60% en la base (Yang *et al.*, 2001a). Las RTM contienen del 40-60% de concentrado y la mayoría pasa por la criba de 8 mm. Se han observado diferencias entre los usuarios al utilizar el SPPS de 2 cribas (Kononoff *et al.*, 2003a), por lo que existe otra versión que incluye otra caja con una abertura de 1.18 mm (Stone, 2004), debido a que ese es el tamaño crítico que regula el tiempo de retención en el reticulorumen (Kononoff *et al.*, 2003a).

El tamaño de la criba de 1.18 mm ha sido ampliamente usado como el tamaño en el que las partículas retenidas en o por encima son consideradas físicamente efectivas para las vacas lecheras. Se determinó que 1.18 mm fue el tamaño de partícula límite para las vacas y las ovejas para incrementar la resistencia

de las partículas a que abandonen el rumen. Sin embargo, algunos investigadores han sugerido que el tamaño de partícula crítico para que abandone el rumen en las vacas podría ser mayor de 1.18 mm, pero el determinar esto ha sido difícil (Maulfair *et al.*, 2011).

El concepto de FDNfe es más eficiente para indicar la efectividad física de una dieta y determinar la suficiencia de la fibra en el ganado lechero debido a que incorpora la información del tamaño de partícula y el contenido químico de fibra de la ración. Pero, la determinación de las características físicas de la RTM representadas simplemente por el tamaño de partícula teórico de los forrajes tiene varias fallas (Zebeli *et al.*, 2012). Esto se debe principalmente a las diferencias que existen en los procedimientos para medir y expresar el tamaño de partícula de los forrajes. Para vencer esta dificultad, Lammers *et al.* (1996) y Heinrichs *et al.* (1999) sugirieron el fraccionamiento de la RTM en varias secciones de tamaño de partícula usando el Separador de Partícula de Penn State operado manualmente.

Al utilizar el SPPS se pueden presentar algunas complicaciones. Lo ideal es utilizar un volumen uniforme de alimento, sobre todo en las 2 cribas superiores, ya que una muestra muy grande resultará en una proporción mayor en la criba superior, mientras que una muestra pequeña resultará en una proporción menor. La velocidad y la longitud al agitar las cajas también influye en los resultados, por lo tanto se recomienda una muestra de 1.4 ± 0.5 L, agitada a una velocidad de 1.1 Hz (66 ciclos/min) y una longitud de 17 cm (Stone, 2004), ya que éstos son parámetros importantes para asegurar la medición reproducible del contenido de FDNfe de la RTM sin diferencias en la media geométrica del tamaño de partícula y en la desviación estándar geométrica. En contraste, el contenido de humedad de la

muestra no jugó un papel en los resultados del cribado de la RTM. En general, cuando se determina bajo estas condiciones, la FDNfe parece ser más ventajosa que el tamaño teórico de partícula y ayuda a prevenir la tendencia relacionada a las diferencias en la expresión y medición del tamaño de partícula de los forrajes (Zebeli *et al.*, 2012).

La media geométrica del tamaño de partícula (GMPL) puede ser diferente en los forrajes debido a las proporciones diferentes de partículas muy largas y medianas en una criba de 1.18 mm. La GMPL se puede determinar mediante un sistema portátil con tres cribas y una base o un método de laboratorio de 5 cribas y una base (Leonardi *et al.*, 2005). Existe una relación entre el tamaño de partícula medio y la proporción de las partículas retenidas en las cribas de 9 y 5.6 mm, y Armentano y Taysom (2005) concluyeron que proporciona una descripción física adecuada de la dieta.

Tradicionalmente, la definición de un tamaño de partícula óptimo del forraje para el ganado lechero ha sido difícil de lograr debido a que el tamaño de partícula tiene, parcialmente, dos efectos antagonistas sobre el rendimiento animal. Por una parte, el ofrecer partículas largas de forraje incrementa el contenido de FDNfe en la dieta con efectos positivos sobre la rumia y el amortiguamiento ruminal, disminuyendo así el riesgo de ARSA. Pero por otro lado, el incremento en el tamaño de partícula disminuye la tasa de pasaje de la digesta y puede disminuir la degradación neta de la fibra en el rumen, debido a una disponibilidad menor de la superficie para el ataque microbiano y, por consiguiente, disminuyendo el consumo de alimento y la absorción de nutrientes (Zebeli *et al.*, 2012).

La FDNfe de un alimento se determina multiplicando el factor de efectividad por el contenido de FDN (Mertens, 1997; Stone, 2004; Beauchemin y Yang, 2005; Zebeli *et al.*, 2010). Existen varios métodos para medir el factor de efectividad, sin embargo, dan resultados diferentes (Plaizier *et al.*, 2004). Estos métodos pueden ser: los valores tabulares del tiempo de masticación, la proporción de la materia seca retenida en las cribas de 8 y 19 mm, la materia seca retenida en la criba de 1.18 mm o la proporción de FDN retenida en las cribas de 8 y 19 mm (Yang *et al.*, 2001a; Plaizier *et al.*, 2004; Stone, 2004; Beauchemin y Yang, 2005; Dohme *et al.*, 2007).

Se pueden presentar errores al determinar la FDNfe de una RTM al multiplicar la porcentaje retenido en la criba de 1.18 mm y en las cribas precedentes por el porcentaje de FDN de la RTM debido a que los niveles de FDN pueden diferir entre el material retenido en las cribas y el que pasa a la base. Se requiere realizar más investigaciones del sistema del FDNfe para evaluar, validar y refinar el concepto (Kononoff *et al.*, 2003a; Stone, 2004).

Una suposición del sistema de FDNfe es que todas las partículas retenidas en la criba de 1.18 mm son igual de efectivas estimulando la masticación. Probablemente, las partículas más largas requieren que se mastiquen más y por lo tanto, se sugiere que el uso de dos cribas (1.18 y 3.55 mm) podría ser más apropiado para estimar la relación entre el tamaño de partícula y la masticación (Stone, 2004). El factor de efectividad tiene un valor de 0 cuando la FDN no es efectiva físicamente y de 1 cuando es completamente efectiva para estimular la masticación (Mertens, 1997; Tafaj *et al.*, 2005b; Zebeli *et al.*, 2010).

En conjunto, las limitaciones en la valoración de la suficiencia de la fibra del contenido de FDNfe resultan en parte de métodos diferentes usados para determinar el contenido de FDNfe y del uso de umbrales diferentes de la ARSA para definir el efecto de la FDNfe. Estos problemas se pueden resolver en un futuro haciendo un esfuerzo para lograr la estandarización. Más importante es que la aplicación del concepto de FDNfe para lograr la suficiencia de fibra en la formulación de las dietas depende en mayor parte de la incorporación de la fermentabilidad del grano al concepto de FDNfe (Zebeli *et al.*, 2012).

Efecto de la FDNfe sobre el consumo de materia seca

Las vacas lecheras con un potencial genético alto para la producción de leche requieren raciones altas en energía para cumplir con sus necesidades nutricionales. Tales dietas pueden causar un consumo bajo al inicio de la lactancia, y efectos negativos relacionados con la energía alta y los forrajes cortados finamente presentes en la ración (Arzola-Alvarez *et al.*, 2010).

El consumo de fibra efectiva depende del tamaño de partícula del forraje, de la relación F:C y de la palatabilidad (Yang *et al.*, 2001a; Kowsar *et al.*, 2008).

El CMS determina el consumo de energía que influye en la producción de leche. Se recomienda que la dieta contenga de 25-30% de FDN. Si se excede ese porcentaje se observará una disminución en el consumo de alimento y energía (VandeHarr y St-Pierre, 2006). Sin embargo, las concentraciones de la FDN pueden depender del grano debido a que su fermentabilidad varía según la fuente de grano

y su procesamiento. La FDNfe puede interactuar con la materia orgánica fermentable y el nivel de consumo (Yang y Beauchemin, 2009).

Las dietas bajas en FDN pueden provocar que se acidifique el rumen conduciendo a problemas de salud y una disminución en el CMS (VandeHarr y St-Pierre, 2006). Las dietas con una cantidad alta de FDN llenan el rumen y limitan el CMS porque la fibra se digiere y pasa más lentamente que el almidón (VandeHarr y St-Pierre, 2006).

El incremento de la proporción del forraje puede disminuir el consumo de energía; de este modo, en los hatos comerciales, el contenido de FDNfe de las raciones es obtenido, a veces, sustituyendo una proporción del ensilaje con heno largo. El aumento del tamaño de partícula del heno de alfalfa puede incrementar el CMS, particularmente cuando las dietas son bajas en FDNfe, pero los resultados a veces son inconsistentes dependiendo de las condiciones del experimento. Existe la necesidad de entender mejor los efectos del tamaño de partícula del forraje sobre los aspectos del comportamiento de alimentación (Kahyani *et al.*, 2013). Sin embargo, las dietas que contienen fibra en exceso y poco almidón degradable en el rumen pueden reducir el consumo de alimento y la eficiencia energética (Li *et al.*, 2014b).

El CMS es sensible a la FDNfe de la dieta; cuando disminuye la FDNfe, se incrementan el CMS y la tasa de pasaje. En cambio, la FDNfe en exceso podría reducir el consumo de alimento voluntario debido a las limitaciones físicas del llenado ruminal (Li *et al.*, 2014a) y afecta adversamente la eficacia de uso del alimento (Asadi-Alamouti *et al.*, 2009). Zebeli *et al.* (2008) resumió que el CMS

disminuye ligeramente cuando el contenido de FDNfe^{1.18} de una ración se incrementa de 21.6 a 31.9% (base seca).

Con respecto, a los efectos del tamaño de partícula sobre el consumo de alimento, no existe un consenso claro en la literatura publicada. En algunos estudios, se ha demostrado que el tamaño de partícula corto aumenta el consumo, por lo tanto hay un suministro de energía y nutrientes mayores para las vacas lecheras (Zebeli *et al.*, 2012). Sin embargo, este efecto no se ha observado en otros estudios, confirmando los hallazgos de Allen (2000), quien postuló que el llenado físico del rumen no es un factor consistente que limite el consumo de alimento en las vacas con una producción alta cuando son alimentadas con dietas altas en concentrado (>50% de la MS). En el estudio de Nasrollahi *et al.* (2012), el tamaño de partícula del heno de alfalfa no afectó el CMS, La falta de efecto del tamaño de partícula sobre el CMS se puede explicar porque las vacas estuvieron en la última etapa de lactancia; aunque se ha reportado que el ofrecer un forraje de tamaño largo disminuye el CMS debido al efecto de llenado en el retículo rumen (Tafaj *et al.*, 2007). Allen *et al.* (2009) reportaron que el llenado físico podría limitar el consumo de alimento en las vacas al inicio de la lactancia, cuando son más sensibles a los efectos de llenado debido a que tienen una demanda mayor de energía y nutrientes.

Efecto de la FDNfe sobre la masticación

En los rumiantes, las propiedades físicas de los alimentos afectan el consumo y la masticación, así como la secreción de saliva que tiene un efecto de amortiguamiento en el rumen (Suzuki *et al.*, 2014). La fibra se considera efectiva

cuando puede ser bien digerida en el rumen y para ello se requiere que estimule la rumia, la masticación y la salivación aumentando el pH del rumen (Beauchemin *et al.*, 2008; Kowsar *et al.*, 2008), ya que la capacidad de amortiguamiento del rumen es afectada por el tiempo de masticación, que es determinada, principalmente, por el contenido de FDNfe de la ración (Li *et al.*, 2014b).

Las fuentes de fibra difieren en su capacidad para estimular la masticación debido a sus características físicas y químicas (Plaizier *et al.*, 2009). La FDNfe se relaciona con las características estructurales, el índice de valor forrajero, la estructura física y el índice de fibra (Mertens, 1997). La FDNfe es un indicador mejor de la masticación que del pH y el valor acidogenico del alimento (Plaizier *et al.*, 2009). La masticación se mide en kg/MS y depende de la raza, el tamaño, el nivel de consumo, la fibra y el tamaño de partícula (Mertens, 1997).

El efecto de la fibra sobre la masticación se relaciona con el concentrado y su fermentabilidad, que a su vez depende del contenido y la naturaleza química de los carbohidratos no fibrosos (Tafaj *et al.*, 2005b). Los carbohidratos no fibrosos y los no estructurales no son iguales en muchos alimentos, ya que su diferencia es la pectina, por lo que no pueden considerarse como sinónimos (Mertens, 1997). El consumo de cantidades elevadas de concentrado degradable rápidamente provoca una alteración en la fermentación y que disminuya la digestión de la fibra. La relación de la masticación con la fibra y los carbohidratos no fibrosos se puede confundir con el nivel de consumo (Tafaj *et al.*, 2005b).

La saliva aporta aproximadamente el 50% de los bicarbonatos en el rumen que sirven para amortiguar los ácidos que se producen durante la fermentación (Graf *et al.*, 2005).

La masticación produce los fragmentos de alimento que se encuentran en el rumen para que ocurra la colonización microbiana y la hidrólisis de la FDN potencialmente degradable. La masticación rompe las barreras indigestibles de la superficie y produce fragmentos con mezcla heterogénea de tejidos (Ellis *et al.*, 2005).

Los forrajes varían en la cantidad de FDNfe y en que tanto promueven la masticación (Beauchemin *et al.*, 2008), por ejemplo, se ha observado que la efectividad del ensilaje de maíz es menor que la del ensilaje de zacate para estimular la rumia, pero si se combina con heno largo se mantiene la efectividad física (Courdec *et al.*, 2006); sin embargo, no se han cuantificado los efectos sobre la secreción de saliva (Beauchemin *et al.*, 2008).

Las partículas retenidas en el rumen se consideran efectivas. El tamaño crítico de las partículas se considera es 1.18 mm, ya que las partículas mayores tienen más resistencia a dejar el rumen, lo que se traduce en más masticación y rumia (Teimouri-Yansari *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2006b).

Es difícil predecir la efectividad para la masticación (Graf *et al.*, 2005), ya que los estudios que se han realizado para medir los efectos de la FDNfe sobre el consumo de materia seca y la masticación y han obtenido resultados contradictorios, ya que en algunos la FDNfe ha sido un mal indicador de la masticación, mientras que en otros sí se ha considerado un buen indicador (Beauchemin y Yang, 2005; Yang y Beauchemin, 2006b; 2007b; Zebeli *et al.*, 2007). Una dieta baja en FDNfe causa una disminución en la masticación y la rumia y por lo tanto, de la producción de saliva (Graf *et al.*, 2005). El aumento del tamaño de partícula del heno de alfalfa puede incrementar el tiempo de consumo y de rumia,

particularmente cuando las dietas son bajas en FDNfe, pero los resultados a veces son inconsistentes dependiendo de las condiciones del experimento (Kahyani *et al.*, 2013).

Se ha observado en algunos estudios que el incremento en el consumo de FDNfe aumenta la masticación (Kahyani *et al.*, 2013), sin embargo, en otros estudios se observó poca relación entre la FDNfe y la masticación. El efecto de incrementar la FDNfe sobre la masticación depende de cómo se dé ese aumento. La FDNfe se puede incrementar aumentando la cantidad de forraje en la ración dándose un consumo de materia orgánica fermentable y de partículas largas o mediante el aumento del tamaño de partícula que conlleva un consumo de partículas largas (Yang y Beauchemin, 2009). Además, la alteración de la naturaleza física de la fibra del forraje puede reducir el estímulo de la rumia y el flujo de saliva (Arzola-Alvarez *et al.*, 2010).

Mertens (1997) reportó que no todas las fuentes de FDN forrajera, con el mismo tamaño de partícula, estimulan igual la masticación. Por ejemplo, la paja de avena estimuló más la masticación por kg de FDN que los henos de leguminosas y de pastos. En base a esta diferencia en la masticación, es posible que reemplazando una porción del forraje de pasto o de leguminosa con paja se pueda mantener la masticación mientras se reduce la proporción total del forraje en la dieta (Farmer *et al.*, 2014).

Efecto de la FDNfe sobre el pH ruminal y la producción de AGV

Los factores químicos, como la concentración de FDN, y los físicos, como el tamaño de partícula, afectan la fermentación en el rumen y en consecuencia la producción y la composición de leche (Leonardi y Armentano, 2003). La FDN de la dieta es importante en la formulación de la ración porque se asocia a los forrajes y tiende a tener efectos positivos sobre el pH y porque su nivel se relaciona inversamente con los carbohidratos no fibrosos fermentables. La FDN de la dieta, por sí sola no tiene relación importante con el pH, tal vez por la variación en la fermentabilidad ruminal y en el tamaño de partícula que existe en los forrajes (Stone, 2004).

El término FDNfe es usado en la formulación de raciones para proporcionar fibra de un tamaño de partícula adecuado para reducir la acidosis (Arzola-Alvarez *et al.*, 2010). El tamaño de partícula es el factor principal que determina la cantidad y la función de la FDNfe para estimular la masticación y la secreción de saliva y neutralizar los ácidos producidos durante la fermentación y lograr mantener el pH dentro del rango óptimo. Los procesos que siguen son críticos para la neutralización de los ácidos de la fermentación para mantener el pH ruminal óptimo (Asadi-Alamouti *et al.*, 2009). Éstos ácidos pueden causar que el pH ruminal caiga por debajo de 5.8 por más de 5.24 h/d produciéndose una acidosis ruminal subaguda (Graf *et al.*, 2005), especialmente si las vacas tienen una producción alta de leche, comprometiéndose la eficacia de la fermentación ruminal, la digestión de la fibra y el uso de los nutrientes (Farmer *et al.*, 2014). Por su parte, Gozho *et al.* (2005) definieron ARSA cuando el pH ruminal por debajo de 5.6 excede 3 h/d.

La acidosis ruminal subaguda es un desorden digestivo común en los rumiantes lecheros y afecta la función del rumen y el rendimiento lechero. Comúnmente, la ARSA es causada por un pH ruminal indeseable, que se debe al consumo excesivo de carbohidratos no estructurales y el consumo inadecuado de fibra. Generalmente, la ARSA inducida experimentalmente se logra reduciendo la FDNfe de la dieta o incrementando el almidón degradable en el rumen. Por lo tanto, es necesario proporcionar un contenido óptimo de FDNfe y de almidón degradable en el rumen para asegurar la salud del rumen y la eficiencia alta (Li *et al.*, 2014b). La ARSA puede desencadenarse por cantidades altas de carbohidratos fermentables rápidamente y por FDNfe insuficiente en las raciones (Li *et al.*, 2014a). Las vacas alimentadas con >45% de concentrado tienen un pH ruminal de 6.6 antes de la alimentación matutina y de 5.3 a 5.0 durante las fases intensivas de la fermentación, con un promedio de 6.0 o 6.1. El diagnóstico de ARSA es cuestión de criterio del médico veterinario, ya que investigadores diferentes consideran la ARSA con un pH de 5.6, otros de 5.8 y otros de 6. (Zebeli *et al.*, 2008a).

La acidosis ruminal subaguda ocurre cuando el pH baja y las bacterias del rumen no pueden digerir la fibra y se debe a una acumulación de los AGV por dietas que tengan un contenido alto en carbohidratos fermentables y forrajes con una FDNfe baja (Yang y Beauchemin, 2006a; 2007b). Las consecuencias que un animal que sufra ARSA incluyen la disminución en la digestión de la fibra, un consumo de materia seca inconsistente, diarrea, menos grasa en la leche y laminitis (Graf *et al.*, 2005; Yang y Beauchemin, 2006a).

El consumo alto de concentrado y de materia seca, y por lo tanto, también alto en carbohidratos fermentables puede provocar un incremento en los ácidos

grasos de cadena corta y una baja en el pH ruminal estimulando la actividad de los organismos no celulolíticos e inhibiendo a los celulolíticos para así disminuir la producción de acetato, aumentar la de propionato, para finalmente afectar la grasa en la leche disminuyéndola y la proteína incrementándola (Tafaj *et al.*, 2006; 2007).

La ARSA puede reducir el crecimiento de las bacterias celulolíticas y puede causar una disminución en la grasa de la leche. En base a este criterio, Li *et al.* (2014a) no encontraron evidencia que las cabras que usaron en su experimento hayan manifestado ARSA cuando las cabras recibieron una dieta baja en FDNfe, aunque el tiempo que estuvo el pH ruminal por debajo de 5.6 fue mayor de 3 h/d en este tratamiento. El pH ruminal medio no fue afectado cuando se redujo el tamaño de partícula del heno de alfalfa.

Varios factores afectan la concentración ruminal de AGV, incluyendo el consumo de carbohidratos fermentables, la tasa de pasaje del contenido ruminal y la capacidad de absorción del epitelio del rumen (Li *et al.*, 2014a). La fermentación de los alimentos por los microorganismos del rumen produce AGV y a veces ácido láctico. El pH ruminal caerá cuando los AGV o el ácido láctico se acumulen en el rumen. Para prevenir esta caída en el pH relacionada a la producción de ácidos en el rumen y ácidos ingeridos con el alimento, los ácidos deben ser removidos del rumen o amortiguados. Los AGV son removidos del rumen por el paso en la fase líquida y por absorción a través de la pared ruminal. Los ácidos acumulados en el rumen también pueden ser amortiguados, hasta cierto punto, por el bicarbonato secretado en la saliva y enviado hacia el rumen junto con algunas características de la dieta que pueden resultar en una actividad amortiguadora, como la adición de amortiguadores a la ración (Dijkstra *et al.*, 2012).

El ácido butírico es una fuente de combustible más importante para el epitelio del rumen que los ácidos acético y propionico y ejerce efectos mitóticos sobre el epitelio ruminal que pueden ayudar a estimular la remoción del ácido del rumen a través de la pared ruminal. Por lo tanto, las condiciones que estimulen la formación de ácido butírico, más que acético o propionico, en la pared ruminal podría resultar en la formación de una cantidad relativamente baja de ácido y podría ayudar a prevenir los valores bajos del pH (Dijkstra *et al.*, 2012).

Las partículas largas en la dieta afectan la estratificación de la digesta en el rumen y promueven la rumia y la secreción de saliva, que ayudan a amortiguar los ácidos resultantes de la fermentación del alimento. Por consiguiente, la cantidad de fibra en la dieta y el tamaño de partícula de los forrajes (FDNfe en combinación) pueden tener un impacto significativo en el pH ruminal a través del suministro de amortiguadores de la saliva. El efecto de la FDNfe se debe a la masticación y la rumia, el tamaño de la ración, la motilidad ruminal y cambios en el sitio de la digestión del grano (Dijkstra *et al.*, 2012). Los efectos del tamaño de partícula de la dieta sobre la fermentación ruminal pueden derivar del cambio del conteo de las principales bacterias celulolíticas (Valizadeh *et al.*, 2010). Una reducción en el tamaño de partícula del forraje puede disminuir la producción de AGV porque la tasa de paso de la partícula del rumen se incrementa. La reducción del tamaño de partícula del forraje también puede incrementar la digestibilidad del forraje y la producción de AGV debido al aumento del área de la superficie disponible para la unión microbiana (Li *et al.*, 2014a). En los caprinos, los requerimientos de energía son satisfechos por los AGV de manera similar que en los no rumiantes, en el sentido en que una cantidad mayor de alimento abandona el rumen sin haber sufrido

cambios para su digestión en el abomaso o el intestino delgado (Sanz-Sampelayo *et al.*, 2007).

El problema con el término de FDNfe es que no considera las diferencias en la fermentabilidad ruminal de los sustratos no fibrosos ni la cinética de la degradación del almidón resultando en un pH ruminal inconsistente con la FDNfe de la dieta haciendo difícil cuantificar los efectos de la fibra efectiva sobre la fermentación y el rendimiento (Dijkstra *et al.*, 2012; Zebeli *et al.*, 2008a; 2010). La cantidad de FDNfe puede interactuar con los carbohidratos fermentables y el nivel de consumo pudiendo modificar la fermentación (Zebeli *et al.*, 2008a).

La dificultad para determinar los requerimientos de FDNfe se puede relacionar, en parte, a la interpretación de la respuesta del pH ruminal y sus efectos sobre la degradación de la fibra o el desarrollo de ARSA (Zebeli *et al.*, 2008a). La cantidad óptima de FDNfe para mantener una función ruminal normal depende de las características de fermentación de la dieta (Zebeli *et al.*, 2010).

La complejidad de las interacciones entre el consumo de alimento, el tipo de forraje, la alimentación del concentrado y la degradabilidad ruminal de los ingredientes así como la incertidumbre para definir la respuesta del pH ruminal hace difícil caracterizar cuantitativamente los efectos de la FDNfe sobre la fermentación ruminal y la prevención de ARSA. Estos factores también dificultan las recomendaciones sobre los niveles óptimos de FDNfe en la ración para las vacas lecheras (Zebeli *et al.*, 2008a).

Algunos estudios han demostrado que el cortar el forraje a un tamaño de 4 a 6 mm afecta de manera adversa la rumia y la fermentación ruminal cuando las dietas contienen cantidades relativamente altas de concentrado (50 a 60% de MS)

(Teimoury-Yansari *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2007; Zebeli *et al.*, 2008b; 2008c; Alamouti *et al.*, 2009).

El aumento de la FDNfe en las dietas resulta en un incremento en la masticación y en el pH ruminal (Valizadeh *et al.*, 2010). El pH del rumen es determinado por la concentración total de AGV y la capacidad de amortiguamiento del líquido ruminal (Li *et al.*, 2014a). Sin embargo, la relación del pH con la FDNfe se ve afectada por varios factores del animal o de la dieta como la fuente de forraje, la fuente de concentrado, el valor acidogénico, la frecuencia en la alimentación y la inclusión de amortiguadores inorgánicos (Plaizier *et al.*, 2009). Para mantener el pH ruminal en 6.0 existe un requerimiento mayor de FDNfe que para mantener la grasa de la leche en 3.4%, por lo tanto, es difícil determinar el requerimiento de fibra (Mertens, 1997). Zebeli *et al.* (2006) determinaron que el requerimiento de FDNfe > 1.18 de las vacas con una producción de leche alta y alimentadas con una RTM a libre acceso es del 19% de la MS de la ración para mantener el pH del rumen en 6.0, mientras que para Mertens (1997) fue de 22% de MS de la ración. Zebeli *et al.* (2010) concluyeron que la ración para vacas debe contener entre el 30 al 32% de FDNfe > 1.18 para mantener el pH del rumen en 6.2 y disminuir el riesgo que se presente una ARSA, prevenir un porcentaje menor de grasa en la leche y para que no se presenten efectos negativos sobre el CMS y la producción.

Un grado de variabilidad alto en la predicción del pH ruminal de la FDNfe permanece y es causada por muchas otras variables no controladas que afectan el pH ruminal, especialmente el nivel de almidón y la fermentabilidad (Dijkstra *et al.*, 2012). Usando un meta-análisis, Zebeli *et al.* (2008) mostraron que un incremento en la FDNfe de más de 310 g/kg de la MS de la dieta eleva el pH ruminal en el

ganado lechero a un valor de 6.27, el cual se estancó ya que no se observó un incremento posterior. Sin embargo, la concentración de la FDNfe requerida para estabilizar el pH ruminal varió. Kahyani *et al.*, (2013) consideraron que, a veces, los resultados son inconsistentes dependiendo de las condiciones del experimento. Existe la necesidad de entender mejor los efectos del tamaño de partícula del forraje sobre los aspectos del comportamiento de alimentación y otros indicadores de la función ruminal saludable, ya que no siempre es posible la medición del pH ruminal en animales intactos (Kahyani *et al.*, 2013). En el caso de las cabras, El estudio de Zhao *et al.* (2011) indicó que una dieta que contuviera 200g/kg de FDNfe^{1.18} podría evitar la aparición de ARSA en las cabras no lactantes.

Generalmente, el uso de heno con un tamaño de partícula largo en las dietas de los rumiantes incrementa el contenido de FDNfe, resultando en un aumento en la masticación y pH ruminal (Behgar *et al.*, 2011), pero las dietas bajas en forraje con un tamaño largo no logran aliviar completamente la acidosis subaguda debido a que la fermentabilidad de la dieta es alta y los cambios en la masticación son marginales (Yang y Beauchemin, 2007). Behgar *et al.* (2011) observaron, en vacas, que el tamaño largo del heno de alfalfa aumentó el valor del pH del rumen 4 horas después de la alimentación, el pH medio 4 horas después de la alimentación fue 6.37 en el heno largo y 6.18 en el corto. Por su parte, Nasrollahi *et al.* (2012) observaron que tres horas después de la alimentación, las vacas alimentadas con el heno de tamaño largo tuvieron un pH ruminal más alto que las que recibieron el heno fino (6.46 vs 6.26). Seis horas después de la alimentación, el tamaño de partícula no afectó el pH del rumen. El efecto del tamaño de partícula del forraje sobre el pH ruminal poco después de la alimentación matutina se puede explicar

por cantidades mayores de FDN_{fe>8} en la dieta y en su consumo, lo que resulta en efectos positivos sobre el tiempo de consumo y el flujo de saliva que se necesita para neutralizar los ácidos de la fermentación poco después de la alimentación (Nasrollahi *et al.*, 2012).

Debido a que el CMS se incrementa cuando disminuye la FDN_{fe} de la dieta en cierto rango (FDN_{fe8.0} > 14.9%), a veces, los cambios en el pH ruminal debidos a la FDN_{fe} son confundidos con consumos diferentes de materia orgánica fermentable, lo que afecta la producción de AGV en el rumen. Por lo tanto, los estudios deben determinar si la reducción en el pH del rumen observada cuando se ofrece una dieta baja en FDN_{fe} es el resultado de la reducción en la capacidad de amortiguamiento por una disminución en el tiempo de masticación o por un incremento en el consumo de carbohidratos fermentables (Li *et al.*, 2014a).

Por último, la interpretación de la respuesta del pH ruminal y sus efectos sobre la degradación de la fibra o el desarrollo de ARSA es un tema controversial. No se ha definido apropiadamente el umbral dejado del cual se desarrolla ARSA, ya que los investigadores han usado valores diferentes como 5.6, 5.8 y 6.0. Además, la complejidad de las interacciones entre el consumo de alimento, el tipo de grano, la cantidad de concentrado ofrecido y la degradabilidad ruminal de diferentes alimentos, así como la incertidumbre para definir la respuesta del pH ruminal hacen difícil describir cuantitativamente los efectos de la FDN_{fe} sobre la fermentación ruminal y la prevención de ARSA (Zebeli *et al.*, 2012).

Se han realizado varios estudios para determinar los efectos de la FDN_{fe} sobre el pH ruminal (Beauchemin y Yang, 2005; Yang y Beauchemin, 2006b; 2007b), ya que en algunos la FDN_{fe} ha sido un mal indicador del pH ruminal,

mientras que en otros sí se ha considerado un buen indicador (Beauchemin y Yang, 2005). En algunos estudios se ha observado que una dieta con una cantidad alta de FDNfe incrementó la masticación y el pH del rumen; mientras que en otras investigaciones no se observaron efectos sobre el pH ruminal (Yang y Beauchemin, 2006b; 2006c; 2009).

Yang y Beauchemin (2007) observaron que el consumo de FDNfe es un buen indicador del pH ruminal y concluyeron que el incremento en la proporción del forraje en la ración incrementa la masticación, cambia los patrones alimenticios y disminuye la producción de ácido en el rumen ayudando a prevenir la acidosis. En otras investigaciones, se observó que al ofrecer dietas con carbohidratos muy fermentables el consumo de fibra físicamente efectiva aumentaba y sí se incrementaba la masticación, pero no hubo ningún efecto sobre el pH ruminal.

Efecto de la FDNfe sobre la digestibilidad

El tamaño de partícula del forraje es considerado como un determinante clave de la efectividad física de las raciones de las vacas lecheras, ya que promueve la estratificación de la digesta en el reticulorumen, lo que afecta positivamente las actividades de consumo y rumia, así como el amortiguamiento ruminal. Todos estos procedimientos son críticos para mantener la función ruminal correcta, optimizar la digestión, el consumo de alimento y el uso de los nutrientes (Nasrollahi *et al.*, 2012).

La eficacia metabólica depende de que el pH ruminal se mantenga en un rango óptimo y así evitar una deficiencia en la digestión de la fibra y en la síntesis de proteína microbiana (Krause *et al.*, 2002; Asadi-Alamouti *et al.*, 2009).

Los carbohidratos fermentables en el rumen producen una síntesis de proteína microbiana mayor pero incrementan el riesgo de ARSA (Krause *et al.*, 2002; Krause y Combs, 2003). Zebeli *et al.* (2008) idearon un modelo en el cual demostraron que las interacciones entre la fermentabilidad del grano y el tamaño de partícula del forraje o la FDNfe son importantes para predecir la función del rumen, el riesgo de ARSA, la digestión de la fibra y el rendimiento productivo.

Se han realizado varios estudios para determinar los efectos de la FDNfe sobre la digestibilidad pero no se ha llegado a una conclusión porque se han obtenido resultados diferentes (Beauchemin y Yang, 2005; Yang y Beauchemin, 2006b; 2007b). En algunos estudios se ha observado que una dieta con una cantidad alta de FDNfe mejoró la digestibilidad; mientras que en otras investigaciones no se observaron efectos sobre la digestibilidad o efectos negativos sobre la digestibilidad (Yang y Beauchemin, 2006b; 2006c; 2009).

En algunas investigaciones se ha observado que si se eleva la fibra digestible del heno o del ensilaje de maíz se dará un aumento en la estratificación de la digesta, en el rompimiento de la partícula en el rumen, en el consumo de forraje y la digestibilidad de la fibra sin que se afecte su efectividad (Zebeli *et al.*, 2006).

La digestibilidad de los forrajes se estudia mediante pruebas *in vitro*, pero en estas pruebas los forrajes se pican antes de fermentarse, por lo que no se observa el efecto de la forma física del ensilaje de maíz. Los efectos de las características físicas del ensilaje de maíz no siempre se reflejan en los métodos *in vitro* estándar (Ferreira y Mertens, 2005).

A pesar de la importancia fisiológica documentada del tamaño de partícula, la investigación ha demostrado que los efectos del tamaño de partícula del forraje

dependen, también, de las características de degradación de la dieta. Varias líneas de evidencia indican que aun usando el mismo tamaño de partícula del forraje, las respuestas fisiológicas obtenidas son diferentes cuando las dietas contienen grano de cebada o de maíz. Comparado con el maíz, el grano de cebada es un cereal que se caracteriza por una fermentación más rápida en el rumen y esto incrementa los requerimientos de forraje de tamaño largo en la ración para prevenir los desórdenes ruminales (Nasrollahi *et al.*, 2012).

El aumento de la FDNfe en las dietas resulta en una mejora en la digestibilidad de nutrientes en el tracto y la síntesis de proteína microbiana en las vacas lactantes (Valizadeh *et al.*, 2010). Generalmente, el uso de heno con un tamaño de partícula largo en las dietas de los rumiantes mejora la digestibilidad total de nutrientes en el tracto (Behgar *et al.*, 2011).

Aunque hay muchos datos disponibles sobre los efectos del tamaño de partícula de la dieta y la FDNfe sobre la producción de leche, la masticación y las condiciones del rumen de las vacas; sin embargo, se han encontrado pocos reportes acerca del efecto de estos factores físicos sobre la población microbiana ruminal. Además, se conoce poco acerca de si el tamaño de partícula de la dieta o el tiempo después de la alimentación afecta este tamaño de partícula crítico para el pasaje del rumen (Maulfair *et al.*, 2011) y existe alguna controversia en relación con el efecto del tamaño de partícula de la ración con la digestibilidad de la materia seca (Maulfair *et al.*, 2011).

Aunque los efectos del tamaño de partícula del forraje sobre los procesos digestivos en las vacas lecheras han sido investigados ampliamente, la mayoría de esos estudios han utilizado solo una fuente de forraje, principalmente ensilajes con

un contenido de fibra relativamente bajo (23-32% de la FDN en base seca). En un meta-análisis, Tafaj *et al.* (2007) concluyó que los efectos digestivos del tamaño de partícula deben considerarse en relación la FDN del forraje en la dieta. Zebeli *et al.* (2008) concluyeron que incrementado la fracción de las partículas entre 8 y 19 mm, y probablemente la fracción <8 mm, disminuyendo las longitudes teóricas de partícula del ensilaje de zacate no se afectan adversamente las condiciones del rumen y pueden ser benéficas en términos de optimizar la concentración y la actividad de la microbiota ruminal en las vacas altas productoras. Los resultados de Nasrollahi *et al.* (2012) sugieren que el proporcionar heno de alfalfa largo es más importante en las dietas con almidón degradable rápidamente, como el grano de cebada, que en las dietas con almidón que se degrada gradualmente.

Los estudios también han demostrado que una disminución en el pH ruminal contribuye, en gran medida, a la depresión en la degradación de la fibra y la eficiencia alimenticia en las vacas. Además, los estudios microbiológicos han demostrado que el corte fino y molido de los forrajes en la dieta modula los conteos de la microbiota celulolítica y su actividad en la digesta ruminal *in vivo* e *in vitro* (Zebeli *et al.*, 2012). Por otra parte, se ha observado que una disminución moderada del tamaño de partícula de los forrajes a aproximadamente 10 a 15 mm promueve la degradación ruminal, probablemente debido a un incremento en la superficie disponible para la unión de las bacterias fibrolíticas ruminales y protozoarios, sin que se afecte negativamente la actividad celulolítica y otros procesos de la fermentación en el rumen (Zebeli *et al.*, 2012).

En las cabras, se ha realizado poca investigación en comparación con otras especies respecto a la digestibilidad, la fermentación y la síntesis de proteína microbiana con forrajes de calidad diversa (Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2009).

Efecto de la FDNfe sobre la producción y composición de leche

La respuesta animal a la FDNe es el porcentaje de grasa en leche y tiene un rango de 0, cuando no mantiene la grasa, a 1 cuando mantiene la grasa más efectivamente que la masticación (Mertens, 1997).

El porcentaje de grasa en la leche aumenta cuando hay una efectividad de la fibra, salivación y masticación mayores, lo que puede aumentar el pH y la digestión de la fibra (Kowsar *et al.*, 2008). Mertens (1997) sugirió que el requerimiento de FDNfe es del 20% de la materia seca de la ración para mantener la cantidad de grasa de la leche en 3.4%.

Las características de la dieta influyen en la ganancia de peso y la producción y composición de leche (Min *et al.*, 2005). La influencia que tiene la dieta sobre la producción puede depender más de la fermentación y sus productos finales que de la energía digestible y metabolizable. Las características físicas y químicas del forraje pueden conducir a cambios en la composición de la leche debido a los cambios que se producen en la fermentación ruminal. Los cambios de la dieta provocan que se produzcan menos acetato y butirato, y por lo tanto, disminuirá la grasa de la leche (Sanz Sampelayo *et al.*, 1998).

A veces, una dieta alta en concentrado fibroso causa un aumento en la producción y la cantidad de grasa pero disminuye la proteína de la leche, debido a

que se puede alterar la sincronía de la tasa de degradación de los carbohidratos y las fracciones de N de la dieta. Se ha observado que el concentrado fibroso y el concentrado alto en almidón no producen efecto o incrementan el CMS en vacas alimentadas con una RTM (Schmidely *et al.*, 1999).

La grasa en la leche depende de la calidad y cantidad de la fracción de la fibra de la ración. Los concentrados ricos en carbohidratos no estructurales, una proporción F:C baja, un tamaño de partícula corto y el suministrar la fibra en forma de pellet causan una disminución en la producción de acetato y butirato, precursores principales de los ácidos grasos sintetizados en la glándula mamaria, lo que conduce a una baja en la grasa en la leche (Sanz-Sampelayo *et al.*, 2007). Un porcentaje mayor de grasa en leche indica el mantenimiento de un ambiente mejor para la microbiota del rumen y una degradación de la fibra más eficiente, uno de los factores cruciales conocidos que afectan la composición láctea, y en particular, el contenido de grasa (Zebeli *et al.*, 2012).

En las cabras, el nivel de consumo de energía y la naturaleza fisicoquímica de la ración interactúan y se relacionan con la capacidad de producción del animal. En las cabras no siempre se observará una disminución en la cantidad de grasa en la leche si se les ofrece una ración que en vacas produzca este efecto debido a que las cabras son menos sensibles a la deficiencia de fibra en la dieta (Sanz-Sampelayo *et al.*, 2007).

El efecto de la naturaleza fisicoquímica de la ración es mayor en las cabras con una capacidad productiva mayor. Se ha observado que la grasa en la leche es sensible a la naturaleza del forraje, por ejemplo, al suministrar ensilaje de maíz se incrementó la grasa porque este forraje contiene una cantidad mayor de precursores

de la grasa como butirato y ácidos grasos de cadena larga. Se ha observado que al incrementar un 10% el concentrado en la materia seca de la ración hay una disminución en la grasa de la leche de 1.3 g/kg en cabras alimentadas con una ración totalmente mezclada y de 0.5 g/kg en animales a los que se les proporciona el forraje y el concentrado por separado (Sanz-Sampelayo *et al.*, 2007).

La falta de propiedades físicas, como las partículas cortas o con un contenido de carbohidratos estructurales bajos, resulta en inhibición de síntesis de grasa en la leche y desordenes en vacas (Suzuki *et al.*, 2014). En algunos estudios se observó que el incremento en la FDNfe causa un aumento en la grasa de la leche, pero disminuye la proteína; pero en otros estudios no se observaron efectos sobre la composición de la leche (Yang y Beauchemin, 2005; 2006c). Algunos estudios han demostrado que si se incrementa el contenido de fibra potencialmente digestible se producen efectos positivos en las respuestas de producción de vacas, como el consumo de alimento y energía y la producción de leche, sin comprometer las condiciones ruminales (Zebeli *et al.*, 2010), a pesar de esto se desconoce la concentración adecuada de FDNfe, además existe poca información de los efectos de la FDNfe sobre la producción de leche (Yang y Beauchemin, 2005).

Varios estudios han encontrado que la FDNfe insuficiente y los carbohidratos fermentables en exceso en la dieta pueden causar una disminución de la grasa en la leche en las vacas lecheras. Sin embargo, *Li et al.* (2014b) no observaron que la FDNfe haya afectado el contenido de grasa en la leche. En su investigación, la FDN de la dieta (34.7%) y la FDN del forraje (27.4%) estuvieron por encima de las recomendaciones que dio el NRC para las vacas lecheras.

En algunos estudios se ha observado que los cambios en la dieta provocan una disminución en el contenido de grasa de la leche de cabra, sin embargo en otros no se ha registrado este efecto porque se considera que la composición de la leche depende del balance de energía. Se ha demostrado que si la fibra de la dieta se peletiza se producirá una disminución en la grasa pero un incremento en la proteína de la leche debido a que disminuye el tiempo de fermentación (Sanz Sampelayo *et al.*, 1998).

Las ovejas y sobre todo las cabras se adaptan mejor a dietas con un contenido alto de forrajes de calidad baja y son menos sensibles al tamaño de partícula. Se ha observado que al disminuir el contenido de fibra y el tamaño de partícula del forraje no siempre causa una baja en el contenido de grasa de la leche en caprinos (Bava *et al.*, 2001). No se ha observado una relación significativa entre el CMS y el tipo de dieta sobre la producción y la digestibilidad, pero esto podría deberse a que la relación F:C no ha sido constante en esos estudios (Schmidely *et al.*, 1999).

Los resultados obtenidos por Li *et al.* (2014a) muestran que una reducción en el tamaño de partícula del heno de alfalfa en dietas que contienen concentrado basado en maíz incrementa la concentración de AGV y la eficiencia de energía de la leche sin afectar la composición láctea en cabras lecheras. Sin embargo, este efecto debe investigarse más bajo condiciones de alimentación a libre acceso. Sanz-Sampelayo *et al.* (1998) proporcionaron a las cabras una dieta con heno de alfalfa largo y otra en forma de pellet y no hubo efecto sobre la producción y la concentración de grasa en leche, concluyendo que los resultados obtenidos se debieron a que el consumo de energía en ambos casos fue idéntico. En algunos

estudios se ha observado una correlación positiva entre la cantidad y la concentración de la energía metabolizable sobre la proteína en la leche, y además, el incremento en el concentrado (65%) causó una disminución en la producción al final de la lactancia en cabras, pero éste efecto no se ha reportado en vacas, de igual manera, podría ser que no sea igual en cabras de la raza Alpina en otra etapa de lactancia (Min *et al.*, 2005).

En contraste, a los efectos variables del tamaño de partícula sobre el consumo de alimento, la mayoría de la literatura publicada concuerda en que el tamaño de partícula no afecta la producción de leche. La falta de efecto sobre la producción podría relacionarse al hecho que esos estudios se realizaron como un cuadrado latino con períodos experimentales relativamente cortos. También, dependiendo de la etapa de lactancia, el aumento en el consumo de nutrientes y de energía a corto plazo puede usarse en el metabolismo intermediario para mejorar las reservas corporales en lugar de incrementar la síntesis de leche en la glándula mamaria, en particular a la mitad y al final de la lactancia. Se debe determinar en investigaciones futuras si el tamaño de partícula de la dieta tiene un efecto cuantificable sobre la producción de leche cuando se mide en períodos de alimentación más largos (Zebeli *et al.*, 2012).

**Artículo enviado a Journal of Applied Animal Research (en
revisión)**

**Effect of physically effective Nutrient Detergent Fiber (peNDF) on dry matter
intake, ruminal pH and milk yield and quality of goats fed with alfalfa-hay and
sorghum-silage based diets**

D. Esparza-Flores ^a, F.G. Veliz-Deras ^a, R. Rivas-Muñoz ^b, C.F. Arechiga ^c, R.
Rodríguez-Martínez ^a & P.A. Robles-Trillo ^{a*}

^a *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila;*

^b *Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila;* ^c *Unidad Académica de
Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas,
Zacatecas, Zacatecas*

Our experiment were carried out to determinate the effect of peNDF content in alfalfa hay and sorghum silage based rations, combined with two different particle-sizes of hay, on dry matter intake, ruminal pH, and milk yield and quality in Alpine-French dairy goats. Eight goats in final lactation stage were assigned to a 4x4 latin square with a 2x2 factorial design. The goats received 4 rations with two different alfalfa hay particle size (long and short) and 50:50 and 75:25 alfalfa hay:sorghum silage ratio. No differences were observed in dry matter intake, ruminal pH and milk composition ($P < 0.05$), but there was a tendency to produce more milk in goats fed with the long alfalfa hay ($P = 0.1$). The results suggest that goats are not as susceptible to the peNDF content in ration as the cows and that sorghum silage can be a good source to replace alfalfa hay.

Keywords: peNDF; dairy goat; ruminal pH; milk production

Introduction

Most of dairy enterprises formulate total mixed rations to satisfy nutrient requirements without considering physical characteristics of the diet. Physical structure of fiber is a very important factor as a potential source of ruminal acidosis (Zhao et al., 2011), because physical properties of feed ingredients compromise feed intake and mastication (chewing) in ruminants. Saliva secretion is also a very important factor due to a buffering effect on rumen (Suzuki et al., 2014).

The concept of physically-effective Neutral Detergent Fiber (peNDF) includes fiber content and particle size (Arzola-Alvarez et al., 2010), becoming an important factor to determine amount and function of the peNDF needs to stimulate feed chewing and saliva secretion to neutralize acids produced during the fermentation process and to maintain an optimal pH range (Asadi-Alamouti et al., 2009).

In 1997, Mertens proposed the concept known as physically effective Neutral Detergent Fiber (peNDF), and it was defined as a concentrated product of the Neutral Detergent Fiber and its physically effective factors (pef). peNDF utilization represents a potential tool to evaluate fiber sufficiency of the diet (Zebeli et al., 2012).

Contradictory results have been observed on studies evaluating the effects of peNDF in cows (Asadi-Alamouti et al., 2009; Yang and Beauchemin, 2009; Storm and Kristensen, 2010; Valizadeh et al., 2010). Moreover, goats research has been minimal (Zhao et al., 2011; Li et al., 2014a; 2014b). It has been reported that a high-peNDF diet, compromise feed intake and feed uptake efficiency

(Asadi-Alamouti et al., 2009), while others have reported that chewing and ruminal pH increases, as well as digestibility improves (Yang and Beauchemin, 2009).

Cows and goats present different eating habits, feed intake levels requirements, diet selection, body weight, gastrointestinal tract and digestibility capacities (Van Soest, 1994; Lu et al., 2005; Li et al., 2014a), therefore, knowledge obtained from other species could be irrelevant for goats (Zhao et al., 2011), in other words, peNDF requirements of cows cannot be applied as a rule for goats (Li et al., 2014a).

Present work hypothesizes that goats consuming a diet with high levels of peNDF will show increases in ruminal pH, milk yield and milk-fat percentage. Therefore, objective of present study was to evaluate the effect of peNDF content in alfalfa hay and sorghum silage based rations, combined with two different particle-sizes of hay (large vs. short), on dry matter intake, ruminal pH, and milk yield and quality in Alpine-French dairy goats.

Material and Methods

Forage

Alfalfa hay and sorghum silage was used as forage to fed goats. Alfalfa hay was chop in a miller machine (SW 610.120, Swissmex-rapid, Lagos de Moreno, Jalisco, Mexico). In order to obtain a large cut (particle-size) of the forage, the miller was used without screen, and with screen for short-cut pieces of forage. Chemical composition and particles distribution of the forage was determined

using a particle separator of Penn State with 3 screens (19, 8 and 1.18 mm), and a base (Kononoff et al., 2003).

Experimental design, goats and diets

Alpine-French goats (n=8) at final lactation were included in the experiment. Goats were kept on individual pens and fed *ad libitum* a total mixed ration twice a day (0900 and 1500).

Experimental design was a duplicated latin-square design (4x4) with a factorial arrangement (2x2) during 14-d periods. Goats had access to one of four different diets containing different proportions of alfalfa hay and sorghum silage forage (75:25 and 50:50) combined with two different forage particle sizes: short (2 cm) and large (6 cm)].

Diets were formulated to satisfy metabolic energy and protein requirements of a 40-kg adult goat stated by the NRC (2007). Differences on the physically effective factor (pef) were obtained by manipulation of hay-silage diet proportion and forage particle-size.

Forage particle-size distribution and total mixed ration was determined using a Penn State separator with 3 screens (19, 8 y 1.18 mm) (Kononoff et al., 2003). Physically effective factors (pef) was calculated by the sum of the remaining proportions on the screens. Physically effective Neutral Detergent Fiber (peNDF) was obtained by multiplication of the NDF and the pef.

Every period include 11 d for adaptation and 3 d of sampling. Later on, diets provided to the goats were switched during 3 additional periods.

Table 1. Ingredients and chemical composition of a total mixed ration for goats (dry matter based).

	Dietas (Heno de alfalfa: Ensilaje de sorgo)	
	50:50	75:25
Ingredientes		
Alfalfa Hay ¹	0.60	0.90
Sorghum Silage ²	0.60	0.30
Flaked corn	0.50	0.57
Soya	0.16	0.12
Cotton seed meal	0.17	0.16
Calcium carbonate	0.01	0.00
Vitamin and mineral premix	0.01	0.01
Chemical composition		
Dry matter	62.45	71.82
Organic matter	91.77	93.1
Crude protein	16.11	17.79
Ether extract	7.69	7.56
NDF	57.48	55.43
Forage NDF	85.30	84.88
ADF	22.93	22.08

¹Alfalfa hay chemical composition (dry matter basis): 93.33% DM, 80.18% OM, 51.63% NDF, 26.43% ADF, and 5.76% of EE.

²Sorghum silage chemical composition (dry matter basis): 32.9% DM, 86.97% OM, 64.6% NDF, 36.33% ADF and 7.04% EE.

Ruminal pH

Ruminal fluid was collected every 4 h during 24 h (last day of sampling). Fluid was filtered using a double-layer blanket, and immediately after the pH was measured using a portable pH meter (pHep HI 98107, Hanna Instruments, Woonsocket, RI) (Courdec et al., 2006).

Feed consumption and milk yield

Offered and rejected feed was collected during 3 d (experimental days) to determine dry matter intake (DMI).

Diet and forage samples were collected once every 3 d to determine particle-size distribution. Particles retained on the screens, were collected,

weighed and dried at 70°C and storage for dry matter determination. Samples were grouped according to period and storage for chemical composition determination (AOAC, 1990; Van Soest and Robertson, 1985). Rejected feed was collected for 3 experimental days (sampling period), grouped for each goat and used to determine forage particle-size distribution at the last day of every sampling period.

Goats were milked once daily at 08:00 h. During the experimental period (3 d) milk yield was weighed (Mark 3 Milk Meter, DeLaval, Sweden) by a balance connected directly to the milking machine. Moreover, milk samples were taken for every milking to determine milk composition (fat, protein, non-fat solids). Milk samples were analyzed by infrared spectrophotometry (LactiCheck-01 RapiRead, Page and Pedersen International, Hopkinton, MA) (Zebeli et al., 2009).

Statistical Analyses

To evaluate the effect of four different treatments on dry matter intake, ruminal pH and milk yield and quality, data was analyzed by ANOVA using the program MySTAT to determine effects of square, goat within square, treatments (particle-size vs. hay and silage proportion), as well as their interactions. Treatments were considered as fixed effects. Square, period within square and goat within square were considered random effects.

Results

Physically-effective fiber and particle size

There was an increase on forage particles retained on the 19 mm screen of the miller on rations containing large alfalfa hay. However, a lower proportion of particles were retained on the 8 mm screen (Table 2). Hay and silage proportion did not affect retained feed on 19 and 1.18 mm mill screens. But, the amount of particles on the 8 mm-screen and base was different. Therefore, physically effective factors and physically effective fiber were different. Hay and silage proportion did not affect retained feed on the 19 and 1.18 mm mil screens. But it was different the amount of particles retained on the 8 mm screen and in the base. Therefore, physically effective factors and physically effective fiber were statistically different ($P = 0.00$). Alfalfa hay and sorghum silage proportion did not affect pef_8 and $peNDF_8$. But, $pef_{1.18}$ ($P = 0.025$) and $peNDF_{1.18}$, both were affected ($P = 0.000$). Rejected-feed distribution was different for all 4 rations. Particles-size did not affect retained particles on the 8 mm screen.

Table 2. Particle-size distribution and physical-effective factors (pef) of offered and rejected fragments of the diet.

	Diets				EE	AH:SS	L vs S	Interaction
	AH:SS 50:50		AH:SS 75:25					
	Short	Large	Short	Large				
TMR								
Retained								
DM% (on screen) ¹								
19 mm	2.19	30.67	2.36	30.29	17.80	NS ²	0.000	0.000
8 mm	40.61	33.44	34.99	28.09	7.67	0.000	0.000	0.000
1.18 mm	44.70	29.93	45.38	31.82	10.21	NS	0.000	0.000
Base	12.50	5.91	16.66	9.79	5.61	0.000	0.000	0.000
$pef_{8.0}$	0.43	0.64	0.37	0.58	0.14	0.020	0.000	0.000
$pef_{1.18}$	0.88	0.94	0.83	0.90	0.06	0.000	0.000	0.000
$peNDF_{8.0}$	24.60	36.85	20.71	32.36	8.22	0.004	0.000	0.000
$peNDF_{1.18}$	50.30	54.05	45.86	50.00	3.64	0.000	0.000	0.000

Feed rejected Retained DM % (on screens)								
19 mm	4.81	7.05	2.74	22.12	12.31	0.009	0.000	0.000
8 mm	32.87	32.10	26.36	22.44	9.35	0.000	NS	0.000
1.18 mm	44.33	44.67	45.47	37.59	7.21	0.043	0.010	0.000
Base	17.58	16.18	25.44	17.85	9.91	0.018	0.025	0.004
pef _{8.0}	0.38	0.39	0.29	0.45	0.12	NS	0.001	0.000
pef _{1.18}	0.82	0.84	0.75	0.82	0.10	0.025	0.021	0.005
peNDF _{8.0}	21.65	22.50	16.13	24.70	6.98	NS	0.001	0.000
peNDF _{1.18}	47.14	48.18	41.33	45.53	5.91	0.000	0.029	0.000

¹Particle-size distribution of TMR was measured using a Penn State particle separator (Kononoff *et al.*, 2003); pef_{8.0} and pef_{1.18} = physically effective factor is determined as the proportion of retained particles in two screens (Lammers *et al.*, 1996) and three screens (Kononoff *et al.*, 2003), respectively; peNDF_{8.0} and peNDF_{1.18} = physically effective NDF determined as the NDF content of the TMR multiply by pef_{8.0} and pef_{1.18}, respectively.

²NS = $P > 0.1$.

Feed Consumption

Results are shown on Table 3. There were not observed statistically-significant differences on dry matter intake (DMI), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and peNDF_{1.18}. However, animals fed with large particle-size alfalfa hay have consumed a greater amount of peNDF_{8.0} ($P = 0.000$).

In general, goats fed with 50:50 ratio of alfalfa hay and sorghum silage and large particle-size of hay, have shown a greater consumption of peNDF_{8.0} ($P = 0.000$).

Ruminal pH

Results are shown in Table 3. There was no statistically significant effect of rations on ruminal pH.

Milk yield and quality

Goats consuming diets with large particle-size of alfalfa hay have shown a tendency for increased milk yield ($P = 0.106$).

Fat and protein percentages were not affected by physically-effective neutral detergent fiber (peNDF) of the rations (Table 3).

Table 3. Effect of effective fiber Neutral Detergent Fiber on feed consumption, ruminal pH, and milk yield and quality.

	Diets				EE	AH:SS	L vs S	Interaction
	AH: SS 50:50		AH:SS 75:25					
	Short	Large	Short	Large				
Intake								
DM (kg/d)	1.44	1.39	1.53	1.45	0.38	NS ²	NS	NS
OM (kg/d)						NS	NS	NS
NDF (kg/d)	0.83	0.80	0.85	0.80	0.21	NS	NS	NS
peNDF _{8.0} (kg/d) ¹	0.36	0.51	0.32	0.47	0.13	NS	0.000	0.000
efNDF _{1.18} (kg/d) ¹	0.73	0.75	0.70	0.73	0.19	NS	NS	NS
ADF (kg/d)	0.33	0.32	0.34	0.32	0.08	NS	NS	NS
Ruminal pH	6.2	6.2	6.2	6.2	0.3	NS	NS	NS
Milk yield (kg/d)	2.80	2.96	1.96	2.87	1.62	NS	0.106	NS
Fat %	3.79	3.81	3.75	3.74	0.72	NS	NS	NS
Protein %	3.25	3.24	3.17	3.25	0.16	NS	NS	NS

¹peNDF_{8.0} and peNDF_{1.18} = Neutral Detergent Fiber physically-effective determined as NDF content of the TMR multiply by pef_{8.0} and pef_{1.18}, respectively. (Table 1).

²NS = $P > 0.1$

Discussion

All four diets were different on content of physically-effective Neutral Detergent Fiber, and affected by alfalfa hay proportion and forage particle-size (large vs. short). Such results are similar to ones reported by Zhao et al. (2011), reporting

a greater physically-effective factors and physically-effective Neutral Detergent Fiber as hay particle-size increases in goats rations.

Alfalfa hay and sorghum silage particle distribution was not different on retained percentage on 19 mm and 1.18 mm mill screens. Suggesting that a different proportion of retained particles on the 8 mm screen were enough to compromise physically-effective factors_{8.0} and physically-effective factors_{1.18} and, as a consequence, affecting physical-effective Neutral Detergent Fiber_{8.0} and peNDF_{1.18}.

Kahyani et al. (2013), have shown that increasing alfalfa hay particle-size have increased peNDF₈ concentration in a 42% from fine to a medium particle size. In contrast to a 16% from fine to large particle-size forage. However, peNDF_{1.18} have only increased 6% from fine to medium and 2% from medium to large forage particle-size. Yang and Beauchemin (2006) have observed that SPSS with three screens could not be appropriate to determine physically-effective factors of some forage, especially silages.

Goats have consumed a greater proportion of large particle-size hay. This is reflected on less retained particles on the 19 mm screen. When using 1.18 mm screens the amount retained was higher. Zhao et al. (2011) have observed that particle-size of rejected feed was lower than 8 mm and have considered that goats would rather eat large particle-size and it was associated with diet selectivity of goats.

In present study there were no effects on dry matter intake. Other studies performed with cows (Asadi-Alamouti et al., 2009; Nasrollahi et al., 2012; Storm and Kristensen, 2010; Valizadeh et al., 2010) and goats (Sanz-Sampelayo et al.,

1998; Li et al., 2014a; 2014b) have shown similar results. Results from Sanz-Sampelayo et al. (1998) suggest a reduced response of goats to particle-size hay when feeding alfalfa hay and alfalfa pellets and there were no differences on feed intake.

Valizadeh et al. (2010) did not expect an effect of particle-size on DMI, because they used 60% concentrate without observing any effect on diets containing 40% forage. Asadi-Alamouti et al. (2009) have proposed that lack of effect of particle-size of the diet on $\text{peNDF}_{8.0}$ and $\text{peNDF}_{1.18}$ is due to a similar DMI between diets.

Amount of peNDF of the diet did not affect ruminal pH. These results have also been obtained in similar studies performed in cows (Yang and Beauchemin, 2006; Adin et al. 2009; Asadi-Alamouti et al., 2009; and Valizadeh et al., 2010) and goats (Xu et al., 2009). In contrast, Zhao et al. (2011) has found an effect of peNDF on ruminal pH. Zhao et al. (2011) observed improvements in ruminal pH in response to a high peNDF in the diet. Behgar et al. (2011) and Nashrollahi et al. (2012) have observed that cows receiving large particle-sizes of hay, presented higher levels of pH compared to ones fed with fine particles of hay, provided three to four hours after feeding, respectively. Nashrollahi et al. (2012) have proposed that high levels of peNDF_8 in the diet and consumption have resulted in positive effects on time of intake and saliva flow required to neutralize fermentation acids immediately after feeding. Yang and Beauchemin (2006) have considered that inconsistent effects of peNDF on ruminal pH are associated to several factors such as feed fermentation.

Milk yield has increased in animals consuming large particle-size alfalfa hay. In contrast, other studies have found opposite results in cows (Asadi-Alamouti et al., 2009; Yang and Beauchemin, 2009; Zebeli et al., 2009) and goats (Li et al., 2014a).

Krause and Combs, (2003) have reported that cows fed with short particle-sizes of corn and alfalfa silage had a tendency for increased milk yield despite a reduced dry-matter intake observed. Present results have shown that goats fed with large particle-size hay have increased milk yield having similar dry-matter intakes.

In cows, Krause and Combs (2003), have observed that animals consuming large particle-size have shown microbial and milk yield improvements. Such results could explain results from our experiment. However, further research in goats is required to determine ruminal microbial production. Several studies working with early lactation cows have shown that peNDF_{1.18} within 30-32% in the diet, did not negatively affect milk yield. Specially, if corn silage is used as a unique source of forage (Zebeli et al., 2010). In present study, all four rations presented peNDF_{1.18} levels within 45-54%. Probably, such peNDF levels have prevented negative effects on milk yield.

Diets did not affect milk quality and/or composition. Our results agree with results from other studies performed in cows (Adin et al., 2009; Asadi-Alamouti et al., 2009; Yang and Beauchemin, 2006), and goats (Li et al., 2014a).

Zebeli et al. (2006) have observed that Holstein cows at early and middle lactation require approximately 20% of peNDF_{1.18} ration dry matter to maintain

3.4% of milk fat. This could indicate that diets offered in present study had an appropriate amount of peNDF^{1.18} to maintain milk fat percentage.

A greater number of studies are required to elucidate the effect of peNDF on goats. More studies are needed to better understand other effects such as chewing, digestibility and grain fermentation.

Conclusion

In conclusion, goats would rather consume large particle-size forage. A positive effect on milk yield without compromising dry matter intake, nor ruminal pH was observed. Results suggest that goats are not as much susceptible to the amount of physically-effective Neutral Detergent Fiber (peNDF) of the ration.

Moreover, replacing alfalfa hay with sorghum silage, as effective fiber, did not affect any of the variables, becoming an alternative feed to replace alfalfa hay. Mainly due to alfalfa crop's water expenses and elevated investment.

References

- Adin G, Solomon R, Nikbachat M, Zenou A, Yosef E, Brosh A, Shabtay A, Mabweesh SJ, Halachmi I, Miron J. 2009. Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage-neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination, and milk production. *J Dairy Sci.*92:3364-3373.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis.

Arzola-Álvarez C, Bocanegra-Viezca JA, Murphy MR, Salinas-Chavira J, Corral-Luna A, Romanos A, Ruíz-Barrera O, Rodríguez-Muela C. 2010. Particle size distribution and chemical composition of total mixed rations for dairy cattle: Water addition and feed sampling effects. *Journal of dairy science*.93:4180-4188.

Asadi Alamouti A, Alikhani M, Ghorbani GR, Zebeli Q. 2009. Effects of inclusion of neutral detergent soluble fibre sources in diets varying in forage particle size on feed intake, digestive processes, and performance of mid-lactation Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*.154:9-23.

Behgar M, Valizadeh R, Mirzaee M, Naserian AA, Ghasemi S. 2011. The Impact of Alfalfa Hay Particle Size on the Utilization of Soy Hull by Early Lactating Dairy Cows. *Livestock Science*.42:147-154.

Couderc JJ, Rearte DH, Schroeder GF, Ronchi JI, Santini FJ. 2006. Silage chop length and hay supplementation on milk yield, chewing activity, and ruminal digestion by dairy cows. *J Dairy Sci*. Sep;89:3599-3608. Epub 2006/08/11.

Kahyani A, Ghorbani GR, Khorvash M, Nasrollahi SM, Beauchemin KA. 2013. Effects of alfalfa hay particle size in high-concentrate diets supplemented with unsaturated fats: chewing behavior, total-tract digestibility, and milk production of dairy cows. *J Dairy Sci*.96:7110-7119.

Kononoff PJ, Heinrichs AJ, Buckmaster DR. 2003. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *J Dairy Sci*. May;86:1858-1863. Epub 2003/06/05.

Krause KM, Combs DK. 2003. Effects of forage particle size, forage source, and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactation cows. *J Dairy Sci*. Apr;86:1382-1397.

Li F, Li Z, Li S, Ferguson JD, Cao YC, Yao JH, Sun FF, Wang X, Yang T. 2014. Effect of dietary physically effective fiber on ruminal fermentation and the fatty acid profile of milk in dairy goats. *J Dairy Sci.*97:2281-2290.

Li F, Yang XJ, Cao YC, Li SX, Yao JH, Li ZJ, Sun FF. 2014. Effects of dietary effective fiber to rumen degradable starch ratios on the risk of sub-acute ruminal acidosis and rumen content fatty acids composition in dairy goat. *Animal Feed Science and Technology.*189:54-62.

Lu CD, J.R. Kawas, Mahgou OG. 2005. Fibre digestion and utilization in goats. *Small Ruminant Research.*60:45-52.

Mertens DR. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci.* Jul;80:1463-1481.

Nasrollahi SM, Khorvash M, Ghorbani GR, Teimouri-Yansari A, Zali A, Zebeli Q. 2012. Grain source and marginal changes in forage particle size modulate digestive processes and nutrient intake of dairy cows. *Animal.*6:8:1237-1245.

Sanz Sampelayo MR, Perez L, Boza J, Amigo L. 1998. Forage of Different Physical Forms in the Diets of Lactating Granadina Goats: Nutrient Digestibility and Milk Production and Composition. *J Dairy Sci.*81:492-498.

Storm AC, Kristensen NB. 2010. Effects of particle size and dry matter content of a total mixed ration on intraruminal equilibration and net portal flux of volatile fatty acids in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.*93:4223-4238.

Suzuki T, Kamiya Y, Tanaka M, Hattori I, Sakaigaichi T, Terauchi T, Nonaka I, Terada F. 2014. Effect of fiber content of roughage on energy cost of eating and rumination in Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology.*196:42-49.

Valizadeh R, Behgar M, Mirzaee M, Naserian AA, Vakili AR, Ghowati S. 2010. The Effect of Physically Effective Fiber and Soy Hull on the Ruminal Cellulolytic Bacteria Population and Milk Production of Dairy Cows. *Asian-Aust J Anim Sci.*23:1325-1332.

Van Soest PJ. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Second edition ed. New York: Cornell University Press.

Van Soest PJ, Robertson JB. 1985. *Analysis of forages and fibrous foods*. Cornell University.

Xu M, Dong Y, Du S, Yao YS, Wang YH, Wang FN, Yao JH. 2009. Effect of corn particle size on mucosal morphology and digesta pH of the gastrointestinal tract in growing goats. *Livestock Science.*123:34-37.

Yang WZ, Beauchemin KA. 2006. Physically effective fiber: method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *J Dairy Sci.* Jul;89:2618-2633. Epub 2006/06/15.

Yang WZ, Beauchemin KA. 2009. Increasing physically effective fiber content of dairy cow diets through forage proportion versus forage chop length: chewing and ruminal pH. *J Dairy Sci.* Apr;92:1603-1615. Epub 2009/03/25.

Zebeli Q, Ametaj BN, Junck B, Drochner W. 2009. Maize silage particle length modulates feeding patterns and milk composition in loose-housed lactating Holstein cows *Livestock Science.*124:33-40.

Zebeli Q, Aschenbach JR, Tafaj M, Boguhn J, Ametaj BN, Drochner W. 2012. Invited review: 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, Steingass H, Ametaj BN. 2010. 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.

Zebeli Q, Tafaj M, Steingass H, Metzler B, Drochner W. 2006. Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. *J Dairy Sci*. Feb;89:651-668.

Zhao XH, Zhang T, Xu M, Yao JH. 2011. Effects of physically effective fiber on chewing activity, ruminal fermentation, and digestibility in goats. *J Anim Sci*.89:501-509.

Literatura citada general

- Adin, G., R. Solomon, M. Nikbachat, A. Zenou, E. Yosef, A. Brosh, A. Shabtay, S. J. Mabjeesh, I. Halachmi, y J. Miron. 2009. Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage-neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination, and milk production. *Journal of Dairy Science* 92: 3364-3373.
- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of dairy science* 83: 1598-1624.
- Allen, M. S., B. J. Bradford, y M. Oba. 2009. The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *Journal of Animal Science* 87: 3317-3334.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis.
- Armentano, L. E., y D. Taysom. 2005. Short communication: Prediction of mean particle size and proportion of very long fiber particles from simplified sieving results. *Journal of Dairy Science* 88: 3982-3985.
- Arzola-Álvarez, C., J. A. Bocanegra-Viezca, M. R. Murphy, J. Salinas-Chavira, A. Corral-Luna, A. Romanos, O. Ruíz-Barrera, y C. Rodríguez-Muela. 2010. Particle size distribution and chemical composition of total mixed rations for dairy cattle: Water addition and feed sampling effects. *Journal of dairy science* 93: 4180-4188.
- Asadi Alamouti, A., M. Alikhani, G. R. Ghorbani, y Q. Zebeli. 2009. Effects of inclusion of neutral detergent soluble fibre sources in diets varying in forage particle size on feed intake, digestive processes, and performance

of mid-lactation holstein cows. *Animal Feed Science and Technology* 154: 9-23.

Bava, L., L. Rapetti, G. M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, y G. Succi. 2001. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *Journal of Dairy Science* 84: 2450-2459.

Beauchemin, K. A., L. Eriksen, P. Norgaard, y L. M. Rode. 2008. Short communication: Salivary secretion during meals in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 91: 2077-2081.

Beauchemin, K. A., y W. Z. Yang. 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.

Behgar, M., R. Valizadeh, M. Mirzaee, A. A. Naserian, y S. Ghasemi. 2011. The impact of alfalfa hay particle size on the utilization of soy hull by early lactating dairy cows. *Livestock Science* 42: 147-154.

Bhandari, S. K., K. H. Ominski, K. M. Wittenberg, y J. C. Plaizier. 2007. Effects of chop length of alfalfa and corn silage on milk production and rumen fermentation of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90: 2355-2366.

Calberry, J. M., J. C. Plaizier, M. S. Einarson, y B. W. McBride. 2003. Effects of replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in a total mixed ration on production and rumen conditions of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 3611-3619.

Cantalapiedra-Hijar, G., D. R. Yañez-Ruiz, A. I. Martín-García, y E. Molina-Alcaide. 2009. Effects of forage:Concentrate ratio and forage type on

- apparent digestibility, ruminal fermentation, and microbial growth in goats. *Journal of Animal Science* 87: 622-631.
- Couderc, J. J., D. H. Rearte, G. F. Schroeder, J. I. Ronchi, y F. J. Santini. 2006. Silage chop length and hay supplementation on milk yield, chewing activity, and ruminal digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 3599-3608.
- Dijkstra, J., J. L. Ellis, E. Kebreab, A. B. Strathe, S. López, J. France, y A. Bannink. 2012. Ruminal pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science and Technology* 172: 22-33.
- Dohme, F., C. M. Graf, Y. Arrigo, U. Wyss, y M. Kreuzer. 2007. Effect of botanical characteristics, growth stage and method of conservation on factors related to the physical structure of forage – an attempt towards a better understanding of the effectiveness of fibre in ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 138: 205-227.
- Eastridge, M. L. 2006. Major advances in applied dairy cattle nutrition. *Journal of Dairy Science* 89: 1311-1323.
- Einarson, M. S., J. C. Plaizier, y K. M. Wittenberg. 2004. Effects of barley silage chop length on productivity and rumen conditions of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *Journal of Dairy Science* 87: 2987-2996.
- Ellis, W. C., M. Mahlooji, C. E. Lascano, y J. H. Matis. 2005. Effects of size of ingestively masticated fragments of plant tissues on kinetics of digestion of ndf. *Journal of Animal Science* 83: 1602-1615.
- Farmer, E. R., H. A. Tucker, H. M. Dann, K. W. Cotanch, C. S. Mooney, A. L. Lock, K. Yagi, y R. J. Grant. 2014. Effect of reducing dietary forage in lower

starch diets on performance, ruminal characteristics, and nutrient digestibility in lactating holstein cows. *Journal of Dairy Science* 97: 5742-5753.

Ferreira, G., y D. R. Mertens. 2005. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. *Journal of Dairy Science* 88: 4414-4425.

Gozho, G. N., J. C. Plaizier, D. O. Krause, A. D. Kennedy, y K. M. Wittenberg. 2005. Subacute ruminal acidosis induces ruminal lipopolysaccharide release and triggers an inflammatory response. *Journal of Dairy Science* 88: 1399-1403.

Graf, C. M., M. Kreuzer, y F. Dohme. 2005. Influence of supplementing hay to grass once or three times per day on the effectiveness of the fibre as determined by changes in ruminal pH, chewing activity and milk composition of cows. *Anim Res* 54: 321-355.

Heinrichs, A. J., D. R. Buckmaster, y B. P. Lammers. 1999. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *Journal of Animal Science* 77: 180-186.

Kahyani, A., G. R. Ghorbani, M. Khorvash, S. M. Nasrollahi, y K. A. Beauchemin. 2013. Effects of alfalfa hay particle size in high-concentrate diets supplemented with unsaturated fats: Chewing behavior, total-tract digestibility, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96: 7110-7119.

- Kononoff, P. J., y A. J. Heinrichs. 2003. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 86: 2438-2451.
- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, y D. R. Buckmaster. 2003a. 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.
- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, y H. A. Lehman. 2003b. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 3343-3353.
- Kowsar, R., G. R. Ghorbani, M. Alikhani, M. Khorvash, y A. Nikkhah. 2008. Corn silage partially replacing short alfalfa hay to optimize forage use in total mixed rations for lactating cows. *Journal of Dairy Science* 91: 4755-4764.
- Krause, K. M., y D. K. Combs. 2003. Effects of forage particle size, forage source, and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactation cows. *Journal of Dairy Science* 86: 1382-1397.
- Krause, K. M., D. K. Combs, y K. A. Beauchemin. 2002a. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk production and diet digestibility. *Journal of Dairy Science* 85: 1936-1946.
- Lammers, B. P., D. R. Buckmaster, y A. J. Heinrichs. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 79: 922-928.

- Leonardi, C., y L. E. Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 557-564.
- Leonardi, C., K. J. Shinnars, y L. E. Armentano. 2005. Effect of different dietary geometric mean particle length and particle size distribution of oat silage on feeding behavior and productive performance of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88: 698-710.
- Li, F., Z. Li, S. Li, J. D. Ferguson, Y. C. Cao, J. H. Yao, F. F. Sun, X. Wang, y T. Yang. 2014. Effect of dietary physically effective fiber on ruminal fermentation and the fatty acid profile of milk in dairy goats. *Journal of Dairy Science* 97: 2281-2290.
- Li, F., X. J. Yang, Y. C. Cao, S. X. Li, J. H. Yao, Z. J. Li, y F. F. Sun. 2014. Effects of dietary effective fiber to rumen degradable starch ratios on the risk of sub-acute ruminal acidosis and rumen content fatty acids composition in dairy goat. *Animal Feed Science and Technology* 189: 54-62.
- Lu, C. D., J.R. Kawas, y O. G. Mahgou. 2005. Fibre digestion and utilization in goats. *Small Ruminant Research* 60: 45-52.
- Maulfair, D. D., M. Fustini, y A. J. Heinrichs. 2011. Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94: 3527-3536.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80: 1463-1481.

- Min, B. R., S. P. Hart, T. Sahlu, y L. D. Satter. 2005. The effect of diets on milk production and composition, and on lactation curves in pastured dairy goats. *Journal of Dairy Science* 88: 2604-2615.
- Nasrollahi, S. M., M. Khorvash, G. R. Ghorbani, A. Teimouri-Yansari, A. Zali, y Q. Zebeli. 2012. Grain source and marginal changes in forage particle size modulate digestive processes and nutrient intake of dairy cows. *Animal* 6:8: 1237-1245.
- Plaizier, J. C. 2004. Replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in barley grain and alfalfa-based total mixed rations for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87: 2495-2505.
- Plaizier, J. C., D. O. Krause, G. N. Gozho, y B. W. McBride. 2009. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. *The Veterinary Journal* 176: 21-31.
- Sanz Sampelayo, M. R., Y. Chilliard, P. Schmidely, y J. Boza. 2007. Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research* 68: 42-63.
- Sanz Sampelayo, M. R., L. Perez, J. Boza, y L. Amigo. 1998. Forage of different physical forms in the diets of lactating granadina goats: Nutrient digestibility and milk production and composition. *Journal of Dairy Science* 81: 492-498.
- Schmidely, P., M. Lloret-Pujol, P. Bas, A. Rouzeau, y D. Sauvant. 1999. Influence of feed intake and source of dietary carbohydrate on milk yield and composition, nitrogen balance, and plasma constituents of lactating goats. *Journal of Dairy Science* 82: 747-755.

- Stone, W. C. 2004. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 87: E13-E26.
- Storm, A. C., y N. B. Kristensen. 2010. Effects of particle size and dry matter content of a total mixed ration on intraruminal equilibration and net portal flux of volatile fatty acids in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93: 4223-4238.
- Suzuki, T., Y. Kamiya, M. Tanaka, I. Hattori, T. Sakaigaichi, T. Terauchi, I. Nonaka, y F. Terada. 2014. Effect of fiber content of roughage on energy cost of eating and rumination in holstein cows. *Animal Feed Science and Technology* 196: 42-49.
- Tafaj, M., A. Maulbetsch, Q. Zebeli, H. Steingass, y W. Drochner. 2005. Effects of physically effective fibre concentration of diets consisting of hay and slowly degradable concentrate on chewing activity in mid lactation dairy cows under constant intake level. *Arch Anim Nutr* 59: 313-324.
- Tafaj, M., Q. Zebeli, C. Baes, H. Steingass, y W. Drochner. 2007. A meta-analysis examining effects of particle size of total mixed rations on intake, rumen digestion and milk production in high-yielding dairy cows in early lactation. *Animal Feed Science and Technology* 138: 137-161.
- Tafaj, M., Q. Zebeli, A. Maulbetsch, H. Steingass, y W. Drochner. 2006. Effects of fibre concentration of diets consisting of hay and slowly degradable concentrate on ruminal fermentation and digesta particle size in mid-lactation dairy cows. *Arch Anim Nutr* 60: 254-266.
- Teimouri Yansari, A., R. Valizadeh, A. Naserian, D. A. Christensen, P. Yu, y F. Eftekhari Shahroodi. 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.
- Valizadeh, R., M. Behgar, M. Mirzaee, A. A. Naserian, A. R. Vakili, y S. Ghowati. 2010. The effect of physically effective fiber and soy hull on the ruminal cellulolytic bacteria population and milk production of dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 23: 1325-1332.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Second edition ed. Cornell University Press, New York.
- Van Soest, P. J., y J. B. Robertson. 1985. *Analysis of forages and fibrous foods*. Cornell University.
- VandeHaar, M. J., y N. St-Pierre. 2006. Major advances in nutrition: Relevance to the sustainability of the dairy industry. *Journal of Dairy Science* 89: 1280-1291.
- Xu, M., Y. Dong, S. Du, Y. S. Yao, Y. H. Wang, F. N. Wang, y J. H. Yao. 2009. Effect of corn particle size on mucosal morphology and digesta ph of the gastrointestinal tract in growing goats. *Livestock Science* 123: 34-37.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 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., y K. A. Beauchemin. 2006a. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal ph of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal of Dairy Science* 89: 217-228.

- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2006b. Increasing the physically effective fiber content of dairy cow diets may lower efficiency of feed use. *Journal of Dairy Science* 89: 2694-2704.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2006c. 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., y K. A. Beauchemin. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal ph. *Journal of Dairy Science* 90: 2826-2838.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2009. Increasing physically effective fiber content of dairy cow diets through forage proportion versus forage chop length: Chewing and ruminal ph. *Journal of Dairy Science* 92: 1603-1615.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, y L. M. Rode. 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.
- Zebeli, Q., B. N. Ametaj, B. Junck, y W. Drochner. 2009. Maize silage particle length modulates feeding patterns and milk composition in loose-housed lactating holstein cows. *Livestock Science* 124: 33-40.
- Zebeli, Q., J. R. Aschenbach, M. Tafaj, J. Boguhn, B. N. Ametaj, y W. Drochner. 2012. Invited review: 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., J. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingass, B. N. Ametaj, y W. Drochner. 2008a. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the

responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *Journal of Dairy Science* 91: 2046-2066.

Zebeli, Q., D. Mansmann, H. Steingass, y B. N. Ametaj. 2010. 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.

Zebeli, Q., M. Tafaj, B. Junck, V. Olschlager, B. N. Ametaj, y W. Drochner. 2008b. Evaluation of the response of ruminal fermentation and activities of nonstarch polysaccharide-degrading enzymes to particle length of corn silage in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91: 2388-2398.

Zebeli, Q., M. Tafaj, H. Steingass, B. Metzler, y W. Drochner. 2006. Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 89: 651-668.

Zebeli, Q., M. Tafaj, I. Weber, J. Dijkstra, H. Steingass, y W. Drochner. 2007. Effects of varying dietary forage particle size in two concentrate levels on chewing activity, ruminal mat characteristics, and passage in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90: 1929-1942.

Zebeli, Q., M. Tafaj, I. Weber, H. Steingass, y W. Drochner. 2008c. Effects of dietary forage particle size and concentrate level on fermentation profile, in vitro degradation characteristics and concentration of liquid- or solid-associated bacterial mass in the rumen of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 140: 307-325.

Zhao, X. H., T. Zhang, M. Xu, y J. H. Yao. 2011. Effects of physically effective fiber on chewing activity, ruminal fermentation, and digestibility in goats. *Journal of Animal Science* 89: 501-509.