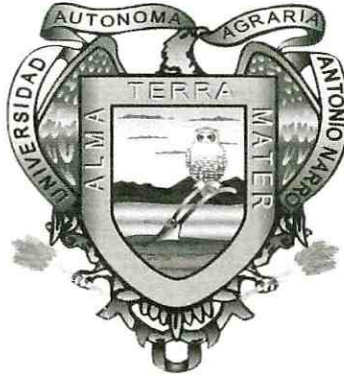


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

Unidad Laguna

División Regional De Ciencia Animal



**EFFECTO DEL REEMPLAZO DE LA FIBRA NEUTRO DETERGENTE
DE LA ALFALFA CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA
SOBRE LA CONVERSIÓN ALIMENTICIA EN CABRAS DE
REEMPLAZO**

POR:

EDGAR DE LÁZARO URBINA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN, COAH., MÉXICO

DICIEMBRE 2004

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

Unidad Laguna

División Regional De Ciencia Animal



**EFFECTO DEL REEMPLAZO DE LA FIBRA NEUTRO DETERGENTE
DE LA ALFALFA CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA
SOBRE LA CONVERSION ALIMENTICIA EN CABRAS DE
REEMPLAZO**

POR:

EDGAR DE LÁZARO URBINA

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

DIRECTOR:

M. C. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

ASESOR:

DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTINEZ

TORREÓN, COAH., MÉXICO

DICIEMBRE 2004

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

Unidad Laguna

División Regional De Ciencia Animal

**EFFECTO DEL REEMPLAZO DE LA FIBRA NEUTRO DETERGENTE
DE LA ALFALFA CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA
SOBRE LA CONVERSION ALIMENTICIA EN CABRAS DE
REEMPLAZO**

TESIS

APROBADA POR EL COMITE DE SINODALES

PRESIDENTE DEL JURADO



M. C. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



M.V.Z. ERNESTO MARTINEZ ARANDA



Coordinación de la División
Regional de Ciencia Animal
UAAAN - UL

**EFFECTO DEL REEMPLAZO DE LA FIBRA NEUTRO DETERGENTE
DE LA ALFALFA CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA
SOBRE LA CONVERSION ALIMENTICIA EN CABRAS DE
REEMPLAZO**

**TRABAJO DE TESIS APROBADA BAJO LA EVALUACIÓN DEL COMITÉ DE
SINODALES Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL, PARA OBTENER
EL TITULO DE:**

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESIDENTE



M.C. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

VOCAL



DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

VOCAL



I.Z. JORGE HORACIO BORUNDA RAMOS

VOCAL SUPLENTE



M.C. GERARDO ARELLANO RODRÍGUEZ

TORREÓN, COAH., MÉXICO.

DICIEMBRE 2004

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta donde estoy.

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD LAGUNA

Por darme la oportunidad de realizarme como estudiante y
profesionista.

Al M. C. Pedro Antonio Robles Trillo por ofrecerme su confianza,
consejos y amistad durante todo este tiempo y apoyarme para
culminar exitosamente este trabajo de investigación.

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

Al M. C. Jaime Romero Paredes Rubio por compartir sus
conocimientos para llevar acabo este trabajo.

AL COECYT

Por su apoyo esencial para llevar acabo este trabajo de investigación.

A MIS AMIGOS

Que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas desde el inicio
hasta el final de mi carrera .

A Viridiana Ramírez Bautista por su apoyo y cariño incondicional.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Sr. Martín De Lázaro Urbina
Sra. Maria Macrina Urbina Mendoza

Con mucho amor y cariño, gracias por darme la oportunidad de terminar una carrera, por los sabios consejos que me han dado a través de mi vida, por su apoyo incondicional en todo momento y por ofrecerme la mejor herencia que un joven puede tener, una profesión.

A MIS HERMANOS

Armando, Carmen, Martín, Mayko y Natalia De Lázaro Urbina a
ustedes con mucho respeto y cariño.

Gracias por esas palabras de aliento que nunca faltaron, por escucharme y apoyarme incondicionalmente en esta etapa de mi vida.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
PAREDES CELULARES DE LAS PLANTAS	3
REQUERIMIENTO DE FIBRA	10
INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA SOBRE LA EFICACIA DE LA FIBRA	14
REEMPLAZO DEL FORRAJE DIETÉTICO CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA	16
USO DEL FORRAJE Y FERMENTACIÓN DE LAS GRASAS EN EL RUMEN	22
MATERIALES Y MÉTODOS	24
DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO.....	24
INSTALACIONES	24
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	24
ANÁLISIS DE ALIMENTO	24
CABRAS Y DIETAS.....	24
CONVERSIÓN ALIMENTICIA (CA).....	26
CONSUMO DE ALIMENTO	26
GANANCIA DE PESO VIVO (GPV).....	27
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
RESULTADOS	27
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES	32
REVISION DE LITERATURA	33

RESUMEN

Existen pocos estudios en cabras acerca de la fisiología y las consecuencias productivas cuando la FDN es reemplazada con fuentes de fibra no forrajera (FFNF). Para evaluar el efecto del reemplazo de FDN de la alfalfa con una combinación de FFNF (semilla de algodón, cascarilla de soya y salvado de trigo), fueron usadas dieciséis cabras alpinas (con peso corporal de 22.81 ± 1.84 Kg. y 7 meses de edad) en un diseño de bloques al azar de 4×4 . Las cuatro dietas fueron, dieta control (DC) baja en forraje y fibra (9.27% de FDN de alfalfa y 6.72% de FDN de ensilaje de maíz, en base seca), una dieta alta en alfalfa (DAFA) (dieta control más 14% de FDN de alfalfa) y dos dietas con poco forraje, una dieta baja en fibra no forrajera (DBFNF) con 9.4% de FDN y la dieta alta en fibra no forrajera (DAFNF) con 18.18% de FDN de la combinación de fuentes de fibra no forrajera. El consumo de materia seca (CMS) y conversión alimenticia (CA) fue calculado con el peso corporal y la ganancia de peso diario. El efecto de los tratamientos en ganancia de peso vivo (GPV), CMS y CA fueron analizados por medio de ANOVA. Nuestros resultados muestran una diferencia en la GPV ($P < 0.05$) para DC (5.31 Kg.) y DAFA (2.59 Kg.), pero fueron similares entre la DBFNF (3.86 Kg.) y DAFNF (2.59 Kg.). No hubo diferencias ($P > 0.05$) en CMS. La CA fue menor ($P < 0.05$) para la DC contra la DAFA. Sin embargo, los resultados de este trabajo sugieren que las FFNF tienen un efecto detrimental en la GPV y CA sin afectar el CMS.

INTRODUCCIÓN

El suministro de carbohidratos estructurales conocidos nutricionalmente como FDN los cuales se encuentran en las paredes celulares de los forrajes, es un factor importante para la optimización de la producción de leche y el mantenimiento de la función ruminal (Wang et al., 2001). El forraje proporciona fibra y energía para incrementar los niveles de producción y la cantidad de la grasa en la leche, así como para mantener la salud de la cabra (Clark y Armentano, 1999; Mooney y Allen, 1997).

La degradación de carbohidratos estructurales se puede realizar en medios aerobio y anaerobio; un ejemplo de este último es la compleja comunidad microbiana ruminal compleja que incluye a eubacteria, arachea, protozoarios ciliados y hongos, los cuales trabajan en forma conjunta para degradar y fermentar las paredes celulares vegetales a compuestos asimilables (ácidos grasos volátiles AGV y proteína microbiana) para el hospedero, por lo cual es necesaria la manipulación de la flora ruminal para lograr un mejor uso de los forrajes y por lo tanto elevar la producción de los animales alimentados con estos materiales (Kalmokoff y Teather, 1997).

El rumiante requiere una cantidad mínima de dietética fibra efectiva para un consumo óptimo de materia seca, para la estimulación de la salivación, para la producción de leche y la buena salud de la vaca (Grant, 1997). La fibra efectiva ha sido definida como la que puede estimular la masticación, la salivación y la rumia, y por lo tanto, la tasa de pasaje de la digesta, la producción de acetato en el rumen y consecuentemente el porcentaje de grasa en la leche (Clark y Armentano, 1997; Grant, 1997; Soita et al., 2000).

En muchas regiones los forrajes no son un recurso barato para alimentar al ganado y las fuentes de fibra no forrajeras (FFNF) son utilizadas para suministrar fibra y otros nutrimentos. La mayoría de las FFNF son subproductos altos en fibra obtenidos del procesamiento de las plantas para elaborar alimentos para el hombre (Armentano y Pereira, 1997). Algunos son subproductos de plantas, producidos por la extracción del almidón, azúcares u otros constituyentes no fibrosos de gran valor (Pereira et al., 1999).

Para algunos investigadores, debido a su habilidad para mantener el porcentaje de grasa las FFNF sólo tienen la mitad de la efectividad de la FDN contenida en el ensilaje de alfalfa, (Slater et al., 2000). Sin embargo, muchos experimentos han demostrado que la sustitución parcial de la fibra del forraje en la dieta con la fibra de subproductos no afecta negativamente la actividad del rumen o el contenido de grasa en la leche (Grant, 1997). Debido al contenido de lignina bajo y a una proporción elevada de fibra potencialmente digestible, las FFNF suministran la energía necesaria para la lactación sin la carga ácida en el rumen provocada por la fermentación rápida de los concentrados con almidón (Allen y Grant, 2000). Otros estudios han indicado que el tamaño de partícula (TdeP) tan pequeño de las FFNF podrían facilitar su rápido escape del rumen y subsecuentemente disminuir la digestibilidad de su fibra (Grant, 1997).

HIPÓTESIS

A pesar de que la FDN de las FFNF tienen propiedades físicas y químicas diferentes a la FDN de los forrajes convencionales es posible sustituir a la FDN de la alfalfa con FDN de subproductos, sin afectar el consumo de alimento, la ganancia de peso vivo y consecuentemente la conversión alimenticia en cabras de reemplazo.

OBJETIVO.

Evaluar el efecto del reemplazo de la Fibra Neutro Detergente de la Alfalfa con fuentes de fibra no forrajera sobre la conversión alimenticia en cabras de reemplazo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Paredes celulares de las plantas

Celulosa

La celulosa es descrita como un compuesto de microfibrillas contenidas en una matriz amorfa similar al refuerzo de concreto, la cual confieren rigidez a la célula y contribuyen al tamaño y a la morfología de la pared celular. Los complejos biosintéticos en la superficie externa de la membrana celular de las plantas producen polímeros de moléculas unidas con enlaces β 1-4 de residuos de glucosa de 100 hasta 10,000 unidades monómeras, presentándose como microfibrillas cristalinas (Trinci, 1995).

Las cadenas de celulosa forman numerosos enlaces de hidrógeno intra y extra moleculares, que provocan la formación de microfibrillas insolubles de celulosa (Denman et al., 1996). En las paredes secundarias gruesas de las plantas superiores, la deposición de las microfibrillas a menudo ocurre en capas que alternan la dirección, por lo que crean paredes celulares con gran fortaleza (Delmer, 1999).

La compleja matriz de las paredes celulares difiere considerablemente entre las diferentes especies de plantas, así como entre los estados de madurez, protegiendo a los polímeros de la celulosa de los diferentes grados de adhesión de las bacterias celulolíticas ruminales y de sus correspondientes enzimas (Fondevila y Dehodority, 1996), por lo que la degradabilidad de las paredes celulares de los vegetales dentro del rumen está influenciada por la tasa de hemicelulosa/celulosa (Matsui et al., 1998).

Hemicelulosa

El componente mayoritario de la hemicelulosa es el xilano, un polímero heterogéneo, en el cual las unidades de xilanopiranosil son sustituidos con residuos de acetil, arabinosil y glucoronosil (Gomez de Segura et al., 1998).

Lignina

La lignina es un polímero amorfo de masa molecular alta, encontrada en las paredes celulares de las plantas y compuesta por derivados fenilpropanoides

enlazados a través de enlaces éster, éter y C-C, siendo un compuesto abundante en la naturaleza el cual es degradado por un número pequeño de microorganismos, principalmente por los basidiomicetos (Hofrichter et al., 1999; Kajikawa et al., 2000; Pires et al., 1997; Provan et al., 1994).

Características de las paredes celulares determinadas por el medio ambiente

La temperatura es el factor que más influye sobre las características de las paredes celulares, ocasionando una lignificación elevada y una maduración rápida de los tejidos de las plantas. Este efecto se observa tanto en gramíneas como en leguminosas y difiere entre las estructuras anatómicas de la planta (en tallos más que en las hojas).

Los forrajes utilizados como alimento para el ganado en las zonas tropicales y subtropicales son de naturaleza fibrosa, tienen un contenido alto en paredes celulares, un contenido bajo de nitrógeno y son menos digestibles que las especies de clima templado. A mayor cantidad de luz, el contenido de lignina de las paredes celulares se incrementa y la digestibilidad disminuye (Agnes et al., 1996).

Degradación de la pared celular en el rumen

Los rumiantes son los animales más ampliamente distribuidos sobre la tierra y se adaptan a diferentes ambientes como el tropical y templado. Su amplia distribución se atribuye a la capacidad para digerir una amplia gama de vegetación (gramíneas, leguminosas, etc.), hojas de árboles y arbustos (Fichney, 1996; McAllister et al., 1994).

El rumen contiene una comunidad microbiana compleja que incluye eubacteria, arachea, protozoarios ciliados y hongos, los cuales son estrictamente anaerobios. El ecosistema microbiano del rumen comprende al menos 30 especies bacterianas predominantes en una concentración total de 10^{10} a 10^{11} /ml de fluido ruminal, algunas 40 especies de protozoarios (10^5 a 10^7 /ml) y cinco especies de hongos con una concentración de 10^5 /ml (Orpin y Joblin, 1997; Stewart et al., 1997; Williams y Withers, 1991).

Dentro del rumen, la fermentación y degradación de los forrajes a

compuestos asimilables (ácidos grasos volátiles y proteínas microbianas) para el hospedero se lleva a cabo por esas poblaciones de microorganismos, las cuales pueden tener interacciones que pueden variar desde el sinergismo hasta el antagonismo y dependen de los grupos microbianos y especies involucradas, así como del sustrato utilizado (Kalmokoff y Teather, 1997; Lee et al., 2000). Además estas interacciones suscitadas entre los microorganismos ruminales puede afectar la degradación de los alimentos fibrosos y por lo tanto la energía aportada al animal (Odenyo et al., 1994).

Algunas bacterias no celulolíticas pueden mejorar la digestión de la celulosa cuando se combinan con especies celulolíticas. Efectos positivos recientemente se han reportado con diferentes combinaciones de bacterias y hongos. En contraste, se ha reportado una reducción de la digestión de la celulosa cuando se combinan ciertas bacterias que la degradan (Fondevila y Dehodority, 1996); Sin embargo, es difícil de determinar *in vivo* la forma de interacción entre las bacterias que degradan la celulosa (competencia y sinergismo), debido a que el medio ruminal es complejo (Shi et al., 1997).

El conocimiento alcanzado sobre el establecimiento y los cambios de las poblaciones microbianas en el rumen esta basado en métodos de cultivos que tienen sesgos significativos (Hofrichter et al., 1999). Se ha demostrado que la exclusión microbiana competitiva puede ser un factor importante para el establecimiento de las bacterias en el ecosistema microbial y los principios de ésta exclusión han sido demostrados con corderos gnotobioticos en los que las bacterias fibrolíticas se establecieron en presencia de comunidades microbianas no celulolíticas complejas (Krause et al., 2000). Además se ha demostrado que los hongos anaerobios interactúan con bacterias utilizadoras de hidrógeno y que en presencia de las bacterias metanogénicas los hongos son más eficientes en la degradación de la celulosa (Lee et al., 2000).

La degradación de las paredes celulares de las plantas implica la producción de metano, lo cual ocurre en diferentes hábitats anaerobios como el rumen, intestino grueso, los sedimentos de agua fresca de lagos y los ríos. Esta conversión de la materia orgánica compleja a metano requiere de un consorcio

microbiano compuesto por al menos tres grupos de microorganismos anaerobios: 1) Las bacterias fermentativas degradan los polímeros a H_2 CO_2 formato, acetato y ácidos volátiles más largos, 2) las bacterias acetogénicas convierten más tarde el acetato a H_2 o a formato (Flint, 1997) y 3) las bacterias metanogénicas que constituyen el grupo final del consorcio microbiano del rumen (Ferry, 1992). Aproximadamente dos terceras partes de la producción de metano producido en la naturaleza se deriva inicialmente de la reducción del grupo metilo del acetato y aproximadamente un tercio de la reducción de CO_2 con electrones a partir del H_2 o el formato. Las bacterias metanogénicas que han sido identificadas en el rumen pertenecen al género *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium* y *Methanomicrobium* y *Methanosarcina* (Baker, 1999).

La producción de metano durante la fermentación anaerobia del rumen representa una pérdida de energía para el hospedero y contribuye a la emisión de gases al medio ambiente y por lo tanto al efecto de calentamiento global (Krause et al., 2001). Esta producción representa del 15 al 20% del metano total producido en la tierra (Asanuma et al., 1999; Morvan et al., 1996).

La calidad de la pastura afecta fuertemente la actividad fibrolítica de los microorganismos del rumen, la cual puede estar restringida cuando se administran forrajes de mala calidad, repercutiendo tanto en la adhesión bacteriana como en la actividad enzimática, sin embargo, la extensión de estos efectos depende de las características químicas y anatómicas de las paredes celulares de los forrajes utilizados como sustratos (Nogueira et al., 2000).

La mayoría de las reservas de los carbohidratos en la tierra se encuentran en forma de "forrajes pobres", cuyo potencial energético no es utilizado totalmente por los microorganismos. Las principales restricciones para una mejor utilización de esos materiales vegetales están relacionadas con el contenido de fenilpropanoides (lignina y ácidos fenólicos) de sus paredes celulares. Esos compuestos actúan pasiva y activamente a través de complejos mecanismos para producir barreras físicas y químicas que limitan el ataque de los microorganismos (Cornu et al., 1994).

Se considera a la lignificación de la pared celular de las plantas como el primer factor que limita la degradación de los polisacáridos de esas estructuras

vegetales. Esta conclusión proviene de repetidas observaciones de los efectos negativos entre la concentración de lignina y la degradabilidad de las paredes celulares (Jung et al., 2000), por lo tanto, se considera que el acceso de los microorganismos a la lignina puede explicar de mejor forma la teoría de la química de la pared celular, Por otra parte se sabe que la lignina tiene una influencia sobre la digestibilidad de los tejidos de las plantas, aunque su naturaleza exacta aún sigue en debate (Reeves, 1997).

Las limitaciones estructurales de las paredes celulares vegetales deberán ser reducidas significativamente por medio de modificaciones genéticas a la composición de la pared celular que hagan a la región de la lámina media susceptible a la digestión microbiana, ayudando por consiguiente a la separación de la célula y a la desintegración de la partícula y el incrementando la superficie del área para la acción microbiana. También ayudaría a incrementar la actividad de los hongos anaerobios del rumen (Wilson y Mertens, 1995).

A pesar de que los compuestos mono aromáticos sufren algunas transformaciones en el rumen, y que la lignina es parcialmente solubilizada y degradada a metano y dióxido de carbono, se conoce poco acerca de los mecanismos anaerobios de esa degradación (Bernard y Calhoun, 1997).

La función normal del rumen depende de la calidad (forma física) y la cantidad (concentrado dietético) de la fibra dietética (Shain et al., 1999). La fracción fibrosa del alimento se fermenta lentamente en el rumen y es retenida por más tiempo que las fracciones de los alimentos no fibrosos. Debido a que el llenado físico del rumen a menudo limita el consumo máximo de MS, afecta a la desaparición rápida de la fracción de FDN del rumen por un incremento de la tasa de digestión o pasaje, que podría reducir el llenado físico del rumen y permitiría un mayor consumo voluntario de materia seca (Oba y Allen, 2000). Por tal razón, la digestibilidad de la fibra detergente neutro (NDF) es un parámetro importante en la determinación de la calidad del forraje.

Cuando los alimentos son digeridos en el rumen, los microorganismos microbianos fermentan y producen ácidos orgánicos, disminuyendo el pH ruminal, al igual que cuando la fibra es insuficiente o la fibra no tiene una textura tosca disminuyendo la eficiencia microbiana y la grasa en la leche (Mooney y Allen,

1997). Aunque es deseable una mayor fermentación en el rumen, para una máxima producción proteínica microbiana, la producción de ácidos por la fermentación en el rumen necesita estar balanceada con la remoción de los ácidos y la neutralización del pH. La capacidad amortiguadora de la digesta ruminal esta determinada principalmente por el total de la masticación debido a que las vacas secretan más saliva durante la masticación (Oba y Allen, 2000).

Aunque el descenso en el pH ruminal disminuye la digestión de la fibra, los efectos de un pH bajo sobre algunas variables (tasa y grado de digestibilidad de la FDN) específicas de la cinética de la digestión varían entre estudios (Firkins, 1997). Sin embargo, Las dietas adecuadas en fibra promueven un pH ruminal deseable, mantienen la integridad del epitelio ruminal, contribuyen a la formación del bolo ruminal como un medio de retención de las partículas de fibra lo suficiente larga para una digestión adecuada y estimular la síntesis de grasa en la leche (Clark y Armentano, 1997a).

La digestibilidad de los alimentos en el rumen está influenciada por la tasa en la que es degradada en el rumen y la tasa de remoción de su forma física del rumen (tiempo de retención media en el rumen, MRT por sus siglas en inglés)(Bernard y Calhoun, 1997). Por lo tanto, la expresión cuantitativa de la cinética de la digestión y la tasa de pasaje de la FND del forraje y su respuesta a cambios en la composición o consumo de alimento son esenciales para predecir el valor nutritivo de los forrajes en diferentes situaciones de alimentación (Stensig y Robinson, 1997).

Métodos de determinación de lignina

La determinación de la lignina ha sido utilizada por muchos investigadores de diversas áreas para monitorear los cambios en la composición de las plantas o en la digestibilidad. A la fecha, se han utilizado diferentes métodos para medir la lignina, entre ellos se incluyen: la oxidación con permanganato, lignina ácido detergente, oxidación con clorito de sodio y extracción con acetil bromuro (Reeves, 1997).

Muchas investigaciones sobre las limitantes de la degradación de la pared celular se han centrado sobre la composición química y la estructura de la misma,

especialmente la lignificación, sin embargo existe la hipótesis de que la estructura anatómica puede jugar un papel muy importante, posiblemente más crítico que la concentración de la lignina (Kajikawa et al., 2000).

Métodos de determinación de ácidos fenólicos en la paredes celulares de las plantas.

En el año de 1985 se implementó la hidrólisis ácida bajo el reflujo en Dioxano-HCl para confirmar la existencia de enlaces éter de ácidos fenólicos no saponificables en la lignina de la paja de trigo. Posteriormente en 1994, otros investigadores plantearon la determinación de ácidos fenólicos en esas paredes por medio de la digestión en horno de micro ondas. Ellos demostraron que este procedimiento tiene mayor efectividad que el anterior en la liberación de los enlaces β -éter de los ácidos fenólicos. Además, es mucho más rápida que las determinaciones basadas en digestiones alcalinas sometidas a altas temperaturas (Provan et al., 1994).

Aplicación de la biotecnología del rumen para mejorar el valor nutritivo de las paredes celulares.

La calidad de los forrajes tropicales puede ser modificada en dos formas: 1) por optimización de la concentración de los compuestos deseables tales como la proteína resistente a la degradación ruminal, carbohidratos solubles, minerales esenciales (e.g. P, S) y compuestos benéficos secundarios tales como los taninos condensados y 2) por reducción de los compuestos que retardan la digestión, tales como la lignina y los compuestos secundarios que son tóxicos para el animal (Ho y Barr, 1995).

Una posibilidad para reducir la lignificación en los residuos de las cosechas (maíz y sorgo) es por la mutación de los genes involucrados en la ruta metabólica de la biosíntesis de la lignina, lo cual ha resultado en incrementos de la digestibilidad y el consumo de la materia seca de entre un 10 a un 30%, así como en la ganancia de peso vivo. Así mismo, las técnicas de biología molecular ("antisense" de RNA y ribosomas) se utilizan para regular la biosíntesis de la lignina en forrajes de zonas templadas (*Medicago sativa*) y de zonas tropicales (*Stylosanthes humilis*). Estas técnica modifican la estructura de la lignina en este

último forraje, lo que provoca un incremento extra del 10% de la digestibilidad *in vitro*. La deslignificación microbiana es otra forma de contrarrestar los efectos de la lignina sobre la fermentación de la fibra, utilizando el hongo aerobio blanco de la pudrición (McSweeney et al., 1999).

El incremento en la degradación ruminal de los materiales de plantas de baja calidad sería benéfico para la producción animal y ayudaría lograr un mejor uso de esos residuos. El mejoramiento genético de las plantas y la manipulación pueden ofrecer a largo plazo soluciones para aumentar la digestibilidad de las plantas (Flint, 1997). Por otra parte, la manipulación genética de la población microbiana del rumen puede ayudar a mejorar la eficiencia productiva de los rumiantes, controlar la composición de los productos y reducir el impacto ambiental que genera los sistemas de producción. Hay varias planteamientos teóricos que la sustentan: 1) la modificación de la población microbiana del rumen puede permitir cambios en el balance global de los productos de la fermentación, 2) existe un vínculo entre los productos de la fermentación y la eficiencia global de la producción de rumiantes, y 3) modificando el patrón de fermentación ruminal es posible alterar materialmente la composición de los productos de los rumiantes, particularmente la composición de la leche (Teather y Forster, 1998). Por último, se considera que la digestión de la fibra puede ser mejorada por medio de la manipulación genética de las bacterias ruminales pero deben tomarse en cuenta parámetros ecológicos tales como la persistencia *in vivo* y el nicho de esos organismos (Krause et al., 2001).

Requerimiento de fibra

El forraje proporciona fibra y energía para el mantenimiento de la función ruminal, los niveles de producción y cantidad de la grasa en la leche, así como para mantener la salud de la organismo (Clark y Armentano, 1999; Mooney y Allen, 1997).

La digestión de la fibra puede darse solo por la fermentación microbiana ruminal y su tasa de digestión es generalmente baja. Así, la utilización actual de la fibra del forraje esta determinada no solo por las atribuciones intrínsecas del forraje, si no también por una extensión considerable de factores que influyen en

la actividad fibrolítica ruminal y el tiempo de retención de partículas del alimento en el rumen, tanto como en el consumo de alimento y la proporción de carbohidratos rápidamente fermentables en la dieta (Stensig y Robinson, 1997).

Son tres los componentes independientes que afectan el balance de carbohidratos en la dieta. Los primeros dos son la naturaleza de la fibra detergente neutro (FDN) y la naturaleza de los carbohidratos no fibrosos. El tercer componente podría ser explicado por cualquiera de los siguientes: el contenido de FDN, el contenido de carbohidratos no fibrosos, o la proporción de FDN:carbohidrato no fibrosos (CNF) (Armentano y Pereira, 1997).

Los carbohidratos solubles neutro detergentes (CSND) varían en sus características digestivas y de fermentación, incluyendo el perfil de nutrimentos metabolizables que ellos generan. La fermentación de los mono y oligosacáridos y del almidón tiende a producir más propionato que acetato, pudiendo producir además ácido láctico, en tanto que la fermentación de la fibra soluble neutro detergente (NDSF, por sus siglas en inglés), que son básicamente sustancias pécticas, tienden a producir más acetato que propionato y no generan cantidades apreciables de ácido láctico. Hay poca información directa que describa como la variación en las concentraciones dietéticas de las fracciones de CSND afectan el rendimiento animal y la eficiencia alimenticia (Leiva et al., 2000).

Para mantener el funcionamiento saludable del rumen y para prevenir la depresión de la grasa en la leche se recomienda un mínimo de 25 a 28% de fibra, expresada como FDN, de la cual al menos el 75% debe ser proporcionada por el forraje. Estas recomendaciones están basadas en estudios donde el grano principal de la dieta era el maíz (Beauchemin y Rode, 1997). Por otra parte, la concentración de la FDN en la dieta puede depender de la fuente de grano de cereal. La FDN contenida en la cebada (19 a 25%) es más alta que la del maíz (7%), haciendo imposible satisfacer los criterios mínimos de fibra (Beauchemin y Rode, 1997).

Aunque las concentraciones de FDN están positivamente relacionadas a la densidad del volumen de los alimentos y afecta el potencial de consumo de alimento, la FND del forraje varía mucho en su digestibilidad en el rumen o en condiciones *in vitro*. La digestibilidad de la FDN tiene mucha influencia en el

desarrollo del animal, independientemente de la concentración dietética de la FDN (Oba y Allen, 2000a).

El valor nutritivo de los forrajes está negativamente relacionado a la concentración de fibra dietética, debido a la relación inversa entre fibra y energía neta de lactación (ENI) (Nichols et al., 1998), sin embargo, existe poca información con respecto a la fuente de fibra o al potencial para la interacción entre la fuente de forraje y la concentración de fibra que está disponible (West et al., 1998; White et al., 2001).

Fibra y llenado ruminal

Las fracciones fibrosas de los alimentos tienen un efecto mayor sobre el llenado físico del rumen que las fracciones no fibrosas ya que las primeras se fermentan más lentamente y son retenidas por más tiempo en el rumen (Oba y Allen, 2000a). Por otra parte, una desaparición más rápida de la fracción de FDN del rumen debida a un incremento de la tasa de digestión o de pasaje, podría reducir el llenado físico en el rumen todo el tiempo y permitir un consumo voluntario más alto de alimento (Oba y Allen, 2000a).

La predicción de los efectos de los cambios dietéticos, tales como el tamaño de partícula (TdeP), sobre el tiempo de retención media no es simple y depende del entendimiento de los mecanismos que regulan el llenado del rumen, la fragmentación de la partícula y las actividades propulsoras del tracto gastrointestinal (Bernard, 2000).

Existe controversia sobre el efecto de la molienda sobre la tasa de pasaje de las partículas en el rumen. Lo anterior es debido a la complejidad de los mecanismos que determinan la retención en el rumen. Para algunos científicos la rumia es una de las etapas limitantes en el desalojo de la materia seca del rumen, mientras que para otros el factor que más tiene influencia en la retención de la MS es la retención de las partículas elegibles para salir del rumen (Bernard, 2000).

Fibra efectiva

La fibra efectiva ha sido definida como la que puede estimular la masticación la salivación y la rumia, por lo tanto, la tasa de pasaje de la digesta, la salivación, la

producción de acetato en el rumen y consecuentemente el porcentaje de grasa en la leche (Clark y Armentano, 1997a; Grant, 1997; Soita et al., 2000). El rumiante requiere un cantidad mínima de fibra dietética efectiva para un consumo óptimo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud (Grant, 1997).

La eficacia de la fibra para estimular la masticación ha sido denominada eficacia física (pe) debido a que la respuesta de la masticación está altamente relacionada a las propiedades físicas de la fibra, como es el caso de la longitud de la partícula (Mooney y Allen, 1997). El término pe distingue los valores de eficacia medidos, usando la masticación como la respuesta a partir de valores calculados de los porcentajes de grasa como la respuesta.

Se ha propuesto el tiempo que se emplea para masticar un kg de forraje como un índice de la cantidad de fibra de un alimento dado (Soita et al., 2000). Sin embargo, las fuentes de fibra varían su habilidad para estimular la masticación (Firkins, 1997). Debido a que el término pe está afectado por el TdeP, los valores de pe calculados a partir de fuentes de fibra no forrajeras pueden variar dependiendo del pe de los forrajes usados en el experimento, por otra parte la eficacia física está determinada por las respuestas del animal las que dependen principalmente de las características macro físicas de los forrajes. La certeza de las mediciones de los alimentos altos en fibra difiere cuando se estiman por la capacidad de provocar la masticación, por la tasa de ácido acético:propiónico o por la concentración de grasa en la leche (Armentano y Pereira, 1997).

Las características físico químicas de una dieta pueden causar cambios en la composición de la leche producida, debido a cambios en los patrones de fermentación en el rumen. Las cabras son menos sensibles que las vacas a esas características y tales cambios en la dieta probablemente se reflejen en una menor disminución en el contenido de grasa en la leche (Sanz Sampelayo et al., 1998).

Una limitante para determinar la eficacia de la fibra, es la falta de especificidad en los índices de valores que la determinan (masticación, rumia, consumo, salivación), cuando los alimentos varían en el tamaño de la partícula, perfil del componente de la fibra, materia seca y efectos asociados del alimento

(Clark y Armentano, 1997a). Por otra parte, la efectividad de la fibra esta basada en tres estudios: 1) cambios en la concentración de grasa en la leche, 2) cambios en la actividad de rumia 3) cribado y análisis de TdeP (Allen y Grant, 2000).

Influencia del tamaño de partícula sobre la eficacia de la fibra

La forma física de la dieta es una determinante importante de su valor nutritivo, la cual afecta las actividades de consumo, rumia, función ruminal, eficiencia digestiva, producción de leche y su composición, así como la salud del organismo. La evaluación cuantitativa de la forma física a menudo está basada en el análisis de la distribución del TdeP del alimento obtenido, utilizando varios métodos de cernido o cribado. No existe consenso sobre que método utilizar o como resumir los resultados obtenidos, por lo tanto, es difícil comparar los resultados de los diferentes laboratorios o compilar los resultados dentro de un formato que sea útil en la formulación de dietas (Murphy y Zhu, 1997).

La reducción del TdeP dentro del rango medio de longitud de partícula (0.4 a 0.8) mejoró la tasa de consumo y fermentación y redujo el tiempo de masticación, el pH ruminal y la tasa de ácido acético y propiónico en el fluido ruminal (Clark y Armentano, 1997a) y varía ampliamente entre los forrajes debido a factores que involucran a la planta, a la cosecha del forraje, así como al tipo de procesamiento del alimento, a los procedimientos de almacenaje, etc. (Heinrich et al., 1999; Yang et al., 2001).

Tamaño de partícula de la alfalfa

Los forrajes tienen un TdeP medio crítico, arriba del cual se obtiene poco beneficio adicional sobre la masticación. Por ejemplo, la reducción del tamaño medio de la partícula de ensilaje de alfalfa (de 3.1 mm a 2.0 mm) disminuye la masticación aproximadamente en un 21%; en cambio, la reducción del TdeP medio del heno de alfalfa de 2.3 a 0.90 mm disminuye el tiempo total de masticación (masticación más rumia) en aproximadamente 16% (Clark y Armentano, 1999).

Yang et al. (2002), evaluaron el efecto de la ~~tasa~~ tasa de ensilaje y heno de alfalfa y el tamaño de partícula sobre el consumo de nutrimentos, sitio de digestión, síntesis de proteína microbiana ruminal y tasa de pasaje de los

contenidos ruminales. Las dietas contenían 40% de forraje (50:50 o 25:75 de ensilaje y heno respectivamente). El consumo de nutrimentos se incrementa a medida que se aumenta la tasa de ensilaje, pero no fue afectado por el tamaño de partícula. Sin embargo, al incrementarse el tamaño de partícula de las dietas, se mejora la digestibilidad de la fibra y del N en todo el tracto, así como la síntesis de proteína microbiana ruminal y la eficiencia microbiana. Esos resultados indican que la manipulación de la tasa de ensilaje a heno de alfalfa modifica el consumo de alimento, pero tiene poco efecto sobre la digestión. En contraste, el incremento del TdeP del forraje en las dietas mejora la digestión de la fibra y la síntesis de proteína microbiana en el rumen. El tamaño de partícula dietético expresado como peFDN es un indicador confiable de la síntesis de proteína microbiana y de la digestión de nutrimentos.

Tamaño de partícula del ensilaje de maíz

El tamaño teórico de partícula de ensilaje de maíz está entre 13 a 19 mm (Soita et al., 2000). Este TdeP también proporciona resultados satisfactorios cuando se compararon tres tamaños para el ensilaje de maíz de planta entera la cual se procesó en los siguientes tamaños: 0.95, 1.45, y 1.90 cm de largo. De acuerdo con Bal et al. (2000), sus resultados recomiendan un corte teórico de 1.90 cm. de largo para mejorar el consumo de materia seca, la digestión del almidón y el desarrollo de la lactación

Tamaño de partícula y gravedad específica de los alimentos

La gravedad específica funcional de la partícula y el tamaño de la partícula son los factores principales que determinan la salida de las partículas del alimento del rumen y están íntimamente ligados (Bernard, 2000). La primera se relaciona con la tasa de pasaje de las partículas ruminales. Dentro del rango de la densidad de la partícula normalmente encontrada en el rumen, a medida que la gravedad específica de una partícula independiente se incrementa, también aumenta su tasa de pasaje a través del rumen (Schettini et al., 1999). Sin embargo, el TdeP tiene poco efecto sobre la gravedad específica funcional de las fuentes de fibra no forrajera (FFNF), incluyendo a la pulpa de remolacha (Clark y Armentano, 1997a).

Reemplazo del forraje dietético con fuentes de fibra no forrajera

Origen y características de las FFNF

En muchas regiones los forrajes no son un recurso barato para alimentar al ganado y las FFNF son utilizadas para suministrar fibra y otros nutrientes. La mayoría de las FFNF son subproductos altos en fibra, obtenidos del procesamiento de las plantas para elaborar alimentos para el hombre (Armentano y Pereira, 1997). Algunos son subproductos de plantas, producidos por la extracción del almidón, azúcares u otros constituyentes no fibrosos de gran valor (Pereira et al., 1999).

Las FFNF se han utilizado como una alternativa alimenticia en la alimentación del ganado productor de leche ya que su precio y calidad las hacen atractivas. Aunque tradicionalmente estos recursos se han utilizado como concentrado por su valor proteico moderado y su disponibilidad energética alta, pero también se caracterizan por su contenido de fibra elevado (Bava et al., 2001). Sin embargo, se han utilizado exitosamente como sustitutos del forraje cuando este escasea o su precio es elevado (Firkins, 1997).

Las FFNF generalmente son subproductos de la industrialización de algún producto vegetal, la fibra neutro detergente de esos materiales tiene diferencias físicas y químicas de la FDN de los forrajes (Zhu et al., 1997), por ejemplo las partículas de los subproductos tienen dimensiones pequeñas y densidad elevada (Firkins, 1997). Por otra parte, la eficacia de la fibra de las FFNF generalmente se mide comparando la respuesta con relación al ensilaje de alfalfa; sin embargo, otros forrajes considerados como estándares no han sido utilizados en estos estudios y aquellos que se han empleado no siempre están bien caracterizados (Mooney y Allen, 1997).

Fibra efectiva de las FFNF

La fibra de los subproductos tiene propiedades físicas y químicas diferentes de la FDN de los forrajes. Algunos alimentos (FFNF) como la semilla de algodón entera, presentan una considerable habilidad para estimular la rumia mientras otros presentan poco o ningún efecto sobre el tiempo de rumia (Clark y

Armentano, 1997a).

Las FFNF tienen alguna fracción de fibra efectiva, sin embargo, es difícil separar los beneficios de la fibra efectiva de los beneficios de la dilución del almidón en esas fuentes, ya que ambos impactan al pH del rumen (Firkins, 1997). Además algunos de los efectos positivos de añadir FFNF son su tamaño físico y que se les relaciona para reemplazar almidones y azúcares con otros polisacáridos (Clark y Armentano, 1997a).

El rango de efectividad estimado para las FFNF puede ser considerable, pero todas son relativamente bajas, con la excepción notable de la semilla de algodón entera (Grant, 1997; Pereira y Armentano, 2000). La disminución en la actividad de la masticación cuando las FFNF reemplazan al forraje puede disminuir el flujo de saliva amortiguadora al rumen, disminuyendo el pH y la degradación de FDN (Grant, 1997).

Para otros investigadores, las FFNF sólo tienen la mitad de la efectividad de FDN contenida en el ensilaje de alfalfa debido a su habilidad para mantener el porcentaje de grasa. Cuando la fibra detergente neutro efectiva de un forraje es reemplazada por las FFNF debido al incremento de los efectos negativos asociados podrá ser solamente efectiva en dos tercios, en relación a la fibra del forraje en su capacidad de incrementar la digestibilidad del tracto digestivo total (Slater et al., 2000).

Las FFNF y la actividad ruminal

Las FFNF pueden contener valores similares de FDN que los encontrados en los forrajes toscos pero con un TdeP muy similar a los concentrados (Pereira et al., 1999). Otra característica de los subproductos es su densidad elevada (Clark y Armentano, 1997a). A medida que la FDN de las FFNF reemplazan al forraje, el total de la FDN de la dieta aumenta, mientras que el TdeP disminuye. Sin embargo, muchos experimentos han demostrado que la sustitución parcial de la dieta de la fibra del forraje con la fibra de subproductos no afecta negativamente la actividad del rumen o el contenido de grasa en la leche (Grant, 1997).

Debido al contenido de lignina bajo y a una proporción elevada de fibra potencialmente digestible, las FFNF suministran la energía necesaria para la

lactación sin la carga ácida en el rumen provocada por la fermentación rápida de los concentrados con almidón (Allen y Grant, 2000). Sin embargo, algunos estudios indican que el TdeP tan pequeño de las FFNF podrían facilitar su rápido escape del rumen y subsecuentemente disminuir la digestibilidad de su fibra. Por su pequeño tamaño de partícula, potencial rápido de fermentación e incremento de su gravedad específica la competencia entre digestión y tasa de pasaje es importante para la utilización de FFNF (Grant, 1997).

Las dietas formuladas con niveles altos de FDN proporcionados por las FFNF tienen menos almidón que las dietas formuladas para proporcionar la misma cantidad de FDN efectiva de los forrajes, por consiguiente, los efectos negativos directos del almidón sobre la digestión de la fibra, podrían ser menores para estas dietas altas en FDN (Pereira y Armentano, 2000).

Administración de FFNF durante la lactancia

En vacas se han realizado algunos estudios para determinar la cantidad de inclusión de las FFNF a través de la lactancia. Al inicio de la lactancia no pueden tolerar las mismas cantidades de FFNF como en la lactancia tardía debido a que al inicio de la lactancia las vacas son más susceptibles a la laminitis, al desplazamiento de abomaso y otros desórdenes metabólicos (Grant, 1997).

Subproductos utilizados como FFNF

Semilla de algodón

Algunas FFNF se han utilizado para reemplazar a los forrajes convencionales en la alimentación del ganado productor de leche, como es el caso de la semilla de algodón entera y los granos secos de destilería, que se administran durante los períodos en donde faltan los forrajes o cuando éstos son muy caros (Clark y Armentano, 1997b). También existen evidencias que sugieren que la cascarilla de soya y la semilla de algodón entera pueden ser usadas para reemplazar a la fibra detergente neutro del forraje o para diluir a los carbohidratos no fibrosos y que tienen el mérito de mantener un balance entre la fibra y el almidón dietéticos (Slater et al., 2000).

Mooney et al. (1997) realizaron un estudio para determinar la eficacia física

de la FDN de la semilla de algodón, comparándola con la ef de la FDN del ensilaje de alfalfa, encontrando que la semilla de algodón entera, tiene un 50% de ef en comparación con el ensilaje de alfalfa de longitud larga (9.5 mm) y un 125% cuando se comparó con el ensilaje de alfalfa de longitud corta (4.8 mm), lo cual indica que la ef de esta semilla depende de las características del forraje que reemplace.

Bernard et al. (1997) realizaron otro estudio para determinar el efecto del tratamiento mecánico (tostado a 310° C/45 min.) de la semilla de algodón entera sobre la producción y composición de la leche y la digestibilidad de los nutrientes en vacas lecheras, cuyos resultados muestran un aumento en la concentración de grasa y una disminución en el peso corporal de las vacas. En dicho estudio se utilizó la semilla de algodón en un 15% de la MS de la dieta, manteniendo la producción de leche.

En otro estudio realizado por Pires et al. (1997) se evaluó la semilla de algodón, sólo que ésta tuvo un proceso de molido (4.97 mm de tamaño de la partícula media) y otro de calentamiento (149° C/30 min.). Esta combinación de tratamientos mejoró la digestibilidad total de la materia orgánica, del nitrógeno y de la fibra detergente neutro en el estómago e intestinos. Cabe mencionar que se necesita efectuar estudios a largo plazo, especialmente con vacas altas productoras en lactación temprana, para aclarar algunas dudas sobre la respuesta de producción al procesamiento de la semilla de algodón. También es necesario el mejoramiento del equipo para ocuparse en la semilla de algodón con borra, para facilitar una aplicación extensa de este proceso y realizar trabajos adicionales para determinar el efecto de la semilla de algodón procesada por un período mayor sobre el desarrollo de la lactancia en vacas lecheras (Bernard y Calhoun, 1997).

Granos secos de cervecería

Los granos de cervecería (GC) estimulan la masticación más de lo que los granos de cereales, pero cuando los GC reemplazan a la alfalfa, su efectividad varía considerablemente (Zhu et al., 1997).

Hasta hace poco la escasa información disponible sobre la las FFNF versa principalmente sobre la efectividad de la fibra sobre FFNF individuales como

sustitutos del heno de alfalfa. Sin embargo, existe poca información sobre el rendimiento de esos alimentos usados en combinación en la misma dieta o usando niveles variados de esos ingredientes (Clark y Armentano, 1997b). Además, existe controversia sobre el efecto de los granos secos de destilería sobre el pH del rumen, ya que en algunos casos lo eleva, pero en otros lo baja (Zhu et al., 1997).

Gluten de maíz húmedo

Un producto de la molienda húmeda del maíz es el alimento de gluten de maíz húmedo (WCGF, por sus siglas en inglés). Este subproducto es principalmente una mezcla de salvado de maíz y extractos de maíz fermentado. Aunque el WCGF contiene de 40 a 45% de FDN, solamente tiene el 3% de lignina y es una fuente de fibra altamente digestible (Allen y Grant, 2000).

Cascarilla de soya

En vacas no se han evaluado los efectos de reemplazar la fibra del forraje con cascarilla de soya y semilla de algodón al inicio de la lactancia, por lo que se necesita investigar para evaluar las respuestas productivas y de salud de la vaca (Slater et al., 2000). También falta información sobre el efecto de los forrajes y las FFNF con un TdeP medio inferior de 0.4 cm. Debido a una disminución en el tiempo de retención, la molienda de la cascarilla de soya presumiblemente disminuye su digestibilidad, sin embargo, la influencia de la eficacia de la fibra no ha sido determinada (Clark y Armentano, 1997a).

Salvado de maíz

Bodduhari et al (2001) realizaron un estudio para determinar la cantidad máxima de concentrado y forraje que podría ser reemplazado con un producto nuevo de maíz molido húmedo, el cual contiene 23.1% de PC, 9.9% de proteína no degradable en el rumen, 13.7% de FDA, 40.3% de FDN y 2.6% de extracto etéreo (% de la materia seca). Los resultados indican que este producto tiene el potencial para reemplazar efectivamente todo el concentrado y hasta el 45% del forraje en dietas para vacas lactantes.

Interacciones ente los forrajes y las fuentes de fibra no forrajera

Debido a su TdeP pequeño las fuentes de fibra no forrajera no estimulan la actividad de la rumia con la efectividad del forraje dietético, Por lo que es importante considerar el contenido de FDN efectiva de esas fuentes (Allen y Grant, 2000).

Basados en la respuesta en la masticación el cálculo de los valores de efectividad de la FND, permite la separación de los efectos físicos y químicos de la fibra y cuantifica el impacto de reemplazar la fibra del forraje con FFNF que son de TdeP pequeña (Grant, 1997).

Es evidente que las FFNF tiene algún grado de efectividad en su FDN, sin embargo, es difícil separar los beneficios de la efectividad de la fibra de los beneficios de la dilución del almidón por las FFNF, las cuales influyen en el pH ruminal (Firkins, 1997).

La digestión de la fibra podría mejorarse al incrementar el tiempo medio de retención en el rumen. La competencia entre la digestión y la tasa de pasaje es importante para la utilización de la FFNF debido al TdeP pequeño, al potencial para la fermentación rápida y al incremento de la gravedad específica (Grant, 1997).

Requerimientos de FDN al utilizar FFNF

La cantidad de FDN recomendada oscila entre un 25 a un 28% y la de la fibra ácido detergente está entre un 19 a un 21% de la MS. Además se recomienda que el 75% de la FDN dietética sea provista por el forraje. Esas recomendaciones no proporcionan ajustes relacionados con la eficacia física de la fibra, ya que cuando se utilizan fuentes de fibra no forrajera con forrajes, se presentan interacciones que tienen influencia sobre el diseño de la ración (Clark y Armentano, 1997a).

El propósito de formular dietas con un requerimiento de eFDN, en lugar de FDN, permite que las dietas contengan menos forraje pero más FDN y por consiguiente, un aumento dramático en la fracción de FDN de las FFNF. Esta alternativa permitiría que las dietas bajas en forraje con fibra elevada incrementen el requerimiento de FDN (o disminuir los niveles máximos de carbohidratos no

fibrosos) a medida que los contenidos de forrajes toscos disminuyen (Pereira et al., 1999).

Hasta la fecha se ha intentado cuantificar la fibra efectiva, pero los investigadores necesitan determinar la cantidad óptima de la FDN en dietas que contengan FFNF (Younker et al., 1998). Sin embargo, las recomendaciones de FDN hechas por el NRC son suficientes para dietas tradicionales constituidas con combinaciones de forraje y concentrado, pero parecen no ser apropiadas cuando se utilizan cantidades sustanciales de FFNF (Wang et al., 2001).

Uso del forraje y fermentación de las grasas en el rumen

Recientemente se ha incrementado el interés en los subproductos de origen animal tradicionalmente no utilizados en la alimentación de los rumiantes, ya que añaden a la ración un suplemento energético y proteico. Algunos tipos de ingredientes, tales como la grasa hidrolizada, el cebo o las sales cálcicas de ácidos grasos, proporcionan energía adicional para el mantenimiento o para incrementar la producción de leche o la grasa en la misma (Schettini et al., 1999).

El usar grasas no protegidas en las dietas del ganado bovino productor de leche ha demostrado provocar efectos negativos en la síntesis de la grasa de la leche y en la disminución de la digestibilidad de la fibra. El uso de la canola, que es una grasa no protegida y altamente insaturada, causa disminución en los ácidos grasos volátiles, en la relación de acetato a propionato y disminución en la producción de leche (Lewis et al., 1999).

Los beneficios del suministro de grasas pueden estar relacionados con la cantidad y tipo de forraje en la dieta y podrán aumentarse cuando el uso del forraje se mejore. En dietas con contenidos elevados de forrajes las grasas no protegidas pueden interferir menos con la fermentación ruminal y en la digestión (Lewis et al., 1999).

En síntesis, la fotosíntesis es precursora de la biomasa más abundante de la tierra, la pared celular de los vegetales, la cual no se acumula por la degradación microbiana en medios aerobios o anaerobios, un ejemplo de esto es el ecosistema microbiano del rumen. Este ecosistema incluye bacterias, hongos y protozoarios ciliados que en forma convenida degradan a esa estructura vegetal,

para proporcionar compuestos asimilables como los ácidos grasos volátiles (AGV) y proteínas microbianas. Este ecosistema comprende al menos 30 especies bacterianas predominantes en una concentración de total de 10^{10} a 10^{11} /ml de fluido ruminal, algunas 40 especies de protozoarios (10^5 a 10^7 /ml) y cinco especies de hongos con una concentración de 10^5 /ml (Orpin y Joblin, 1997; Stewart et al., 1997; Williams y Withers, 1991).

El proceso de degradación inicia con la asociación de los microbios a un alimento en particular, el acoplamiento al sustrato ocurre a través de un proceso de adhesión, luego por la colonización hasta la formación de un consorcio digestivo activo y los nutrientes son liberados a partir de la digestión del sustrato (Varga y Kolver, 1997).

La composición de la pared celular vegetal establece la calidad de los forrajes, cuando esta es mala disminuye la adhesión de esos microorganismos a estas estructuras. La celulosa, la hemicelulosa y la lignina actúan pasiva y activamente para producir barreras que limitan el ataque de los microorganismos. En el proceso de degradación de la pared celular se establecen relaciones entre ellos, las cuales pueden ser sinérgicas o antagónicas (antibiosis) (Delmer, 1999; Denman et al., 1996; Nogueira et al., 2000), las que han sido estudiadas en cocultivos con suministro de sustrato estable, donde la degradación de la celulosa sigue una cinética de primer orden con respecto a su concentración. Sin embargo otros investigadores suponen que la interacción de estas bacterias bajo condiciones limitadas de sustrato es más compleja (Weimer et al, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar del proyecto

Instalaciones

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la posta caprina de la UAAAN-UL, ubicada en Periférico y carretera a Santa Fé, Torreón, Coahuila, México que 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 metros sobre el nivel del mar. Las instalaciones cuentan con comederos de concreto tipo canaleta, el piso de los corrales consta de un 50% de concreto y el otro 50% de tierra, además tienen sombras de lámina que abarcan la parte de concreto del corral y los comederos. El experimento inició el 2 de septiembre y concluyó el 25 de noviembre del 2003.

Procedimiento experimental

Análisis de alimento

Todos los ingredientes, así como las raciones utilizadas en los diferentes tratamientos fueron analizados químicamente antes de iniciar el estudio. Las muestras fueron molidas en un molino de Willey (criba de 2 mm; Arthur H. Thomas, Filadelfia). El análisis de FDN de los alimentos se hicieron de acuerdo al método de Van Soest et al. (1991) Para todas las muestras se agregó sulfito de sodio (0.5 g por muestra) y 1,205 U de α -amilasa (A_3306; Sigma Chemical Co. St. Louis, MO) durante la ebullición y otra vez antes de la filtración. Las muestras fueron lavadas cuatro veces con acetona para extraer la grasa antes del procedimiento de FDN. La PC se determinó por el método de Kjeldahl (Nx6.25) (Depies y Armentano, 1995; Soita et al., 2000).

Cabras y dietas

Se designaron cuatro tratamientos que utilizaron 16 cabras en crecimiento (peso promedio de 23.52 kg.), de aproximadamente 7 meses de edad, de tal forma que cada tratamiento constó de cuatro animales los cuales fueron asignados al azar en cada uno de los cuatro tratamientos, bloqueados por el peso al momento de iniciar

el periodo de adaptación.

Cada uno de los animales permaneció en corraletas individuales. La dieta se administró por un período de 3 semanas de adaptación seguido de un período de evaluación de 8 semanas.

La dieta control se basó en un contenido de forraje como la alfalfa (18% de la MS) y sin fibra no forrajera. La dieta con nivel bajo de fibra no forrajera (DBFNF), tuvo además de la control, FFNF, la cual fue incluida como semilla de algodón, salvado de trigo y cascarilla de soya. Estos ingredientes aportaron el 17% de la MS. La dieta alta en fibra no forrajera (DAFNF) contuvo los mismos ingredientes sólo que el nivel de FDN se elevó al 32% de la MS. Por último la dieta alta en alfalfa (DAFA) contuvo el 50% de la MS. La alimentación se complementó con piedras de sal mineral. La composición completa de las raciones se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Composición de ingredientes de las dietas usadas en cabras (n=16) alimentadas con diferente nivel de forraje DC= Dieta control (n=4), DBFNF=dieta control mas baja fibra no forrajera (n=4), DAFNF= control más fibra no forrajera alta (n=4), y DAFA= dieta alta en alfalfa (n=4).

Ingredientes	Dieta ¹				Kg de MS
	DC	DBFNF	DAFNF	DAFA	
Alfalfa	0.27	0.27	0.27	0.73	
Ensilaje	0.15	0.15	0.15	0.17	
sem. algodón	0	0.06	0.13	0	
Cáscara de soya	0	0.08	0.15	0	
Salvado	0	0.1	0.2	0	
Maíz grano	0.7	0.57	0.44	0.4	
H. Soya	0.2	0.11	0.12	0	
Soya tostada	0	0.08	0	0.15	
Carbo Ca	0.02	0.02	0.02	0	
Total	1.34	1.44	1.48	1.45	

Con respecto a la composición química de la ración (Cuadro 2), la dieta control contuvo aproximadamente 24% de FDN, aportada principalmente por la

alfalfa y ensilaje. Las dietas DBFNF y DAFNF sustituyeron a la FDN de los forrajes en 9.38 y 18.14% respectivamente de la ración control y la dieta DAFA aportó aproximadamente el 34% de la FDN principalmente como alfalfa. La FDN aportada por el ensilaje de maíz fue muy similar en los cuatro tratamientos (6 a 7%).

Cuadro 2. Composición química de las raciones de las dietas usadas en cabras (n=16) alimentadas con diferente nivel de forraje DC= Dieta control (n=4), DBFNF=dieta control mas baja fibra no forrajera (n=4), DAFNF= control más fibra no forrajera alta (n=4), y DAFA= dieta alta en alfalfa (n=4).

Componente	Dieta ¹			
	DC	DBFNF	DAFNF	DAFA
% de la Materia seca	73	74	75	73
Proteína Cruda	16.51	16.81	15.81	16.17
FDN total	23.56	30.20	36.87	34.43
De la alfalfa	9.27	8.63	8.39	23.16
Del ensilaje	6.72	6.25	6.08	7.03
De las FFNF	0	9.38	18.14	0

Conversión alimenticia (CA)

Consumo de alimento

Las cabras fueron alimentadas dos veces por día, con un horario de alimentación, en el cual se ofreció alimento a las 10:00 y las 19:00 h. En cada servida se suministró el 50% de la ración. Se pesó diariamente el alimento ofrecido a cada animal y se determinó su % de MS. El alimento rechazado se recolectó diariamente a las 9:30 h y fue pesado, almacenado y analizado químicamente cada 15 días para determinar el porcentaje de MS. La MS fue determinada por desecado a 60⁰ C por un período de 48 horas (Depies y Armentano, 1995; Soita et al., 2000; Wang et al., 2001; Whitford et al., 2001). El cálculo de consumo de MS (kg) se determinó por diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado (Mishra, 1996).

Ganancia de peso vivo (GPV)

Antes del inicio del período de adaptación se determinó el peso (báscula electrónica Ohaus modelo 652-03-02.2t) de cada cabra y con base en él se asignaron al azar en los diversos tratamientos de este trabajo. (Mishra, 1996). La ganancia de peso total se determinó restando el peso final al inicial en cada animal.

Análisis Estadístico

Los datos se analizaron utilizando un diseño experimental en bloque al azar SAS (SAS, 1985). El modelo matemático a emplear es el siguiente:

$$\gamma_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

γ_{ij} = la observación ij en el i 'ésimo bloque y j 'ésimo tratamiento

μ = al efecto de la media

β_i = el efecto del i 'ésimo bloque, donde β_{i1} = bloque 1, β_{i2} = bloque 2, β_{i3} = bloque 3,
y β_{i4} = bloque 4.

τ_j = al efecto del j 'ésimo tratamiento, donde τ_{j1} = control, τ_{j2} = DBFNF, τ_{j3} = DAFNF y

τ_{j4} = DAFA.

ε_{ij} = al error en la ij 'ésima observación

RESULTADOS

Este experimento se llevó a cabo para determinar el efecto de la FFNF sobre el consumo de alimento ganancia de peso vivo y conversión alimenticia en cabras de aproximadamente 7 meses de edad.

Consumo de alimento. Los datos relacionados con esta variable se presentan en el Cuadro 3, en donde se observa que no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los animales que consumieron la DC y los que recibieron la DBFNF y DAFNF. De igual forma no se observaron diferencias entre DAFA, DAFNF y DAFNF. El rango de consumo de alimento estuvo entre 25.72 a 27.55 Kg. En el caso de la DC y DAFA tampoco se observó diferencia, sin embargo esta última fue la que arrojó un consumo menor de MS (25.72 kg) de todos los tratamientos.

Ganancia de peso vivo. La GPV durante toda la prueba arrojó resultados que demuestran que no hubo diferencias entre la DC y las que recibieron DBFNF y DAFNF. Sin embargo, si se encontraron diferencias en la GPV entre la DC (5.31Kg) y la DAFA (2.59 Kg) y a su vez DAFA (2.59 Kg) con la DBFNF(3.86 Kg) y DAFNF (3.53 Kg) ($P < 0.05$). Lo anterior implica similitud en las ganancias de peso entre los animales que recibieron FFNF y los que consumieron FDN proveniente de la DC, cabe mencionar que esta última obtuvo la mayor GPV (5.31 Kg) y la DAFA la menor (2.59 Kg).

Conversión alimenticia (CA). En este caso, los resultados indican que no se presentaron diferencias entre la DC y las dietas que contenían FFNF, aunque la mejor CA fue para la DC (9.52 Kg). Al comparar la DC contra la DAFA se observa una diferencia significativa lo que implica que la CA fue más alta para los animales que consumieron cantidades elevadas de alfafa, de tal manera que entre DAFA, DBFNF y DAFNF no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$).

Cuadro 3.- Medias de mínimos cuadrados por consumo de alimento (Kg), ganancia de peso vivo (Kg) y conversión alimenticia en cabras (n=16) alimentadas con cuatro dietas diferentes DC= Dieta control (n=4), DBFNF=dieta control mas baja fibra no forrajera (n=4), DAFNF= control más fibra no forrajera alta (n=4), y DAFA= dieta alta en alfalfa (n=4).

	DC	DBFNF	DAFNF	DAFA	EE
Consumo de alimento	27.55 ^a	26.295 ^a	26.96 ^a	25.72 ^a	0.79
Ganancia de peso vivo	5.315 ^a	3.865 ^{a, b}	3.535 ^{a, b}	2.59 ^b	0.72
Conversión alimenticia	9.52 ^b	13.883 ^{ab}	13.173 ^{ab}	19.843 ^a	2.53

Entre renglones, literales diferentes indican diferencia estadística (P<.05)

DISCUSIÓN

A pesar de que la FDN de las FFNF tiene propiedades físicas y químicas diferentes a la FDN de los forrajes convencionales es posible sustituir a la FDN de la alfalfa con la FDN de esos subproductos, sin afectar el consumo de alimento, la ganancia de peso vivo y consecuentemente la conversión alimenticia en cabras de reemplazo.

Consumo de alimento

Zhu et al (1997) reportan que la sustitución de la FDN del forraje por la FDN de los subproductos no afecta el consumo de MS o la digestibilidad de la MO, de igual forma Varga et al (1998) informan que en ganado lechero la FFNF no provocan cambios en el CMS. Por otra parte Firkins et al (2002) al utilizar granos húmedos de cervecería para incrementar el total de carbohidratos no fibrosos y disminuir la FDN del forraje, no encontraron cambios en el CMS. En otro estudio (Clark y Armentano, 1997b) demostraron que el CMS se incremento linealmente conforme se fueron adicionado las FFNF en las dietas control, baja en FNF y alta en FNF. Estos resultados son similares a los encontrados en este estudio.

Ganancia de peso vivo

Al igual que el presente estudio, Moore et al (2002) realizó un experimento donde al grupo control (harina de soya más heno) le agregó ya sea, cascarilla de soya, cascarilla de gluten de maíz o salvadillo de trigo para evaluar el efecto de estas inclusiones sobre la ganancia de peso diario los resultados no mostraron diferencias entre tratamientos. Aunque estos autores atribuyen la falta de rendimiento en los animales que recibieron subproductos al hecho de que no recibieron heno en cantidades suficientes, lo que establece una posible relación entre este forraje y el uso de las FFNF.

Algunos autores han demostrado que en cabras la suplementación de forrajes con subproductos (salvado de trigo y pulpa de cítricos) incrementa la tasa de crecimiento, consumo y digestibilidad, pero en esos estudios, a diferencia del presente, las dietas estuvieron basadas en pajas por lo tanto el contenido de proteína en ellas fue aproximadamente de 5% de la MS, por lo que la

administración de esos productos ayudo a corregir el problema (Madrid et al., 1997; Maity et al., 1999).

Conversión alimenticia

Dentro de los alcances de la revisión de literatura del presente trabajo no se localizó ninguno que haya evaluado la conversión alimenticia en animales en crecimiento que recibieran en sus dietas FFNF ya sea solas o combinadas.

Suhterland (1988) describe a la maraña fibrosa del rumen (*ruminal mat*, en inglés) como un separador eficaz de la primera fase del alimento. A través del proceso de filtración y el entramado fibroso mecánico, la maraña fibrosa ruminal retiene a las partículas con potencial de escape, por consiguiente incrementa el tiempo que permite una mayor fermentación Evans et al (1973) y Welch (1982) menciona que la consistencia de la maraña fibrosa ruminal (dura o blanda) podría ya sea aumentar o retrasar el pasaje de la partícula del reticulo-rumen. Para Moore (2002) las cabras tienen en el rumen una tasa de pasaje más altas de las partículas que las vacas y las ovejas por lo que los subproductos fibrosos no pueden ser retenidos en el rumen el tiempo suficiente para alcanzar su potencial altamente digestible. Sin embargo, como ya se planteó anteriormente, la inclusión de alfalfa podría alterar el tiempo de retención de las FFNF y mejorar por lo tanto su digestibilidad. La inclusión de heno de alfalfa picada a las dietas que contenían salvado de gluten de maíz incrementó la consistencia de la maraña fibrosa ruminal, la actividad ruminal y retrasó la tasa de pasaje, lo que resultó en una mayor digestibilidad del salvado de maíz (Allen y Grant, 2000). En cinco estudios, la digestión de las dietas con cascarilla de soya mejoró con la adición de forraje tosco. La digestibilidad de la fibra pudo haber mejorado porque el heno tosco incrementó el tiempo de retención ruminal de las FFNF y permitió una digestión más completa (Grant, 1997).

La investigación futura deberá abordar el impacto de la fuente de fibra dietética, su cantidad y la forma física (tamaño de partícula) del forraje sobre el éxito de reemplazo del forraje con FFNF. Además deberá considerar el efecto que pueda tener el tamaño de partícula y la consistencia de la maraña fibrosa ruminal sobre el tiempo de retención de las FFNF e indicar cual es la mejor forma para

manipular la consistencia de esa maraña. La información en el ganado bovino es escasa, y en ella se ha reportado que: 1) el impacto del forraje dietético sobre la utilización de las FFNF no esta mediado en primera instancia por la retención ruminal alterada y la digestibilidad, o 2) el fracaso para documentar el efecto consistentemente significativo de la fuente de forraje o el tamaño de partícula sobre la tasa de pasaje de las FFNF reflejan técnicas inadecuadas para medir el pasaje o que son muy pocas observaciones experimentales (Grant, 1997).

CONCLUSIONES

El reemplazo de la FDN de la alfalfa con FDN de fuentes de FFNF tuvo un efecto detrimental en la conversión alimenticia de las cabras de reemplazo en relación a la DC, sin embargo al comparar la respuesta de las dietas con FFNF contra la DAFA fueron mejores las conversiones alimenticias, por lo que en raciones con contenidos elevados de alfalfa los subproductos pueden ser una buena alternativa.

Revision de literatura

- Agnes, T. H., A. S. Blis ., and H. Matthiesen. 1996. Digestibility and rumen fermentation in reindeer feed with silage in summer and winter. *J Agric Sci* 127: 517-523.
- Allen, D. M., and R. J. Grant. 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 83: 322-331.
- Armentano, L., and M. Pereira. 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *J Dairy Sci* 80: 1416-1425.
- Asanuma, N., T. Iwamoto, and M. Hino. 1999. Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *J dairy Sci* 82: 780-787.
- Baker, S. K. 1999. Rumen methanogens, and inhibition of methanogenesis. *Aust J Agric Res* 50: 1293-1298.
- Bava, L. et al. 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., and L. M. Rode. 1997. Minimum versus optimum concentrations of fiber in dairy cows diets based on barley silage and concentrates of barley or corn. *J. Dairy Sci* 80: 1629-1639.
- Bernard, L., and M. C. Calhoun. 1997. Response of lactating dairy cows to mechanically processed whole cottonseed. *J Dairy Sci* 80: 2062-2068.
- Clark, P. W., and L. Armentano. 1997a. Influence of particle size on the effectiveness of beet pulp fiber 1. *J Dairy Sci* 80: 898-904.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1997b. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. *J Dairy Sci* 80: 675-680.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1999. Influence of particle size on the effectiveness on the fiber in corn silage. *J Dairy Sci* 82: 521-588.
- Cornu, A., J. M. Besle, P. Mosoni, and E. Grenet. 1994. Lignin-carbohydrate complexes in forages: Structure and consequences in the ruminal degradation of cell-wall carbohydrates. *Reporod Nutr Dev* 34: 385-398.

- Delmer, D. P. 1999. Cellulose biosynthesis: Exciting times for a difficult field of study. *Annu Rev Plant Mol. Biol.* 50: 245-276.
- Denman, S., G. P. Xue, and B. Patel. 1996. Characterization of a neocallimastix patriciarum cellulase cDNA (cela) homologous to trichoderma reesi cellobiohydrolase II. *Appl Environ Microb* 62: 1889-1896.
- Depies, K. K., and L. E. Armentano. 1995. Partial replacement of alfalfa fiber with fiber from ground corn cobs or wheat middlings. *J Dairy Sci* 78: 1328-1335.
- Evans, E. W., G. R. Pearce, J. Burnett, and S. L. Pillinger. 1973. Changes in some physical characteristics of the digesta in the reticulorumen of cows fed once daily. *Br. J. Nutr.* 29: 357-386.
- Ferry, J. G. 1992. Biochemistry of methanogenesis. *Critical Rev Biochemistry and Mol Biol* 27: 473-503.
- Fichney, G. C. 1996. Rumen physiology: The key to understanding the conversion of plants into animal products. *Aust J Agric Res* 47: 163-174.
- Firkins, J. L. 1997. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. *J Dairy Sci* 80: 1426-1437.
- Firkins, J. L., D. I. Harvatine, J. T. Sylvester, and M. L. Eastridge. 2002. Lactation performance by dairy cows fed wet brewers grains or whole cottonseed to replace forage. *J Dairy Sci* 85: 2662-2668.
- Flint, H. 1997. The rumen microbial ecosystem - some recent development. *Trends in Microbiology* 5: 483-488.
- Fondevila, M., and B. A. Dehodorty. 1996. Interactions between fibrobacter succinogenes, prevotella ruminicola, and ruminococcus flavefaciens in the digestion of cellulose from forages. *J Anim Sci* 74: 678-684.
- Gomez de Segura, B., R. Durand, and M. Fèvre. 1998. Multiplicity and expression of xylanases in the rumen fungus neocallimastix frontalis. *FEMS Microbiol Lett* 164: 47-53.
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and nonforages fiber sources. *J Dairy Sci* 80: 1438-1446.
- Heinrich, A. J., D. R. Buckmaster, and B. P. Lammers. 1999. Processing mixing, and particle size reduction of forage for dairy cattle. *J Animal Sci* 77: 180-186.

- Ho, Y. W., and D. J. S. Barr. 1995. Classification of anaerobic gut fungi from herbivores with emphasis on rumen fungi from malaysia. *Mycologia* 87: 655-677.
- Hofrichter, M. et al. 1999. Production of manganese peroxidase and organic acids and mineralization of ¹⁴C-labelled lignin (¹⁴C-dhp) during solid state fermentation of wheat with white rot fungus *Neotoloma frowardii*. *Appl Environ Microbiol* 65: 1864-1870.
- Jung, H.-J. G., M. Jorgensen, J. G. Linn, and F. M. Engels. 2000. Impact of accessibility and chemical composition on cell wall polysaccharide degradability of maize and lucerne stems. *J Sci Food Agric* 80: 419-427.
- Kajikawa, H. et al. 2000. Degradation of benzyl ether bonds of lignin by ruminal microbes. *FEMS Microbiol Lett* 187: 15-20.
- Kalmokoff, M. L., and R. M. Teather. 1997. Isolation and characterization of a bacteriocin (butyriovibriocin ar10) from the ruminal anaerobe *Butyrivibrio fibrosolvens* ar10: Evidence in support of the widespread occurrence of bacteriocine-like activity among ruminal isolates of *B. Fibrosolvens*. *Appl Environ Microb* 63: 394-402.
- Krause, D. O. et al. 2001. Expression of a modified *Neocallimastix patriciarum* xylanase in *Butyrivibrio fibrosolvens* digests more fibre but cannot effectively compete with highly fibrolytic bacteria in the rumen. *J Appl Microbiol* 90: 388-396.
- Krause, D. O., W. J. M. Smith, F. M. E. Ryan, R. I. Mackie, and C. S. McSweeney. 2000. Use of 16S-rRNA based techniques to investigate the ecological succession of microbial populations in the immature lamb rumen: Tracking of specific strain of inoculated *Ruminococcus* and interactions with other microbial populations in vivo. *Microb Ecol* 38: 365-376.
- Lee, S. S., J. K. Ha, and K.-J. Cheng. 2000. Relative contributions of bacteria, protozoa, and fungi to in vitro degradation of orchard grass cell walls and their interactions. *Appl Environ Microb* 66: 3807-38133.
- Leiva, E., M. B. Hall, and H. H. V. Horn. 2000. Performance of dairy cattle fed citrus pulp or corn products as sources of neutral detergent-soluble carbohydrates. *J Dairy Sci* 83: 2866-2875.

- Lewis, W. D., J. A. Bertrand, and T. C. Jenkins. 1999. Interaction of tallow and hay particle size on ruminal parameters. *J Dairy Sci* 82: 1532-1537.
- Madrid, J., F. Hernández, M. A. Pulgar, and J. M. Cid. 1997. Urea and citrus by-product supplementation of straw-based diets for goats: Effect on barley straw digestibility. *Small Rum Res* 24: 149-155.
- Maity, S. B., A. K. Mishra, and V. S. Upadhyay. 1999. Effect of wheat bran supplementation on the utilization of mixed straws in goats. *Indian J Anim Nutr* 16: 86-88.
- Matsui, H., K. Ushida, K. Miyazaki, and Y. Kojima. 1998. Use of digested xylan to digested cellulose (x/c) as an index of fiber digestion in plant cell-wall material by ruminant microorganisms. *Anim Feed Sci Tech* 71: 207-215.
- McAllister, T. A., H. D. Bae, L. J. Yanke, J. Cheng, and J. K. Ha. 1994. A review of the microbial digestion of feed particles in the rumen. *AJAS* 7: 303-316.
- McSweeney, C. S. et al. 1999. The application of rumen biotechnology to improve the nutritive value of fibrous feedstuffs: Pre- and post-ingestion. *Livestock Prod Sci* 59.
- Mooney, C. S., and M. S. Allen. 1997. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.* 80: 2052-2061.
- Moore, J. A., M. H. Poore, and J.-M. Luginbuhl. 2002. By-product feeds for meat goats: Effects on digestibility, ruminal environment, and carcass characteristics. *J Anim Sci* 80: 1752-1758.
- Morvan, B., F. Bonnemoy, G. Fonty, and P. Gouet. 1996. Quantitative determination of h₂-utilizing acetogenic and sulfate-reducing bacteria and methanogenic archaea from digestive tract of different mammals. *Curr Microbiol* 32: 129-133.
- Murphy, M. R., and J. S. Zhu. 1997. A comparison of methods to analyze particle sizes as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. *J.Dairy Sci.* 80: 2932-2938.
- Nichols, S. W., M. A. Froetschel, H. E. Amos, and L. O. Ely. 1998. Effects of fiber from tropical corn and forage sorghum silages on intake, digestion, and performance of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 81: 2383-2393.

- Nogueira, F. J. C. M., M. Fondevila, U. A. Barrios, and R. M. González. 2000. In vitro microbial fermentation of tropical grasses at an advanced maturity stage. *Anim Feed Sci Techn* 83: 145-157.
- Oba, M., and M. S. Allen. 2000. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 2. Chewing activities. *J Dairy Sci* 83: 1342-1349.
- Oba, M., and M. S. Allen. 2000a. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *J Dairy Sci* 83: 1333-1341.
- Odenyo, A., R. I. Mackie, D. A. Stahl, and W. B. A. 1994. The use of 16S rRNA-targeted oligonucleotide probes to study competition between ruminal fibrolytic bacteria: Development of probes for *Ruminococcus* species and evidence for bacteriocin production. *Appl Environ Microbiol* 60: 3688-3696.
- Orpin, C. G., and K. N. Joblin. 1997. The rumen anaerobic fungi., p. 140-195. In N. Hobson and C. S. Stewart (ed.) (ed.), *The rumen microbial ecosystem*. Chapman and Hall., London, United Kingdom.
- Pereira, M. N., and L. E. Armentano. 2000. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. II. Digestion and rumen function. *J Dairy Sci* 83: 2876-2887.
- Pereira, M. N., E. F. Garrett, and G. R. Oetzel. 1999. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. L. Performance and health. *J. Dairy Sci* 82: 2716-2730.
- Pires, A. V., M. L. Eastridge, and J. L. Firkins. 1997. Effects of heat treatment and physical processing of cottonseed on nutrient digestibility and production performance by lactating cows. *J. Dairy Sci* 80: 1685-1694.
- Provan, G. J., L. Scobbie, and A. Chesson. 1994. Determination of phenolic acids in plant cell walls by microwave digestion. *J. Sci food agric* 64: 63-65.
- Reeves, I. J. B. 1997. Relationships between crude protein and determination of nondispersible lignin. *J Dairy Sci* 80: 692-699.

- Sanz Sampelayo, M. R., L. Pérez, J. Boza, and L. Amigo. 1998. Forage of different physical forms in the diets of lactating granadina goats: Nutrient digestibility and milk production and composition¹. *J Dairy Sci* 81: 492-498.
- SAS. 1985. User guide: Statistics. Version 5 edition. SAS Inst., Inc. Cary, NC.
- Schettini, M. A., E. C. Prigge, and E. L. Nestor. 1999. Influence of mass and volume of ruminal contents on voluntary intake and digesta passage of a forage diet in steers. *J. Anim. Sci* 77: 1896-1904.
- Shain, D. H., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, and D. W. Herold. 1999. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 77: 1082-1092.
- Shi, Y., C. L. Odt, and P. J. Weimer. 1997. Competition for cellulose among three predominant ruminal cellulolytic bacteria under substrate-excess and substrate-limited conditions. *Appl Environ Microbiol* 63: 734-742.
- Slater, A. L., M. L. Eastridge, J. L. Firkins, and L. J. Bidingier. 2000. Effects of starch sources and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J Dairy Sci* 83: 313-321.
- Soita, H. W., D. A. Christensen, and J. J. McKinnon. 2000. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage. *J Dairy Sci* 83: 2295-2300.
- Stensig, T., and P. H. Robinson. 1997. Digestion and passage kinetics of forage fiber in dairy cows as affected by fiber-free concentrate in the diet. *J Dairy Sci* 80: 1339-1352.
- Stewart, C. S., H. J. Flint, and M. P. Bryant. 1997. The rumen bacteria., p. 10-72. In p. N. Hobson and c. S. Stewart (ed.) (ed.)the rumen microbial ecosystem. Blackie Academic and Professional Publishers, London, United Kingdom.
- Suhterland, T. M. 1988. Particle separation in the forestomachs of sheep. In: A. D. a. M. J. D. Ed. (ed.) In: Aspects of digestive physiology in ruminants. p 43-83. Comstock Publ Assoc., Ithaca, N. Y.
- Teather, R. M., and R. J. Forster. 1998. Manipulating the rumen microflora with bacteriocins to improve ruminant production. *Can J Anim Sci* 78 (suppl.): 57-69.
- Trinci, A. P. J. 1995. Pure and applied mycology. *Can J Bot* 73: S1-S14.

- Varga, G. A., H. M. Dann, and V. A. Ishler. 1998. The use of fiber concentrations for ration formulation. *J Dairy Sci* 81: 3063-3074.
- Wang, Z., M. L. Eastridge, and X. Qiu. 2001. Effects of forage neutral detergent fiber and yeast culture on performance of cows during early lactation. *J Dairy Sci* 84: 204-212.
- Welch, J. G. 1982. Rumination, particle size, and passage from the rumen. *J Anim Sci* 54: 885-894.
- West, J. W., P. Mandebvu, G. M. Hill, and R. N. Gates. 1998. Intake, milk yield, and digestion by dairy cows fed diets with increasing fiber content from bermudagrass hay or silage. *J Dairy Sci* 81: 1599-1607.
- White, S. L. et al. 2001. Comparison of fatty acid content of milk from jersey and holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci* 84: 2295-2301.
- Whitford, M. F., M. A. McPherson, R. J. Forster, and R. M. Teather. 2001. Identification of bacteriocin-like inhibitors from rumen streptococcus spp. And isolation and characterization of bovicin 255. *Appl Environ Microb* 67: 569-574.
- Williams, A. G., and S. E. Withers. 1991. Effect of ciliate protozoa on the activity of polysaccharide-degrading enzymes and fibre breakdown in the rumen ecosystem. *J Appl Microbiol* 70: 144-155.
- Wilson, J. R., and D. R. Mertens. 1995. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop Sci* 35: 251-259.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and 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.
- Yunker, R. S., S. D. Winland, J. L. Firkins, and B. L. Hull. 1998. Effects of replacing forage fiber or nonfiber carbohydrates with dried brewers grains. *J Dairy Sci* 81: 2645-2656.
- Zhu, J. S., S. R. Stokes, and M. R. Murphy. 1997. Substitution of neutral detergent fiber from forage with neutral detergent fiber from by-products in the diets of lactating cows. *J Dairy Sci* 80: 2901-2906.