

**EFFECTO DE LA FIBRA DETERGENTE  
NEUTRO FISICAMENTE EFECTIVA Y EL  
NIVEL DE FORRAJE SOBRE EL CONSUMO,  
EL pH RUMINAL Y LA PRODUCCIÓN DE  
LECHE DE CABRAS**

**DANIELA ESPARZA FLORES**

**TESIS**

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

**MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**Subdirección de Posgrado**

**Torreón, Coahuila, México.  
Octubre de 2013.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**EFFECTO DE LA FIBRA DETERGENTE NEUTRO  
FISICAMENTE EFECTIVA Y EL NIVEL DE FORRAJE  
SOBRE EL CONSUMO, EL pH RUMINAL Y LA  
PRODUCCIÓN DE LECHE DE CABRAS**

POR

**DANIELA ESPARZA FLORES**

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

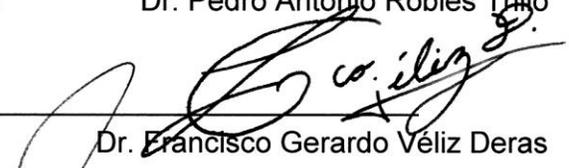
**MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

Asesor principal \_\_\_\_\_



Dr. Pedro Antonio Robles Trillo

Asesor: \_\_\_\_\_



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras

Asesor: \_\_\_\_\_



Dr. Carlos Morán Rodríguez

Asesor: \_\_\_\_\_



Dr. José Luis Reyes Carrillo

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

OCTUBRE DE 2013

# **COMPENDIO**

**Efecto de la fibra detergente neutro físicamente efectiva y el nivel de forraje sobre el consumo, el pH del rumen y la producción de leche de cabras**

**Por**

**Daniela Esparza Flores**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**Torreón, Coahuila, Octubre de 2013**

Es importante proporcionar raciones adecuadas a los rumiantes para mantener o incrementar la producción de leche sin comprometer su salud ruminal. La fibra es importante para mantener el equilibrio en el rumen, sobre todo si se ofrece con un tamaño de partícula adecuado que provoque que el animal mastique y rumie más para producir más saliva y evitar que el pH ruminal caiga a niveles que desencadenen una acidosis ruminal subaguda y la disminución del porcentaje de grasa en la leche.

En 1997, Mertens creó un concepto nuevo, la fibra detergente neutro físicamente efectiva (FDN<sub>fe</sub>), que integra las características físicas, como el

tamaño de partícula, con la composición química de la ración y, por lo tanto, se considera más eficaz para predecir las condiciones ruminales. La FDNfe se considera efectiva cuando estimula la masticación y mantiene el porcentaje de la grasa en la leche. Se han realizado varios estudios para determinar el efecto de la FDNfe a nivel ruminal y productivo en las vacas, pero solo hay un estudio publicado este año en caprinos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar los efectos de la FDNfe y el nivel de forraje sobre el consumo de materia seca, el pH ruminal y la producción y composición de la leche de cabras a través de dos experimentos.

Para el primer experimento se utilizaron 4 cabras no lactantes, mientras que para el experimento 2 se utilizaron 8 cabras al inicio de la lactancia, y se asignaron a un experimento con un arreglo de cuadrado latino 4x4 y un ajuste factorial 2x2. A las cabras se les ofrecieron dietas con forrajes cuyo tamaño de partícula era largo o corto y una relación forraje:concentrado de 60:40 o 35:65 a libre acceso. No se detectaron diferencias en el consumo de materia seca en las cabras alimentadas con el forraje de partículas cortas o largas ( $P>0.05$ ). El pH del rumen fue afectado por la relación F:C, siendo menor en las cabras que consumieron 35:65. La producción de leche no fue afectada por las dietas. La grasa en la leche fue afectada solamente por la relación F:C siendo mayor en la ración 60:40 ( $P<0.05$ ). Este estudio demuestra que la proporción de concentrado en la dieta es más importante para alterar el pH del rumen y el porcentaje de grasa en la leche que la longitud de la partícula del forraje.

**Palabras clave:** FDNfe, pH ruminal producción y composición de leche, cabras

## **Summary**

**Effect of physically effective fiber and forage level on intake, ruminal pH  
and milk production of dairy goats**

**By**

**Daniela Esparza Flores**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**Torreón, Coahuila, Octubre de 2013**

It's important to provide adequate rations to the ruminants for maintaining or incrementing the milk production without compromising the ruminal health. The fiber is important to maintain the balance in the rumen, mostly if it's offer with a adequate particle size that causes more chews and ruminates for producing more saliva and preventing a low ruminal pH that can cause a subacute ruminal acidosis and a lower milk fat.

In 1997, Mertens created a new concept, the physically effective fiber (peNDF), which amalgamate the physical characteristics, like the particle size, with the diet's chemical composition. The peNDF is effective when it stimulates the mastication and maintains the percentage of fat in the milk. 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 only a paper published in goats this year. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of the peNDF and the forage level on dry matter intake, ruminal pH and production and milk composition of dairy goats by doing two experiments.

In experiment 1, 4 non lactating goats were used; and in experiment 2, 8 goats in early lactation were used, they were assigned to an experiment with a 4x4 latin square and a 2x2 factorial design. The diets were offered ad libitum and consisted of long and short forage and 60:40 or 35:65 forage:concentrate ratio. No differences were observed in dry matter intake in goats fed with long or short forage ( $P>0.05$ ). Ruminal pH were affected by F:C ratio, the lower was observed in goats fed 35:65. No effect was observed on milk production. Milk fat was affected only for the F:C ratio and was higher in the 60:40 diets. This study shows that the concentrate ratio in the diet is more important to affect ruminal pH and milk fat than the forage particle size.

**Keywords:** peNDF, ruminal pH, production and milk composition, dairy goats

## INDICE DE CONTENIDO

COMPENDIO .....	iii
Summary.....	v
Introducción .....	1
Revisión de literatura .....	4
Tamaño de partícula del forraje .....	4
Efecto del tamaño de partícula sobre el consumo de materia seca y la selectividad de la ración .....	6
Efecto del tamaño de partícula sobre la masticación .....	10
Efecto del tamaño de partícula sobre el pH y la fermentación del rumen....	12
Efecto del tamaño de partícula del forraje sobre la digestibilidad ruminal ...	18
Efecto del tamaño de partícula sobre la producción y composición de leche .....	21
Relación Forraje:Concentrado .....	22
Fibra detergente neutro físicamente efectiva .....	24
Métodos de medición de la FDNfe .....	28
Efecto de la FDNfe sobre el consumo de materia seca y la masticación ....	32
Efecto de la FDNfe sobre el pH, la fermentación y la digestibilidad ruminales.....	36
Efecto de la FDNfe sobre la producción y la composición de leche .....	41
Ovinos y caprinos .....	42
Cantidad óptima de fibra .....	42
Selectividad durante el consumo .....	43
Relación forraje:concentrado.....	43
Masticación y pH ruminal .....	44
Digestibilidad.....	46
Tasa de pasaje.....	47
Fermentación .....	48
Producción y composición de leche .....	49
Artículo publicado en revista Tropical and Subtropical Agroecosystems 15(2012):471-479 .....	53
EFECTO DE LA FDNfe y EL NIVEL DE FORRAJE SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA, pH RUMINAL Y LA PRODUCCIÓN Y LA COMPOSICIÓN DE LECHE EN CABRAS.....	53

Discusión General .....	70
Consumo de materia seca .....	70
pH ruminal.....	73
Producción y composición de leche .....	75
Conclusión .....	79
Literatura citada general.....	80
Apéndice .....	95
Métodos de análisis bromatológicos .....	95
Determinación de materia seca total .....	95
Determinación de cenizas .....	97
Determinación de proteína .....	99
Determinación de extracto etéreo .....	102
Determinación de la fibra detergente neutro .....	105
Determinación de Fibra detergente ácido .....	107

## Introducción

En los hatos lecheros, se suelen dar forrajes de alta calidad pero con un tamaño de partícula pequeño y con un porcentaje alto de concentrado. Este tipo de raciones aumenta la producción de leche pero pueden causar problemas metabólicos diversos, siendo uno de los más importantes la acidosis ruminal subaguda (Beauchemin *et al.*, 2003; Yang y Beauchemin, 2005).

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, 2003a; Krause y Combs, 2003). El concepto de fibra detergente neutro físicamente efectiva (FDNfe) incluye el contenido de fibra y el tamaño de partícula (Arzola *et al.*, 2010) y por eso es más eficiente para predecir las condiciones ruminales (Zebeli *et al.*, 2010).

La forma física de la fibra juega un papel importante en la aparición de una acidosis ruminal (Zhao *et al.*, 2011). 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 (Asadi-Alamouti *et al.*, 2009). Éstos ácidos pueden causar que el pH ruminal caiga por debajo de 5.8 produciéndose una acidosis ruminal subaguda (ARS) (Graf *et al.*, 2005). Las consecuencias que un animal que sufra ARS 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). Se han realizado varios estudios en bovinos para determinar los efectos de la FDNfe sobre el pH ruminal, la fermentación y 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), 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).

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%. En algunos estudios realizados en vacas 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).

Las cabras son diferentes de las vacas y las ovejas en sus hábitos de alimentación, nivel de consumo y selección de la dieta, por lo tanto, para determinar la concentración óptima de fibra para la producción se debe considerar la etapa de lactancia y el nivel de producción (Santini *et al.*, 1992, Lu *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2011). En las cabras no se 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).

En cabras, se ha reportado que un incremento en la relación F:C en la ración provoca un aumento en la grasa de la leche, debido a una producción mayor de ácido acético en el rumen (Min *et al.*, 2005). Aunque, en las cabras no se 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).

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 (Sanz-Sampelayo *et al.*, 1998). Por otra parte, Zhao *et al.*, (2011), concluyeron que al incrementar la FDNfe de la dieta provoca que la cabra mastique más mejorando el pH del rumen. La cabra es menos sensible a la ausencia de forraje que la vaca por lo que una disminución en la relación F:C podría no disminuir el pH del rumen, ni la grasa en la leche. Por otra parte, la cabra también es menos sensible a la disminución del tamaño de partícula del forraje por lo que al disminuir la FDNfe de la dieta podría no afectarse la grasa en la leche. La investigación del efecto de la FDNfe en los caprinos es escasa, por lo que el objetivo de este estudio fue extender el conocimiento de la eficacia física de la fibra detergente neutro en cabras a través de la evaluación del efecto de la FDNfe y la relación F:C sobre el consumo de materia seca, el pH ruminal, y la producción y composición de leche.

## Revisión de literatura

### Tamaño de partícula del forraje

Los carbohidratos son la proporción mayor en la dieta y son importantes para cumplir con los requerimientos de energía y mantener la salud ruminal (Eastridge, 2006). Los carbohidratos conforman el 70% o más de la materia seca de la ración y son precursores de energía (Mertens, 1997).

La fibra es la fracción digerible lentamente o indigerible de los alimentos que ocupa espacio en el tracto gastrointestinal de los animales (Mertens, 1997). Una ración con una cantidad suficiente de fibra gruesa influye en la rumia, la masticación y el amortiguamiento (Plaizier *et al.*, 2009), además que mejora el consumo de materia seca (CMS) y la producción y la composición de leche y previene la acidosis ruminal subaguda (ARS) (Zebeli *et al.*, 2008a). La calidad del forraje depende del contenido de fibra (Tafaj *et al.*, 2005a).

Un exceso de fibra en la ración provocará una disminución en la densidad energética, en el consumo y en la productividad. Una dieta alta en fibra estimula la masticación y disminuye la producción de ácido (Mertens, 1997). Una dieta deficiente en fibra logrará que el animal presente síntomas como alteraciones de la fermentación y la digestibilidad, disminución de la rumia, de la producción de saliva, de la proporción acetato:propionato, de la tasa de pasaje, de la cantidad de grasa en la leche, aumento en el riesgo de desplazamiento de abomaso, paraqueratosis ruminal, laminitis, síndrome de la

vaca gorda, acidosis láctica y hasta la muerte (Lammers *et al.*, 1996; Mertens, 1997; Heinrichs *et al.*, 1999; Soita *et al.*, 2000; Rodríguez-Prado *et al.*, 2004).

Los forrajes con un tamaño de partícula adecuado tienen más fibra efectiva que las fuentes no forrajeras (Eastridge, 2006) y tienen un tamaño crítico (Soita *et al.*, 2000). La forma física del forraje incluyendo el tamaño de partícula influye en la efectividad estructural y en la uniformidad de la ración totalmente mezclada (RTM), en el CMS, la masticación, la rumia, la fermentación, la eficacia digestiva, en el amortiguamiento ruminal, en la producción y la composición de la leche y en la salud de la vaca previniendo los desordenes metabólicos (Soita *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2002; Kononoff y Heinrichs, 2003a; Tafaj *et al.*, 2005c; Zebeli *et al.*, 2007).

El tamaño de partícula corto y/o fino afecta negativamente la estratificación de la digesta porque se estimulan menos la masticación y las contracciones ruminales resultando en una disminución del pH, la digestión de la fibra, el CMS, la eficacia alimenticia, la relación acetato:propionato y el porcentaje de grasa en la leche (Lammers *et al.*, 1996; Yang *et al.*, 2001a; Kononoff *et al.*, 2003b; Zebeli *et al.*, 2010). Se ha observado que una vaca alimentada con una dieta con una cantidad suficiente de fibra detergente neutro (FDN) y forraje con un corte fino puede presentar los mismos problemas metabólicos que las alimentadas con dietas bajas en fibra (Lammers *et al.*, 1996). La cantidad adecuada de partículas largas o de FDN incrementa la masticación, mantiene el pH del rumen y mejora su ambiente para la digestión (Teimouri-Yansari *et al.*, 2004).

El ensilaje de maíz tiene cantidades de almidón, energía y fibra digestible altas. Se requiere que el ensilaje de maíz tenga un tamaño de partícula adecuado para que las condiciones ruminales se mantengan bien y se reduzcan los desórdenes metabólicos (Zebeli *et al.*, 2008b). Además, se han realizado muchos estudios del tamaño de partícula de los ensilajes de alfalfa, cebada y maíz, pero falta en otro tipo de forrajes como el ensilaje de avena (Bhandari *et al.*, 2008).

La recomendación de Plaizier *et al.* (2009) es que al menos el 40% de las partículas en una RTM sean mayores de 8 mm; sin embargo, el Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, NRC) no tiene una recomendación del tamaño de partícula debido a la falta de información (Beauchemin y Yang, 2005).

### **Efecto del tamaño de partícula sobre el consumo de materia seca y la selectividad de la ración**

La fibra es importante para mantener la salud del rumen, aunque en exceso puede limitar el CMS y su eficacia de uso por un llenado mayor del rumen (Eastridge, 2006; Zebeli *et al.*, 2008a) afectándose el balance de energía (Kononoff *et al.*, 2003a; Kononoff y Heinrichs, 2003b). La disminución moderada del tamaño de partícula del forraje mejora el consumo al incrementarlo y la eficacia alimenticia (Asadi-Alamouti *et al.*, 2009), porque el tiempo de retención

en el rumen es menor al aumentar la tasa de pasaje así como la digestibilidad (Tafaj *et al.*, 2001; Clark y Armentano, 2002; Yang y Beauchemin, 2006c).

La fibra larga ocasiona un llenado mayor del rumen porque la tasa de pasaje se vuelve más lenta y esto provoca que se limite el CMS (Kononoff y Heinrichs, 2003b; Einarson *et al.*, 2004). La disminución del tamaño de partícula causa un incremento en el CMS ya que disminuye el tiempo de rumia (Kononoff y Heinrichs, 2003b). El ensilaje de maíz es el forraje ideal por su cantidad alta de almidón y fibra, además de tener propiedades favorables para la producción de leche. El corte moderado del ensilaje de maíz aumenta el consumo de energía y de nutrientes debido a los beneficios del tamaño de partícula chico en el llenado físico del rumen (Zebeli *et al.*, 2009).

El consumo de materia seca está limitado principalmente por la salida de la digesta del rumen. Para mejorar el CMS se debe incrementar la salida de las partículas del rumen a través de un aumento en la tasa de digestión, la tasa de pasaje o ambas. El forraje debe ser reducido para poder abandonar el rumen (Bhatti *et al.*, 2008). Se ha observado que las partículas retenidas en una criba de 1.18 mm abandonan el rumen más lentamente que las que no se retienen. Para que las partículas mayores de 1.18 mm dejen el rumen, éstas deben ser trituradas y son las que estimulan la masticación y la salivación (Kononoff y Heinrichs, 2003b). Las partículas menores de 1.18 mm componen el 72% de la materia seca que se encuentra en el rumen.

La tasa de pasaje de las partículas menores de 1.18 mm controlan el tiempo de retención de la digesta y el consumo voluntario de las vacas y las ovejas. Un aumento en el CMS se asocia con una disminución en la

digestibilidad de la materia seca y la pared celular como consecuencia de que la digesta pasa menos tiempo en el rumen (Bhatti *et al.*, 2008). El forraje puede pasar hasta 24 horas en el rumen para que haya una disminución en el tamaño de partícula y pase al abomaso (Kingston-Smith *et al.*, 2008).

La gravedad específica funcional (GEF) se altera por la exposición a las condiciones del rumen como el consumo de líquido y la disminución del tamaño de partícula. La gravedad específica y el tamaño de partícula influyen en las fracciones de la fibra que escapan del rumen y las que no lo hacen. Las partículas que no abandonan el rumen tiene una GEF menor que el líquido ruminal y un tamaño mayor al crítico, mientras que las que sí dejan el rumen son más densas que el líquido ruminal y tienen un tamaño igual o menor al crítico. Las partículas que no abandonan el rumen son las que estimulan la masticación, la formación de la maraña ruminal y mantienen su consistencia (Teimouri-Yansari *et al.*, 2004).

El consumo rápido o selectivo conduce a una variación diurna mayor en la producción de ácidos durante la fermentación, lo que podría conducir a una ARS (Kononoff *et al.*, 2003b). Las vacas alimentadas con una ración totalmente mezclada tienden a seleccionar el grano y dejar el forraje largo lo que provoca un consumo inconsistente de la ración. Estas vacas consumen más grano y menos fibra porque rechazan las partículas largas, y por lo tanto, el animal mastica menos, afectándose el pH del rumen y se incrementa el riesgo de ARS (Leonardi y Armentano, 2003; Stone, 2004; DeVries *et al.*, 2007), siendo uno de los signos clínicos la disminución en el consumo de materia seca (Plaizier *et al.*, 2009). La selectividad se puede minimizar evitando el exceso de material

largo en la RTM (Stone, 2004). Un consumo menos selectivo podía tener efectos positivos sobre el consumo de energía porque se reduciría la variación en el valor nutricional de la dieta que queda en el comedero (DeVries *et al.*, 2005).

La disminución del tamaño de partícula mejora la uniformidad de la RTM y hay un consumo menos selectivo, este último puede tener efectos positivos en el consumo de energía circadiano por la disminución en la variación del valor nutritivo de la dieta que queda en el comedero (Zebeli *et al.*, 2009). También, se puede proporcionar heno de alfalfa largo por separado de la RTM y así se pueden utilizar cortes de alfalfa más cortos en la ración lo que puede mejorar la uniformidad del tamaño de partícula y que se reduzca la selección de las partes muy fermentables para asegurar el consumo adecuado de fibra efectiva y que no disminuya drásticamente el pH después de la alimentación (Kowsar *et al.*, 2008).

Zebeli *et al.* (2009) consideran que el tamaño de partícula del ensilaje de maíz puede modificar los patrones de alimentación y además puede estar involucrado en la modulación de las respuestas de todo el consumo del alimento y el rendimiento en las vacas lactantes, debido a sus posibles efectos sobre el consumo selectivo del alimento y el metabolismo ruminal.

Los efectos del tamaño de partícula del forraje han arrojado resultados contradictorios (Bhandari *et al.*, 2007). En algunos estudios la disminución del tamaño de partícula de los ensilajes de alfalfa, cebada y maíz causó un aumento en el consumo de materia seca, mientras que en otros bajó el consumo (Bhandari *et al.*, 2008). Los resultados publicados por Bal *et al.* (2000)

indicaron que las vacas alimentadas con dietas que contenían ensilaje de maíz procesado cosechado con tres longitudes de corte (0.95, 1.45 y 1.90 cm) tuvieron un incremento en el consumo de materia seca y en el peso corporal en comparación con las vacas alimentadas con un ensilaje sin procesar y de 0.95 cm de longitud. No está claro si el incremento en el tamaño teórico de partícula del ensilaje de maíz provoca un aumento en la selectividad durante el consumo (Cooke y Bernard, 2005).

Se conoce que la regulación temprana del CMS está en función del tamaño y la frecuencia del alimento y éstas a su vez son afectadas por el tamaño de partícula y la fuente del forraje y el nivel de concentrado (Zebeli *et al.*, 2010). Tafaj *et al.* (2007) concluyeron que el efecto del tamaño de partícula sobre el CMS podría depender de la fuente de forraje, la relación F:C y el tipo de concentrado y su tasa de degradación en el rumen reflejando sus efectos en las condiciones ruminales y en la digestión. Sin embargo, el efecto del tamaño de partícula sobre el consumo es difícil de determinar porque el aumento en el CMS provoca un incremento en el consumo de almidón degradable y esto conlleva a cambios importantes en los procesos digestivos y pueden confundirse los efectos del tamaño de partícula (Zebeli *et al.*, 2007).

### **Efecto del tamaño de partícula sobre la masticación**

El tamaño de partícula adecuado del forraje es necesario para una función ruminal normal, la cual se logra mediante la masticación y ésta

incrementa la producción de saliva (Beauchemin *et al.*, 2003; Kononoff *et al.*, 2003a). El tamaño de partícula corto disminuye la masticación, la salivación y el amortiguamiento ruminal, por lo que el pH disminuye, así como la proporción acetato:propionato y se incrementa el riesgo de ARS (Clark y Armentano, 2002; Bhadari *et al.*, 2007).

Las partículas largas influyen en la masticación y la rumia, y por lo tanto, en el amortiguamiento ruminal (Yang *et al.*, 2001b; Yang y Beauchemin, 2005; 2009). La masticación provoca que haya salivación. La saliva tiene amortiguadores inorgánicos, como el bicarbonato de sodio, que neutralizan los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación (Plaizier *et al.*, 2009). La masticación se encarga de hacer más pequeña la partícula del alimento ingerido (Kononoff *et al.*, 2003b). Cuando la capacidad de amortiguamiento ruminal es baja se predispone a ARS, laminitis y a la disminución en la grasa de la leche y la digestión de la fibra (Einarson *et al.*, 2004).

Las fuentes de fibra tienen una habilidad diferente para estimular la masticación y se puede deber al contenido de fibra, al tamaño de partícula, a la densidad y a las interacciones físicas con otros ingredientes en el rumen. (Soita *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2001b). La alfalfa se utiliza en forma de ensilaje o heno, pero el ensilaje tiene un tamaño de partícula menor, es menos frágil, más flexible y está hidratado y este puede ocasionar que tenga menos fibra efectiva lo cual disminuye la masticación y predispone a ARS (Beauchemin *et al.*, 2003).

Se ha investigado mucho acerca del tamaño de partícula del ensilaje de maíz pero los resultados han sido contradictorios, ya que en algunos no hubo efectos del tamaño de partícula sobre la masticación, mientras que en otros se

observó que la disminución del tamaño de partícula afectó la masticación y la digestión (Zebeli *et al.*, 2008b). Se ha observado que el ofrecer una dieta con el 55% de heno de alfalfa provoca más masticación y rumia que el 55% de ensilaje. La masticación y la rumia conducen a una producción de saliva mayor que amortigua los ácidos producidos en la fermentación y estabiliza el pH (Onetti *et al.*, 2004).

Se ha propuesto que el forraje largo en la ración es una medida práctica para asegurar la salud ruminal reduciéndose el riesgo de una acidosis; sin embargo, ha sido difícil de probar que esto se logre a través de la masticación. Una de las razones podría ser que la secreción de saliva y por lo tanto, la capacidad amortiguadora del bicarbonato no se incrementa cuando el animal mastica más (Storm y Kristensen, 2010).

### **Efecto del tamaño de partícula sobre el pH y la fermentación del rumen**

El pH es un factor crítico para mantener el rumen normal y estable debido a que afecta a las poblaciones microbianas, los productos de la fermentación y las funciones fisiológicas del rumen (Zebeli *et al.*, 2010). Se puede considerar al rumen como un fermentador grande con un pH neutro (Kingstone-Smith *et al.*, 2008).

Cuando se incrementa la fibra y el tamaño de partícula el rumiante mastica más, lo que conlleva a una producción de saliva mayor, se eleva el pH y la grasa de la leche (Arzola *et al.*, 2010; Kononoff y Heinrichs, 2003b;

Kononoff *et al.*, 2003a), pero hay poca fermentación ruminal (Bhandari *et al.*, 2008). La disminución del tamaño de partícula causa que el pH disminuya, así como la proporción acetato:propionato. (Heinrichs *et al.*, 1999; Clark y Armentano, 2002; Leonardi y Armentano, 2003) y se incrementa el riesgo de ARS (Bhandari *et al.*, 2008).

Un pH bajo causa que disminuyan el CMS, la motilidad ruminal, la digestión de la fibra y la síntesis de proteína microbiana, que se detenga la síntesis de grasa en la leche, además favorece la aparición de laminitis, úlceras ruminales y abscesos hepáticos (Clark y Armentano, 2002; Krause *et al.*, 2002b)

El pH ruminal se determina por el contenido de fibra de la dieta, el consumo de carbohidratos fermentables y por el balance entre los ácidos producidos durante la fermentación y la capacidad del animal para secretar sustancias amortiguadoras y absorber o neutralizar los ácidos (Krause *et al.*, 2002b; Rustomo *et al.*, 2006; Zebeli *et al.*, 2010).

El pH óptimo que debe tener el rumen de la vaca es de 6.2 a 7.2 (Yang y Beauchemin, 2007a). La acidosis ruminal aguda se da cuando el pH del rumen está entre 5 - 5.2 porque el animal consume una gran cantidad de grano, mientras que para que se produzca la acidosis ruminal subaguda el pH debe estar entre 5.2 y 5.6 (Stone, 2004). Sin embargo, el pH varía mucho en un período de 24 horas (Zebeli *et al.*, 2010), ya que suele caer después de la alimentación y subir después de la rumia (Stone, 2004). En las vacas alimentadas con una ración con 45% o más de concentrado el pH es de 6.6 antes de la alimentación matutina y de 5.3 o 5.0 durante las fases intensivas de

la fermentación, promediando 6.0 - 6.2. El pH ruminal por debajo del promedio predispone a ARS causando una disminución de la digestión de la fibra, el CMS, la producción y la activación de la respuesta inflamatoria sistémica que se asocia con un incremento en laminitis y lipidosis hepática (Zebeli *et al.*, 2010).

El pH se puede medir obteniendo líquido ruminal con una sonda o por ruminocentesis o directamente en el rumen colocando electrodos a través de una fístula. La técnica que se utilice afectará el valor del pH, por ejemplo, se ha observado que el pH que indica la presencia de ARS es de 5.5 tomando la muestra por ruminocentesis, de 5.8 a través de fístula en el saco ventral y de 5.9 con sonda oral (Stone, 2004; Plaizier *et al.*, 2009).

Los animales que están en riesgo de sufrir una ARS son los que están en etapa de transición, los que tienen un CMS alto, los que sufren de mucha variación en la ración o en los patrones alimenticios y los animales con dietas formuladas pobremente. La acidosis ruminal subaguda se produce por un aumento en los AGV más que por el incremento en el lactato (Stone, 2004).

La apariencia de las heces en una vaca con ARS es más brillante y amarillenta. La vaca presenta diarrea y heces espumosas debido a que al aumentar la fermentación en el intestino grueso se producen AGV y CO<sub>2</sub> y el gas sale en forma de burbujas, además se incrementa la acidez del contenido intestinal y las heces lo que provoca una muda de las células epiteliales. Se puede observar moco o fibrina en las heces, ya que el organismo de la vaca intenta proteger el tejido dañado. La laminitis es la inflamación de las capas internas de la piel dentro del pie. La disminución en el pH causa rumenitis y lesiones en la mucosa lo que afecta su función de barrera y se produce una

traslocación de las bacterias ruminales en la sangre que se traduce en abscesos hepáticos (Plaizier *et al.*, 2009).

Los animales con trauma, daños en tejidos e infección entran en una fase de respuesta aguda gracias a las proteínas de fase aguda para prevenir que se produzca más daño, aislar y destruir al organismo infeccioso, remover las moléculas dañinas y activar los procesos de reparación necesarios para regresar a la normalidad (Plaizier *et al.*, 2009).

Los ácidos grasos volátiles (AGV) son los productos finales de la fermentación y son el combustible metabólico para el rumiante y para las células microbianas que son la fuente principal de proteína y aminoácidos cuando se absorben en el tracto digestivo bajo (Krause *et al.*, 2003; Kingston-Smith *et al.*, 2008).

La fermentación eleva los ácidos grasos volátiles que deben ser neutralizados o absorbidos por la saliva (Yang *et al.*, 2001b). El pH bajo se debe a que los ácidos orgánicos, como los AGV y el ácido láctico, se acumulan en el rumen y no pueden ser neutralizados por la capacidad amortiguadora ruminal (Plaizier *et al.*, 2009). Los AGV son eliminados del rumen por absorción por el epitelio ruminal principalmente, del 30 al 40% son neutralizados por la saliva y solo una cantidad pequeña pasa al omaso (Stone, 2004; Yang y Beauchemin, 2006a; Storm y Kristensen, 2010). Se considera que existen tres procesos que limitan la absorción de los AGV a través del tejido epitelial del rumen: 1) el transporte intraruminal de los AGV desde el sitio de producción hasta el sitio de absorción, 2) el transporte a través del epitelio ruminal y 3) el flujo de sangre en

el epitelio que limita la eliminación de los AGV desde la parte serosa (Storm y Kristensen, 2010).

El equilibrio intraruminal de los AGV desde el sitio de producción hasta el sitio de absorción es facilitado por los ciclos contractivos de las bandas musculares del reticulorumen que mezclan el contenido ruminal y exponen los AGV a la pared ruminal para su absorción (Storm y Kristensen, 2010). La fermentación aumenta los productos de la fermentación provocando que la capacidad absorbente de las papilas del rumen alcance su máximo y se incremente la concentración de AGV en el rumen provocando una disminución en el pH (Plaizier *et al.*, 2009). Las contracciones del reticulorumen mezclan el contenido del rumen, mejorando la absorción de los AGV por el tejido epitelial del rumen, elevándose la tasa de flujo de la digesta al omaso y dispersando la saliva a través del rumen, como consecuencia el pH ruminal se debe incrementar debido a la reducción en las concentraciones de AGV o del amortiguamiento del ácido (Stone, 2004).

Una dieta con una cantidad mayor de grano que de forraje provoca un aumento en los AGV debido a que el grano es más digestible en el rumen. La evacuación de los ácidos del rumen se afecta por el tamaño y la densidad de las papilas del rumen ya que determinan que tan rápido se absorben los ácidos. La disminución en la absorción produce inflamación y paraqueratosis, causando una baja en el pH y un aumento en el riesgo de presentar ARS (Plaizier *et al.*, 2009). Probablemente, el equilibrio intraruminal de los AGV está limitado por la consistencia del contenido ruminal, la cual depende de la estratificación de la digesta y de la viscosidad del fluido (Storm y Kristensen, 2010). En las dietas

bajas en forraje no se controla completamente la ARS porque la fermentabilidad de la dieta es alta (Arzola *et al.*, 2010).

El tamaño de partícula del alimento afecta el tamaño de la maraña o la capa fibrosa. El efecto del tamaño de partícula largo sobre el pH ruminal se puede atribuir a los cambios en la consistencia del contenido del rumen que reduce la tasa de equilibrio intraruminal de los AGV, y como consecuencia hay un retraso en la absorción y se protege el epitelio cuando se alcanzaa concentración más alta de AGV (Storm y Kristensen, 2010).

La bacteria *Streptococcus bovis* es la productora principal de lactato cuando el pH del rumen se encuentra por arriba de 5.0. Los productos producidos por *Streptococcus bovis* durante la fermentación dependen del pH y de la tasa de crecimiento. El acetato y el etanol se producen con un pH por encima de 5.7, mientras que los niveles de lactato se incrementan hasta que el pH cae a 5.2. Un beneficio adicional de la fibra larga que no se toma en cuenta al formular la ración es el incremento en las contracciones reticuloruminales (Stone, 2004).

Se ha observado que el pH ruminal es menor en dietas con cebada que con dietas con maíz, aunque la dieta contenga la misma proporción de fibra efectiva, y esto se debe a que la cebada se digiere más rápido (Yang *et al.*, 2001a). Se han realizado varios estudios evaluando los efectos del tamaño de partícula de varios tipos de forrajes sobre la función ruminal con resultados contradictorios. Por ejemplo, en algunos la disminución del tamaño de partícula de los ensilajes de alfalfa, cebada y maíz no afectó el pH, pero en otros se observó una disminución (Bhandari *et al.*, 2007; 2008; Zebeli *et al.*, 2008b). Se

ha investigado poco sobre la fermentación *in vitro* versus *in vivo* y en las fases de la digesta (Tafaj *et al.*, 2005c). Además, se desconoce el efecto que tiene la disminución del tamaño de partícula del ensilaje de maíz sobre la fermentación y la actividad fibrolítica (Zebeli *et al.*, 2008b).

### **Efecto del tamaño de partícula del forraje sobre la digestibilidad ruminal**

Los rumiantes y los microorganismos tienen una relación simbiótica que es benéfica para ambos. El rumen es una cámara de fermentación pre-gástrica amplia que sustenta a una comunidad rica de microorganismos que colonizan y digieren las partículas del alimento. Los polímeros de los carbohidratos de las plantas son indigestibles para los animales pero pueden ser hidrolizados y fermentados por los microorganismos ruminales. Los microorganismos fibrolíticos son los que catalizan la degradación de la fibra en el rumen (Krause *et al.*, 2003). La fermentación del forraje por la microflora ruminal promueve el crecimiento bacteriano y la conversión de la proteína de la planta en proteína microbiana (Kingston-Smith *et al.*, 2008).

La RTM proporciona el balance de nutrientes, como proteína y carbohidratos estructurales y no estructurales, que necesitan los rumiantes para mantener su población microbiana estable y eficiente (Kononoff *et al.*, 2003b; DeVries *et al.*, 2007).

El contenido alto en fibra se asocia con un grado alto de lignificación y esto conlleva una tasa baja de la degradación de la fibra en el rumen

aumentando la masticación y disminuyendo la tasa de pasaje, la digestibilidad de la fibra y el CMS. (Tafaj *et al.*, 2005a). Una dieta baja en fibra afecta la digestión y disminuye la energía que proporciona la ración (Zebeli *et al.*, 2007). El tamaño de partícula afecta la digestión, la tasa de pasaje, la síntesis de proteína microbiana y la digestión postruminal (Yang *et al.*, 2002; Yang y Beauchemin, 2005; 2006c).

Existen contradicciones acerca de cómo el tamaño de partícula afecta la digestibilidad ruminal, ya que en algunos estudios ha afectado más y en otros menos la síntesis de proteína microbiana (Zebeli *et al.*, 2008c). Algunos investigadores consideran que el incremento del tamaño de partícula mejora la eficacia de la síntesis de proteína microbiana, la digestión del N, la digestión de la proteína cruda además de incrementar la digestión de la fibra (Yang y Beauchemin, 2005; 2006c).

Por su parte, Rodríguez-Prado *et al.* (2004) reportan que en pruebas *in vitro* se ha observado que la disminución del tamaño de partícula causa un aumento en la digestión de la fibra, ya que hay una superficie mayor para los microorganismos del rumen, aunque *in vivo* se ha observado que disminuye la digestión debido al incremento en la tasa de pasaje, además de una disminución en el pH debido a que el animal rumia menos. Otro grupo de investigadores consideran que la disminución del tamaño de partícula del ensilaje de maíz causa un aumento en la superficie disponible para las bacterias fibrolíticas, lo que promueve la digestión y tiene efectos positivos sobre la eficacia de su uso, además se mejora la uniformidad de las RTM

disminuyéndose a la selectividad durante el consumo y el riesgo de desórdenes ruminales (Zebeli *et al.*, 2008b; 2010).

El pH determina el tipo de digestión (Plaizier *et al.*, 2009). El pH ruminal menor de 6.0 causa una disminución en el crecimiento de los organismos celulolíticos y un aumento en los que producen propionato (Lammers *et al.*, 1996). Las bacterias fibrolíticas no toleran un pH menor a 6.0 porque son sensibles a la acidez y ocasionan una baja en la digestibilidad de la fibra y en el suministro microbiano de aminoácidos al intestino delgado y, por lo tanto, en la energía neta de la dieta (Yang y Beauchemin, 2007a; 2009; Plaizier *et al.*, 2009).

El ensilaje solubiliza las proteínas y disminuye la eficacia en la asimilación de amoníaco, aminoácidos y péptidos a la masa microbiana por un aumento en la pérdida de N. Al alterar el porcentaje de los forrajes secos y ensilados en la RTM se alteran la cantidad de ATP liberado, la disponibilidad del N, la producción de la masa microbiana y la producción de leche (Kowsar *et al.*, 2008). Tafaj *et al.* (2007) sugirieron que para predecir los efectos digestivos del tamaño de partícula hay que considerar las interrelaciones con la fibra, la proporción de fibra larga, la relación almidón degradable - fibra y el nivel de consumo. Existe información limitada de cómo el tamaño de partícula impactará la digestión ruminal y total, el metabolismo del N, el contenido de energía de la dieta o el rendimiento en vacas lactantes (Johnson *et al.*, 2003). Existe poca información de los efectos del heno largo sobre la digestión en las dietas basadas en ensilaje de maíz (Courdec *et al.*, 2006).

## **Efecto del tamaño de partícula sobre la producción y composición de leche**

El porcentaje de grasa en leche se considera un indicador de la salud ruminal y de que la ración tiene la cantidad adecuada de fibra, ya que se relaciona con los productos de la fermentación (Zebeli *et al.*, 2010). Los forrajes, en una ración alta en fibra y con un tamaño largo, proporcionan energía y fibra para una función ruminal normal y que se mantenga el porcentaje de grasa en la leche (Clark y Armentano, 2002; Kononoff *et al.*, 2003a).

La disminución del tamaño de partícula y el pH bajo del rumen provocan que cese la síntesis de grasa en la leche (Clark y Armentano, 2002; Leonardi y Armentano, 2003). La disminución en el porcentaje de grasa se da por cambios en la biohidrogenación de las grasas porque se inhibe la síntesis de grasa en la glándula mamaria (Onetti *et al.*, 2004) y porque hay una relación Acetato:Propionato (A:P) menor y un aumento en la insulina y los ácidos trans-octadecenoicos (Plaizier *et al.*, 2009).

Los estudios que han evaluado los efectos del tamaño de partícula del forraje han arrojado resultados contradictorios, en algunos la disminución del tamaño de partícula en algunos bajó la grasa de la leche pero en otro no se observó efecto (Bhandari *et al.*, 2007; 2008). Los resultados publicados por Bal *et al.* (2000) indicaron que las vacas alimentadas con dietas que contenían ensilaje de maíz procesado cosechado con tres longitudes de corte (0.95, 1.45 y 1.90 cm) tuvieron un incremento en la producción y concentración de grasa en leche en comparación con las vacas alimentadas con un ensilaje sin procesar y

de 0.95 cm de longitud. En las investigaciones realizadas para evaluar el efecto del incremento del tamaño de partícula del ensilaje de maíz de 1.9 cm a 3.2 cm sobre la producción y la composición de la leche se determinó que no se incrementa la cantidad de grasa ni se alteran las concentraciones de proteína y lactosa (Schwab *et al.*, 2002). No se ha determinado el tamaño de partícula adecuado para mantener la función ruminal normal sin afectar la producción (Asadi-Alamouti *et al.*, 2009).

### **Relación Forraje:Concentrado**

Para cumplir con los requerimientos de energía, se suelen ofrecer raciones comerciales que, por lo general, incluyen una gran cantidad de concentrado y forrajes de alta calidad pero de un corte pequeño lo que causa una producción de leche mayor pero un incremento en los problemas metabólicos como ARS, una disminución en la digestión de la fibra, una baja en el porcentaje de grasa de la leche, desplazamiento de abomaso, laminitis y síndrome de la vaca gorda (Beauchemin *et al.*, 2003; Yang y Beauchemin, 2005).

La función de la fibra estructural es determinada por el tamaño de partícula y la relación forraje:concentrado (F:C). La fibra estructural estimula la estratificación de la digesta, la rumia, el amortiguamiento ruminal, la digestión de la fibra y el consumo. Las vacas alimentadas con una ración baja en fibra estructural tienen un riesgo mayor de sufrir de ARS y se reduce la energía

metabolizable que proporciona la dieta. Las dietas que contienen una cantidad alta de fibra estructural causan una disminución en el CMS, en la eficacia del uso del alimento y en la síntesis de proteína microbiana (Zebeli *et al.*, 2008c).

El metabolismo del rumen puede verse afectado por algunos factores relacionados al grano de la ración como la relación F:C y el procesamiento y la fuente del grano (Asadi-Alamouti *et al.*, 2009). La ración con una gran cantidad de carbohidratos fermentables y un tamaño de partícula corto causan una disminución en el pH ruminal y en la digestión (Onetti *et al.*, 2003; Soita *et al.*, 2005). Un consumo alto de carbohidratos fermentables o un tamaño chico de la partícula disminuyen la masticación y la rumia y disminuye el pH porque se eleva la producción de los ácidos orgánicos en el rumen ocasionando que se presente una acidosis ruminal subaguda (Soita *et al.*, 2005; Rustomo *et al.*, 2006).

El pH ruminal es influenciado por los ingredientes de la ración que estimulan la masticación y la secreción de saliva y por los que afectan la fermentación de carbohidratos en el rumen. Cuando se proporciona el grano separado del forraje se produce un aumento en el consumo pero disminuye la salivación porque los animales suelen consumir más grano y dejan el forraje, lo que incrementa el riesgo de ARS (Stone, 2004).

Se han realizado algunos estudios para evaluar los efectos del tamaño de partícula y los carbohidratos fermentables sobre la masticación, la fermentación y el metabolismo, observándose en algunos una relación entre el tamaño de partícula, la masticación y el pH, mientras que en otros no se observó relación con el pH (Zebeli *et al.*, 2008c). Algunos estudios han

evaluado los efectos del tamaño de partícula del forraje sobre el consumo y el pH ruminal, otros han evaluado los efectos de la fermentabilidad de los alimentos y el valor acidogénico sobre el consumo, pero no existe un trabajo que evalúe la relación entre el valor acidogénico del concentrado y el tamaño de partícula del forraje sobre el pH ruminal y el rendimiento de las vacas (Rustomo *et al.*, 2006). También se han realizado varios estudios acerca de los efectos de la calidad del forraje y el contenido de concentrado sobre los procesos digestivos pero se requiere mayor información de cómo interactúan ambos factores (Tafaj *et al.*, 2005a). Se requiere de mayor investigación para definir mejor las relaciones entre el CMS, la cantidad de carbohidratos y la fermentabilidad ruminal, la formación de la maraña y el desarrollo de las papilas del rumen en vacas en período de transición (Stone, 2004).

### **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 (fibra), de los carbohidratos no fibrosos (almidón y azúcar), proteína y grasa (VandeHarr y St-Pierre, 2006). La 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).

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 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, 2003a; Krause y Combs, 2003). El concepto de 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 *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).

El forraje es un componente importante de las 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).

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 alcalina 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, evitar 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 *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).

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 *et al.*, 2010).

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 ARSA o el desplazamiento de abomaso (Stone, 2004). La FDN del forraje es un indicador mejor de la fibra efectiva (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 microbianos 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).

### **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 *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.*, 2002a; Tafaj *et al.*, 2006).

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 *et al.*, 2010).

La FDNfe 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 FDNfe 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 FDNfe 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 FDNfe 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).

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  $1.4 \pm 0.5$  L, agitada a una velocidad de 1.1 Hz (66 ciclos/min) y una longitud de 17 cm (Stone, 2004).

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.

La FDN<sub>fe</sub> 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 FDN<sub>fe</sub> 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 FDN<sub>fe</sub> para evaluar, validar y refinar el concepto.

Una suposición del sistema de FDN<sub>fe</sub> 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).

No está claro cual método para medir la FDNfe brinda una estimación más exacta de la masticación y la producción de saliva (Yang y Beauchemin, 2006b; Zebeli *et al.*, 2006). También, se desconoce si la GMLP por si sola predice exactamente la efectividad física de una ración mezclada sin considerar la distribución del tamaño de partícula (Leonardi *et al.*, 2005).

### **Efecto de la FDNfe sobre el consumo de materia seca y la masticación**

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). 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).

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 de fibrosidad, el índice de valor forrajero, la estructura física y el índice de fibrosidad (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).

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 efecto de la fibra estructural 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 cantidades elevadas de concentrado degradable rápidamente provoca una alteración en la fermentación y que disminuya la digestión de la fibra, y por lo tanto, el animal tiene que masticar más para reducir las partículas fibrosas. 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).

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). 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 es ha considerado un buen indicador (Beauchemin y Yang, 2005; Yang y Beauchemin, 2006b; 2007b; Zebeli *et al.*, 2007).

Se ha observado en algunos estudios que el incremento en el consumo de FDNfe aumenta la masticación, lo que ayuda a disminuir la incidencia de acidosis ruminal subaguda; 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). Se han realizado algunos estudios para observar los efectos de la FDNfe del ensilaje de maíz sobre el CMS, la masticación y el pH, pero no se han hecho con ensilaje de cebada, ya que contienen una cantidad diferente de FDN (Yang y Beauchemin, 2006a).

## **Efecto de la FDNfe sobre el pH, la fermentación y la digestibilidad ruminales**

Los factores químicos, como la concentración de FDN, y los físicos, como el tamaño de partícula, afectan la fermentación 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). 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.*, 2002a; Asadi-Alamouti *et al.*, 2009).

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 (Asadi-Alamouti *et al.*, 2009). Éstos ácidos pueden causar que el pH ruminal caiga por debajo de 5.8 produciéndose una acidosis ruminal subaguda (Graf *et al.*, 2005). 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 ARS es cuestión de criterio del médico

veterinario, ya que investigadores diferentes consideran la ARS 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 ARS 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).

Los carbohidratos fermentables en el rumen producen una síntesis de proteína microbiana mayor pero incrementan el riesgo de ARS (Krause *et al.*, 2002a; 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 ARS, la digestión de la fibra y el rendimiento productivo.

El problema con el término de FDNfe es que no considera las diferencias en la fermentabilidad ruminal de varios alimentos 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 (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).

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).

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 ARS (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 ARS. Estos factores también dificultan las recomendaciones sobre los niveles óptimos de FDNfe en la ración para las vacas lecheras (Zebeli *et al.*, 2008a).

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 ARS, prevenir un porcentaje menor de grasa en la leche y para que no se presenten efectos negativos sobre el CMS y la producción.

Se han realizado varios estudios para determinar los efectos de la FDNfe sobre el pH ruminal, la fermentación y 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), 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, además mejoró la digestibilidad; mientras que en otras investigaciones no se observaron efectos sobre la digestibilidad y el pH ruminal o efectos negativos sobre la digestibilidad (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.

El efecto de incrementar la FDNfe sobre el pH depende de cómo se dé ese aumento (Yang y Beauchemin, 2009). En algunos 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). No está claro si los

métodos para medir la FDNfe predicen eficazmente el pH (Yang y Beauchemin, 2006b); además, existe poca información de la influencia de los carbohidratos fermentables en el rumen sobre los efectos de los niveles de FDNfe en la dieta (Yang y Beauchemin, 2007a; 2007b).

### **Efecto de la FDNfe sobre la producción y la 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%.

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).

## **Ovinos y caprinos**

### **Cantidad óptima de fibra**

El consumo adecuado de fibra es necesario para mantener una función ruminal normal ya que estimula el CMS, la masticación y la rumia para mantener la salivación y el pH ruminal para que los microorganismos celulolíticos produzcan acetato y propionato y el porcentaje de grasa en la leche se mantenga (Santini *et al.*, 1992; Bava *et al.*, 2001; Lu *et al.*, 2005). La cantidad de fibra consumida, el tamaño de partícula, el tipo de fibra y la fermentación influyen en la rumia, la producción y el porcentaje de grasa en leche (Bae *et al.*, 1979; Santini *et al.*, 1992, Lu *et al.*, 2005).

La fibra proporciona energía para el mantenimiento, el crecimiento, la lactancia y la reproducción a través de la degradación y la síntesis microbiana (Lu *et al.*, 2005). Las cabras son diferentes de las vacas y las ovejas en sus hábitos de alimentación, nivel de consumo y selección de la dieta, por lo tanto, para determinar la concentración óptima de fibra para la producción se debe considerar la etapa de lactancia y el nivel de producción (Santini *et al.*, 1992, Lu *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2011). Si se eleva la fibra en la ración habrá un

incremento en la masticación y en la salivación y los microorganismos celulolíticos producirán más ácido acético (Lu *et al.*, 2005).

Se requiere que se realicen investigaciones para definir las relaciones entre el consumo de fibra, la masticación, la degradación y la síntesis microbiana, la tasa de pasaje y la biosíntesis de la grasa corporal y en la leche (Lu *et al.*, 2005).

### **Selectividad durante el consumo**

Las cabras son diferentes a las vacas y ovejas en su comportamiento, el nivel y tasa de consumo, selección de la dieta y discriminación por sabor (Lu, 1987). Las cabras tienden a seleccionar las partes más digeribles de la planta lo que genera un gran desperdicio por selectividad, lo que se puede prevenir disminuyendo el tamaño de partícula del forraje de la ración cortándolo o picándolo lo que causa un incremento en el consumo de materia seca pero puede disminuir la digestibilidad y el porcentaje de grasa en la leche (Kerley *et al.*, 1985b; Lu, 1987). El pellet previene la selectividad de alimento en las ovejas (Kerley *et al.*, 1985b). El aumento en el consumo de heno largo provoca un incremento en la eficacia de la fibra (Lu, 1987).

### **Relación forraje:concentrado**

Una práctica para incrementar la producción de leche es manipular con la relación F:C. El concentrado incrementa la energía, la proteína de la dieta, los minerales y las vitaminas y mejora el uso del alimento para el crecimiento, gestación y producción, sin embargo, se ha observado que disminuye la digestibilidad del forraje en las ovejas (Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2009; Tufarelli *et al.*, 2009). El grado en que el concentrado afecta la digestión de la fibra depende de la naturaleza y la proporción del concentrado y de la calidad del forraje (Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2009).

La relación F:C influye en la masticación, además el consumo de materia seca puede ser limitado por regulación fisiológica en dietas altas en concentrado o por factores físicos en dietas altas en forraje (Lu *et al.*, 2005). Se ha observado que el 65% de concentrado causa una disminución en la producción al final de la lactancia, pero puede que esto no sea igual en las otras etapas. No se ha definido el efecto de la relación F:C sobre la producción en cabras (Tufarelli *et al.*, 2009).

### **Masticación y pH ruminal**

El tamaño de partícula adecuado es necesario para mantener la funcionalidad del rumen, el metabolismo balanceado y la salud del animal (Asadi Alamouti *et al.*, 2009). La reducción del tamaño de partícula se ve afectada por la masticación, la rumia, la fermentación microbiana y las contracciones ruminales (Kerley *et al.*, 1985a). La masticación influye en la

salivación que es importante para la dilución y el amortiguamiento del líquido ruminal y en la producción de acetato, que es precursor de la grasa en la leche (Lu *et al.*, 1987; 2005). Se ha observado una cantidad mayor de partículas menores de 1 mm en la digesta de las cabras que en la de las ovejas, por lo que se ha concluido que los caprinos son más eficientes masticando (Domingue *et al.*, 1991).

El pH ruminal es importante para la composición de los ácidos grasos. El pH por encima de 6 favorecerá a los microorganismos celulolíticos que producen más ácidos acético y butírico. El pH bajo favorece a los microorganismos aminolíticos que producen más ácido propionico. La salivación por su capacidad amortiguadora provoca un aumento en el pH favoreciendo más a los microorganismos celulolíticos produciendo más ácidos acético y butírico. El incremento en el tamaño de partícula causa un aumento en el pH y en la relación acetato:propionato (Lu *et al.*, 2005).

El suministro de forraje con una cantidad alta de carbohidratos muy degradables en dietas mezcladas provoca que descienda el pH ruminal rápidamente, por lo tanto, se sugiere suplementar forrajes ricos en fibra soluble o alimentos altos en FDN digestible porque estos tienen un efecto menos negativo en el rumen que el almidón y los azúcares. Se han realizado varios estudios para medir los efectos de las fuentes de carbohidratos no fibrosos sobre el rendimiento y el metabolismo de ovejas, pero ninguno ha comparado fuentes diferentes de carbohidratos solubles en detergente neutro en dietas mezcladas con tamaños de partícula distintos (Asadi Alamouti *et al.*, 2009).

## **Digestibilidad**

La composición química y física de los alimentos afectan el consumo, la digestibilidad y la tasa de pasaje (Lu, 1987). La reducción en el tamaño de partícula por la masticación y la rumia afecta la digestión del forraje en las cabras (Lu *et al.*, 2005). La digestión microbiana debilita la pared celular de la planta y facilita el rompimiento de la partícula (Domingue *et al.*, 1991).

La masticación durante el consumo y la rumia disminuyen el tamaño de partícula, aumenta la superficie disponible para los microorganismos ruminales y las enzimas, y aumenta la tasa de pasaje de la digesta porque se altera el CMS (Domingue *et al.*, 1991; Kerley *et al.*, 1985a; Kinser *et al.*, 1985; Lu *et al.*, 2005). También se ha observado que la calidad del forraje influye sobre la digestibilidad, ya que en forrajes de calidad baja la digestibilidad puede ser reducida en menor medida por el peletizado y se produce un aumento mayor en el CMS. Se ha observado que la digestión del forraje en forma de pellet disminuye pero aumenta en el intestino delgado. Faichney *et al.* (2004) reportaron que la digestibilidad está en función del tiempo de retención.

Se desconocen los efectos de la disminución del tamaño de partícula y el contenido de fibra sobre el suministro de los nutrientes en el tracto gastrointestinal de las ovejas (Faichney y Brown, 2004). 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).

## Tasa de pasaje

La disminución del tamaño de partícula causa que se eleve el consumo de materia seca debido a que el tiempo de retención del forraje en el rumen es menor (Bava *et al.*, 2001). Para maximizar el CMS los residuos indigestibles deben abandonar el rumen. En vacas y ovejas, la disminución del tamaño de partícula causa un incremento en el CMS y afecta el metabolismo del rumen alterando la producción de AGV, la materia orgánica digestible, el pH del rumen y la tasa de pasaje (Asadi Alamouti *et al.*, 2009).

El tamaño de partícula de los forrajes peletizados casi es igual al de las partículas que abandonan el rumen y lo hacen rápidamente ocasionando que haya poco tiempo para la digestión microbiana. Al abandonar el rumen tan rápido, hay un aumento en la tasa de pasaje y por lo tanto, también en el consumo. El tamaño de la partícula en el rumen tiene un rango de .2 a >1.2 mm. Las partículas que dejan el rumen son menores a 1.2 mm. Las ovejas tienen una cantidad menor de partículas mayores de 1.2 mm que las vacas (Martz y Belyea, 1986). Los forrajes tiene un tamaño de partícula crítico, el cual es de 1 mm para las ovejas ya que las partículas mayores de esa medida no logran pasar al abomaso, y se encontró que las partículas que dejan el rumen de las ovejas pasan por una criba de .84 mm (Domingue *et al.*, 1991; Kerley *et al.*, 1985a; Kinser *et al.*, 1985; Soita *et al.*, 2000).

La cabra tiene una tasa de pasaje mayor que los otros rumiantes. En las cabras, el contenido ruminal es reemplazado con más frecuencia porque tienen

menos tiempo de retención y para digerir el alimento (Sanz-Sampelayo *et al.*, 2007).

## **Fermentación**

Los carbohidratos solubles en detergente neutro varían en el patrón de fermentación, en los productos finales y en el potencial de producción de células microbianas. La fibra soluble produce más acetato, mientras que los azúcares y el almidón producen más propionato (Asadi Alamouti *et al.*, 2009).

Los ácidos grasos volátiles son producto de la fermentación microbiana en el rumen y son absorbidos por la pared ruminal. Los AGV son fuente de energía y forman los depósitos de grasa corporal y la síntesis de grasa en la leche (Lu *et al.*, 2005). Los AGV no forman parte del ciclo de energía del sustrato y algunos pueden tener efectos sobre la composición de la leche (Sanz Sampelayo *et al.*, 1998). Cuando se reemplaza el almidón de la dieta con fibra muy digestible como principal fuente de energía se modifican los patrones de fermentación en el rumen (Schmidely *et al.*, 1999). El ácido acético y el ácido butírico son los precursores principales de la grasa en la glándula mamaria, mientras que el propiónico se encarga de la biosíntesis de glucosa o grasa corporal (Sanz Sampelayo *et al.*, 1998; Lu *et al.*, 2005). Una dieta alta en concentrado producirá más ácido propiónico, mientras que la dieta alta en forraje producirá mayor cantidad de los ácidos acético, butírico e isobutírico (Lu *et al.*, 2005).

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).

Se ha observado que el incremento de la cantidad de grano de la dieta estimula el desarrollo de la mucosa ruminal durante el crecimiento, debido a un aumento en los ácidos grasos volátiles y en el almidón degradable, aunque también se ha visto que si hay un exceso de almidón degradable disminuye el desarrollo de las papilas del rumen por una baja en el pH. Existe poca información del procesamiento del grano sobre el desarrollo gastrointestinal en rumiantes en crecimiento (Xu *et al.*, 2009). No está claro el efecto de niveles de concentrado diferentes sobre los metabolitos ruminales y plasmáticos durante toda la lactancia de cabras (Min *et al.*, 2005).

### **Producción y composición de leche**

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. 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 y esto se asoció con un incremento en la producción sugiriendo en efecto de dilución (Sanz-Sampelayo *et al.*, 2007).

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).

Schmidely *et al.* (1999) afirmaron que las concentraciones de grasa y proteína en la leche no fueron afectadas por la F:C sino por el balance de energía del animal. 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).

Se desconoce el efecto de la forma física del forraje en cabras sobre la producción y la composición de leche (Sanz Sampelayo *et al.*, 1998). No se han realizado experimentos sobre el efecto del tipo de dieta con un consumo de energía fijo en cabras alimentadas con una RTM (Schmidely *et al.*, 1999).

La cabra es menos sensible a la ausencia de forraje que la vaca por lo que una disminución de la relación F:C podría no disminuir el pH del rumen, ni la grasa en la leche. Por otra parte, la cabra también es menos sensible a la disminución del porcentaje de la FDNfe en la dieta por lo que al disminuirla no afectarse la grasa en la leche. Los objetivos de este trabajo fueron determinar los efectos de la FDNfe y el nivel de forraje sobre el consumo de materia seca, el pH ruminal y la producción y composición de la leche de cabras a través de dos experimentos.

**Artículo publicado en revista Tropical and Subtropical Agroecosystems 15(2012):471-479**

**EFFECTO DE LA FDN<sub>fe</sub> y EL NIVEL DE FORRAJE SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA, pH RUMINAL Y LA PRODUCCIÓN Y LA COMPOSICIÓN DE LECHE EN CABRAS**

**[EFFECT OF peNDF AND FORAGE LEVEL ON DRY MATTER INTAKE, RUMINAL pH, PRODUCTION AND MILK COMPOSITION OF DAIRY GOATS]**

**D. Esparza-Flores<sup>1</sup>, F. G. Veliz-Deras<sup>1</sup>, L. R. Gaytan-Alemán<sup>1</sup>, P. A. Robles-Trillo<sup>1\*</sup>**

*<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico y Carretera a Santa Fe S/N C.P. 27054, Torreón, Coahuila  
E-mail: parobles58@gmail.com*

*\*Corresponding Author*

**RESUMEN**

Se realizaron dos estudios para determinar los efectos de la FDN<sub>fe</sub> sobre el CMS, el pH del rumen y la leche en cabras. Para el primer experimento se utilizaron 4 cabras no lactantes, mientras que para el experimento 2 se utilizaron 8 cabras al inicio de la lactancia, y se asignaron a un experimento con un arreglo de cuadrado latino 4x4 y un ajuste factorial 2x2. A las cabras se les ofrecieron dietas con forrajes cuyo tamaño de partícula era largo o corto y una relación forraje:concentrado de 60:40 o 35:65 a libre acceso. No se detectaron diferencias en el consumo de materia seca en las cabras alimentadas con el forraje de partículas cortas o largas ( $P > 0.05$ ). El pH del rumen fue afectado por la relación F:C, siendo menor en las cabras que consumieron 35:65. La producción de leche no fue afectada por las dietas. La grasa en la leche fue afectada solamente por la relación F:C siendo mayor en la ración 60:40 ( $P < 0.05$ ). Este estudio demuestra que la proporción de concentrado en la dieta

es más importante para alterar el pH del rumen y el porcentaje de grasa en la leche que la longitud de la partícula del forraje.

**Palabras clave:** FDNfe, pH ruminal, producción, composición de leche, caprinos

### **ABSTRACT**

Two experiments were made to determinate the effects of peNDF on DMI, ruminal pH and milk production and composition in goats. In experiment 1, 4 non lactating goats were used; and in experiment 2, 8 goats in early lactation were used, they were assigned to an experiment with a 4x4 latin square and a 2x2 factorial design. The diets were offered ad libitum and consisted of long and short forage and 60:40 or 35:65 forage:concentrate ratio. No differences were observed in dry matter intake in goats fed with long or short forage ( $P>0.05$ ). Ruminal pH were affected by F:C ratio, the lower was observed in goats fed 35:65. No effect was observed on milk production. Milk fat was affected only for the F:C ratio and was higher in the 60:40 diets. This study shows that the concentrate ratio in the diet is more important to affect ruminal pH and milk fat than the forage particle size.

**Keywords:** peNDF, ruminal pH, milk production, milk composition, goats

## INTRODUCCIÓN

El maximizar el consumo de energía en el ganado lechero es fundamental para incrementar la producción de leche. Por lo general, las raciones para el ganado lechero incluyen una gran cantidad de concentrado y forraje picado con partículas pequeñas, lo que puede provocar que éstas sean muy fermentables en el rumen, lo que causa un aumento en la producción de leche. Lo anterior puede desencadenar acidosis, desplazamiento de abomaso, laminitis, síndrome de la vaca gorda, disminución en la digestión de la fibra y disminución en el porcentaje de grasa en la leche (Krause y Combs, 2003; Beauchemin y Yang, 2005). Además, estas dietas con un alto contenido de FDNfe, podrían tender a bajar el pH ruminal, como resultado de una acumulación de los ácidos grasos volátiles y ácido láctico. Además de que el ambiente ruminal y su población microbiana está diseñada para funcionar óptimamente con un pH de 6.2 a 7.2 (Yang y Beauchemin, 2007a). Estos ácidos producidos en el rumen deben neutralizarse con su eliminación o dilución. La capacidad de amortiguamiento de la dieta está determinada, en gran medida, por el tiempo de masticación, debido a que las vacas secretan más saliva cuando mastican que cuando descansan (Krause y Combs, 2003). Para lograr una producción mayor de saliva, y por lo tanto, elevar el pH ruminal, se debe ofrecer una ración con un forraje con tamaño de partícula largo, para que el animal mastique más y produzca más saliva, la cual contiene las sustancias amortiguadoras necesarias para neutralizar los ácidos orgánicos que se producen durante la fermentación en el rumen.

El concepto de fibra detergente neutro físicamente efectiva (FDNfe) es un medio en la formulación de las dietas para proporcionar fibra de un tamaño de partícula adecuado para reducir la acidosis ruminal subaguda (ARS) (Yang y Beauchemin, 2007a). La efectividad física de un forraje está determinada por el contenido de fibra detergente neutro, el tamaño de partícula y la relación F:C (Mertens, 1997). La FDNfe se ha definido como la fracción del alimento que estimula la masticación (Mertens, 1997), y es un reflejo de las características físicas de la fibra, como el tamaño de partícula (Krause y Combs, 2003). La FDNfe influye en el consumo de materia seca y en el pH ruminal, previniendo la acidosis ruminal subaguda (Mertens, 1997; Yang y Beauchemin, 2009).

Aunque se han realizado algunos estudios para determinar los efectos de la FDNfe de la dieta sobre el pH ruminal y la producción y la composición de la leche en vacas (Yang y Beauchemin, 2007a, 2007b), hay poca información disponibles en cabras. Las cabras son diferentes de las vacas y las ovejas en sus hábitos de alimentación, nivel de consumo y selección de la dieta (Lu *et al.*, 2005), por lo tanto, los conocimientos de esas especies no se pueden extrapolar bien a las cabras (Zhao *et al.*, 2011). El objetivo de este estudio fue determinar los efectos e interacciones entre el nivel de carbohidratos fermentables ruminalmente y el contenido de FDNfe de las dietas sobre el consumo de materia seca, el pH ruminal y la producción y composición de la leche de cabras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Experimento 1

#### Diseño experimental, cabras y dietas

Para este experimento se usaron cuatro cabras Alpinas, con fístulas en el rumen (7.5 cm de diámetro, Bar Diamond, Parma, ID), y que no estaban lactando, las cuales se asignaron a un cuadrado latino 4 x 4 con un arreglo factorial 2 x 2 y se alojaron en jaulas metabólicas (130 x 150 x 60 cm) con comederos y bebederos individuales. Se utilizaron raciones totalmente mezcladas (RTM), las cuales se elaboraron manualmente y se ofrecieron a libre acceso a las cabras dos veces al día, a las 0830 y 1430 horas. La cantidad de alimento ofrecido se ajustó para asegurar el 10% de alimento rechazado. El agua limpia estuvo disponible para su consumo durante todo el estudio. Este estudio se realizó observando las especificaciones establecidas en la Guía para el Cuidado y Uso de los Animales de laboratorio (NRC, 1996).

El heno de alfalfa se cortó a un tamaño de partícula largo (L) y corto (C) procesándolo en un molino Nogueira DPN Junior (São João da Boa Vista, Brasil) (Cooke y Bernard, 2005). El tamaño L se obtuvo sin utilizar una criba en el molino, en tanto que el tamaño C se obtuvo utilizando una criba de 15 mm. La distribución del tamaño de partícula se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución del tamaño de partícula<sup>1</sup> del heno de alfalfa.

	Heno de Alfalfa	
	Largo	Corto
% de MS retenida en las cribas		
19 mm	21.17	6.11
8 mm	13.48	21.23
1.18 mm	38.78	44.07
Base	26.57	29.34
Fef <sub>8</sub>	0.34	0.26
Fef <sub>1.18</sub>	0.73	0.70
FDNfe <sub>8</sub> , % de MS	18.32	14.01
FDNfe <sub>1.18</sub> , % de MS	39.34	37.73

<sup>1</sup>La distribución del tamaño de partícula del heno de alfalfa fue medida usando el separador de partícula de Penn State, fef<sub>8</sub> y fef<sub>1.18</sub> = factor de eficacia física determinado como la proporción de partículas retenidas en dos y tres cribas, respectivamente; FDNfe<sub>8</sub> y FDNfe<sub>1.18</sub> = FDN físicamente efectiva determinada como el contenido de FDN del heno de alfalfa multiplicado por el fef<sub>8</sub> y fef<sub>1.18</sub>, respectivamente.

A las cabras se les ofreció 1 de 4 raciones que consistieron de heno de alfalfa C o L, en combinación con una proporción F:C alta (60:40) o baja (35:65) (Cuadro 2). Todas las dietas fueron formuladas para exceder los requerimientos de una cabra de 40 kg produciendo 1.5 kg de leche diarios, según el NRC (2007).

La FDNfe tuvo un rango de 9.10 a 14.16%, o de 26.53 a 31.66%, calculándose con 3 cribas usando el separador de partícula de Penn State (SPPS) (Kononoff *et al.*, 2003) (Cuadro 3). Los factores de eficacia física para el heno de alfalfa y las RTM se calcularon como la suma de la proporción de la materia seca en dos cribas: 19 y 8 mm (pef<sub>8</sub>) o 3 cribas: 19, 8 y 1.18 mm (pef<sub>1.18</sub>) (Kononoff *et al.*, 2003). Los contenidos de FDNfe<sub>8</sub> y FDNfe<sub>1.18</sub> del heno de alfalfa y de las RTM fueron calculados multiplicando el contenido de FDN por el fef<sub>8</sub> y el fef<sub>1.18</sub>, respectivamente (Yang y Beauchemin, 2007b).

Cuadro 2. Ingredientes y composición química de la ración totalmente mezclada (MS), dieta en kg de MS.

Ingredientes (%)	Relación Forraje <sup>1</sup> :Concentrado (F:C)			
	35:65		60:40	
	Corto	Largo	Corto	Largo
Heno de alfalfa corto	35.05	-	54.03	-
Heno de alfalfa largo	-	35.05	-	54.03
Maíz (grano)	36.17	36.17	27.53	27.53
Grano de destilería				
Salvado de trigo	17.28	17.28	5.53	5.53
SoyPlus (harina de soya)	10.96	10.96	8.91	9.91
Carbonato de calcio	0.23	0.23	0.40	0.40
Fosfato dicálcico	0.23	0.23	0.24	0.24
Vitaminas	0.06	0.06	0.06	0.06
Megalac	-	-	3.49	3.49
<b>Química</b>				
MS	93.55	93.35	94.65	94.3
Cenizas	7.30	7.85	6.87	7.54
PC	16.91	16.52	16.98	16.53
FDN	37.90	39.63	38.33	41.66
FDA	20.93	21.81	26.66	27.39
Extracto etéreo	1.86	1.43	1.52	1.73

Cuadro 3. Composición física de las raciones

Item	F <sup>1</sup> :C		35 vs 60	C vs L	SE	F:C x FPL		
	35:65						60:40	
	Corto	Largo					Corto	Largo
% de MS retenida en cribas								
19 mm	1.0	3.30	8.26	13.39	1.7	0.02	NS	0.07
8 mm	23.23	23.39	25.62	21.55	1.1	NS	NS	NS
1.18 mm	45.85	46.17	42.08	41.94	1.2	0.08	NS	NS
Base	29.91	27.00	28.91	24.41	1.1	NS	NS	0.07
fef <sub>8</sub>	0.24	0.27	0.34	0.34	0.002	0.02	NS	NS
fef <sub>1.18</sub>	0.70	0.73	0.76	0.76	0.75	NS	NS	NS
FDNfe <sub>8</sub> , % de MS	9.10	10.70	13.03	14.16	0.02	0.01	NS	0.05
FDNfe <sub>1.18</sub> , % de MS	26.53	28.93	29.13	31.66	0.68	0.06	0.07	0.06

<sup>1</sup>El heno de alfalfa fue cortado para obtener el tamaño largo y corto.

<sup>2</sup>La distribución del tamaño de partícula del heno de alfalfa fue medida usando el separador de partícula de Penn State, fef<sub>8</sub> y fef<sub>1.18</sub> = factor de eficacia física determinado como la proporción de partículas retenidas en dos y tres cribas respectivamente; FDNfe<sub>8</sub> y FDNfe<sub>1.18</sub> = FDN físicamente efectiva determinada como el contenido de FDN del heno de alfalfa multiplicado por el fef<sub>8</sub> y fef<sub>1.18</sub>, respectivamente.

## **Toma de muestras y mediciones**

Cada periodo consistió de 11 días de adaptación y 3 días de toma de muestras. Posteriormente, a las cabras se les intercambiaron las dietas por 3 períodos más. Para calcular el consumo de materia seca, el alimento ofrecido y los rechazos fueron recolectados y registrados durante los tres días experimentales. Las muestras de heno de alfalfa (L y C) y de las raciones totalmente mezcladas se recolectaron una vez cada 3 días para determinar la distribución del tamaño de partícula. Las partículas retenidas en cada criba se recolectaron, se pesaron y se secaron a 100°C para determinar la materia seca. Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente para determinar la composición química.

Durante el último día del período experimental, se colectaron 50 ml de líquido ruminal de varias partes del rumen, manualmente, durante 24 h, a intervalos de 4 horas. El líquido se filtró en 2 capas de tela de manta e inmediatamente después se midió el pH con un potenciómetro Twin Waterproof ph modelo B-213 calibrado anteriormente con soluciones estándar de pH 4.0 y 7.0 (Courdec *et al.*, 2006).

## **Análisis químicos**

Para los análisis químicos se realizaron cuatro repeticiones. El alimento y los rechazos fueron analizados para materia seca, cenizas, proteína cruda y grasa según los métodos de la AOAC (1990) y para la FDN y la FDA se utilizaron las técnicas de Van Soest (Van Soest y Robertson, 1985).

## **Análisis estadístico**

Para evaluar el efecto de los 4 tratamientos sobre el pH ruminal y el consumo de materia seca, se consideró a los animales y las dietas en un cuadrado latino 4 x 4 con un arreglo factorial 2 x 2, siendo uno de los factores el tamaño de partícula (L o C) y el otro factor la cantidad de forraje en la dieta (60 y 35 %). El análisis estadístico se realizó con el programa SYSTAT versión 12 (2007), para cada una de las variables registradas.

## **Experimento 2**

Para este experimento se usaron ocho cabras Alpinas multíparas (3 partos) en la etapa inicial de lactancia ( $60 \pm 5$  días en leche), las cuales se asignaron a un cuadrado latino 4 x 4 con un arreglo factorial 2 x 2. Las raciones fueron las mismas que las descritas en el experimento 1, así como la duración de los períodos de adaptación y de toma de muestras. Durante los días de toma de muestra se realizó una ordeña diaria a las 07:00 h y se pesó la leche para determinar la producción. Adicionalmente, se tomaron muestras en cada una de las ordeñas diarias para determinar los niveles de proteína, lactosa, grasa, sólidos totales y sólidos no grasos lácteos. Las muestras de leche se analizaron por espectrofotometría infrarroja (MilkoScope expert, Scope Electric Ltd, Alemania) (Zebeli *et al.*, 2009).

## **RESULTADOS**

El objetivo del experimento 1 fue determinar el efecto de la FDN<sub>fe</sub> y la relación F:C sobre el CMS y el pH del rumen en cabras. Los resultados del

experimento 1 se muestran en el Cuadro 4. El tamaño de partícula del forraje ni la relación F:C tuvieron un efecto sobre el CMS ( $P>0.05$ ). El pH ruminal fue afectado por el tamaño de partícula de la alfalfa, observándose que las cabras que consumieron la alfalfa larga presentaron un pH menor que las que consumieron el forraje corto. Las raciones que contenían una proporción mayor de concentrado causaron un pH ruminal menor ( $P<0.05$ ). La variación del pH ruminal se muestra en la figura 1.

Cuadro 4. Efectos de la relación forraje:concentrado y del tamaño de partícula del forraje sobre el consumo de materia seca y el pH ruminal (n=4).

	F:C		60:40		SE	35 vs 60	C vs L	F:C x FPL
	35:65		60:40					
	Corto	Largo	Corto	Largo				
Consumo								
MS (kg/d)	2.116	2.000	2.264	2.167	0.04	NS <sup>1</sup>	NS	NS
MS, % de PV	4.49	4.19	4.76	4.56	0.12	NS	NS	NS
MO (kg/d)	1.96	1.87	2.05	2.0	0.04	NS	NS	NS
FDN (kg/d)	0.801	0.792	0.87	0.90	0.02	0.047	NS	NS
FDN <sub>fe</sub> (kg/d)								
FDN <sub>fe8</sub>	0.192	0.214	0.29	0.31	0.01	0.000	0.004	0.000
FDN <sub>fe1.18</sub>	0.561	0.579	0.66	0.69	0.02	0.007	NS	0.015
FDA (kg/d)	0.374	0.436	0.52	0.59	0.02	0.000	0.001	0.000
pH Ruminal	6.1	5.9	6.2	6.1	0.04	0.01	0.05	0.02

1 NS =  $P > 0.1$

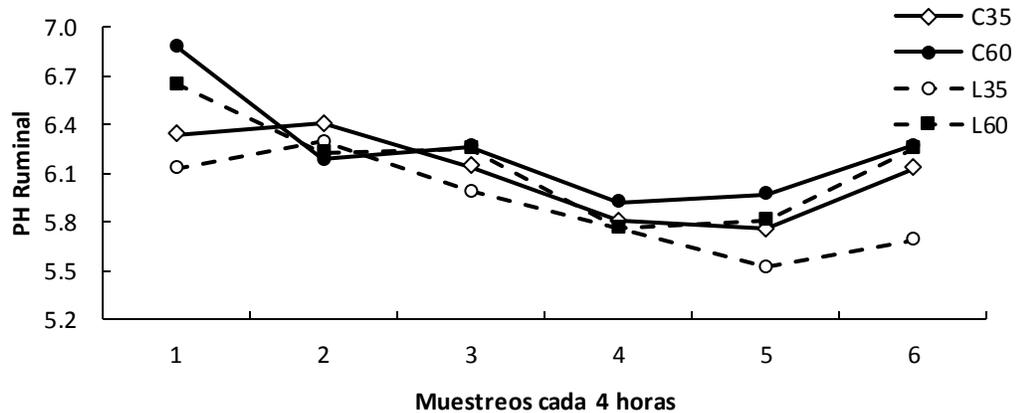


Figura 1. Efectos del tamaño de partícula del forraje [largo (L) y corto (C)] y la relación forraje-concentrado (35:65 y 60:40) sobre la variación diaria del pH ruminal.

El experimento 2 tuvo como objetivo observar el efecto de la FDNfe y el nivel de forraje en la ración sobre el CMS y la producción y composición de leche de cabras. Los resultados se muestran en el cuadro 5. En el experimento 2, no se observó un efecto de las raciones sobre el CMS ni sobre la producción de leche; sin embargo, la relación F:C sí afectó el porcentaje de grasa en leche, siendo mayor en las cabras que consumieron 60% de forraje.

## DISCUSIÓN

En ambos experimentos, no hubo un efecto de las raciones sobre el CMS, al igual que como lo reportaron en otros estudios que también utilizaron heno de alfalfa (Sanz-Sampelayo *et al.*, 1998; Yang *et al.*, 2002; Zebeli *et al.*, 2007). La falta de efecto del tamaño de partícula sobre el CMS se pudo deber a la longitud de la partícula de las raciones (Yang y Beauchemin, 2007a). El efecto del tamaño de partícula sobre el CMS podría depender de la fuente de forraje, la relación F:C (Beauchemin *et al.*, 2003), así como el tipo de

concentrado, principalmente por su tasa de degradación ruminal (Tafaj et al., 2007).

Cuadro 5. Efectos de la relación forraje:concentrado y del tamaño de partícula del forraje sobre el consumo de materia seca la producción y la composición de leche (n=8).

	F:C				SE	35 vs 60	C vs L	F:C x FPL
	35:65		60:40					
	Corto	Largo	Corto	Largo				
Consumo								
MS, Kg/d	2.27	2.30	2.38	2.35	0.03	NS <sup>1</sup>	NS	NS
MS, % de P.V.	4.58	4.63	4.79	4.76	0.09	NS	NS	NS
MO, Kg/d	2.10	2.15	2.15	2.17	0.02	NS	NS	NS
FDN, Kg/d	0.860	0.911	0.912	0.979	0.01	0.01	0.008	0.003
FDNfe								
FDNfe <sub>8</sub>	0.206	0.246	0.310	0.332	0.01	0.000	0.006	0.000
FDNfe <sub>1.18</sub>	0.602	0.665	0.693	0.744	0.01	0.000	.0002	0.000
FDA, kg/d	0.401	0.501	0.548	0.643	0.01	0.000	0.000	0.000
Leche								
Prod (ml/d)	2096	1882	1878	1946	47.9	NS	NS	NS
Prod (kg/d)	2.17	1.95	1.95	2.02	0.05	NS	NS	NS
Proteína	3.03	3.07	3.08	3.07	0.01	NS	NS	NS
Grasa	3.21	3.16	3.85	3.71	0.1	0.0	NS	0.0
LCGyP <sup>2</sup>	2.05	1.84	2.00	2.04	0.04	NS	NS	NS

<sup>1</sup> NS = P > 0.1

<sup>2</sup>Leche corregida por su contenido de grasa y proteína

En el experimento 1, el pH del rumen fue más bajo en las cabras que consumieron las raciones con el tamaño largo, estos resultados concuerdan únicamente en los reportados por Krause y Combs (2003) y Bhandari *et al.* (2007) y contrastan con los resultados reportados por otros investigadores (Beauchemin *et al.*, 2003; Teimouri-Yansari *et al.*, 2004). Los efectos inconsistentes del tamaño de partícula sobre el pH ruminal reportados en la literatura podrían relacionarse a otros factores de la dieta incluyendo el CMS, la

fermentabilidad de la dieta y el manejo de la alimentación (Yang y Beauchemin, 2005).

Además, se observó que un nivel bajo de forraje disminuyó el pH del rumen. Los resultados concuerdan con los reportados por Einarson *et al.* (2004) y Yang y Beauchemin (2007a, 2009). El estudio de Yang y Beauchemin (2007a) demuestra que el grado de acidosis varía en vacas alimentadas con niveles similares de FDNfe pero con proporciones de F:C diferentes porque la fermentabilidad ruminal de los alimentos no es tomada en cuenta por el concepto de FDNfe.

Por otra parte, el tamaño de partícula ni la relación F:C en el presente trabajo no tuvo un efecto sobre la producción de leche, como se ha reportado en estudios previos hechos en vacas (Soita *et al.*, 2005). Esto probablemente se debió a la falta de respuesta a las raciones en el consumo de materia seca. Sin embargo, el porcentaje de grasa en la leche fue mayor en las dietas con una proporción mayor de forraje, debido probablemente a que estas dietas incrementan la producción de acetato en el rumen, lo que a su vez aumenta el porcentaje de grasa en la leche (Lu *et al.*, 2005). Contrario a esto, el tamaño de partícula no afectó la calidad de la leche, lo que podría indicar que las cuatro raciones tuvieron una cantidad suficiente de FDNfe para mantener los componentes de esta (Yang y Beauchemin, 2007b). Se requiere realizar mayor investigación en cabras, utilizando otras fuentes de forraje y grano ya que esto también podría influir en los resultados, además de incluir otros aspectos como la masticación, la digestión y la producción de ácidos grasos volátiles.

## CONCLUSIONES

En ambos experimentos, el tamaño de partícula del forraje y el nivel de forraje no afectaron el consumo de materia seca. El experimento 1 demuestra que la proporción de concentrado en la dieta es más importante que la longitud de la partícula del forraje para determinar el pH del rumen. Los resultados del experimento 2 sugieren que la FDNfe y la proporción forraje en la dieta no influyen en la producción de leche de las cabras, sin embargo, el incrementar el forraje en la dieta aumenta el porcentaje de grasa en la leche.

## LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Vol. 1. 15th ed. AOAC, Arlington, VA.
- 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.
- Beauchemin, K. A., W. Z. Yang, y L. M. Rode. 2003. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. *J Dairy Sci* 86: 630-643.
- 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. *J Dairy Sci* 90: 2355-2366.
- Cooke, K. M., y J. K. Bernard. 2005. Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 88: 310-316.

- 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.
- 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.
- 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. 2003. Modification of the penn state forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science*. 86: 1858-1863.
- 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.
- Lu, C. D., J.R. Kawas, y O. G. Mahgou. 2005. Fiber digestion and utilization in goats. *Small Ruminant Research* 60: 45-52.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 80: 1463-1481.
- NRC (National Research Council). 1996. Guide for the care and use of laboratory animals. National Academy Press. Washington, D.C.

- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheeps, goats, cervids and new world camelids. National Academy Press. Washington, D.C.
- 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. *J Dairy Sci* 81: 492-498.
- Soita, H. W., M. Fehr, D. A. Christensen, y T. Mutsvangwa. 2005. Effects of corn silage particle length and forage:Concentrate ratio on milk fatty acid composition in dairy cows fed supplemental flaxseed. *Journal of Dairy Science*. 88: 2813-2819.
- 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.
- 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.
- Van Soest, P. J., y J. B. Robertson. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. Cornell University.
- 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. *J Dairy Sci* 88: 1090-1098.

- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2007a. 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. 2007b. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. *Journal of Dairy Science*. 90: 3410-3421.
- 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. 2002. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on site and extent of digestion. *J Dairy Sci* 85: 1958-1968.
- 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., 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. *J Dairy Sci* 90: 1929-1942.
- 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.

## Discusión General

### Consumo de materia seca

El NRC (2001) no especifica los requerimientos de FDNfe para las vacas lecheras debido a la carencia de información. Sin embargo, los nutriólogos reconocen que las características físicas de la dieta, incluyendo el tamaño de partícula, son aspectos importantes en la formulación de la ración particularmente para reducir el riesgo de acidosis (Yang y Beauchemin, 2006c).

En este trabajo no hubo un efecto del tamaño de partícula sobre el consumo de materia seca. Estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos por otros investigadores que también utilizaron heno de alfalfa en cabras (Sanz-Sampelayo *et al.*, 1998) y en vacas (Yang *et al.*, 2002; Beauchemin *et al.*, 2003; Zebeli *et al.*, 2007; Asadi-Alamouti *et al.*, 2009) u otras fuentes de forraje, como henilaje de alfalfa (Kononoff y Heinrichs, 2003b), ensilaje de maíz (Bal *et al.*, 2000; Schwab *et al.*, 2002; Kononoff y Heinrichs, 2003a; Beauchemin y Yang, 2005; Cooke y Bernard, 2005; Soita *et al.*, 2005; Yang y Beauchemin, 2005; 2006b; 2009; Rustomo *et al.*, 2006), ensilaje de alfalfa (Krause *et al.*, 2002a; Bhandari *et al.*, 2007; 2008; Yang y Beauchemin, 2007b), heno de zacate (Zebeli *et al.*, 2008c; Storm y Kristensen, 2010), ensilaje de cebada (Soita *et al.*, 2000; Yang y Beauchemin, 2006a; 2006c).

En contraste, Krause y Combs (2003) observaron que el tamaño de partícula corto del forraje causó una disminución en el CMS; mientras que otros

investigadores reportaron que la reducción del tamaño del forraje incrementa el CMS (Tafaj *et al.*, 2001; Kononoff *et al.*, 2003b; Einarson *et al.*, 2004; Teimouri-Yansari *et al.*, 2004; Courdec *et al.*, 2006; Bhandari *et al.*, 2007; 2008; Zebeli *et al.*, 2009).

El nivel de forraje en la dieta no afectó el CMS en ambos experimentos, al igual que lo reportaron Zebeli *et al.* (2007; 2008c) y Yang *et al.* (2001a) en bovinos y Cantalapiedra-Hijar *et al.* (2010) en caprinos. En otros estudios se ha reportado que una ración con un nivel bajo de forraje provocan que el animal consuma más alimento (Soita *et al.*, 2000; 2005; Einarson *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2007b; 2009; Tufarelli *et al.*, 2009).

Se ha observado un aumento en el CMS debido a una reducción del tamaño de partícula del heno de 28.7 a 9.2 y a 2.9 mm cuando la ración para vacas y ovejas incluía un nivel bajo de concentrado (Tafaj *et al.*, 2001) o una sola fuente de forraje (Beauchemin *et al.*, 2003). En contraste, no se observó un efecto sobre el consumo cuando se les ofreció una ración alta en concentrado, debido probablemente a que el llenado físico no estaba limitando el consumo (Tafaj *et al.*, 2001; Beauchemin *et al.*, 2003).

Una de las limitaciones de incrementar la FDNfe a través de un aumento en la proporción F:C es el efecto negativo sobre el CMS, que es causado por un aumento en el llenado ruminal (Allen, 2000). En los estudios en los que el incremento de la FDNfe bajó el CMS, se utilizaron una dieta alta en forraje (>50%; Kononoff y Heinrichs 2003a; Teimouri-Yansari *et al.*, 2004), o un tamaño de partícula muy largo (19 mm; Einarson *et al.*, 2004). De acuerdo a Allen (2000), el grado en que el CMS es regulado por la distensión del reticulorumen

depende del requerimiento de energía neta del animal y el efecto de llenado de la dieta ofrecida. El llenado físico podría limitar el CMS con una inclusión baja de concentrado, pero se podría esperar una restricción metabólica más que física para limitarlo con una cantidad alta (>50%) de concentrado (Yang y Beauchemin, 2006a; Tafaj *et al.*, 2007). La cantidad de carbohidratos fermentables rápidamente presentes en la ración determina los cambios metabólicos importantes en el rumen, que pueden afectar el CMS más que el tamaño de partícula (Tafaj *et al.*, 2007).

Tufarelli *et al.* (2009) observaron en cabras que después del parto, el CMS se incrementó gradualmente y alcanzó su máximo entre las semanas 8 y 14 de la lactancia, que corresponde al periodo cuando la cabra gana mucho peso y aumenta su producción de leche. Durante este período las cabras estuvieron en un balance de energía positivo, mientras se incrementaba el CMS.

La falta de efecto del tamaño de partícula sobre el CMS se pudo deber a la longitud de la partícula de las raciones (Yang y Beauchemin, 2007a). Otra razón para los resultados diferentes que se han reportado podría relacionarse al número variable y relativamente bajo de los animales utilizados en cada experimento y/o la gran variación en los CMS entre los animales (Tafaj *et al.*, 2007).

## pH ruminal

Nuestros resultados no mostraron un efecto del tamaño de partícula sobre el pH del rumen. Se han observado efectos contradictorios de la FDNfe sobre el pH ruminal. Algunas investigaciones han reportado que un forraje de tamaño largo eleva el pH del rumen (Krause *et al.*, 2002b; Beauchemin *et al.*, 2003; Teimouri-Yansari *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2007b, 2009), mientras que en otras no se reportó un efecto (Lu, 1987; Kononoff *et al.*, 2003b; Kononoff y Heinrichs, 2003a; Einarson *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2005, 2006a, 2006b; Rustomo *et al.*, 2006; Bhandari *et al.*, 2008; Zebeli *et al.*, 2008c; Asadi-Alamouti *et al.*, 2009). En ningún estudio utilizando heno de alfalfa se ha reportado que un tamaño de partícula corto pueda incrementar el pH del rumen, excepto Krause y Combs (2003) y Bhandari *et al.* (2007) pero utilizando ensilaje de maíz. En esas dos investigaciones, el factor que pudo haber contribuido a un pH ruminal mayor en las raciones con el forraje más corto fue que el ensilaje de maíz de tamaño corto haya tenido un pH más alto que el de corte largo (Bhandari *et al.*, 2007).

En este experimento, se observó que un nivel bajo de forraje disminuyó el pH del rumen. Los resultados concuerdan con los reportados por Einarson *et al.* (2004), Yang y Beauchemin (2007b, 2009), Zebeli *et al.* (2007) y Cantalapiedra-Hijar *et al.* (2009). Sin embargo, estos resultados contrastan con los reportados por Yang *et al.* (2001a) y Zebeli *et al.* (2008c), quienes no observaron que la relación F:C afecte el pH.

Krause y Combs (2003) demostraron una interacción entre el tamaño de partícula y la fuente de forraje sobre el pH ruminal debida a que una reducción en el tamaño de partícula incrementó el tiempo que pasa el pH debajo de 5.8 cuando la alfalfa fue el único forraje pero el tiempo disminuyó cuando la dieta incluyó ensilajes de alfalfa y maíz.

Las discrepancias en los efectos del tamaño de partícula de la dieta sobre el pH del rumen podrían deberse a las diferencias en el monitoreo del pH. Yang et al (2001a), Krause *et al.* (2002a,b) y Beauchemin *et al.* (2003) midieron continuamente el pH ruminal en el saco ventral del rumen. Kononoff y Heinrichs (2003a, b) obtuvieron el contenido ruminal para medir el pH de sitios diferentes en intervalos de 2 a 3 horas. Es preferible monitorear el pH ruminal continuamente en animales fistulados, aunque la disponibilidad de animales con fistulas ruminales puede restringirlo (Einarson *et al.*, 2004). La limitante de este trabajo fue que el pH se monitoreó cada 4 horas, por lo que se sugiere que se realice otro trabajo utilizando el método descrito por Yang y Beauchemin (2007a), monitoreándolo cada 5 segundos mediante un electrodo inalámbrico que se coloca dentro del rumen.

En un estudio (Yang *et al.*, 2001a) para investigar los efectos del procesamiento del grano, el contenido de fibra y el tamaño de partícula sobre el pH del rumen y la digestión, observaron que el pH del rumen fue significativamente afectado por el procesamiento del grano pero no por el tamaño de partícula. Es probable que el pH del rumen y el grado de ARSA no puedan predecirse usando solo las características físicas de la dieta, ya que la fermentabilidad ruminal del almidón parece tener un gran efecto sobre el pH

más que las características físicas de los alimentos (Yang *et al.*, 2001a). Yang y Beauchemin (2007b) ofrecieron raciones con contenidos de FDNfe similares y a pesar de esto, el grado de acidosis fue mayor en vacas alimentadas con un nivel bajo de forraje y de tamaño largo, indicando que el incremento de la relación F:C es un medio más efectivo para reducir la acidosis que incrementar el tamaño de partícula del forraje. El estudio de Yang y Beauchemin (2007b) demuestra que el grado de acidosis varía en vacas alimentadas con niveles similares de FDNfe pero con proporciones de F:C diferentes porque la fermentabilidad ruminal de los alimentos no es tomada en cuenta por el concepto de FDNfe. Las cantidades altas de almidón en las dietas altas en concentrado podrían producir cantidades mayores de ácido láctico, y por lo tanto, una baja en el pH ruminal (Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2009).

## **Producción y composición de leche**

En el experimento 2, no hubo un efecto de las dietas sobre la producción de leche. En algunos trabajos no se reportó un efecto del tamaño de partícula sobre la producción de leche de vacas (Bal *et al.*, 2000; Soita *et al.*, 2000, 2005; Yang *et al.*, 2001a; Krause *et al.*, 2002a; Schwab *et al.*, 2002; Beauchemin *et al.*, 2003; Kononoff *et al.*, 2003b; Kononoff y Heinrichs, 2003a, 2003b; Onetti *et al.*, 2003; Einarson *et al.*, 2004; Teimouri-Yansari *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2005, 2006c, 2007a, 2009; Courdec *et al.*, 2006; Rustomo *et al.*, 2006; Bhandari *et al.*, 2007, 2008; Asadi-Alamouti *et al.*, 2009; Zebeli *et al.*,

2009; Storm y Kristensen, 2010) y de cabras (Lu, 1987); sin embargo, Krause y Combs (2003) reportaron un incremento en la producción de leche cuando se ofreció ensilaje de tamaño corto. En contraste a los resultados obtenidos en este trabajo, algunos investigadores reportaron una disminución en la producción cuando se ofrecieron raciones altas en forraje (Soita *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2001a; Einarson *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2007a, 2009; Tufarelli *et al.*, 2009).

La falta de efecto del tamaño de partícula sobre la producción de leche es consistente con los resultados obtenidos para el CMS (Krause *et al.*, 2002a; Beauchemin *et al.*, 2003; Tafaj *et al.*, 2007). Además, la producción de leche es una variable que es menos sensible a los efectos de la FDNfe de la dieta (Yang y Beauchemin, 2005). Principalmente, las respuestas en la producción de leche reflejan los cambios en el CMS o en el consumo de almidón cuando se altera el tamaño de partícula (Yang y Beauchemin, 2006c).

Los resultados de la producción de leche deben ser interpretados con precaución porque los períodos experimentales fueron cortos y se utilizaron pocos animales (Kononoff *et al.*, 2003b). La discrepancia entre los efectos del tamaño de partícula sobre el CMS y la producción de leche se puede relacionar a la necesidad de períodos de alimentación más largos para obtener una respuesta para la producción de leche. Los resultados reportados por Zebeli *et al.* (2009) indican que un periodo de 23 días es suficiente para obtener respuestas diferentes en el CMS, pero no lo suficiente para investigar los efectos de la dieta sobre la producción de leche. Esta suposición es apoyada por los resultados de St-Pierre (2008) que demostró que, en las vacas, el

tiempo necesario para lograr una respuesta en la producción a los tratamientos de la dieta es de aproximadamente 10 semanas.

Sanz-Sampelayo *et al.* (1998) observaron que la composición y la producción de leche de las cabras Granadina parece ser más sensible al consumo de energía que a las características físicas de la dieta consumida. Cuando la fracción del forraje de la dieta estuvo en forma de alfalfa peletizada, el uso del nitrógeno y la energía metabolizable para la producción de leche fue mayor.

En este estudio, la grasa de la leche fue afectada por el tamaño del forraje, al igual que se ha reportado en otros estudios realizados en vacas (Bal *et al.*, 2000; Soita *et al.*, 2000, 2005; Yang *et al.*, 2001a; Krause *et al.*, 2002a; Schwab *et al.*, 2002; Beauchemin *et al.*, 2003; Kononoff *et al.*, 2003b; Kononoff y Heinrichs, 2003b; Einarson *et al.*, 2004; Yang y Beauchemin, 2005, 2006b, 2006c, 2009; Rustomo *et al.*, 2006, 2007a; Bhandari *et al.*, 2007, 2008; Asadi-Alamouti *et al.*, 2009; Zebeli *et al.*, 2009; Storm y Kristensen, 2010). Por otra parte, Se han reportado resultados contradictorios, Teimouri-Yansari *et al.* (2004) observaron que las vacas cuyas raciones tenían un forraje con un corte largo tuvieron un porcentaje de grasa en la leche menor; sin embargo, Lu (1987) observó que las cabras que consumieron heno largo tuvieron más grasa en la leche.

En este experimento, se observó que la ración con un nivel alto de forraje causó un porcentaje mayor de grasa en la leche. El mismo efecto fue reportado por Einarson *et al.* (2004) y Yang y Beauchemin (2007a, 2009). Otros autores

no reportaron un efecto de la relación F:C sobre la grasa de la leche de vacas (Soita *et al.*, 2000, 2005) y de cabras (Tufarelli *et al.*, 2009).

A veces, el porcentaje de grasa en la leche es la respuesta animal asociada al contenido de la ración de la FDNe (Mertens, 1997). Varios factores podrían explicar la falta de respuesta de la grasa de la leche al contenido de FDNfe de la dieta. Principalmente, el contenido de FDN de las raciones ofrecidas por Beauchemin *et al.* (2003) fueron más altas (36%) que el mínimo (25%) recomendado por el NRC (2001), aunque la proporción de la FDN del forraje fue de 19% que es el nivel recomendado. Mertens (1997) concluyó que era más probable observar los efectos del tamaño de partícula sobre el contenido de grasa en la leche cuando los niveles de FDN fueran menores a los recomendados por el NRC. La FDNfe más baja de las dietas (19.7%) fue igual a la cantidad recomendada por Mertens para mantener el porcentaje de grasa en 3.4% al inicio de la lactancia de vacas. Sin embargo, el uso de la grasa en la leche como una medida de la efectividad de la fibra se ha cuestionado, especialmente al inicio de la lactancia, ya que las vacas responden menos a los cambios de la dieta (Kononoff y Heinrichs, 2003b).

Se sugiere realizar investigación adicional reemplazando el heno de alfalfa con varias fuentes de ensilaje como pueden ser de maíz y de alfalfa.

## **Conclusión**

La FDNfe y el nivel de forraje no afectaron el consumo de materia seca ni la producción de leche. Este experimento demuestra que la proporción de concentrado en la dieta es más importante que el porcentaje de FDNfe de la ración para determinar el pH del rumen y que incrementar el forraje en la dieta aumenta el porcentaje de grasa en la leche. Este estudio demuestra que la cabra es menos sensible a la falta de forraje y la FDNfe de la dieta.

## **Literatura citada general**

- 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.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*. Vol. 1. 15th ed. AOAC, Arlington, VA.
- 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. *J Dairy Sci* 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.
- Asadi Alamouti, A., G. R. Ghorbani, M. Alikhani, H. R. Rahmani, A. Teimouri Yansari, y K. H. Südekum. 2009. Effects of lucerne particle size and source of dietary carbohydrates on in situ degradation and ruminal variables in sheep. *Czech J. Anim. Sci.* 6: 277-285.

- Bae, D. H., J. G. Welch, y A. M. Smith. 1979. Forage intake and rumination by sheep. *J Anim Sci* 49: 1292-1299.
- Bal, M. A., R. D. Shaver, A. G. Jirovec, K. J. Shinnors, y J. G. Coors. 2000. Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci* 83: 1264-1273.
- 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 88: 2117-2129.
- Beauchemin, K. A., W. Z. Yang, y L. M. Rode. 2003. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. *J Dairy Sci* 86: 630-643.
- Bhandari, S. K., S. Li, K. H. Ominski, K. M. Wittenberg, y J. C. Plaizier. 2008. Effects of the chop lengths of alfalfa silage and oat silage on feed intake, milk production, feeding behavior, and rumen fermentation of dairy cows. *J Dairy Sci* 91: 1942-1958.

- 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. *J Dairy Sci* 90: 2355-2366.
- Bhatti, S. A., J. G. Bowman, J. L. Firkins, A. V. Grove, y C. W. Hunt. 2008. Effect of intake level and alfalfa substitution for grass hay on ruminal kinetics of fiber digestion and particle passage in beef cattle. *J Anim Sci* 86: 134-145.
- 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. *J Dairy Sci* 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. *J Anim Sci* 87: 622-631.
- Clark, P. W., y L. E. Armentano. 2002. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in alfalfa silage. *J Dairy Sci* 85: 3000-3007.
- Cooke, K. M., y J. K. Bernard. 2005. Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 88: 310-316.
- 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. *J Dairy Sci* 89: 3599-3608.

- Devries, T. J., K. A. Beauchemin, y M. A. von Keyserlingk. 2007. Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 90: 5572-5579.
- Devries, T. J., M. A. von Keyserlingk, y K. A. Beauchemin. 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 88: 3553-3562.
- 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.
- Domingue, B. M., D. W. Dellow, y T. N. Barry. 1991. The efficiency of chewing during eating and ruminating in goats and sheep. *British Journal of Nutrition* 65: 355-363.
- Eastridge, M. L. 2006. Major advances in applied dairy cattle nutrition. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 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. *J Anim Sci* 83: 1602-1615.

- Faichney, G. J., y G. H. Brown. 2004. Effect of physical form of a lucerne hay on rumination and the passage of particles from the rumen of sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 55: 1263-1270.
- Faichney, G. J., E. Teleki, y G. H. Brown. 2004. Effect of physical form of a lucerne hay on digestion and rate of passage in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 55: 1253-1262.
- Ferreira, G., y D. R. Mertens. 2005. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. *J Dairy Sci* 88: 4414-4425.
- 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. *J Anim Sci* 77: 180-186.
- Johnson, L. M., J. H. Harrison, D. Davidson, W. C. Mahanna, y K. Shinnars. 2003. Corn silage management: Effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. *J Dairy Sci* 86: 208-231.
- Kerley, M. S., J. L. Firkins, G. C. Fahey, Jr., y L. L. Berger. 1985. Roughage content and particle size: Their effects on size reduction and fiber composition of particles passing through the gastrointestinal tract of sheep fed corncob-concentrate diets. *J Dairy Sci* 68: 1363-1375.

- Kerley, M. S., A. R. Kinser, J. L. Firkins, G. C. Fahey, Jr., y L. L. Berger. 1985. Effects of roughage particle size on site of nutrient digestion and digesta flow through the gastrointestinal tract of sheep fed corncob-concentrate diets. *J Anim Sci* 61: 504-513.
- Kingston-Smith, A. H., T. E. Davies, J. E. Edwards, y M. K. Theodorou. 2008. From plants to animals; the role of plant cell death in ruminant herbivores. *Journal of Experimental Botany* 59: 521-532.
- Kinser, A. R., M. S. Kerley, G. C. Fahey, Jr., y L. L. Berger. 1985. Effect of roughage particle size on ruminal, digestive and metabolic characteristics of early-weaned lambs fed pelleted corncob-concentrate diets. *J Anim Sci* 61: 514-524.
- Kononoff, P. J., y A. J. Heinrichs. 2003. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *J Dairy Sci* 86: 2438-2451.
- Kononoff, P. J., y A. J. Heinrichs. 2003b. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *J Dairy Sci* 86: 1445-1457.
- 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 91: 4755-4764.
- Krause, D. O., S. E. Denman, R. I. Mackie, M. Morrison, A. L. Rae, G. T. Attwood, y C. S. McSweeney. 2003. Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: Microbiology, ecology, and genomics. *FEMS Microbiology Reviews* 27: 663-693.
- 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 85: 1936-1946.
- Krause, K. M., D. K. Combs, y K. A. Beauchemin. 2002b. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminal ph and chewing activity. *J Dairy Sci* 85: 1947-1957.
- 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 88: 698-710.
- Lu, C. D. 1987. Implication of forage particle length on chewing activities and milk production in dairy goats. *J Dairy Sci* 70: 1411-1416.
- Lu, C. D., J.R. Kawas, y O. G. Mahgou. 2005. Fibre digestion and utilization in goats. *Small Ruminant Research* 60: 45-52.
- Martz, F. A., y R. L. Belyea. 1986. Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. *J Dairy Sci* 69: 1996-2008.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 88: 2604-2615.
- NRC (National Research Council). 1996. Guide for the care and use of laboratory animals. National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheeps, goats, cervids and new world camelids. National Academy Press. Washington, D.C.
- Onetti, S. G., S. M. Reynal, y R. R. Grummer. 2004. Effect of alfalfa forage preservation method and particle length on performance of dairy cows fed corn silage-based diets and tallow. *J Dairy Sci* 87: 652-664.
- Onetti, S. G., R. D. Shaver, S. J. Bertics, y R. R. Grummer. 2003. Influence of corn silage particle length on the performance of lactating dairy cows fed supplemental tallow. *J Dairy Sci* 86: 2949-2957.

- Plaizier, J. C. 2004. Replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in barley grain and alfalfa-based total mixed rations for lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 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.
- Rodriguez-Prado, M., S. Calsamiglia, y A. Ferret. 2004. Effects of fiber content and particle size of forage on the flow of microbial amino acids from continuous culture fermenters. *J Dairy Sci* 87: 1413-1424.
- Rustomo, B., O. AlZahal, N. E. Odongo, T. F. Duffield, y B. W. McBride. 2006. Effects of rumen acid load from feed and forage particle size on ruminal pH and dry matter intake in the lactating dairy cow. *J Dairy Sci* 89: 4758-4768.
- Santini, F. J., C. D. Lu, M. J. Potchoiba, J. M. Fernandez, y S. W. Coleman. 1992. Dietary fiber and milk yield, mastication, digestion, and rate of passage in goats fed alfalfa hay. *J Dairy Sci* 75: 209-219.
- 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 82: 747-755.
- Schwab, E. C., R. D. Shaver, K. J. Shinnars, J. G. Lauer, y J. G. Coors. 2002. Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci* 85: 613-623.
- Soita, H. W., D. A. Christensen, y J. J. McKinnon. 2000. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage. *J Dairy Sci* 83: 2295-2300.
- Soita, H. W., M. Fehr, D. A. Christensen, y T. Mutsvangwa. 2005. Effects of corn silage particle length and forage:Concentrate ratio on milk fatty acid composition in dairy cows fed supplemental flaxseed. *J Dairy Sci* 88: 2813-2819.
- Stone, W. C. 2004. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 93: 4223-4238.
- St-Pierre, N. 2008. Examples of experimental designs to study production responses. *J Anim Sci* 86 (E-Suppl. 2): 185.
- Tafaj, M., V. Kolaneci, B. Junck, A. Maulbetsch, H. Steingass, y W. Drochner. 2005. Influence of fiber content and concentrate level on chewing activity, ruminal digestion, digesta passage rate and nutrient digestibility in dairy cows in late lactation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci* 18: 1116-1124.

- 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., H. Steingass, y W. Drochner. 2001. Influence of hay particle size at different concentrate and feeding levels on digestive processes and feed intake in ruminants. 2. Passage, digestibility and feed intake. *Arch Anim Nutr* 54: 243-259.
- 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, B. Junck, H. Steingass, y W. Drochner. 2005. Effects of particle size of a total mixed ration on in vivo ruminal fermentation patterns and inocula characteristics used for in vitro gas production. *Animal Feed Science and Technology* 123-124: 139-154.
- 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. *J Dairy Sci* 87: 3912-3924.

- Tufarelli, V., M. Dario, y V. Laudadio. 2009. Forage to concentrate ratio in jonica breed goats: Influence on lactation curve and milk composition. *Journal of Dairy Research* 76: 124-128.
- 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 88: 1090-1098.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal ph of dairy cows fed diets based on barley silage. *J Dairy Sci* 89: 217-228.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2006. Increasing the physically effective fiber content of dairy cow diets may lower efficiency of feed use. *J Dairy Sci* 89: 2694-2704.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2006. Physically effective fiber: Method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *J Dairy Sci* 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. J Dairy Sci 90: 2826-2838.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. J Dairy Sci 90: 3410-3421.
- 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. J Dairy Sci 92: 1603-1615.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, y L. M. Rode. 2001. Barley processing, forage:Concentrate, and forage length effects on chewing and digesta passage in lactating cows. J Dairy Sci 84: 2709-2720.
- 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. J Dairy Sci 84: 2203-2216.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, y L. M. Rode. 2002. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on site and extent of digestion. J Dairy Sci 85: 1958-1968.
- 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. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingass, B. N. Ametaj, y W. Drochner. 2008. 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. *J Dairy Sci* 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. 2008. Evaluation of the response of ruminal fermentation and activities of nonstarch polysaccharide-degrading enzymes to particle length of corn silage in dairy cows. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 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. *J Dairy Sci* 90: 1929-1942.

Zebeli, Q., M. Tafaj, I. Weber, H. Steingass, y W. Drochner. 2008. 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. *J Anim Sci* 89: 501-509.

## **Apéndice**

### **Métodos de análisis bromatológicos**

#### **Determinación de materia seca total**

Principio:

La humedad libre de una muestra parcialmente seca de aliento o forraje se obtiene por diferencia de peso al someter esta a 100 °C y cuando se haya liberado de contenido de agua libre.

Equipo:

- 1.- Estufa a temperatura de 100 °C
- 2.- Recipientes de aluminio de diámetro mínimo de 50 mm y profundidad máxima de 40 mm.
- 3.- Balanza analítica con una aproximación de 0.0001 gr.
- 4.- Desecador
- 5.- Pinzas
- 6.- Espátula

Procedimiento

- 1.- Se limpian las cápsulas de aluminio y su cubierta con tapa con un pincel y se ponen a secar en la estufa de 100 ° C durante una hora para obtener peso

constante. Las capsulas siempre se deben manipular con pinzas de metal, para no interferir en el peso. Las capsulas se dejan enfriar en un desecador durante 60 minutos mínimo y luego se pesan.

2.- En la capsula de aluminio con tapa previamente tarada se pesan de 3 a 5 gr. de muestra, anotando el peso exacto.

3.- Se lleva a una estufa con temperatura de 100 °C durante 24 horas distribuyendo perfectamente la muestra en la capsula y posteriormente debe ser tapada parcialmente.

4.- Al terminar el periodo de 24 horas, se colocan en un desecador para que se enfríen por espacio mínimo de 1 hora.

4.- Después se pesan tan rápido como sea posible.

$$\text{Cálculos: } \% \text{ materia seca total} = \frac{\text{peso final} - \text{peso de la capsula}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

## **Determinación de cenizas**

### Principio:

La muestra se incinera a 600 ° C para calcinar toda la materia orgánica, el material inorgánico o cenizas que permanezcan después de este proceso indican el contenido mineral de la muestra.

### Material

- 1.- Mufla
- 2.- crisoles
- 3.- pinzas largas
- 4.- desecador.
- 5.- balanza analítica de aproximadamente 0.0001gr

### Procedimiento

- 1.- Se limpian los crisoles y se pesan (tara)
- 2.- Se pesan aproximadamente 1.5 gr. de muestra parcialmente seca en los crisoles previamente tarado.
- 3.- Se colocan en la mufla a 600 °C por un tiempo de 2 a 3 horas o hasta que las cenizas queden blancas, libres de carbón.
- 4.- Posteriormente se pasan a un desecador y se dejan enfriar por espacio de 2 horas mínimo.
- 5.- Después de enfriarlos se pesan lo mas rápido posible para evitar la absorción de la humedad.

6.- Estas cenizas se pueden utilizar para calcular minerales (Ca, P y K)

Cálculos:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{peso final} - \text{peso crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Nota: Corrija el resultado a base materia seca.

## Determinación de proteína

### Principio:

El ácido sulfúrico concentrado oxida la materia orgánica y convierte el Nitrógeno en proteico a sulfato ácido de amonio. La digestión se completa cuando la solución ácida de la muestra se vuelve básica con NaOH, el cual libera el amonio dentro de un exceso de solución estandarizada de ácido.

El ion amoniaca se combina con una parte de ácido y el exceso del ácido es titulado con una solución estandarizada de NaOH.

De esta titulación se determina la cantidad de Nitrógeno y de ahí se determina la proteína cruda multiplicándose por 6.25

### Equipo:

Aparato de destilación y digestión micro kjendhal

Equipo para titulación.

Matraz kjendhal de 100 ml

Matraz erlenmeyer de 125ml

Pipeta de 10 ml

Vaso de precipitado de 100 ml

Balanza analítica.

### Reactivos

Mezcla reactiva de selenio

Ácido sulfúrico concentrado

Solución de hidróxido de sodio al 50 %

Solución de ácido sulfúrico de 0.025 N

Granalla de zinc

Ácido bórico 2 %

Indicador rojo de metilo.

Procedimiento:

- 1.- Se pesan 0.050 gr de muestra por duplicado y se colocan en el interior del matraz kjendhal.
- 2.- agregar 3 ml de mezcla digestora.
- 3.- Se coloca en el digestor y se digiere hasta que tenga un color claro (aproximadamente una hora). Se deja enfriar.
- 4.- Colocar 30 ml de ácido bórico en un vaso de precipitado de 100 ml y agregar 3 gotas de la mezcla indicadora.
- 5.- Colocar el vaso debajo del tubo de descarga del aparato de destilación.
- 6.- Colocar la muestra digerida en el depósito del aparato de destilación enjugando el matraz (2 veces).
- 7.- Agregar NaOH hasta la neutralización (cambio de color de incoloro a rosa)
- 8.- Destilar hasta que se tengan 60 ml.
- 9.- Titular gota a gota hasta que vire el color.

Cálculos

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{(\text{ml gastados de H}_2\text{SO}_4)(\text{Normalidad del H}_2\text{SO}_4)(0.014)}{100} \times \text{gr de muestra}$$

$$\% \text{ de Proteína Cruda} = \% \text{ de Nitrógeno} \times \text{factor (6.25)}$$

NOTA: Calcular en base a la materia seca.

## **Determinación de extracto etéreo**

### Principio:

El éter anhídrido al calentarse se volatiliza y al hacer contacto con una superficie fría se condensa, pasa a través de una muestra y arrastra o acarrea consigo las sustancias solubles en éter (gas natural), fosfolípidos, carotenoides, etc. Este proceso se realiza en forma continua hasta que no queden residuos del material extraíble de la muestra. El éter se destila y se recolecta en otro recipiente y el material soluble en éter permanece en el vaso colector.

### Material y equipo:

Aparato goldfish para extracción de la grasa cruda.

Vasos con borde esmerilado

Dedales de asbesto o de porcelana (o papel filtro)

Portadedales de metal o de vidrio

Tubos recolectores de vidrio (homeopáticos)

Pinzas de metal

Empaques de corcho.

Papel filtro

Balanza analítica

### Reactivos:

Éter di etílico anhídrido o éter de petróleo.

Procedimiento:

1.- Los vasos con borde esmerilado se ponen en la estufa de 100 ° C durante una hora hasta obtener peso constante. Después se colocan en un desecador dejándose enfriar por media hora antes de pesarlos. Los vasos se manipulan siempre con las pinzas de metal.

2.- Se pesan aproximadamente 2 gr. de muestra a la que antes fue extraída la humedad.

3.- La muestra se coloca en un papel filtro, el cual se dobla de tal manera que entre en el dedal de asbesto, y este a su vez se coloca en un portadedales que se inserta en el condensador del aparato Goldfish.

4.- Se agregan de 30 a 40 ml de éter di etílico o éter de petróleo al vaso previamente tarado, el cual se inserta en el condensador perfectamente con el anillo de rosca y empaque de corcho para evitar cualquier escape de éter.

5.- Se abre la llave del agua del condensador y se levanta la hornilla hasta que este haga contacto con el vaso.

6.- Encender la hornilla en baja temperatura y se inicia la operación del condensado. Asegúrese de que no haya escapes de éter después de que este comience a hervir y a condensarse. (oler y observar el volumen del vaso).

7.- El periodo de extracción es de 4 a 5 horas. Observar que el éter debe gotear de a razón de 5 – 6 gotas por segundo. Si hay gotas de 2 – 3 por segundo se necesitara un periodo de 16 horas de extracción.

8.- Al final del periodo, se apaga el aparato y se deja enfriar teniendo cuidado de cambiar la muestra y colocar el tubo recolector de éter en el lugar de la muestra en el condensador. Se repite la operación encendiendo de nuevo las

hornillas para iniciar la evaporación del éter el cual al condensarse se recibirá en un tubo recolector.

9.- Cuando los vasos estén casi secos se reduce la temperatura y se apaga el aparato.

10.- El contenido de un tubo recolector se puede vaciar en una botella la cual es identificada como éter usado, el cual se puede utilizar posteriormente para disolver la grasa de los vasos.

11.- Los vasos que contienen el extracto etéreo se llevan a al estufa a una temperatura de 100 ° C durante 30 minutos y después se pasan al desecador por 20 – 30 minutos hasta que se enfríen a la temperatura ambiente.

12.- Se pesan los vasos y se calcula el peso del extracto etéreo obteniéndose este por diferencia y expresándose como porcentaje de la muestra seca.

#### Cálculos

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{\text{Peso final del vaso} - \text{Peso inicial del vaso}}{\text{gr. de muestra}} \times 100$$

## **Determinación de la fibra detergente neutro**

El método de análisis de la fibra con detergente, divide la fracción CHOS del vegetal de contenidos celulares y componentes de las membranas celulares. El alimento es tratado en primer lugar con una solución de detergente neutro de pH 7. La fracción disuelta en la solución detergente neutro contiene a los componentes celulares que son lípidos, azúcares, ácidos orgánicos, sustancias hidrosolubles, pectina, almidón, Nitrógeno no Proteico y proteína soluble. Estos componentes son digeridos casi totalmente por el animal. El residuo después del tratamiento con detergente neutro, está constituido por las membranas celulares y se le denomina fibra detergente neutra. La fibra detergente neutra, contiene la porción estructural del forraje. Esta porción determina en buena medida el volumen que ocupara el alimento en el tracto digestivo y la cantidad de forraje que consumirá el animal.

Reactivos:

1.- solución neutrodetergente

2.- Acetona.

Material y equipo:

Vasos de berzelius.

Agitador de vidrio con gendarme.

Tela a peso constante.

Digestor de fibra.

Balanza analítica

Procedimiento:

- 1.- Pesar 0.5 g. de muestra seca molida para pasar por malla 1 mm y colocarla en un vaso de precipitado apropiado el aparato de condensación.
- 2.- Añadir 100 ml de solución neutro detergente. Calentar el aparato de 5-10 min. Reducir el calor cuando comience a hervir para evitar la formación de espuma. Mantenerlo por 60 minutos contando desde el momento en que empiece a hervir.
- 3.- Filtrar en un embudo bushner con la tela previamente tarada, lavar dos veces con agua caliente.
- 4.- Repetir el lavado con acetona hasta que desaparezca el color.
- 5.- Secar el papel con la fibra en la estufa a 100 °C por toda la noche.
- 6.- Pesar

Cálculos:

% Fibra detergente Neutro:  $\frac{\text{Peso final del papel} - \text{peso inicial del papel}}{\text{Peso inicial del papel}} \times 100$

100

gr de muestra

## **Determinación de Fibra detergente ácido**

Una muestra de alimento es tratada con una solución detergente ácida, que disuelve la hemicelulosa y alguna proteína ligada a la fibra, además de los contenidos celulares. Estas fracciones son parcialmente digestibles, dependiendo del grado de lignificación. El material insoluble es la fibra detergente ácida, que consta de celulosa, lignina cutícula y sílice . Tanto el sílice como la lignina reducen la digestibilidad de los vegetales, ya que la digestibilidad de las gramíneas disminuye en 2 a 3 unidades aproximadamente por cada unidad de lignina y de sílice presente en la materia seca.

Reactivos:

1.- solución ácido detergente

2.- Acetona.

Material y equipo:

Vasos de berzelius.

Agitador de vidrio con gendarme.

Tela a peso constante.

Digestor de fibra.

Balanza analítica

Procedimiento:

- 1.- Pesar 0.5 g. de muestra seca molida para pasar por malla 1 mm y colocarla en un vaso de precipitado apropiado el aparato de condensación.
- 2.- Añadir 100 ml de solución ácido detergente. Calentar el aparato de 5-10 min. Reducir el calor cuando comience a hervir para evitar la formación de espuma. Mantenerlo por 60 minutos contando desde el momento en que empiece a hervir.
- 3.- Filtrar en un embudo bushner con la tela previamente tarada, lavar dos veces con agua caliente.
- 4.- Repetir el lavado con acetona hasta que desaparezca el color.
- 5.- Secar el papel con la fibra en la estufa a 100 °C por toda la noche.
- 6.- Pesar

Cálculos:

% Fibra detergente Acido:  $\frac{\text{Peso final del papel} - \text{peso inicial del papel}}{\text{gr de muestra}} \times 100$

gr de muestra