

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**EFFECTO DE LA FDN FÍSICAMENTE EFECTIVA (peFDN) DE LA  
DIETA SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA EN CABRAS.**

**POR:**

**MARIO RODRÍGUEZ SANTIAGO**

**TESIS:**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



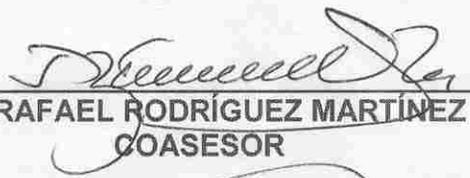
**EFFECTO DE LA FDN FÍSICAMENTE EFECTIVA (peFDN) DE LA  
DIETA SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA EN CABRAS.**

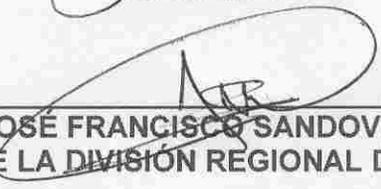
**POR:**

**MARIO RODRÍGUEZ SANTIAGO**

**APROBADA POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO  
ASESOR PRINCIPAL**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
COASESOR**

  
\_\_\_\_\_  
**M.V.Z. JOSÉ FRANCISCO SANDOVAL ELÍAS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

Torreón, Coahuila, México. ....Abril 2009

**TESIS QUE SE SOMETERÁ A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TITULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**APROBADA POR:**



**DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO  
PRESIDENTE**



**DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
VOCAL**



**I.Z. HÉCTOR MANUEL ESTRADA FLORES  
VOCAL**



**M.C. JOSÉ DE JESÚS QUEZADA AGUIRRE  
VOCAL SUPLENTE**



**M.V.Z. JOSÉ FRANCISCO SANDOVAL ELÍAS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

Torreón, Coahuila, México.....Abril 2009

## Agradecimientos

*A DIOS por darme la oportunidad de vivir sin importar las adversidades que existen en esta vida, logrando aquel anhelo que me propuse como fue al hacer realidad el sueño; el de haber terminado mis estudios de nivel licenciatura.*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por todos los conocimientos y/o experiencias adquiridos en ella, y por brindarme la oportunidad de superarme humana y profesionalmente.*

*Al Dr. Pedro Antonio Robles Trillo. Por brindarme sus conocimientos, experiencias y confianza que deposito en mí para poder llevar a cabo este trabajo de investigación. Muchas gracias.*

*Al Dr. Rafael Rodríguez Martínez. Por su paciencia, orientación y valiosa participación en la elaboración de este documento.*

*A mis profesores por compartir sus conocimientos para mi formación profesional.*

*A Emilio y Jorge compañero de tesis gracias por el apoyo que me brindaron durante la realización de este trabajo.*

*A mis compañeros de la sección "C" que estuvieron en las buenas y en las malas desde el inicio hasta el fin de mi carrera.*

*Y a todas aquellas personas que incondicionalmente me apoyaron desde el inicio hasta el fin de este trabajo.*

## Dedicatorias

*A mis padres*

*Sr Alfredo Rodríguez Girón*

*Sra. Elfega Santiago Reyes.*

*Mil gracias: Por darme la oportunidad de terminar una carrera, por los sabios consejos que me brindan a través de mi vida por su apoyo incondicional en todo momento y sobre todo gracias por la mejor herencia que me han dado, una profesión.*

*Gracias a ustedes no hubiera logrado esta etapa mas de mi vida, les agradezco infinitamente por todo lo que han hecho por mí ya que sin ustedes no hubiera podido lograr este trabajo, el cual se los dedico con mucho cariño.*

*A mis hermanos*

*Ángel, Alicia, Gustavo y Sandra.*

*Gracias por su comprensión y amor al compartir momentos de alegría y tristeza, al gran apoyo que me brindan aun estando lejos de casa, siempre estaremos unidos en cualquier adversidad que en la vida nos encontremos, que dios los bendiga*

*A mi sobrina*

*Ximena Rodríguez Reyes.*

*Al momento de tu llegada a la familia todo cabio inundando de alegría nuestras vidas.*

*A mis abuelos, tíos (as), primos(as), y familia*

*Sin lugar a duda fueron un apoyo mas para seguir continuando con mis estudios que en una forma directa e indirecta han influido en mi formación, gracias.*

## ÍNDICE

Agradecimientos .....	iv
Dedicatorias .....	v
ÍNDICE.....	vi
RESUMEN .....	vii
INTRODUCCION.....	1
Revisión de literatura.....	3
Concepto de eficacia físicamente efectiva de la Fibra Detergente.....	3
Efectos de medición del pef y peFDN sobre las respuestas fisiológicas.....	3
Efectos de la FDN físicamente efectiva sobre el consumo de materia seca, digestibilidad y la producción de leche. ....	4
Efectos de la FDN físicamente efectiva sobre el CMS, masticación y fermentación ruminal.....	8
peFDN y fermentabilidad de carbohidratos.....	11
Diferentes formas físicas del forraje en cabras.....	16
Fibra no forrajera en cabras .....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
Procedimiento experimental .....	21
Análisis estadístico de la información. ....	24
RESULTADOS .....	25
DISCUSIÓN .....	27
Literatura citada.....	30

## **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue investigar, mediante el uso del separador de partículas propuesto por la Universidad de Pensilvania (PSPS), el efecto del tamaño de partícula en una dieta conteniendo heno de alfalfa como la única fuente de forraje sobre el pef y peFDN y el efecto de esos parámetros sobre el consumo de materia seca en cabras. El experimento fue designado en un diseño experimental cuadrado latino 3x3 usando 3 machos cabríos de la raza alpina canulados ruminalmete. Se les ofreció 1 de 3 dietas con un TdP largo 2.5 cm (tratamiento 1), mediano 1.0 cm (tratamiento 2) y corto 0.5 cm (tratamiento 3). La dieta fue administrada por tres periodos de 13 días, 10 días de adaptación seguido de un periodo de recolección de muestras de 3 días, posteriormente a los animales se les intercambiaron las dietas en dos periodos mas. El pef se obtuvo de la suma de la proporción de partículas retenidas en las cribas 19.0, 8.0 y 1.18 mm, la peFDN se determino al multiplicar el contenido de FDN de la dieta por el factor físico efectivo y el consumo de materia seca se obtuvo como la diferencia entre el alimento ofrecido y lo rechazado. Al determinar el efecto del TdP sobre el pef se observó que el pef disminuyó a medida que el TdP bajó (0.42, 0.40 y 0.33% pef<sub>8.0</sub> y 0.77, 0.76 y 0.73% pef<sub>1.18</sub> para el TdP largo, mediano y corto, respectivamente). A medida que disminuyó el TdP, la peFDN descendió (16.83, 15.43 y 12.47% para el peFDN<sub>8.0</sub> y 30.51, 28.91 y 27.11% para el peFDN<sub>1.18</sub> del TdP largo, mediano y corto, respectivamente. Sin embargo, el TdP tuvo un efecto ( $P < 0.05$ ) sobre el CMS observándose en los animales en el TdP largo consumieron 1.14 kg de MS., los del TdP mediano consumieron 1.43 kg de MS. y los del TdP corto consumieron 1.24 kg de MS. En conclusión al disminuir el tamaño de la partícula del heno de alfalfa en la dieta, disminuye la cantidad de pef. Al igual se observa para el contenido de peFDN donde los valores descienden con el TdP, siendo mayores para la peFDN<sub>1.18</sub>, estos valores resultan, por que al momento de disminuir el TdP estas se concentran más en la criba del diámetro 1.18 mm, el consumo de materia seca fue mayor para el tratamiento mediano. El PSPS es un mecanismo útil que puede ser usado en la forma de medir el

tamaño de la partícula del forraje y de la RTM para estimar el CMS en las cabras.

Palabras clave: cabras, tamaño de partícula, eficacia de fibra.

## INTRODUCCION

En los caprinos como en otros rumiantes requieren fibra en cantidades y en forma física adecuada ya que muy pequeña ocasiona disminución de la masticación y cantidades excesivas de fibra larga limitan el consumo y digestibilidad.

El tamaño de partícula fino disminuye la secreción de saliva, pH ruminal y grasa en leche. También tiene efectos en el consumo de materia seca, tasa de pasaje, digestibilidad y producción láctea, aunque los resultados obtenidos en algunas investigaciones son variables Yang y Beauchemin (2005).

La digestibilidad de los nutrientes es un parámetro importante de la calidad del alimento. Los cambios físicos de los alimentos tales como su tamaño de partícula podría afectar la digestión del rumen, tasa de pasaje y la síntesis de proteína microbiana y por consiguiente la digestión postruminal o total. (Yang et al., 2002).

El concepto del factor físico efectivo (pef) fue creado para amalgamar la naturaleza química y física de los forrajes y para cuantificar su valor para el funcionamiento ruminal (Kononoff y Heinrichs 2003).

El concepto de fibra físicamente efectiva (peFDN) fue introducido en relación a las características físicas de la FDN para promover el masticado y el flujo de saliva búfer para el rumen (Mertens, 1997).

Al maximizar en la dieta niveles elevados de carbohidratos las vacas están propensas a sufrir riesgos de acidosis esto se contrarresta con el aumento de la capacidad amortiguadora la cual se proporciona con la FDN físicamente efectiva (peFDN) mediante el aumento en la masticación neutralizando el pH ruminal evitando el riesgo de acidosis ruminal subaguda (SARA) (Krause y Combs 2003).

Existen varios sistemas para medir el tamaño de las partículas. Uno de estos sistemas es el separador de partículas propuesto por la Universidad de Pensilvania (PSPS) para medir el factor físico efectivo (pef) y la concentración de FDN físicamente efectiva (peFDN), usando dos cribas de oscilación esférica de 19.0, 8.0 mm (peFDN<sub>>8.0</sub>) o usando una tercer criba de 1.18 mm (peFDN<sub>>1.18</sub>) con una charola de recolección. En donde las partículas del forraje

que no se retienen en la criba de diámetro de 1.18 mm del PSPS su velocidad de paso en el rumen es mas rápido (Zebeli et al 2006).

Otro sistema es por muestreos cribados con el método de separador de partículas de la Universidad de Winsconsin en concordancia del protocolo estándar de la ASAE (Leonardi et al 2005).

Y un último sistema para determinar el tamaño de partículas son las cribas separadoras de partículas oscilatorias desarrolladas por Finner. El TdP parece ser un buen indicador de la calidad del forraje y la evaluación cuantitativa puede ayudar a establecer un sistema que relacione el tamaño de partícula (TdP) del forraje a la producción de leche en cabras (Lu, 1987).

En los caprinos el tamaño de partícula afecta el consumo de materia seca, masticación, función ruminal y producción. Sin embargo no hay estudios, que usando el separador de partículas de la Universidad de Pensilvania (PSPS), determinen el efecto del tamaño de partícula sobre el pef y la peFDN, ni el efecto de estos parámetros sobre el consumo de MS.

En el caso de los bovinos productores de leche, al modificar el TdP del forraje en la alimentación del ganado lechero el aumenta el CMS y la digestibilidad de la ración disminuye. En las cabras se observa una tolerancia mayor a dietas sin forraje y con una fibra no forrajera, lo que representa además que estos rumiantes son menos susceptibles a la disminución del TdP (Bava et al., 1997b) que los bovinos, por lo que la disminución del TdP de la alfalfa aumentará la cantidad de pef y peFDN de la dieta, pero no afectará el consumo de MS.

Este trabajo se llevó a cabo con el objetivo de determinar, mediante el uso del PSPS, el efecto del tamaño de partícula sobre el pef y peFDN y el efecto de esos parámetros sobre el consumo de materia seca en cabras.

## Revisión de literatura

### ***Concepto de eficacia físicamente efectiva de la Fibra Detergente***

El concepto de fibra efectiva fue creado para amalgamar la naturaleza química y física de los forrajes y para cuantificar su valor para el funcionamiento ruminal (2003a). El concepto de fibra físicamente efectiva (peFDN) fue introducido en relación a las características físicas de la FDN principalmente al tamaño de partícula que afecta la actividad de masticación (secreción de saliva). Este concepto está basado en la hipótesis de que la fibra con longitud de partícula larga ( $> 1$  cm) promueve la masticación y secreción de saliva, que a su vez ayuda a neutralizar a los ácidos producidos durante la digestión ruminal de los alimentos. La fibra que promueve la masticación es considerada físicamente efectiva.

El contenido de peFDN de la dieta puede determinarse por la multiplicación del contenido de FDN en la dieta por su factor de físico de efectividad (pef por sus siglas en inglés) (Beauchemin y Yang, 2005). La proporción de MS retenida en las cribas de 19.0 y 8.0 mm del PSPS multiplicada por el contenido dietético de FDN es peFDNps-2s. Si se agrega una tercera criba de 1.18-mm al PSPS, por lo que con ella se determina la proporción de MS retenida por las cribas de 19-, 8-, y 1.18 mm del PSPS que multiplicado por la FDN de la dieta constituye el peFDNps-3s) (Yang y Beauchemin, 2006c).

### ***Efectos de medición del pef y peFDN sobre las respuestas fisiológicas.***

Varios estudios han usado el separador de partículas propuesto por la Universidad de Pensilvania (PSPS) para medir el factor físico efectivo (pef) y la concentración de FDN físicamente efectiva (peFDN), usando dos cribas de oscilación esférica de 19, 8 mm (peFDN<sub>>8</sub>) o una tercer criba de 1.18 mm (peFDN<sub>>1.18</sub>) con una charola de recolección. No está del todo claro con cual de esos dos se puede calcular con más exactitud la concentración de la peFDN para la estimulación de la rumia, producción de saliva y amortiguación ruminal.

Por ello, Zebeli et al. (2006) investigaron la concentración de peFDN cuando es medida con la  $peFDN_{>1.18}$  y  $peFDN_{>8.0}$ , sobre las respuestas fisiológicas en vacas lecheras al inicio de la lactancia. Para estos autores la  $peFDN_{>1.18}$  es la medición que dio un efecto positivo para mantener un pH ruminal de 6.0 así mismo, se mejora la digestibilidad de FDN, actividad de masticado y la rumia. La producción y composición de leche son menos sensibles a la medición de peFDN de la dieta. La ingesta de  $peFDN_{>1.18}$  puede ser considerada para la formulación de raciones en vacas lecheras al inicio de la lactancia.

Con un adecuado TdP del forraje se mejora el CMS, digestibilidad, actividad de masticado, producción y composición de la leche en vacas. Aunque existen varios métodos de cribado y de laboratorio ninguno de estos sistemas están adecuadamente validados para conocer los requerimientos de peFDN y detectar su valor para estimar el tiempo de masticado para un buen funcionamiento ruminal. Por ello, Yang et al. (2002) evaluaron los efectos del TdP y la relación silo de alfalfa:heno de alfalfa (AS:AH) sobre CMS, sitio y extensión de digestión y velocidad de paso. El experimento fue diseñado en cuadrado latino 4 x 4 usando 6 vacas para los tratamientos en un arreglo factorial 2 x 2 para los tratamientos con 60% grano de cebada y 40% de forraje en una relación AS:AH (alta vs baja, 50:50 vs 25:75) en donde el AH fue picado y molido para combinarlo con las dietas. El consumo de peFDN para la relación alta con el corte de heno picado fue de 15.6 vs 7.2% para la relación baja con corte molido usando las tres cribas del PSPS. Al CMS fue afectado por la relación alta de AS:AH que por el TdP del AH así como la velocidad de paso de los sólidos y líquidos. Al aumentar el TdP mejora la digestibilidad de la fibra, síntesis de proteína microbiana y N en el tracto total.

### ***Efectos de la FDN físicamente efectiva sobre el consumo de materia seca, digestibilidad y la producción de leche.***

El tamaño de partícula tiene efectos sobre el consumo de MS, tasa de pasaje, digestibilidad y producción láctea, aunque los resultados obtenidos en algunas investigaciones son variables. Es importante tener conciencia del efecto de las concentraciones de la peFDN en las dietas de las productoras de leche sobre el consumo de materia seca, la digestibilidad y producción de leche para un rango amplio de forrajes y concentrado. Aunque existen varios

métodos para evaluar la eficacia física de las dietas para vacas, el PSPS se ha utilizado para determinar la peFDN de dietas basadas en ensilaje de maíz sin resultados concluyentes.

Yang y Beauchemin (2005) investigaron el efecto del incremento de la concentración de peFDN de una ración conteniendo ensilaje de maíz sobre el consumo de alimento, sitio y grado de digestión y rendimiento y composición de la leche de vacas. La concentración de peFDN de la dieta se incremento mediante el uso de ensilaje de maíz de diferente longitud y fue medida con el separador de partículas de la Universidad de Pensilvania (PSPS, por sus siglas en ingles), a las vacas se les ofreció tres niveles de peFDN (alto, mediano y bajo) para alterar la longitud del tamaño de partícula. Incrementando el tamaño de partícula del ensilaje de maíz incrementó el CMS, mejoró la digestibilidad de la MO. El promedio de producción de leche fue de 1.6 kg/d (4.3%) mas bajos para las vacas alimentadas con la dieta baja en peFDN, que el promedio de producción de leche para vacas alimentadas con las otras dos dietas. La proporción de partícula largas (por ejemplo, esas dejadas sobre la criba de 19 mm) dejadas en el rechazo de las dietas con diferentes peFDN (6.3, 1.7 y 0.2% para las dietas altas, medias y bajas, respectivamente) fueron más grandes que la proporción en las dietas originales (8.9, 7.9 y 7.0%) lo cual indica la selección de partículas largas de forraje sobre partículas pequeñas (figura 1). Aunque el pef de las dietas fueron mayores que los pef de los rechazos, la diferencia entre los pef de las dietas y rechazos fueron mayores para las dietas con peFDN más bajo (34, 39 y 45% de reducción para alta, mediana y baja, respectivamente) (figura 2), lo que indica que relativamente se consumieron más partículas >19.0 y >8.0 mm fueron consumidas por vacas alimentadas con el menor peFDN dietético. Aunque las vacas de este experimento se encontraban a mitad de su lactancia. Se requieren estudios para determinar la concentración óptima de peFDN en las dietas de vacas para mantener saludable la función ruminal.

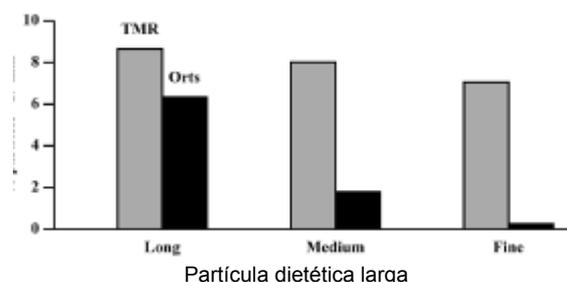


Figura 1.- Proporción de partículas > 19 mm para dietas y rechazos usando el separador de partícula de Penn State (TMR, ración completamente mezclada; Orts, rechazos)

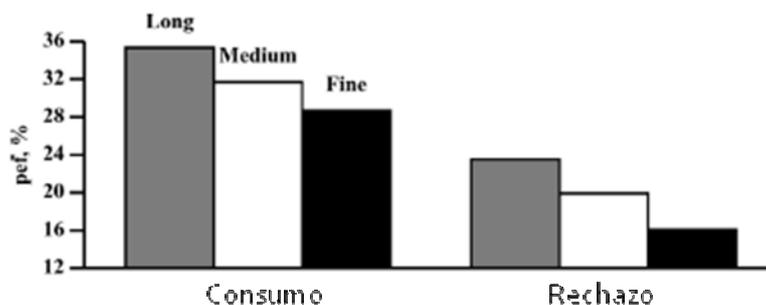


Figura 2.- Factores físicamente efectivos de las raciones y rechazos.

Los rumiantes requieren fibra en cantidades y en forma física adecuada, ya que muy pequeña ocasiona disminución de la masticación y cantidades excesivas de fibra larga limitan el consumo y digestibilidad que afectan el balance energético de la vaca. Durante la etapa postparto, el consumo excesivo de fibra larga resulta en un llenado ruminal extraordinario que limita el CMS por la distensión ruminal, por eso la reducción del TdP en este período aumenta el CMS ya que se reduce el tiempo de rumia, aunque no se entienden los efectos del tamaño de corte del henilaje de alfalfa, así como el efecto negativo potencia asociado con la fermentación ruminal, tampoco existe mucha información al respecto en vacas recién paridas. Por esta razones, Kononoff y Heinrichs (2003b) determinaron el efecto del tamaño de partícula sobre el CMS actividad de masticación y fermentación ruminal en vacas en lactancia inicial. La eficacia física de la FDN fue determinada por la medición de la cantidad de FDN retenida sobre la criba > 1.18 mm, siendo similar entre las dietas (25.7, 26.2, 26.4 y 26.7), pero la cantidad de partícula > 19.0 mm disminuyó significativamente con la disminución del TdP. La reducción del TdP del henilaje incrementó linealmente el CMS (20.8, 20.9, 22.0 y 23.3 kg/d).

Yang y Beauchemin (2006b) usaron ensilaje de cebada (EC) con tamaño teórico de partícula (TTP) variable para evaluar los efectos del contenido peFDN en las dietas de vacas productoras de leche sobre consumo de

nutrimento, sitio y extensión de la digestión, síntesis de proteína microbiana y producción de leche. El experimento implicó un cuadrado latino 3 x 3 replicado que uso 6 vacas canuladas en rumen y duodeno. Se tuvieron 3 períodos, en los cuales las vacas consumieron 1 de 3 dietas (peFDN baja, mediana y alta) obtenidas usando ensilaje de cebada con variantes en la longitud de partícula: fina (TTP, 4.8 mm), medio (TTP proporciones iguales de longitud fina y larga) y larga (TTP 9.5 mm). La peFDN se determinó por la multiplicación de la proporción (base a materia seca) del alimento retenido sobre las dos cribas (8 y 19 mm) del separador de partículas de Penn State por el contenido de FDN de la dieta y fueron 10.5, 11.8 y 13.8% de las dietas baja, media y alta, respectivamente. Al aumentar el TdP del BS incrementa la ingesta de peFDN pero los consumos de MS, MO, almidón y N fueron más altos para vacas alimentadas con dietas de peFDN medio, de igual manera al aumentar el contenido de peFDN disminuye la digestibilidad de MO, FDN, FAD pero esto no reduce la producción y composición de la leche porque las vacas fueron de lactancia media y tardía. Bajo las condiciones de este trabajo, una dieta con peFDN del 10% es adecuada para mantener 3.5% de grasa en leche para vacas lecheras de lactación media y tardía alimentadas con dietas a base de cebada.

Las fuentes de carbohidratos no fibrosos requieren de un forraje con un mínimo de FDN para mantener un buen funcionamiento ruminal. Las partículas del forraje que no se retienen en la criba de diámetro de 1.18 mm del PSPS pasan más rápido en el rumen. Sin embargo, las hojuelas de semilla de algodón (CSH) contienen FDN larga que mezcladas con un TdP pequeño el CMS aumenta mejorando el pH ruminal. Por esta razón, Yang et al. (2002) compararon el efecto de reducir el TdP del ensilaje de maíz incluyendo CSH sobre el CMS, digestibilidad y producción de leche en vacas lactantes. Se ofrecieron 4 dietas, LGNH = TMR con ensilaje de maíz largo, sin CSH, LGH = TMR con ensilaje de maíz largo y CSH, SHNH = TMR con ensilaje de maíz corto y CSH y SHH = TMR con ensilaje de maíz corto con CSH. El TdP no afectó al CMS pero en las dietas que contenían CSH el consumo fue mayor SHH 28.31 vs LGNH 25.69 kg/d. No hubo efectos de los tratamientos sobre la producción de leche, pero la inclusión HCS aumentó la grasa y proteína láctea. El PSPS puede ser usado para conocer la distribución de partículas pero no da

con más exactitud los valores para la peFDN para el total de masticación y el pH ruminal.

### ***Efectos de la FDN físicamente efectiva sobre el CMS, masticación y fermentación ruminal.***

El ensilaje de maíz mantiene sus valores energéticos, posee buena cantidad de fibra y un alto rendimiento en la producción, pero un silo de TdP fino disminuye la secreción de saliva, pH ruminal, grasa en leche y una menor fibra físicamente efectiva que es un factor que determina la actividad de masticado para un buen funcionamiento ruminal, pocos se ha estudiado sobre los efectos del forraje alimentado con diferentes TdP mediante el operador manual de la PSPS con tres cribas y una charola solida. Las raciones con un TdP corto pueden ser consumidas en grandes cantidades pero resulta en una baja actividad de masticado y pH ruminal. Alternativamente raciones con un TdP largo pueden ser consumidas en menores cantidades y resultan en una alta actividad de masticado. En esta investigación, Kononoff et al. (2003) determinaron el efecto del ensilaje de maíz con diferente TdP sobre comportamiento en la comida, actividad de masticado y fermentación ruminal. Utilizaron 4 vacas lactantes. Alimentadas con 4 tratamientos, ensilaje de maíz corto (SH) y largo (LG), una parte de LG más dos partes de SH (MSH) y dos partes de LG más una parte de SH (MLG), usando el PSPS para medir el TdP del forraje y de la RTM. Al reducir el TdP el CMS aumenta linealmente (25.7, 26.8, 26.8 y 28.0 kg/d para LG, MLG, MSH y SH respectivamente). El tiempo de comida y actividad de masticado por kg de CMS no fue afectados por el TdP del ensilaje de maíz así como para el pH ruminal. Las partículas retenidas en la criba >19.0 mm es un buen indicador para estimar el tiempo de comida y actividad de masticado.

Beauchemin y Yang (2005) determinaron el efecto de incrementar la concentración de peFDN de una dieta conteniendo ensilaje de maíz sobre el consumo de alimento, actividad de masticación, fermentación y pH ruminal. El incremento de longitud del forraje incrementó el consumo de peFDN pero no afectó el consumo de MS o de FDN. Este estudio demostró que el incremento del contenido de peFDN de las dietas incremento el tiempo de masticación, pero esto no necesariamente reduce la acidosis ruminal. Los modelos que

predicen el pH ruminal deberían incluir el consumo de peFDN y el consumo de materia orgánica fermentable. Así mismo, el tamaño de partícula expresado como peFDN fue un indicador confiable de la actividad de masticación. El PSPS es una herramienta útil que puede ser usada en la granja para medir el TdP del forraje y de la RTM. Los valores obtenidos usando esta herramienta pueden ser usados para determinar la efectividad física de la fibra, que es un buen indicador del potencial de rumia de las vacas.

Yang y Beauchemin (2006c) condujeron una investigación para determinar los efectos del contenido de la FDN físicamente efectiva en dietas de ganado bovino productor de leche basado en ensilaje de maíz sobre el consumo, masticación, pH ruminal, síntesis de proteína microbiana, digestibilidad y producción de leche. Además, compararon varios métodos para medir la peFDN para determinar la herramienta más deseable para usar esa información para formular raciones. El incremento de la longitud de TdP del forraje incremento el consumo de la peFDN, lo cual se asoció positivamente con la digestión de la fibra y el tiempo de masticación. EL separador de partícula de la Universidad de Pensilvania con dos cribas proporcionó la mejor evidencia de la variación de la eficacia física de la dieta y del potencial de la ración para promover la masticación y prevenir la acidosis ruminal.

Clark y Armentano (1999) evaluaron la influencia del TdP sobre la efectividad de la fibra del ensilaje de maíz en relación con el ensilaje de alfalfa. Se utilizaron 15 vacas Holstein de media lactancia, la composición de la dieta fue de la siguiente manera: 1.- dieta basal baja en ensilaje de alfalfa 33.6% (BLF); 2.- dieta basal mas ensilaje largo 33.6 + 19.8% (HFCCS); 3.- dieta basal mas la mitad de ensilaje corto mas la mitad de ensilaje largo 33.6 + 9.9 + 9.9% (HFMCS); 4.- dieta basal mas ensilaje largo 33.6 + 19.8% (HFFCS); 5.- dieta alta en alfalfa 61.1% (HFA). El TdP de todos los forrajes se determinó por el método recomendado por la ASAE. Un incremento en el contenido de forraje por encima de la cantidad basal, ya sea con ensilaje de alfalfa o ensilaje de maíz aumentando la rumia y el tiempo total de masticado. Se concluyó que al remplazar una porción de fibra de alfalfa con FDN de ensilaje de maíz resultó en producciones similares de los componentes de la leche, además la efectividad física del ensilaje de maíz no fue reducida por el picado dentro del rango del TdP evaluado en este estudio.

Se requiere un buen forraje para llenar los requerimientos de alta producción pero con tendencia a bajar la fibra dietética, lo que puede provocar desórdenes metabólicos, por lo tanto se requiere una longitud de partícula adecuada. El forraje de alfalfa es alto en MS y proteína, el ensilaje de alfalfa (AS) es mas digestible pero por su TdP menor, aumenta el riesgo de acidosis mientras que al incluir el heno de alfalfa (AH) a dietas basadas con ensilaje de alfalfa aumenta la masticación y la digestibilidad de los nutrientes por lo que sube la producción láctea. Las formas de medir la efectividad de la fibra (pe) del factor físico efectivo (pef) y la concentración de la FDN físicamente efectiva (peFDN) son usadas para conocer las características del TdP, al usar el separador de partículas de operación manual (PSPS). Ningún sistema de medición esta validado para establecer el requerimiento de la peFDN. Por tal razón, Beauchemin et al. (2003) evaluaron el efecto del contenido peFDN en una dieta basada en alfalfa con una relación AS:AH (50:50 vs 25:75) sobre el CMS, fermentación ruminal y producción y composición de la leche. El TdP no influencia en el CMS, pero si en la relación de los forrajes AS:AH (23.5 vs 20.2 kg/d). El pH ruminal fue afectado por los cambios del TdP que por la relación de los forrajes AS:AH. La producción de leche, la proteína y la grasa fueron afectadas por la relación del forraje ( $P < 0.50$ ) con la relación alta AS:AH resultando para un pH optimo de 6.0. Se requieren más estudios para validar estos sistemas para optimizar el nivel de peFDN de la dieta en vacas lecheras.

Considerando que no se conoce a fondo el efecto de la molienda fina del ensilaje de alfalfa sobre la fermentación ruminal, metabolismo gluconeogénico y de la insulina, Grant y Colenbrander (1990) estudiaron el efecto del TdP del ensilaje de alfalfa sobre el metabolismo ruminal e intermedio de vacas lecheras en lactancia y su asociación con la depresión de grasa en la leche. Utilizaron 18 vacas en un diseño cruzado las cuales fueron alimentadas con raciones mixtas que contenían, tres niveles de partículas del ensilaje de alfalfa fino (2.0 mm), medio (2.6 mm), o grueso (3.1 mm). El equipo usado para medir el largo de la partícula y su distribución en las cribas fue el recomendado por (W. S. Tyler, Inc., Mentor, OH) a través de cribas osciladoras portátiles. La producción de leche no fue afectada, pero el porcentaje de grasa en la leche se deprimió de un 3.8% para las vacas alimentadas con ración gruesa, a 3.0% para vacas alimentadas con la ración fina. Al reducir el TdP del ensilaje resulta en cambios

metabólicos que elevan la insulina sérica, lo cual la insulina juega un papel en la depresión de grasa en leche o para el depósito adiposo. No se determinó el pef ni el peFDN en este estudio.

### ***peFDN y fermentabilidad de carbohidratos***

Yang y Beauchemin (2007a) determinaron los efectos de aumentar el contenido de peFDN de las dietas de las vacas sobre la disminución del riesgo de acidosis en ellas, para ello manipularon la relación forraje:concentrado y el TdP (cuadro 1). Las variables observadas fueron CMS, tiempo de masticación, pH ruminal y AGV. Cabe mencionar que la inclusión de la cebada le dio cabida a la fermentabilidad de los carbohidratos.

Cuadro 1. Composición de ingredientes y química de las dietas

Ingredientes	Relación forraje concentrado (%)			
	35:65		60:40	
	Corto	Largo	Corto	Largo
Alfalfa Ensilaje	35.7	-----	59.5	-----
Alfalfa Enlaje larga	-----	35.7	-----	59.5
Cebada Grano rolado	56.1	56.1	56.1	56.1
Gluten de maíz Harina	3.33			
Canola harina	1.43	1.43	1.19	1.19
Soypass	1.43	1.43	1.19	1.19
Melaza remolacha	0.48	0.48	0.95	0.95
Carbonato de calcio	0.24	0.24	0.24	0.24
Fosfato dicálcico	0.24	0.24	0.24	0.24
Fosfato monosódico	0.05	0.05	0.05	0.05
Mezcla vitaminas y minerales	0.71	0.71	0.71	0.71
Canola aceite	0.19	0.19	0.19	0.19
Megalac	0.24	0.24	0.24	0.24
Agente compactante	0.24	0.24	0.24	0.24
Agente saborizante	0.24	0.24	0.24	0.24

El CMS fue menor para las vacas que recibieron mayor cantidad de forraje (sin importar el TdP), sin embargo, el CMS no se afectaron por el TdP. la producción de leche fue mayor en las vacas con mas concentrado, no se observaron diferencias con el TdP, aunque la cantidad de grasa láctea si fue mayor en las raciones con mas forraje. El tiempo de masticación fue afectado por la relación F:C mas no por el TdP y el pH ruminal si fue afectado por la relación F:C y el TdP, de tal forma que incrementando el TdP y el forraje en la ración disminuye la probabilidad de acidosis ruminal.

Continuando con lo anterior, Yang y Beauchemin (2007b) determinaron los efectos de la relación y las interacciones entre nivel de carbohidratos fermentables ruminalmente y el contenido de peFDN sobre la ingesta de

alimento, sitio y extensión de digestión, síntesis de N microbiano, producción y composición de la leche de vacas lecheras en lactancia, ellos variaron el contenido de peFDN en la dieta para ajustar la proporción de forraje en la dieta y el largo de la partícula del forraje. El consumo de MS (kg/d) y de almidón (% de la MS) fue sólo afectado por la relación de forraje concentrado ( $P < 0.05$ ), de tal forma, las vacas con más concentrado en la ración comieron más. El flujo duodenal de la materia orgánica total fue bajo para las vacas que recibieron mayor cantidad de forraje en la dieta y fue solamente afectado por la relación forraje concentrado, pero no hubo efecto del TdP sobre esos parámetros. La digestibilidad en el rumen e intestinal no fue afectada por la relación forraje concentrado, ni por el TdP (cuadro 2). La producción de leche, la proteína y la lactosa de la misma fueron afectadas por la cantidad de concentrado ( $P < 0.05$ ), siendo mayores en esos tratamientos, mayores, en tanto que la grasa fue mayor en los tratamientos con más concentrado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la relación de forraje a concentrado y tamaño de partícula sobre CMS, flujo duodenal, digestibilidad, producción y composición de la leche.

	Relación forraje concentrado (%)				Efecto	
	35:65		60:40		F:C	TP
	Corto	Largo	Corto	Largo		
Consumo de MS (kg/d)	20.3	20.9	18.6	18.0	0.01	NS
Almidón (% de MS)	6.0	6.2	3.2	3.1	0.01	NS
Flujo duodenal MO kg/d	13.9	13.6	12.2	11.7	0.01	NS
Digestibilidad ruminal	46.6	51.3	47.6	49.2	NS	0.13
Digestibilidad intestinal	38.1	37.1	36.5	37.6	NS	NS
Producción de leche	33.5	33.2	30.8	31.3	0.01	NS
Grasa (% de la leche)	3.45	3.44	3.84	3.80	0.01	NS
Proteína (% de la leche)	3.34	3.36	3.07	3.09	0.01	NS
Lactosa (% de la leche)	4.65	4.66	4.62	4.61	0.03	NS

Es conocido que las vacas lecheras requieren suficiente fibra, con un adecuado largo de partícula para mantener una apropiada función ruminal, por tal razón Yang y Beauchemin (2001) estudiaron el efecto del procesamiento del grano, la relación forraje concentrado y el TdP del forraje sobre el pH ruminal y digestión de vacas lecheras. Los factores dietéticos fueron extensión del procesamiento del grano de cebada, grueso (1.60 mm) o fino (1.36 mm); relación forraje concentrado (F:C), baja (35:65) o alta (55:45) (base en materia seca); y el largo de la partícula del forraje, largo (7.59 mm) o corto (6.08 mm). Las dietas se formularon usando el Cornell-Penn-Miner System (CPMDairy). Se calculó el eNDF del forraje individual y los ingredientes usando el Cornell-Penn-

Miner Dairy system (eNDFfCPM) o usando el Cornell Net Carbohydrate and Protein System (eNDFfCNCPS) y el factor eNDF de la TMR se calculó multiplicando el FDN del forraje o la TMR por el pef determinado con el PSPS. La longitud de la fibra, no se midió claramente y la relación forraje concentrado, así como la fermentabilidad de los carbohidratos no fibrosos afecta el pH del rumen y la digestión. No hay suficiente información sobre los efectos de esos factores dietéticos y su interacción en la fermentación ruminal y digestión, por lo que se desconoce si la respuesta al consumo de FDN y peFDN depende de la fermentabilidad de los carbohidratos. La extensión del procesamiento del grano y la ingesta de almidón disponible en el rumen fueron los factores con más influencia al afectar la producción de leche. La reducción de la relación forraje concentrado mejoró la digestión total y la producción real de leche.

La peFDN sirve para neutralizar el pH ruminal y contrarrestar la acidosis ruminal subaguda (SARA); sin embargo, es muy importante que el valor acidogénico (AV) de los alimentos no prolongue los minutos diarios con un pH ruminal por debajo de 6.0. Para (Rustomo et al., 2006) no se conocía los efectos de la relación entre AV del alimento y el TdP sobre el pH ruminal rendimiento de la vaca, él consideró que el incremento de AV depende de la fineza del TdP. El método utilizado para evaluar el tamaño de partícula y TMR de los forrajes fue mediante el operador manual de la PSPS con tres cribas y una charola solida descrita por Kononoff. Incrementando la concentración de AV disminuye el pH medio (de 6.07 a 5.97) y el pH mínimo (de 5.49 a 5.34). Las vacas alimentadas con dietas altas en AV pasan un largo tiempo por debajo de un pH de 5.6 y 5.8 que las vacas alimentadas con dietas bajas en AV. Aumentando el TdP no tuvo efecto sobre el pH ruminal medio y mínimo. Esto quiere decir que las vacas que consumieron mas forraje de TdP larga fueron capaces de mejorar el pH rumial, pero el efecto fue más pronunciado con las dietas altas en AV que con dietas bajas en AV. El AV combinado con la peFDN mejora la formulación de las dietas y ayuda a reducir la SARA en el ganado lechero.

La fermentación y la salud animal requieren un mínimo de fibra, sin embargo no está claro que medida de la característica física del forraje puede reducir una respuesta positiva del animal, por tal razón, (Leonardi et al., 2005) estudiaron el efecto de las diferentes medidas geométricas del TdP y de la

distribución del tamaño de partícula del ensilaje de la avena sobre el comportamiento alimenticio y el rendimiento productivo en vacas productoras de leche, con ese fin, usaron 5 tratamientos, ensilaje de avena largo (LOS), medio (MOS) y fino proveniente de largo (FLOS), fino previamente de medio (FMOS) y la mitad de LOS más la mitad de FLOS (LFLOS). La distribución del TdP del forraje, la dieta y los rechazos fueron determinados por muestreos cribados con el método de separador de partícula de la Universidad de Winsconsin en concordancia del protocolo estandar de la ASAE. La media geométrica fue calculada asumiendo una longitud media de 48 mm para la materia retenida en al criba superior del separador. Al incrementar la longitud media del TdP consumida disminuyo linealmente el consumo de materia seca, producción de leche y su porcentaje de proteína sin afectar el porcentaje de grasa, el rendimiento de grasa, el pH ruminal y la concentración ruminal de ácidos grasos volátiles. Estos autores concluyen que la media geométrica del TdP parece predecir mejor la respuesta del animal, independientemente de la media geométrica y TdP.

Al maximizar el consumo de energía aumenta la producción debido a los carbohidratos fermentables ruminalmente (RFC) que aumentan la energía. Sin embargo, las vacas lecheras tienden a sufrir riesgos de acidosis, esto se contrarresta con el aumento de la capacidad amortiguadora, la cual se proporciona con FDN físicamente efectiva (peFDN) mediante el aumento en la masticación. El efecto de reducir el nivel de peFDN sobre el rendimiento y el pH ruminal dependen del nivel de RFC y el nivel de almidón. Krause y Combs (2003) investigaron los efectos de la interacción entre el nivel de RFC, TdP, y el nivel de almidón sobre CMS, digestibilidad y pH ruminal. Para ello usaron 12 vacas de media lactancia alimentadas con 6 dietas a base de ensilaje de alfalfa y ensilaje de maíz con un TdP fino y grueso en ambas, compuestas con maíz alto en humedad y maíz seco. En sus resultados demuestran que al aumentar los niveles de RFC por el remplazo de maíz seco vs maíz alto en humedad y disminución del TdP. El CMS disminuye de 22.8 vs 21.0 kg/d, esto se debe al alto contenido de almidón disponible y bajo contenido de FAD en el ensilaje de maíz. La actividad de masticado tuvo un efecto significativo. La digestibilidad de MS, MO y almidón aumentaron con un nivel bajo de RFC. Al formular las dietas

con un TdP fino se puede incluir maíz seco, con maíz alto en humedad el TdP debe de ser grueso.

El TdP se relaciona con la presencia de SARA, aunque existen sistemas para evaluar el peFDN no hay requerimientos para el ganado productor de leche y el PSPS no ha evaluado el efecto del TdP en dietas con cebada (fermentabilidad del grano). Por tal razón, Yang y Beauchemin (2006a) usaron el PSPS para medir el efecto del TdP sobre el CMS, actividad de masticado, pH ruminal, producción y composición de la leche. El experimento fue designado en replica de cuadrado latino 3 x 3 usando 6 vacas. Ellos ofrecieron 1 de 3 dietas (peFDN alto, medio y bajo, 13.8, 11.8 y 10.5%, corte largo de 9.5 mm, combinación del corte largo con el corte fino y fino de 4.8 mm, respectivamente). Los valores encontrados en el CMS muestran una respuesta cuadrática de 19.4, 20.8 y 19.6 kg/d. Para el pH ruminal no se observaron diferencias significativas donde el rango fue de 5.5 a 5.8. La concentración de AGV para el nivel medio fue aumentada significativamente 138.7 mM. La variación en la cantidad de alimento consumido por vaca generalmente sigue el patrón del tiempo de comida (figura 3). Al aumentar el TdP aumenta la ingesta de fibra físicamente efectiva, por lo tanto aumente también el tiempo de masticado. Sin embargo, no mejora el pH ruminal sin disminuir la incidencia de acidosis ruminal.

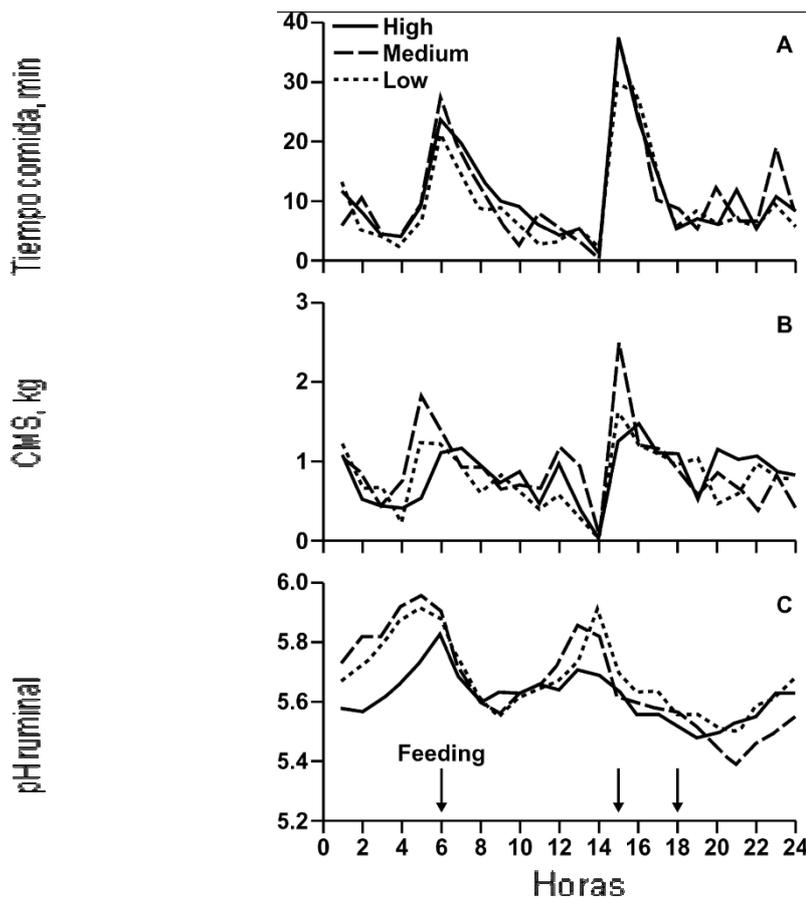


Figura 3 Efectos de la fibra físicamente efectiva (alta, media y baja) sobre la variación de tiempo de comida (A), cantidad de ingesta de alimento por cada hora (B) y pH ruminal (C).

### ***Diferentes formas físicas del forraje en cabras***

En los caprinos como en otros rumiantes el tamaño de partícula afecta la función ruminal y la calidad de la leche, el Instituto Americano para la Investigación Caprina (American Institute for Goat Research) planteó que no se conoce el efecto del tamaño de partícula sobre la actividad de masticación y la calidad de la leche, por lo que (Lu, 1987) llevaron a cabo una prueba utilizando 24 hembras Alpinas primíparas, donde evaluaron el TdP del zacate Bermuda con dos TdP los cuales fueron de 2.38 y 3.87 mm. El TdP fue determinado por el uso de cribas separadoras de partículas oscilatorias desarrolladas por Finner. La alimentación con TdP de 3.87 mm resultó en mayor tiempo de masticación, rumia y contenido de grasa en la leche. Estos resultados apoyan la hipótesis de que el TdP afecta la actividad de masticado y la producción de precursores de grasa láctea. El TdP parece ser un buen indicador de la calidad del forraje y la evaluación cuantitativa puede ayudar a establecer un sistema que relacione el TdP del forraje a la producción de leche en cabras.

En mas experimentos (Schmidely et al., 1999a) trabajaron con 26 cabras alpinas y 6 cabras Saanen para medir el efecto que tiene el tipo de carbohidrato (fibra vs almidón) y la velocidad de degradación de N en rumen así como la cantidad de alimento ofrecido en la producción de leche cuando es incorporado en altas proporciones en la RTM. La primera dieta fue elaborada a base de concentrado sincronizado para velocidad de degradación y fracciones de N basado principalmente de almidón más N rápidamente degradado (S + RDN). La segunda dieta compuesta de concentrado no sincronizado con fibra mas N lentamente degradable (F + SDN). La producción de leche y proteína en leche fueron altos para cabras alimentadas con una alta ingesta de MS, pero el nivel de grasa se vio disminuido, y las cabras alimentadas con la dieta S + RDN produjeron mas leche y con más grasa, en cuanto la producción de proteína en leche no se vio afectada por los tratamientos. Pero se observaron diferencias de un 10% en producción de leche entre cabras alimentadas con una alta y baja ingesta de MS, esta diferencia refleja el uso de la energía en exceso disponible para la ganancia de peso corporal. El contenido de grasa en leche fue alta en cabras alimentadas con baja ingesta de MS, reflejando una movilización de lípidos del tejido adiposo, con la dieta S + RDN, este aumento de la grasa puede ser relacionado a diferencias en fermentación ruminal porque las concentraciones ruminales de propionato fueron altos durante las 3 hrs. postalimentación, en cabras alimentadas con la dieta F + SDN. Como conclusión decimos que la cantidad de alimento ofrecido parece ser más importante que el tipo de concentrado incorporado con un 40% de MS de la dieta para modificar la producción de leche y composición en cabras en lactación media.

Schimidely y Lloret-Pujol (1999b) evaluaron los siguientes efectos: 1) el efecto de dos tipos de carbohidratos (fibra vs almidón) y la velocidad de degradación de N en proporciones altamente degradables en una RTM a base de 40% concentrado; 2) los efectos de las dietas con la cantidad de alimento ofrecido sobre la producción y composición de leche y balance de N en plasma. Para ello, usaron 32 cabras lecheras multíparas de media lactación. Durante la semana 1 a la 8, el CMS (2.40 vs 2.00 kg/d) fue mayor para cabras alimentadas con alto CMS que para cabras alimentadas con bajo CMS, las dietas tuvieron un efecto significativo en CMS. La producción de leche (3.20 vs

2.80 kg/d) y proteína (2.90 vs 2.63 kg/d) fueron altas para cabras alimentadas con alto CMS que para cabras alimentadas con bajo CMS. Sin embargo, la concentración de grasa en leche tuvo un efecto significativo. La digestibilidad de N, N en leche, balance de N y concentración de ácidos grasos no esterificados, beta-hidroxibutirato y concentración de insulina en plasma fue mayor para cabras alimentadas con una alta ingesta de alimento. El balance de N fue bajo para cabras alimentadas con dietas rápidamente degradable. Ellos concluyeron que cabras alimentadas con una proporción moderadamente alta de concentrado rica en subproductos reduce la producción y composición de leche comparado cuando se alimenta con alta concentración de almidón.

Como el balance de energía de las cabras y las características de la dieta pueden ser los factores más importantes para determinar la composición y producción de leche, Sanz Sampelayo et al (1998) utilizaron 10 cabras Granadinas de segunda lactación, alimentadas con una dieta de heno de alfalfa largo 3 a 4 cm (dieta 1), la segunda dieta de alfalfa cortada (con un TdP de 3 a 4 cm) y que luego fue granulada. Recibieron una alimentación de 1 Kg. de forraje y 1 Kg. de concentrado, el concentrado compuesto por avena y maíz. La producción de leche fue similar en ambas dietas, algunos autores mencionan que las cabras son menos sensibles que las vacas a una deficiencia de fibra dietética y la composición de la leche depende de la ingesta de energía. La alimentación con alfalfa granulada nos brindó buenos resultados en la utilización de N y EM para la producción de leche, esto es considerado una ventaja en comparación con el heno de alfalfa.

Los estudios realizados por Santini et al. (1992) sobre el efecto de la concentración de fibra dietética en la ingesta de alimento en cabras lecheras de alta producción. Utilizando 40 cabras multíparas Alpinas de 5 semanas posparto, alimentadas con las siguientes raciones (RTM): heno de alfalfa: corte teóricamente largo 8 cm y una mezcla concentrada de maíz molido y harina de soya, pero con diferente contenido de FAD (14, 18, 22, 26%). En este experimento se determinó que la ingesta de MS fue alta entre los tratamientos, Cuando la ingesta de concentrado estaba en 51 a 63% del total de MS existió baja ingesta de MS. Ellos especularon que el estado fisiológico del animal y posiblemente los requerimientos de energía puede ejercer un efecto en el tiempo total de masticado y este puede afectar la ingesta de MS.

### ***Fibra no forrajera en cabras***

En rumiantes la fibra juega un papel muy importante para maximizar la ingesta de MS, el masticado y la fermentación ruminal. Recientemente ha habido aumentos interesantes de subproductos de las dietas de rumiantes pero éstos tienen diferentes propiedades físicas y químicas de FDN que los forrajes ya que tienen partículas pequeñas y una alta densidad. Por tal razón, Bava et al (1997a) evaluaron el efecto de la administración de una dieta con forraje y otra con fibra no forrajera sobre la producción, metabolismo de energía y nitrógeno, para ello utilizaron 8 cabras en lactación (mas de dos lactancias), con una dieta basada en ensilaje y otra con subproductos (semilla de algodón, salvado, etc.), sus resultados demuestran que no hay efecto de la sustitución del forraje con subproductos. Así mismo, se observó que en el metabolismo del nitrógeno no hay diferencia entre los tratamientos, ya que la cantidad del mismo retenida en el cuerpo fue igual. Las cabras alimentadas con una ración libre de forraje utilizan el nitrógeno y tienen producciones similares que una cabra alimentada con forraje.

Luginbuhl et al (2000) evaluaron el efecto de diferentes niveles de semilla de algodón (WCS) sobre el CMS y digestibilidad. Se utilizaron 34 machos cabríos alimentados con cuatro dietas conteniendo niveles diferentes de WCS 0, 8, 16 y 24% con un aumento de FDN 52.4, 55.9, 59.3 y 63.1% respectivamente, con una cantidad de heno de 71% y concentrado de 29%. Los investigadores encontraron que el CMS disminuyó linealmente ( $P < 0.05$ ) con el aumento del nivel de semilla de algodón en la dieta. La digestibilidad de los nutrientes fue aumentada significativamente con el nivel de 16% de WCS.

En otro estudio realizado por (Moore y Poore, 2002) en la alimentación con dietas en base a subproductos de los alimentos, siendo estos fácilmente disponibles con bajos costos. Las variables a medir fueron las siguientes: alta digestibilidad, palatabilidad aceptable y alta calidad de la canal. Para llevar a cabo este estudio ellos realizaron 4 lotes de 6 animales para dar un total de 24. Los cuales fueron alimentados con 1 de 4 dietas las cuales fueron: una dieta control en heno con 10.7% de PC, la segunda de cascarilla de semilla de soya, la tercera gluten de maíz y la cuarta de trigo medio (merma).

La dieta control así como para las tres dietas de subproductos fueron suplementadas para ajustar los porcentajes de proteína con harina de semilla

de soya ya que esta presenta un valor de 48.3% de PC. Con lo que respecta a sus resultados ellos reportan un CMS en los 72 días del experimento para la dieta de cascarilla de soya con 950 g/d resultando por lo tanto ser más palatable y observándose una ingesta baja con la dieta de gluten de maíz de 896 g/d. Con lo que respecta al pH si hubo efecto ( $P < 0.05$ ) en la dieta control con (6.52) y bajo para las tres dietas sin pasar el rango inferior de 6. La digestibilidad de los nutrientes no hubo un efecto. El total de AGV no difirieron ( $86.0 \pm 6 \text{ mM}$ ) pero la relación A:P fue alta para la dieta control (3.1) y cascarilla de soya (3.3). En el peso final en canal de 33.0 kg para dieta con cascarilla de soya fue la mas alta. Los subproductos de alimentos son variables de acuerdo a cada región pero muestran ventajas satisfactorias en la alimentación en cabras para carne.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del sitio experimental**

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la posta caprina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en Periférico y Carretera a Santa Fe en Torreón Coahuila, México. Se localiza en la parte oeste del sur del Estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 26'33" longitud oeste y 25° 32' 40" latitud norte, a una altura de 1,120 msnm.

### **Procedimiento experimental**

#### **Descripción de los animales**

Se utilizaron 3 tratamientos con tres machos cabríos de la raza alpina de 2 años de edad, con un peso corporal inicial promedio de 51 kg los cuales fueron canulados ruminalmente. Cada uno de los animales permaneció en corrales y comederos individuales. La dieta fue administrada por tres periodos de 13 días, 10 días de adaptación seguido de un periodo de recolección de muestras de 3 días, posteriormente a los animales se les intercambiaron las dietas en dos periodos mas.

#### **Descripción de la dieta**

Los animales fueron alimentados dos veces por día a las 9:00 y 14:00 hrs., y en cada servida se suministro el 50% de la ración, la RTM compuesta de heno de alfalfa, maíz rolado, semilla de algodón, cascarilla de soya, salvado y soya como se muestra en cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis de la composición de ingredientes de la dieta.

DIETA KG DE MS		
INGREDIENTE	BH	BS
Heno de alfalfa	1.00	0.90
Maíz rolado	0.70	0.60
Semilla de algodón	0.45	0.41
Cascarilla de soya	0.30	0.27
Salvado	0.11	0.10
Soya	0.10	0.09

Los animales fueron asignados al azar a cada uno de los tres tratamientos y se les ofreció una de tres dietas que fueron químicamente similares (cuadro 4) La determinación de la composición química de la ración y

sobrante se realizó en los dos días de cada periodo de muestreo, para ello se tomaron 250 gramos de alimento y 250 gramos de sobrante.

Cuadro 4. Composición química de la dieta.

	Forraje:Concentrado (F:C)		
	60:40		
	Largo 2.5 cm	Mediano 1.0 cm	Corto 0.5 cm
Química			
MS,%	90.0	90.5	90.5
PC; % MS	14.8	16.5	16.6
FDN, % MS	39.3	37.9	37.0
FAD, % MS	27.2	24.7	23.8
Cenizas; %	7.7	8.5	7.3
Grasas, %	4.9	4.5	5.6

El heno de Alfalfa fue cortado con un corte teóricamente largo de 2.5 cm, 1.0 cm para el corte mediano y 0.5 cm para el heno corto.

### Distribución del tamaño de partícula del heno de alfalfa

Las dietas fueron compuestas cada una de heno de alfalfa con un tamaño de partícula largo 2.5 cm (tratamiento 1), mediano 1.0 cm (tratamiento 2) y corto 0.5 cm (tratamiento 3). El heno de alfalfa se peso y se dividió en tres porciones iguales de 56 kg, posteriormente se picaron en un molino de la marca Noruega DPN Junior para obtener los tres tamaños de partículas. Se utilizó el separador de partículas propuesto por la Universidad de Pensilvania (PSPS, por sus siglas en inglés) para la distribución del tamaño de partícula del forraje y de la dieta, por la proporción de partículas retenidas en ambas cribas con diferentes diámetros de 19.0 mm, 8.0 mm, 1.18 mm y la charola base de recolección. Pero diferentes en contenido de peNDF (tamaño de partícula) con una proporción de alfalfa de 38% y 62% de concentrado (cuadro 5).

Cuadro. 5 Distribución del tamaño de partículas del heno de alfalfa.

PSPS	Heno de alfalfa			
	Largo 2.5 cm	Mediano 1.0 cm	Corto 0.5 cm	Desvest.
Retención MS en la cribas, %				
>19.0 mm	14	5	00	7.09
19.0 a 8.0 mm	26	31	16	7.63
8.0 a 1.18 mm	39	41	56	9.29
<1.18 mm	21	22	27	3.21
pe <sub>f8.0</sub>	40	36	16	12.85
pe <sub>f1.18</sub>	79	77	72	3.60
peFDN <sub>8.0</sub> , % MS	10.8	9.8	4.3	3.5
peFDN <sub>1.18</sub> , %MS	21.3	20.8	19.5	0.92

El factor físico efectivo (pef) el  $pef_{8.0}$  y el  $pef_{1.18}$  para la ración se calcula sumando las proporciones de materia seca retenidas en las 2 cribas (Lammers et al., 1996) o en las 3 cribas (Kononoff et al., 2003). El contenido de la FDN físicamente efectiva de la ración se calcula por la multiplicación del contenido de FDN de los alimentos (en base a materia seca) multiplicado por  $pef_{8.0}$  ( $peFDN_{8.0}$ ) y  $pef_{1.18}$  ( $peFDN_{1.18}$ ), dividido entre 100, respectivamente.

### **Consumo de materia seca**

El alimento ofrecido se pesó diariamente y se tomó una muestra de alimento rechazado para determinar el consumo de materia seca resultando como la diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado. El alimento rechazado de cada animal se recolectó diariamente a las 9:00 hrs., fue pesado, almacenado y analizado químicamente cada tercer día. La MS fue determinada por desecado a 100° por 24 hrs. La FDN y FAD fueron determinados usando los métodos descritos por Van Soest et al. (1991).

El factor físico efectivo (pef) el  $pef_{8.0}$  y el  $pef_{1.18}$  del forraje y de la dieta se calculó sumando las proporciones de materia seca retenidas en las 2 cribas como lo describe (Lammers et al., 1996) o en las 3 cribas (Kononoff et al., 2003), respectivamente, utilizando el separador de partículas de la Universidad de Pensilvania.

Para la determinación del contenido de la FDN físicamente efectiva del forraje y de la dieta se tomó una muestra para su posterior análisis en el laboratorio la cual se calculó por la multiplicación del contenido de FDN de los alimentos (en base a materia seca) multiplicado por  $pef_{8.0}$  ( $peFDN_{8.0}$ ) y  $pef_{1.18}$  ( $peFDN_{1.18}$ ), dividido entre 100, respectivamente.

## **Análisis estadístico de la información.**

El experimento considero un diseño experimental cuadrado latino 3x3 (SAS, 1985) para evaluar el efecto de tres tratamientos: tamaño de partícula largo, mediano y chico sobre el pef, peFDN y CMS en cabras. Se utilizó la prueba de diferencias mínimas significativas (LSD) para cuando el modelo arrojó diferencia estadística. El modelo estadístico a empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \eta_j + \chi_k + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

$Y_{ijk}$ = la observación  $ijk$  en el  $i$ 'esimo tratamiento,  $j$ 'esima hilera y  $k$ 'esima columna.

$\mu$ = al efecto de la media

$\tau_i$ = efecto del  $i$ 'esimo tratamiento

$\eta_j$ = efecto de la  $j$ 'esima hilera

$\chi_k$ = efecto de la  $k$ 'esima columna

$\varepsilon_{ijk}$ = al error en la  $ijk$ 'ésima observación

## **RESULTADOS**

### **Distribución del tamaño de las partículas**

Los resultados de esta investigación que se realizó para determinar el efecto del tamaño de partícula del heno de alfalfa en la dieta sobre el pef, peFDN y consumo de materia seca en cabras, se presentan en el cuadro 7 y 8.

En el cuadro 7 se puede observar, que para la retención de las partículas en la criba de 19 mm, una tendencia lineal a mediada que disminuye la retención de las partículas disminuye la retención de las mismas (4.6, 0.96 y 0.00% de retención para el TdP de 2.5, 1.0 y 0.5 cm, respectivamente). Las partículas retenidas en la criba de 8.0 mm muestra una tendencia cuadrática, observándose la proporción mayor (39.76%) en el tamaño de partícula mediano y la de menor proporción fue para el TdP mas pequeño (33.72%). En cambio se observó una tendencia lineal en la proporción de partículas en la criba de 1.18 mm (34.80, 35.56 y 39.56% para el tamaño de partícula largo, mediano y corto). Así mismo, se denota la misma tendencia lineal para la retención de las partículas en la charola base (21.96, 24.08 y 28.8% para el TdP largo, mediano y corto).

Los valores obtenidos para el pef, que resultan de la suma de las proporciones de partículas retenidas en las cribas arrojó una tendencia lineal tanto en el  $pef_{8.0}$  y  $pef_{1.18}$  de tal forma que en el pef disminuyó a medida que el TdP bajó (0.42, 0.40 y 0.33%  $pef_{8.0}$  y 0.77, 0.76 y 0.73%  $pef_{1.18}$  para el TdP largo, mediano y corto, respectivamente).

Por último el efecto del TdP sobre la peFDN denota una tendencia lineal y a medida que disminuye el TdP, la peFDN desciende (16.83, 15.43 y 12.47% para el  $peFDN_{8.0}$  y 30.51, 28.91 y 27.11% para el  $peFDN_{1.18}$  en el TdP largo, mediano y corto respectivamente).

El TdP tuvo un efecto cuadrático sobre el CMS de tal forma que en el cuadro 8 se observa que en los animales para el TdP largo consumieron 1.14 kg de MS, los del TdP mediano consumieron 1.43 kg de MS y los del TdP corto consumieron 1.24 kg de MS.

Cuadro 7. Efectos de reducir el tamaño de partícula del heno de alfalfa sobre la distribución, factor físicamente efectivo (pef) y contenido de la FDN físicamente efectiva (peFDN) de la dieta.

	Forraje:Concentrado (F:C) 60:40			Desvest.
	Largo 2.5 cm	Mediano 1.0 cm	Corto 0.5 cm	
<b>Física</b>				
MS retenida en las cribas; %				
>19.0 mm	4.6	0.96	0.00	2.42
19.0 a 8.0 mm	38.24	39.76	33.72	3.14
8.0 a 1.18 mm	34.80	35.56	39.56	2.55
< 1.18 mm	21.96	24.08	28.80	3.50
pef <sub>8.0</sub>	0.42	0.40	0.33	0.04
pef <sub>1.18</sub>	0.77	0.76	0.73	0.02
peFDN <sub>8.0</sub> %	16.83	15.43	12.47	2.22
peFDN <sub>1.18</sub> %	30.51	28.91	27.11	1.70
<b>Química</b>				
FDN, % MS	39.3	37.9	37.0	1.15

El heno de Alfalfa fue cortado con un corte teóricamente largo de 2.5 cm, 1.0 cm para el corte mediano y 0.5 cm para el heno corto, respectivamente.

Cuadro 8. Efectos de reducir el tamaño de partícula del heno de alfalfa sobre el consumo de materia seca, ingesta FDN e ingesta de la FDN físicamente efectiva (peFDN) en base a los tratamientos de la dieta.

	Forraje:Concentrado (F:C) 60:40			Desvest.
	Largo 2.5 cm	Mediano 1.0 cm	Corto 0.5 cm	
CMS, kg/d	1.14	1.43	1.24	0.14
% IFDN, kg/d	0.44	0.54	0.45	0.05
Ingesta peFDN <sub>8.0</sub> , Kg/d	0.19	0.22	0.15	0.03
Ingesta peFDN <sub>1.18</sub> , kg/d	0.34	0.41	0.33	0.10

El heno de Alfalfa fue cortado con un corte teóricamente largo de 2.5 cm, 1.0 cm para el corte mediano y 0.5 cm para el heno corto, respectivamente.

La ingesta de peFDN es igual al CMS multiplicado por la peFDN<sub>8.0</sub> o peFDN<sub>1.18</sub> de la dieta cuadro 7.

## **DISCUSIÓN**

En este trabajo queda demostrada la hipótesis, que al disminuir el tamaño de partícula del heno de alfalfa en la dieta la cantidad de pef y peFDN no aumentaron sin afectar el consumo de MS en cabras.

Al determinar el pef de la dieta a medida que el TdP disminuye las proporciones de las cribas desciende tanto en el  $pef_{8.0}$  y  $pef_{1.18}$  de tal forma que en el pef disminuyó a medida que el TdP bajó (0.42, 0.40 y 0.33%  $pef_{8.0}$  y 0.77, 0.76 y 0.73%  $pef_{1.18}$  para el TdP largo, mediano y corto respectivamente). Esto coincide con lo señalado por Yang y Beauchemin (2006), en donde el  $pef_2$  y  $pef_3$  determinados en su estudio fueron de 0.68 y 0.96% para la dieta mediana y de 0.41 y 0.93% para el TdP corto. Así mismo, los resultados de este trabajo coinciden con un trabajo en donde usaron ensilaje de maíz y en el cual encontró un pef de la ración de 84.1, 72.6 y 67.2% para el TdP largo, mediano y corto respectivamente. Yang y Beauchemin (2005) estos valores demuestran que a medida que el TdP disminuye los valores de pef son menores.

El contenido de peFDN de la dieta refleja la longitud de las partículas del heno de alfalfa y fue reducida con disminución de la longitud de partícula del heno. El rango de  $peFDN_{8.0}$  (de 12.47 a 16.83%) de la dieta del presente estudio fue similar a lo reportado por Einarson et al. (2004) quienes encontraron un rango (de 18.9 a 21.2%). Estas cantidades se debieron probablemente a la alta concentración de FDN (42.3%) y por el ensilaje de cebada que fue cortado (largo = 19 mm y corto = 10 mm) en este estudio.

En cambio para el rango de  $peFDN_{1.18}$  (de 30.51 a 27.11%) en este estudio fue mayor que los reportados por Yang y Beauchemin (2006) reportando en un rango (de 28.3 a 26.59%) y que usaron ensilaje de maíz en vacas lecheras. Mientras que en otro estudio Yang y Beauchemin (2002) en una dieta donde la relación ensilaje de alfalfa y heno de alfalfa fue (50:50) los valores encontrados fueron 26.7 y 20.9%, corte largo y corto respectivamente. Estos valores se deben probablemente, por que al momento de disminuir el TdP estas se concentran más en la criba de 1.18 mm. La mayor concentración de peFDN es observada con el TdP largo y esta desciende al disminuir el TdP mientras que para el consumo de peFDN es mayor para el TdP mediano.

Mientras tanto el TdP afectó el CMS observándose en los animales valores de (1.14, 1.43 y 1.24 kg/d de MS, largo, mediano y corto, respectivamente). En un trabajo realizado por Kononoff y Heinrichs (2003b) encontraron en su investigación con vacas lecheras al reducir el TdP del henilaje de alfalfa el CMS fue de (20.9, 22.0 y 23.3 kg/d, largo mediano y corto, respectivamente). Al igual con otro estudio realizado con vacas lechera por Yang y Beauchemin (2006) utilizando ensilaje de maíz ellos observaron valores de (23.7, 23.8 y 24.8 kg/d, largo, mediano y corto, respectivamente) el consumo no tuvo efecto pero se observa que las vacas consumen más MS al momento de disminuir el TdP.

Lo anterior contrasta con lo que sucede con las cabras que son menos susceptibles a la disminución del TdP. Según, Sanz Sampelayo et al (2000) las cabras dependen más de la energía ingerida que del tamaño de partícula del forraje. En esta tesis se observó que para el TdP mediano el consumo de MS fue mayor, lo cual es diferente a lo reportado en las vacas, y dentro de los factores que pudieran explicar este resultado, es que la formación de la fase sólida (maraña ruminal) pueda formarse con un tamaño de partícula más pequeño, sin embargo se requieren estudios para determinar el efecto del tamaño de partícula sobre la formación de la capa de maraña ruminal y de la asociación de esta con parámetros de fermentación ruminal como pH, producción de AGV, producción y calidad de la leche.

Además por la falta de estudios sobre el tamaño de partícula sobre la fase solida del rumen no se tiene una explicación al respecto.

En este trabajo solamente se evaluó el efecto del TdP sobre el pef y la peFDN y su relación con el consumo de materia seca en cabras usando el PSPS, sin embargo se requiere más investigación para evaluar el efecto de lo anterior sobre la fermentación ruminal (pH y AGV) así como la producción y calidad de leche.

En este trabajo se concluye que al disminuir el TdP del forraje en la dieta la cantidad de pef y de peFDN disminuyen. Sin embargo, para el consumo de materia seca se observó que el tamaño de partícula mediano provocó un consumo mayor de MS. El PSPS es un mecanismo útil que puede ser usado en la forma de medir el tamaño de la partícula del forraje y de la RTM para estimar

el

CMS

en

las

cabras.

## Literatura citada

- Bava, L., L. Rapetti, G. M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, y G. Succi. 1997a. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *J Dairy Sci* 84: 2450-2459.
- Bava, L., L. Rapetti, M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, y G. Succi. 1997b. 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., 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.
- Clark, P. W., y E. L. Armentano. 1999. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in corn silaje *J Dairy Sci.* 82: 581-588.
- Grant, R. J., y V. F. Colenbrander. 1990. Milk fat depression in dairy cows: Role of silage particle size. *J Dairy Sci.* 73: 1834-1842.
- Kononoff, P. J., y A. J. Heinrichs. 2003a. 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. *Journal Dairy Sci* 86: 1445-1457.
- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, y H. A. Lehman. 2003. 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.
- 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.
- Leonardi, C., K. J. Shinnors, y E. L. Armentano. 2005. Effect of dietary geometric mean particle length and particle size distribution of goat 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 chewing activities and milk production in dairy goats. *J Dairy Sci.* 70: 1411- 1416.
- Luginbuhl, J. M., M. H. Poore, y A. P. Conrad. 2000. Effect of level of whole cottonseed on intake, digestibility, and performance of growing male goats fed hay-based diets<sup>1,2</sup>. *J. Animal. Sci* 78: 1677-1683.
- Moore, J. A., y M. H. Poore. 2002. By-product feeds for meat goats: Effects on digestibility, ruminal environment, and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 80: 1752-1758.
- 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, y J. M. Fernandez. 1992. Dietaw fiber and milk yield, mastication, digestion, and rate of passage in goats fed alfalfa hay<sup>1</sup>. *J Dairy Sci.* 75: 209-219.
- 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<sup>1</sup>. *J Dairy Sci.* 81: 492-498.
- SAS. 1985. User guide: Statistics. Version 5 edition. Sas inst., inc. Cary, nc.
- Schimidely, P. M., y M. Lloret-Pujol. 1999b. 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.
- Schmidely, P., M. Lloret-Pujol, P. R. Bas, A., y D. Sauvant. 1999a. Influence of feed intake and source of dietary carbohydrate on the metabolic response to propionate and glucose challenges in lactating goats. *J Dairy Sci.* 82: 738-740.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2005. Effects of physically effective fiber on digestion and mlk production by cows fed diets based on corn silage. *J Dairy Sci* 88: 1090:1098.
- Yang, W. Z., y k. A. Beauchemin. 2006a. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *J Dairy Sci.* 89: 217-228.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2006b. Increasing the physiycally effective fiber content of dairy cattle diet may lower the efficiency of feed use. *J Dairy Sci* 89: 2694-2704.
- Yang, W. Z., y K. A. Beauchemin. 2006c. Physically effective fiber: Method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *J Dairy Sci* 89: 2618-2633.

- Yang, W. Z., y k. A. Beauchemin. 2007a. 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. 2007b. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. J Dairy Sci. 90: 3410-3421.
- 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., 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.