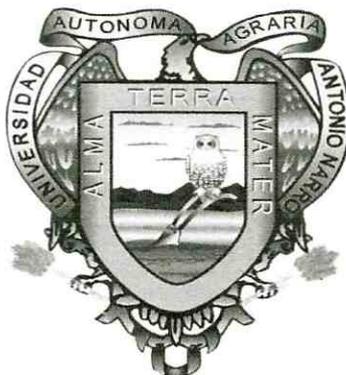


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



“EFECTO EN EL REEMPLAZO DE LA FIBRA DETERGENTE NEUTRO DE LA ALFALFA CON LA FIBRA DETERGENTE NEUTRA DE FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA SOBRE EL PH DEL FLUIDO RUMINAL EN CABRAS DE REEMPLAZO”

POR:

LEODAN GARCÍA PALESTINA

TESIS

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

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2004.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

**“EFECTO EN EL REEMPLAZO DE LA FIBRA DETERGENTE
NEUTRO DE LA ALFALFA CON LA FIBRA DETERGENTE NEUTRA
DE FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA SOBRE EL PH DEL
FLUIDO RUMINAL EN CABRAS DE REEMPLAZO”**

POR:

LEODAN GARCÍA PALESTINA

TESIS

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

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

**M.C. Pedro Antonio Robles Trillo
Director**

**Dr. Rafael Rodríguez Martínez
Asesor**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

**"EFECTO EN EL REEMPLAZO DE LA FIBRA DETERGENTE
NEUTRO DE LA ALFALFA CON LA FIBRA DETERGENTE NEUTRA
DE FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA SOBRE EL PH DEL
FLUIDO RUMINAL EN CABRAS DE REEMPLAZO"**

POR:

LEODAN GARCÍA PALESTINA

TESIS

Aprobado por el comité

Presidente del jurado



M.C. Pedro Antonio Robles Trillo

Coordinador de la división regional de ciencia animal



M.V.Z. Ernesto Martínez Aranda

Coordinación de la División
Regional de Ciencia Animal

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO.

UAAAN - UIDICIEMBRE DE 2004.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

"EFECTO EN EL REEMPLAZO DE LA FIBRA DETERGENTE
NEUTRO DE LA ALFALFA CON LA FIBRA DETERGENTE NEUTRA
DE FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA SOBRE EL PH DEL
FLUIDO RUMINAL EN CABRAS DE REEMPLAZO"



M.C. Pedro Antonio Robles Trillo
Presidente



Dr. Rafael Rodríguez Martínez
Vocal



I.Z. Jorge Horacio Borunda Ramos
Vocal



M.C. Gerardo Arellano Rodríguez
Vocal suplente

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2004

AGRADECIMIENTOS

A dios , por darme la oportunidad de vivir y de hacer una de mis metas realizada, ya que su presencia siempre estuvo con migo.

Agradezco la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas y formarme como un profesioncita.

A mi asesor M.C. Pedro Antonio Robles Trillo por su dirección , orientación y confianza para la realización de este trabajo, además, por su apoyo incondicional, su amistad y sus consejos.

Al Dr. Rafael Rodríguez Martínez, por su valioso apoyo, paciencia y orientación para la realización del presente trabajo

A la Fundación de Becas Prometeo de Excelencia Académica Nacional, por todo su apoyo y orientación durante toda mi estancia en la Universidad

A mis Profesores que compartieron sus conocimientos con migo.

A mis amigos que mas en las buenas que en las malas estuvieron conmigo, pasando ratos que siempre recordare, aunque otros no.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Que me dieron la vida y me enseñaron a apreciar las cosas las lindas de este mundo.

A mi Madre, Alejandra Palestina Reyes que me enseñó a luchar por lo que quiero aún cuando el existan miles de obstáculos para alcanzar los sueños. Gracias Mamá, por ser mi Madre.

A ti Padre, Maurilio García Cabrera que desde el cielo siempre estuvo conmigo.

A mis hermanos.

Guadalupe, Belén, Alejandra y Rafael, por todo su cariño.

A mis sobrinos.

Lupita, David, Árdea, Carmelita.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
CARACTERÍSTICAS Y PRODUCCIÓN DE PAREDES CELULARES DE LAS PLANTAS EN EL MUNDO.....	3
CELULOSA.....	3
HEMICELULOSA	4
IMPACTO DE LA ACCESIBILIDAD Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LIGNINA SOBRE LA DEGRADABILIDAD DE LOS POLISACÁRIDOS DE LA PARED CELULAR.....	4
EFECTO DE LOS ÁCIDOS FENÓLICOS SOBRE LA DEGRADABILIDAD DE LAS PAREDES CELULARES	5
MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LIGNINA.....	6
INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PAREDES CELULARES.....	7
INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS ANATÓMICAS DE LAS PAREDES CELULARES SOBRE SU DIGESTIÓN.....	7
DEGRADACIÓN DE LA PARED CELULAR POR MICROORGANISMOS RUMINALES.....	8
HONGOS ANAEROBIOS.....	8
BACTERIAS	9
PROTOZOARIOS	10
ENZIMAS MICROBIANAS QUE DEGRADAN A LAS PAREDES CELULARES EN EL RUMEN.....	10
REQUERIMIENTO DE FIBRA	12
DIGESTIÓN DE LA FIBRA	13
FIBRA Y LLENADO DEL RUMEN	15
EFECTIVIDAD DE LA FIBRA.....	15
EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA FIBRA.....	17
INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA SOBRE LA EFICACIA DE LA FIBRA.....	17
REEMPLAZO DEL FORRAJE DIETÉTICO CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO.....	26
INSTALACIONES.....	26
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	26
ANÁLISIS DE ALIMENTO	26
CABRAS Y DIETAS	26
CONSUMO DE ALIMENTO	28
MUESTREO DEL CONTENIDO RUMINAL.....	28
DETERMINACIÓN DEL PH DEL RUMEN.....	28
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	29
RESULTADOS	30
DISCUSIÓN.....	31
CONCLUSIÓN.....	33
LITERATURA CITADA	34

RESUMEN.

Existen pocos estudios en cabras acerca de la fisiología y 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) sobre el pH del fluido ruminal, se utilizaron dieciséis cabras Alpinas (peso corporal de 22.81 ± 1.84 Kg, 7 meses de edad) en un diseño de bloques al azar de 4X4. Las cuatro dietas fueron, dieta control (DC) baja en forraje y fibra (9.27% FDN de alfalfa y 6.72% de FDN de ensilaje de maíz, en base seca); dieta alta en alfalfa (DAFA) (dieta control mas 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. Se obtuvieron muestras ruminales con sondas 7 veces al día, cada 3 h, los días 0, 15, 30, 45 y 60 del experimento, para determinar el pH del contenido ruminal con un potenciómetro. El efecto de los tratamientos se evaluó por ANOVA. Los resultados mostraron un efecto de tratamiento ($P < 0.001$) en el pH del contenido ruminal, siendo el mas alto con la dieta DAFA (6.33) y el mas bajo DC (6.13), sin diferencia entre DC y DBFNF (6.13 y 6.19) respectivamente. Debido a las características físicas y químicas de las FFNF y un probable efecto de la eficacia física del heno de alfalfa, el reemplazo de FND de la alfalfa con FFNF, no afecto el pH ruminal con respecto a la dieta control y de esta manera la función ruminal pudo haber permanecido normal, por lo que en termino de este parámetro es posible sustituir a la alfalfa con FFNF.

INTRODUCCIÓN

El forraje (recurso principal que aporta pared celular), proporciona energía y fibra para el mantenimiento de la función ruminal, para mantener los niveles de producción y la cantidad de la grasa en la leche, así como para mantener la salud de la vaca (Clark y Armentano, 1999; Mooney y Allen, 1997). El suministro de carbohidratos, es decir, de la fibra de los forrajes en la dieta, es un factor importante para la optimización de la producción de leche y el mantenimiento de la función ruminal (Wang, et al., 2001). Sin embargo, el aprovechamiento dentro del rumen se ve afectado por diversos factores como es el caso de la temperatura, la cual influye ocasionando maduración rápida de los tejidos y una lignificación elevada de ellos, por lo cual es de esperarse que los forrajes utilizados como alimento en las zonas tropicales y subtropicales sean de naturaleza fibrosa, es decir con alto contenido en paredes celulares (Agnes, et al., 1996).

La digestión de la fibra puede darse solo por la fermentación microbiana ruminal, siendo su tasa de digestión 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 de 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).

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).

Generalmente las FFNF 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).

Debido al contenido de lignina bajo y a una proporción elevada de fibra potencialmente digestible, las fuentes de fibra no forrajera (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 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).

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 pH del fluido ruminal.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del reemplazo de la Fibra Neutro Detergente de la Alfalfa con fuentes de fibra no forrajera sobre el pH del fluido ruminal en cabras de reemplazo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Características y producción de paredes celulares de las plantas en el mundo.

La fijación de bióxido de carbono (CO_2) por el proceso de la fotosíntesis en la biosfera produce aproximadamente 136×10^{15} g de materia seca de las plantas por año, lo cual representa la forma de biomasa más abundante en la tierra; los constituyentes más abundantes son: la celulosa (28 a 50%), hemicelulosa (20 a 30%) y la lignina (18 al 30%). Estos constituyentes y su volumen a menudo son referidos como biomasa lignocelulósica o lignocelulosa. La mayoría de la síntesis de estos materiales (2/3 partes) ocurre en los ecosistemas terrestres donde es balanceada por medio de la respiración/descomposición, en el ciclo del carbono y por la digestión de la lignocelulosa, que es llevada a cabo primeramente por microorganismos, principalmente bacterias y los hongos (Breznak, et al.,1994). Esta biomasa no se acumula porque los hongos y las bacterias la degradan eficientemente (Breznak, et al.,1994, Gómez de Segura et al.,1998). Esta degradación se puede realizar en medios aerobio y anaerobio, un ejemplo de este último es el ecosistema ruminal (Agnes, et al.,1996).

Las plantas sintetizan anualmente cerca de 4×10^9 toneladas de celulosa anualmente, pero este material no se acumula en el ambiente porque los hongos y las bacterias degradan eficientemente la biomasa de las plantas para proveerse de energía y carbono, para finalmente reciclar el CO_2 en el ecosistema (Trinci, 1995).

Celulosa

La celulosa es descrita como un compuesto de microfibrillas contenidas en una matriz amorfa similar al refuerzo de concreto, las cuales imparten 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 resultan en 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 matriz compleja de las paredes celulares difiere considerablemente entre las diferentes especies de plantas, así como entre estados de madurez, protegiendo a los polímeros de la celulosa de los diferentes grados de adhesión de las bacterias celulolíticas ruminales y de sus enzimas correspondientes (Fondevila y., 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 glucuronosil (Gomez de Segura et al., 1998).

Impacto de la accesibilidad y composición química de la lignina sobre la degradabilidad de los polisacáridos de la pared celular.

La lignina son polímeros de las paredes celulares de los vegetales, compuestos de tres diferentes monómeros fenólicos que varían en el grado de metil sustitución del anillo aromático. Esos unidades monolignoles, llamados *p*-hidroxifenil (no metoxilado) guaiacil (monometoxilado) y siringil (dimetoxilado), se derivan de la polimerización deshidrogenativa de los respectivos alcoholes *p*-coumaril, conferil y sinapil (Pires, et al., 1997, Provan, et al., 1994).

La lignina es un polímero amorfo de masa molecular alta encontrada en las paredes celulares de las plantas y está compuesta por derivados fenilpropanoides enlazados a través de enlaces éster, éter y C-C (Kajikawa, et al., 2000), siendo

compuesto abundante en la naturaleza y es degradado por un número pequeño de microorganismos, principalmente por los basidiomicetos (Hofrichter, et al., 1999).

La lignina es una sustancia macromolecular compleja compuesta de tres residuos fenilpropanoides (unidades de guaiacil- siringil y *p*-hidroxifenilpropionato) y sus tasas varían dependiendo de la especie de planta, órganos, tejidos y madurez (Kondo, et al., 1998).

Los polisacáridos de las paredes celulares se consideran inaccesibles para las enzimas microbianas debido a que la lámina media lignificada de la pared primaria que es una barrera no degradable para el movimiento bacteriano entre esas células (Jung, et al., 2000).

Efecto de los ácidos fenólicos sobre la degradabilidad de las paredes celulares

Los ácidos fenólicos, tales como el ácido *p*-coumárico, ferúlico (Rosazza, et al., 1995), dehidroferulico, *p*-OH benzoico, vanillico, siringico y aldehídos con esqueletos de 7 átomos de carbono, participan en el enlace de la lignina a otros componentes de la pared celular, principalmente carbohidratos (Besle, et al., 1994, Jung, H. G. 1983, McDougall, 1993). Algunas opiniones han sugerido que los ácidos fenólicos de las paredes celulares funcionan para unir o formar enlaces cruzados entre las cadenas de hemicelulosa al corazón de la lignina y para formar enlaces dentro de las cadenas de hemicelulosa a través de uniones éster o éter (Chen, et al., 1996).

Los ácidos fenólicos tales como el ácido *p*-coumárico y los ácidos ferúlico, que son precursores de la lignina (Yang, et al., 2001). Los enlaces covalentes de la lignina con los carbohidratos de la pared celular contribuyen a la retención de lignina a las paredes celulares durante la degradación ruminal, pero también pueden inhibir la actividad de las enzimas (Sewalt, et al., 1996).

Los mecanismos que determinan la resistencia de las paredes celulares de los forrajes a la degradación microbiana, han sido estudiados extensamente, sugiriéndose algunos principios generales, de tal forma que actualmente se acepta que el ataque bacteriano a las paredes celulares es un proceso superficial en que la lignina presenta una superficie esencialmente inerte y resistente a la adhesión

por el ataque microbiano y a la degradación por sus enzimas (Soita, et al., 2000). Por esto, se considera que la lignina ejerce su efecto negativo al actuar como una barrera física que impide el acceso a las enzimas de los microbios ruminales a los sustratos de los polisacáridos de las paredes celulares (Jung, 1983). Siendo la lignina el principal componente del soporte mecánico en los tejidos de las plantas, haciéndolas resistentes al ataque de las enzimas microbianas. La lignina también restringe la digestión ruminal de los carbohidratos, como la celulosa y hemicelulosa, a través de la formación de un complejo estable lignina-carbohidratos (CLC) (Kajikawa, et al., 2000).

Algunos microorganismos, como el hongo blanco de la pudrición (Chen, et al., 1996, Karunanyaa y Varga, 1996) y los actinomicetos, pueden degradar al complejo L-C, pero la despolimerización y el subsecuente metabolismo de la lignina parece improbable bajo las condiciones anaerobias como las del rumen, ya que se piensa que el oxígeno es esencial para el rompimiento de la lignina. Sin embargo, se ha demostrado que puede darse la degradación de los enlaces éter bencil de la lignina por los microbios del rumen, lo que implica la descomposición de esos enlaces en los polímeros de la lignina, que no ocurre en condiciones anaerobias (Kajikawa, et al., 2000).

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 acetyl 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).

Influencia de los factores ambientales sobre las características de las paredes celulares.

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 estructuras anatómicas de la planta (en tallos más que en las hojas). Los forrajes utilizados como alimento para el ganado en zonas tropicales y subtropicales son de naturaleza fibrosa, tienen contenido alto en paredes celulares, 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).

Influencia de las estructuras anatómicas de las paredes celulares sobre su digestión.

La calidad de la pastura afecta fuertemente la actividad fibrolítica de los microorganismos ruminales, la cual puede estar restringida a la administración de forrajes de mala calidad, repercutiendo tanto en la adhesión bacteriana como en la actividad enzimática, pero 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 al contenido de fenilpropanoides (lignina, ácidos fenólicos) de las paredes celulares de esos vegetales. Esos compuestos actúan pasiva y activamente a través de mecanismos complejos para producir barreras físicas y químicas que limitan el ataque de los microorganismos ruminales (Cornu, et al., 1994).

Degradación de la pared celular por microorganismos ruminales.

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 y protozoarios ciliados y hongos, los cuales son estrictamente anaerobios. El ecosistema microbiano ruminal 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 degradación y fermentación de los forrajes a compuestos asimilables para el animal huésped se lleva a cabo por las poblaciones de microorganismos ruminales, las cuales trabajan de una forma coordinada para convertir a los polisacáridos y las proteínas de la planta, a ácidos grasos volátiles y proteínas microbianas, que serán aprovechadas por el animal (Kalmokoff y Teather, 1997).

Hongos anaerobios

Actualmente, basados en la morfología de las zoosporas y el tallo vegetativo, se han clasificado tres géneros de hongos anaerobios monocéntricos (*Neocallimastix*, *Piromyces* y *Caecomyces*) (Wubah y Kim, 1996), además, el género *Orpinomyces*, que se clasifica por sus zoosporas multiflageladas (Ho, et al., 1994) y el género *Anaeromyces* que se clasificó considerando a las esporas uniflageladas (Phillips y Gordon, 1995).

Los hongos aislados del rumen secretan una gran variedad de enzimas polisacaridasas e hidrolasas glicosidasas, lo cual les permite crecer y utilizar homo y heteropolisacáridos, lo que a su vez le confiere un gran potencial enzimático para liberar a los monosacáridos de los polímeros de las paredes celulares de las plantas (Gómez de Segura et al., 1998, Lee, et al., 2000).

Estos hongos colonizan preferentemente los tejidos vasculares de los materiales fibrosos. Los quistes móviles atacan a la fibra fresca ingerida, para germinar y producir rizoides que se ramifican a través de la pared celular, digiriéndola en asociación con las enzimas de otros microbios, lo que permite la alimentación de dichos hongos (Chaudhry, 2000).

Bacterias

El rumen es un ecosistema complejo, habitado por una población microbiana diversa, densa y competitiva. Dentro de esta población, se han estimado entre 22 y 30 especies bacterianas a las que se les considera predominantes dentro del rumen (Wood y Wilson, 1995).

Las bacterias ruminales se han clasificado dentro de cinco grupos dependiendo de su existencia en el medio ambiente: 1) bacterias que viven libres asociadas a la fase líquida del rumen; 2) bacterias libres asociadas a las partículas de alimento; 3) Bacterias firmemente asociadas a las partículas de alimento; 4) bacterias asociadas al epitelio ruminal y 5) bacterias acopladas a las superficie de protozoarios y esporangios de hongos (Miron, et al., 2001).

Bajo condiciones de alimentación ordinarias, las poblaciones asociadas con las partículas de alimento son numéricamente predominantes y ocupa el 75% de la población microbiana, produciendo la mayoría del ATP dentro del rumen. Así mismo, la población asociada a la partícula de alimento es responsable de la producción de enzimas con actividad endoglucanasa y xilanasas (88 a 91%), actividad amilasa (70%) y actividad proteasa (75%). Se ha reportado un gran número de bacterias ruminales que digieren la celulosa, pero generalmente, tres especies bacterianas, *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus* y *Ruminococcus flavefaciens* son las más activas, tanto *in vivo* como *in vitro*, en la degradación de la celulosa. Estas especies parecen digerir la celulosa solamente cuando se adhieren al sustrato (Shi, et al., 1997).

A pesar de las interrelaciones complejas entre los microorganismos ruminales, se cree que las bacterias juegan el papel principal en la degradación de las paredes celulares vegetales debido a su dominio numérico y a la diversidad metabólica. Sin embargo, aunque en comparación con la de las bacterias y

protozoarios que habitan el rumen, la concentración de hongos es relativamente baja; aunque los hongos poseen un rango amplio de enzimas que son capaces de hidrolizar la mayoría de los polisacáridos estructurales de las paredes celulares de las plantas más efectivamente que las bacterias (Dehority y Tirabasso. 2000, Lee, et al., 2000).

Las contribuciones de las diferentes fracciones microbianas en la degradación general de las paredes celulares vegetales siguen el siguiente orden: 1) fracción de hongos, 2)fracción bacteriana, 3)fracción protozoaria. Esta aseveración pone en evidencia a las opiniones científicas que indican que las bacterias son las principales causantes de la degradación de la pared celular (Coleman, 1986).

Protozoarios

(Onodera, et al., 1998) demostraron que los protozoarios del rumen participan en la digestión de la celulosa dentro del ecosistema de ese órgano mediante la secreción de una enzima endógena: la 1,4- β -glucanasa. Por su parte, (Coleman, 1985, 1986, Newbold, et al., 1989, y Williams y Whitters, 1991) plantean que el 62% de la actividad celulolítica podría llevarse a cabo por la fracción de protozoarios ruminales.

Enzimas microbianas que degradan a las paredes celulares en el rumen

Las propiedades físicas, estructurales y mecánicas de los materiales de las plantas ingeridas son modificadas profundamente por la acción de los microorganismos. Lo anterior, más la masticación y la rumia, resulta en la reducción de estos materiales en partículas pequeñas que son evacuadas del rumen. La modificación de las propiedades físicas de los tejidos de las plantas tiene consecuencias importantes. Dentro de las consecuencias está, que la colonización por los microorganismos a esos tejidos resulta más fácil, ya que se favorece su penetración, lo cual acelera el proceso de degradación enzimática (Fonty, et al., 1999).

Estudios sobre la capacidad de celulasas producidas por bacterias ruminales.

La degradación de la celulosa en el rumen está mediada inicialmente por una asociación de células y enzimas producidas por unas cuantas bacterias celulolíticas predominantes. La tasa y magnitud de la digestión de la fibra en el rumen depende en gran medida del tamaño de la población de esas bacterias celulolíticas (Shi, et al.,1997).

La hidrólisis enzimática de la celulosa cristalina requiere la combinación de actividades de exo y endoglucanasas. Una etapa importante en la hidrólisis es la adhesión de una o más de las enzimas o un complejo de enzimas a la celulosa (Malburg, et al.,1997).

Las celobiohidrolasas degradan la celulosa cristalina y las endoglucanasas hidrolizan la celulosa amorfa y los productos de la degradación son posteriormente degradados por celobiasas y B-glucosidasas. Las enzimas en este proceso son a menudo secretadas en el complejo multienzimático llamado celulosoma, también se ha postulado la existencia de los xilosomas que contiene endoxilanasas y endoglucanasas (McSweeney, et al.,1999).

Estudios sobre la capacidad de celulasas producidas por hongos anaerobios.

Los hongos anaerobios producen enzimas hidrolíticas que rompen la estructura de la hemicelulosa. Esas enzimas incluyen xilanasas, β -xilosidasas, arabinofuridasas, estererasas de ácidos fenólicos y estererasas de acetil xilano (AxeAs, por sus siglas en inglés) (Blum, et al.,1999). Los hongos mono-céntricos y poli-céntricos han demostrado tener actividad de enzima AxeA, por lo que ha planteado la hipótesis de que muchas de esas enzimas ocurren en un complejo multi-enzimático similar al celulosoma de la bacteria *Clostridium thermocellum*. Los celulosomas de los hongos anaerobios parecen contener al menos cuatro tipos diferentes de enzimas, pero no todas las enzimas fibrolíticas parecen ser componentes de los celulosomas (McSweeney, et al.,1999).

Requerimiento de fibra

El forraje proporciona energía y fibra para el mantenimiento de la función ruminal, para mantener los niveles de producción y cantidad de la grasa en la leche, así como para mantener la salud de la vaca (Clark y Armentano, 1999; Mooney y Allen, 1997). El suministro de la fibra de los forrajes en la dieta es un factor importante para la optimización de la producción de leche y el mantenimiento de la función ruminal (Webster, 1995).

La digestión de la fibra puede darse solo por la fermentación microbiana ruminal, siendo su tasa de digestión 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).

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 monosacáridos, oligosacáridos y del almidón tiende a producir más propionato que acetato, pudiendo producir además ácido láctico (Leiva, et al., 2000), 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 carbohidratos solubles ND que afectan el rendimiento animal y la eficiencia alimenticia. El almidón y la fibra soluble ND tienden a predominar en diferentes alimentos usados comúnmente en el ganado. El almidón casi siempre compone a los carbohidratos solubles ND en granos pequeños, de maíz, sorgo y sus ensilajes, así como en los subproductos. En tanto que la fibra soluble ND predomina en los forrajes de leguminosas, cascarilla de soya, pulpa de remolacha y de cítricos (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 fibra detergente neutra (FDN), de la cual al menos el 75% debe ser proporcionada por el forraje. Esas recomendaciones están basadas en estudios realizados donde el principal grano era el maíz (Beauchemin y Rode, 1997).

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, 2000c). Aunque se conoce 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). Existe poca información con respecto a la fuente de fibra o a el potencial para la interacción para la fuente de forraje y la concentración de fibra que está disponible (West, et al., 1998, White, et al., 2001).

El Consejo Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de Norte América (NRC) proporciona sólo recomendaciones mínimas de fibra y no proporciona ajustes para factores tales como la eficacia de la fibra, interacciones con carbohidratos no fibrosos o los atributos de los animales, los cuales pueden afectar el rendimiento óptimo del ganado bovino productor de leche (Nichols, et al., 1998).

Digestión de la fibra

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 debido a 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. Por tal razón, la digestibilidad de la fibra detergente neutro NDF es un parámetro importante en la determinación de la calidad del forraje (Oba y Allen, 2000b).

Si la fibra es insuficiente o si no tiene una textura tosca, puede resultar en un pH ruminal bajo, en una disminución de la eficiencia microbiana o en la disminución de la grasa en la leche (Mooney y Allen, 1997). Las fuentes de fibra con textura tosca también ayudan a mantener un apropiado tono muscular en el tracto digestivo y un pH ruminal >6.0 (Grant, 1997).

Cuando los alimentos son digeridos en el rumen, los microorganismos fermentan y producen ácidos orgánicos, disminuyendo el pH ruminal. Aunque para una máxima producción proteínica microbiana es deseable una mayor fermentación en el rumen, la producción de ácidos por la fermentación necesita estar balanceada con la remoción de los ácidos y la neutralización del pH. Debido a que las vacas secretan más saliva durante la masticación la capacidad amortiguadora de la digesta ruminal está determinada principalmente por el total de la masticación (Oba y Allen, 2000a).

El incremento de la degradación ruminal es deseable para maximizar la producción de proteína microbiana y la energía consumida, pero el incremento en la fermentación de ácidos debe ser compensado por el incremento del contenido de FDN de la dieta o por el incremento de FDN física efectiva para mantener el pH por la estimulación de secreción salival debido a la actividad de masticación (Allen, 1997). 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). El pH ruminal bajo puede disminuir el consumo de materia seca, la digestibilidad de la fibra y la producción microbiana y de esta manera, disminuir la producción láctea incrementando los costos de la alimentación (Allen, 1997). En algunos estudios has encontrado que la digestión

de la celulosa podría ser inhibida cuando el pH ruminal es de <6.0 (Zhu, et al., 1997). Por otra parte la fermentación excesiva de almidón en el rumen pueden deprimir la degradación de la fibra aunque disminuye el pH, pero el almidón puede disminuir la fermentación de la FDN independientemente del pH (Pereira y Armentano., 2000).

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. 1997). Debido a lo anterior, las dietas deberían ser formuladas para mantener un adecuado pH ruminal promedio, y la variación en el pH ruminal debería ser minimizada por el manejo de la alimentación, ya que el pH ruminal es una respuesta variable mas significativa para determinar los requerimientos de vacas en lactación temprana (Allen, 1997).

Fibra y llenado del rumen

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. Además la 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, 2000c).

Efectividad de la fibra

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 fibra efectiva ha sido definida como la que puede estimular la masticación salivación y rumia, por lo tanto, la tasa de pasaje de la digesta, la salivación, la producción de acetato en el rumen, consecuentemente el porcentaje de grasa en la leche y la producción de FCM (Clark y Armentano, 1997; Grant, 1997; Soita, et al., 2000).

La habilidad para prevenir la depresión de la concentración de la grasa en la leche, en relación al ensilaje de alfalfa, se ha utilizado para determinar el contenido de la eFDN de los alimentos. De acuerdo a esta aproximación, la eFDN puede definirse como el contenido de FDN de un alimento multiplicado por un factor de eficacia (ef) (Pereira, et al., 1999).

La eficacia de la fibra para estimular la masticación ha sido denominada eficacia física (pe) debido a que la respuesta de la masticación de la vaca 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 respuesta. Por otra parte, 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 en su capacidad para estimular la masticación, lo cual es evidente cuando se utilizan concentrados altos en fibra para reemplazar a los concentrados (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 (Soita, et al.,2000).

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 cuyo 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). El incremento de FDN física efectiva aumenta la secreción salival que puede ser una alternativa deseable para mantener el pH ruminal, debido a que este incremento podría resultar en mejor fermentación ruminal y producción de mayor proteína microbiana (Allen, 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 (Sanz, et al.,1998). 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 , et al.,1998).

Los requerimientos de fibra para el ganado lechero deberían ser determinados considerando la fibra efectiva y la producción de ácidos para la fermentación (Allen, 1997). Aunque existe la limitante para determinar la eficacia de la fibra, por 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. 1997).

Evaluación de la efectividad de la fibra

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 un 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 de la vaca. La evaluación cuantitativa de la forma física está basada a menudo en el análisis de la distribución del TdeP del alimento obtenido utilizando varios métodos de cernido o cribado (Murphy y Zhu, 1997), por lo que solo las mediciones químicas de la fibra son inadecuadas para el balanceo de dietas para vacas altas productoras, debido a que la fibra varía en su efectividad en la estimulación de la masticación primeramente por las diferencias en el tamaño de partícula (Allen, 1997).

El TdeP 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, procedimientos de almacenaje, etc. (Heinrich, et al.,1999, Yang, et al.,2001), alterando el consumo de materia seca, la rumia y el pH ruminal, efectos

que no pueden ser ignorados cuando se examina la interacción de FFNF y el forraje (Grant, 1997).

Tamaño de partícula de la alfalfa

Los forrajes tienen un TdeP medio el cual es crítico, y arriba del cual se obtiene poco beneficio adicional. 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. disminuyó el tiempo total de masticación (masticación más rumia) en aproximadamente un 16% (Clark y Armentano, 1999).

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 proporciona resultados satisfactorios ya que se compararon tres tamaños para el ensilaje de maíz de planta entera (EMPE) la cual se procesó en los siguientes tamaños: 0.95, 1.45, y 1.90 cm. de largo. De acuerdo con éste experimento se recomienda 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 (Bal, et al.,2000).

Tamaño de partícula del forraje de cebada

Algunos modelos que utilizan la eFDN para formular dietas tienen la limitante de no considerar la fermentación de la fracción de carbohidratos no fibrosos y sus posibles efectos en el pH ruminal. Por lo tanto, esos modelos implícitamente asumen que la digestión ruminal de las dietas no tienen efectos sobre la predicción del pH del rumen, lo cual puede ser incorrecto. Por ejemplo, el pH del rumen es más bajo para las vacas alimentadas con cebada que con maíz, aún cuando consumen la misma proporción de eFDN, lo anterior es debido a una más rápida y extensiva digestión ruminal de la cebada (Clark y Armentano. 1997).

Tamaño de partícula y gravedad específica de los alimentos

La gravedad específica funcional de la partícula y el tamaño de la partícula intimamente ligados, determinan la salida de las partículas del alimento del rumen (Bernard, 1997). La gravedad específica del TdeP está relacionada a la tasa de pasaje de las partículas ruminales. Dentro del rango de la densidad de la partícula normalmente encontrada en el rumen, se ha observado 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, 1997).

Debido a tamaño de partícula pequeño y la alta gravedad específica, la tasa de pasaje ruminal incrementada, puede ser responsable para una baja digestibilidad ruminal de la FDN de FFNF en dietas con cantidades altas (Grant, 1997).

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 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).

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 en condiciones de falta de forraje o de su precio elevado (Firkins, 1997).

Generalmente estas fuentes 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).

Las FFNF tienen menos FDN no digestible comparada con los forrajes (Pereira y Armentano., 2000), debido a un bajo contenido de lignina y una gran proporción de fibra potencialmente digestible, por lo que muchas FFNF tienen el potencial para reemplazar el forraje (Grant, 1997).

La eficacia de la fibra de las FFNF generalmente se miden comparando la respuesta con relación al ensilaje de alfalfa, sin embargo, otros forrajes considerados como estándares no han sido utilizados en estos estudios y los forrajes que se han empleado no siempre están bien caracterizados (Mooney y Allen, 1997).

Propiedades de efectividad de la fibra de las FFNF

La fibra de los subproductos tienen propiedades físicas y químicas diferentes de la FDN de los forrajes.(Clark y Armentano. 1997), además, la FDN de muchas FFNF no estimula la masticación tan efectivamente como la FDN forrajera con la notable excepción de la semilla de algodón entera (Pereira y Armentano., 2000), que presenta una considerable habilidad para estimular la rumia mientras a otros presentan poco o ningún efecto sobre el tiempo de rumia (Clark y Armentano. 1997).

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 el que se les relaciona para reemplazar almidones y azúcares con otros polisacáridos (Clark y Armentano, 1997).

En comparación de la FDN del heno de alfalfa, la FDN en las fuentes de fibra no forrajera es aproximadamente la mitad de efectiva para elevar el contenido de grasa en la leche (Pereira, et al., 1999). Sin embargo, la FDN de la mayoría de las FFNF no estimula la masticación tan efectivamente como la de los forrajes para alcanzar los mismos incrementos en la grasa de la leche (Pereira y Armentano, 2000) . La disminución de actividad de la masticación cuando las FFNF reemplaza al forraje puede disminuir el flujo de saliva amortiguadora al rumen, disminuyendo el pH y la degradación de FDN (Pereira y Armentano, 2000).

Cuando niveles altos de FFNF reemplazan al forraje, la concentración de forraje es baja. Consecuentemente el tamaño de partícula del forraje deben de ser suficiente para estimular la rumia y evitar la reducción de pH y atrapar las partículas pequeñas consumidas (Grant, 1997).

Debido a su capacidad para mantener el porcentaje de grasa, para otros investigadores, las FFNF sólo tienen la mitad de la efectividad de FDN contenida en el ensilaje de alfalfa. Cuyo la fibra detergente neutro efectiva de un forraje es reemplazada por las FFNF 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 debido al incremento de los efectos negativos asociados (Slater, et al.,2000), debido a que la disminución de la masticación decrece, reduciendo también el flujo salival al rumen, disminuyendo así el pH ruminal y la degradación de la FDN (Pereira y Armentano, 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 que tienen una densidad elevada (Clark y Armentano. 1997). A medida que la FDN de las FFNF reemplaza 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 fuentes de fibra no forrajera (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 (Grant, 1997).

Las raciones que contienen altas cantidades de FFNF poseen fibra que se fermenta y pasa rápidamente al rumen, por lo que posiblemente se requiere incrementar la concentración de FDN, debido a que menos fibra es retenida en el rumen para estimular la rumia y la secreción salival (Grant, 1997).

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

Administración de FFNF a través de la lactancia

Se han realizado algunos estudios para determinar la cantidad de inclusión de las FFNF durante la lactancia. Al inicio de la lactancia las vacas 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 del 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 bovino 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 cuyo éstos son muy caros (Clark y Armentano, 1997).

Las evidencias 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 y Allen (1997) realizaron un estudio para determinar la ef 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 125% cuando se compara 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.

Granos secos de cervecería

Los granos de cervecería (GC) estimulan la masticación más de lo que los granos de cereales, pero cuyo 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 se refiere principalmente a 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. 1997). 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).

Alimento de gluten de maíz seco

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

No se han evaluado los efectos de reemplazar fibra del forraje con cascarilla de soya y semilla de algodón al inicio de la lactancia en vacas, por lo que se necesita

investigar para medir 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 a 0.4 cm. Además la alta tasa de pasaje de la cascarilla de soya limita la digestibilidad de la fibra mas que el pH ruminal y su efecto potencial en la tasa de digestión (Grant, 1997). Sin embargo, otros estudios indican que la digestibilidad de la FDN en el tracto aumenta cuando la FDN de la cascarilla de soya se adiciona a la dieta reemplazando al forraje o concentrado. Sin embargo, la FDN de FFNF de cereales parece ser menos digestible que la FDN de la cascarilla de soya (Pereira y Armentano., 2000).

Salvado de maíz

Boddugari, 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 entre los forrajes y las fuentes de fibra no forrajera.

Las fuentes de fibra no forrajera no estimulan la actividad de rumia con la efectividad del forraje dietético debido a su TdeP pequeño. Debido a esto es importante considerar el contenido de FDN efectiva de esas fuentes (Allen y Grant, 2000). Sin embargo se reconoce que en la respuesta de 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 fuentes de fibra no forrajera que son de TdeP pequeña (Grant, 1997).

La forma física del alimento aunque el pH ruminal bajo disminuye la digestión de la fibra, los efectos de un pH bajo sobre algunas variables específicas (tasa y grado de digestibilidad de la FDN) de la cinética de la digestión varían entre estudios. La tasa de dilución del almidón no necesariamente incrementa 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. Estas recomendaciones no proporcionan ajustes relacionados con la eficacia física de la fibra, ya que cuyo se utilizan fuentes de fibra no forrajera con forrajes, se presentan interacciones que tienen influencia sobre el diseño de la ración (Clark y Armentano. 1997, Zhu, et al., 1997). Por otra parte, aunque la FDN dietética del forraje puede ser reducida a $\leq 60\%$ el cual es por debajo del 75% que recomienda el NRC todavía provee suficiente fibra efectiva para la producción de FCM que es similar o superior a las dietas altas en el forraje (Grant., 1997).

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 disminuyan los niveles máximos de carbohidratos no fibrosos) a medida que los contenidos de forrajes toscos descienden (Pereira, et al., 1999). Además, 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).

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO

INSTALACIONES

Este 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 periodo experimental fue del 2 de septiembre al 25 de noviembre del 2003.

Procedimiento experimental

Análisis de alimento

Todos los ingredientes, así como las raciones utilizadas en las 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 (Van Soest, et al., 1991). Para todas las muestras se agregó sulfito de sodio (0.5 g por muestra) y 1205 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 estos 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 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 bloques 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			
	DC	DBFNF	DAFNF	DAFA
Alfalfa	0.27	0.27	0.27	0.73
Ensilaje	0.15	0.15	0.15	0.17
Semilla 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
Harina. Soya	0.2	0.11	0.12	0
Soya tostada	0	0.08	0	0.15
Carbonato de Calcio	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 el 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

Consumo de alimento

Las cabras fueron alimentadas dos veces por día, (10:00 y las 19:00 h), en cada servida se suministró aproximadamente el 50% de la ración.

Muestreo del contenido ruminal

Determinación del pH del rumen

En cada una de las 16 cabras se tomó una muestra de 50 ml de fluido ruminal a través de una sonda ruminal (Bava, 2001), para ello se utilizaron tubos cónicos graduados con tapón (Blue Max 2073) de la marca Falcon. A estas muestras se le extrajeron 10 ml para determinar el pH, el que se cuantificó utilizando un potenciómetro Check Mite (pH-15) de la marca Corning (no. catálogo 475661) (Garrett, et al., 1999, Dehority y Tirabasso 1998, Weimer, 1999). La determinación del pH se realizó a la hora - uno del inicio de la alimentación diaria y a las 4, 7, 10,

13, 17 y 20 h. post ingesta. Los muestreos con la sonda para determinar el pH se realizaron a los días 1, 15, 30, 45 y 60 del período de evaluación.

Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados utilizando un diseño experimental en bloques al azar SAS (SAS, 1985). El modelo matemático empleado fue el siguiente:

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

Donde :

y_{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

τ_j = al efecto del j 'ésimo tratamiento

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

RESULTADOS

Este experimento se llevó a cabo para determinar el efecto de la inclusión de la FFNF sobre el pH del fluido ruminal en cabras de aproximadamente 7 meses de edad. Los resultados (Cuadro 3) mostraron efecto de tratamiento ($P < 0.001$), día de muestreo ($P < 0.001$) y hora de muestreo ($P < 0.001$) sobre el pH del fluido ruminal. Sin embargo, no se encontraron interacciones ($P > 0.05$) entre los tratamientos y el día de muestreo, ni entre los tratamientos y la hora de muestreo sobre el pH del fluido ruminal.

En el Cuadro 3 se muestran los datos encontrados con el pH del fluido ruminal, en lo que se aprecia una diferencia ($P > 0.05$) entre la DC y DAFA (6.13 y 6.33) respectivamente. Por otra parte no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) entre la DC y DBFNF (6.13 vs 6.19). Al comparar los resultados de los tratamientos DC y DAFNF, se observó que si hubo diferencia. Por otro lado, entre los tratamientos que contiene FNF y DAFA (6.19, 6.26 y 6.33) respectivamente si se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$) y a su vez entre DBFNF y DAFNF (6.19 y 6.26).

El valor de pH más alto se encontró en DAFA con 6.33, en tanto que el dato más bajo (6.13) se obtuvo en la DC.

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 ($n=4$).

Tratamientos					
Variable	DC	DBFNF	DAFNF	DAFA	EE
pH	6.13 ^a	6.19 ^a	6.26 ^b	6.33 ^c	.02

^{a, b, c} = Literales diferentes ($P < 0.05$)

DISCUSIÓN

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 pH del fluido ruminal.

Zhu, et al (1997) encontraron que la administración de FFNF aportaron la fibra necesaria para mantener la función normal del rumen cuando el forraje contribuyó el 55% de la FDN total y las FFNF aportó el 31% aunque sus resultados del pH ruminal fueron menores a los encontrados en este trabajo. El pH ruminal fue más bajo para las vacas alimentadas con dietas que tenían salvado de trigo y granos de destilería.

Al-Suwaiegh et al (2002) estudiaron el efecto de administrar dos granos de destilería (secos y húmedos) de maíz y sorgo sobre el pH ruminal de vacas lactantes. Además las dietas tenían el 25% de la MS de ensilaje de maíz y heno de alfalfa. La inclusión de las FFNF en un 15% de la MS no demostró diferencias entre tratamientos y el pH ruminal en todas las dietas siempre estuvo por encima de 6.0, lo cual es similar a los resultados de este experimento.

Allen y Grant (2000) determinaron el contenido de FDN efectiva del salvado de gluten de maíz húmedo (SGMH) y midieron el efecto del tamaño de partícula sobre la consistencia de la maraña fibrosa ruminal y la tasa de pasaje de este subproducto. Las dietas incluyeron FDN de forraje en bajas (LF) y altas (HF) cantidades, además una dieta con FDN del SGMH y otra de una mezcla de FDN del salvado más forraje (23%, 32%, 32%, 32% de FDN total, respectivamente). El pH fue mayor para las dietas con mayor cantidad de forraje (6.36), seguida (al igual que este trabajo) de la que incluyó a las FFNF con heno. Los valores de pH para las dietas LF HF y de SGMH resultaron en un factor calculado de eficacia de aproximadamente 13% para la FDN del SGMH. Estos autores sugieren el uso del pH ruminal como una estimación exacta de las características físicas y químicas de las FFNF.

Moore et al (2002) encontraron que el pH ruminal fue más bajo para las cabras alimentadas con subproductos no forrajeros en relación al grupo control,

que se baso en heno de alfalfa. Sin embargo , el pH ruminal medido dos horas post alimentación, se mantuvo siempre arriba de 6.0 (salvado 6.23, cascarilla de solla 6.41, y GSMH feed 6.35).

Nuestros resultados coinciden con los encontrados por Pereira y Armentano (2000) que formularon dietas que contenían poca FDN (12.6% FDN del forraje; 18.8% de FDN total), agregando FDN proporcionada por forraje o por FFNF . El pH del fluido ruminal tendió a ser menor en las dietas bajas en forraje y que incluían FFNF, que en las dietas altas en FDN de alfalfa (6.02, 6.07, 6.06 vs 6.19 respectivamente). Según estos autores, la alimentación con FFNF, de rápido pasaje en el rumen, pueden bajar las concentraciones de AGV e incrementar el pH ruminal. Por ello concluyen que las FFNF no son un recurso de fibra altamente digestible en rumen, al menos cuando se incluyeron en dietas que contengan pocos niveles de forraje.

Por otra parte Younker, 1998, evaluó el efecto del reemplazo de la FDN del forraje o la dilución de los carbohidratos no estructurales en las dietas de vacas lactantes. Para ello utilizo dos dietas control con alta y baja cantidad de forraje y tres dietas en las que el grano seco de destilería reemplazo a una proporción del forraje , otra reemplazo al concentrado y la ultima reemplazo a ambos. Los resultados no demostraron ninguna diferencia en el pH ruminal, además ningún resultado de este parámetro fue superior a 6.0. estos autores concluyen que los granos secos de destilería pueden reemplazar exitosamente a una porción de la FDN del forraje.

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

LITERATURA CITADA

- 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.
- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, and T. J. Klopfenstein. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci* 80:1105–1111.
- 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* 83:322-31.
- Armentano, L., and M. Pereira. 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *J Dairy Sci* 80:1416-25.
- Bal, M. A., R. D. Shaver, and A. G. Jirovec. 2000. Crop Processing and Chop Length of Corn Silage: Effects on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. *J Dairy Sci* 83:1264-1273.
- Bava, L., L. Rapetti, G. M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, and G. Succi. 2001. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *J Dairy Sci* 84:2450-9.
- 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.
- Bernalier, A., G. Fonty, and P. Gouet. 1991. Cellulose degradation by two rumen anaerobic fungi in monoculture or in coculture with rumen bacteria. *Anim Feed Sci Technol* 32:131-136.
- Bernard, L., and M. C. Calhoun. 1997. Response of Lactating Dairy Cows to Mechanically Processed Whole cottonseed. *J Dairy Sci* 80:2062-2068.
- Besle, J. M., A. Cornu, and J. P. Jouany. 1994. Roles of structural phenylpropanoids in forage cell wall digestion. *J Sci Food Agr* 64:171-190.
- Blum, D. L., X.-L. Li, H. Chen, and L. G. Ljungahl. 1999. Characterization of an Acetyl Esterase from the Anaerobic Fungus *Orpinomyces* sp. Strain PC-2. *Appl Environ Microbiol* 65:3990-3995.

- Boddugari, K., R. J. Grant, R. A. Stock, and M. Lewis. 2001. Maximal replacement of Forage and Concentrate with a New Wet Corn Milling Product for Lactating Dairy Cows. *J Dairy Sci* 84:873-884.
- Breznak, J. A., and B. A. 1994. Role of microorganisms in the digestion of lignocellulose by termites. *Annu Rev Entomol* 39:453-487.
- Chaudhry, A. S. 2000. Microscopic Studies of Structure and Ruminal Fungal Colonization in Sheep of Wheat Straw Treated with Different Alkalis. *Anaerobe* 6:155-161.
- Chen, J., S. L. Fales, G. A. Varga, and D. J. Royse. 1996. Biodegradability of free monomeric and cell-wall-bound phenolic acids in maize stover by two strains of white-rot fungi. *J Sci Food Agric* 71:145-150.
- Clark, P. W., and L. Armentano. 1997. 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. 1999. Influence of particle size on the effectiveness on the fiber in corn silage. *J Dairy Sci.* 82:521-588.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1997. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. *J Dairy Sci.* 80:675-680.
- Coleman, G. S. 1985. The cellulase content of 15 species of entoniomorphid protozoa, mixed bacteria and plant debris isolated from ovine rumen. *J Agric Sci Camb* 104.
- Coleman, G. S. 1986. The distribution of carboxymethylcellulase between fractions from rumen of sheep containing no protozoa or one of five different protozoal populations. *J Agric Sci Camb* 106:121-127.
- 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. *Repord Nutr Dev* 34:385-398.
- Dehority, B. A., and P. A. Tirabasso. 2000. Antibiosis between ruminal bacteria and ruminal fungi. *Appl Environ Microb.* 66:2921-2927.
- 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.

- 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* 80:1426-37.
- Fondevila, M., and B. A. Dehodority. 1996. Interactions between *Fibrobacter succinogenes*, *Prevotella ruminicola*, and *Ruminococcus flavefaciens* in the digestion of cellulose from forages. *J Anim Sci* 74:678-684.
- Fonty, G., M. Chavarot, J. Lepetit, J. Canistro, and R. Favier. 1999. Mechanical Resistance of Wheat Straw After Incubation in Cultures of Ruminant Cellulolytic Microorganisms. *Anim Feed Sci Tech* 80:297-307.
- Fonty, G., and K. N. Joblin. 1991. Rumen Anaerobic Fungi: Their Role and Interactions with Other Rumen Microorganisms in Relation to Fiber Digestion., p. 655-680. *In* Y. S. a. R. K. e. *In* T. Tsuda (ed.), *Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants*. Academic Press, New York.
- 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.
- Ho, Y. W., N. Abdullah, and S. Jalaludin. 1994. *Orpinomyces intercalaris*, a new species of polycentric anaerobic rumen fungus from cattle. *Mycotaxon* 50:139-150.
- 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., T. Vares, M. Kalsi, S. Galkin, K. Scheibner, W. Fritsche, and A. Hatakka. 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 *Nematoloma frowardii*. *Appl Environ Microbiol* 65:1864-1870.
- Jung, H. G. 1983. Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: A review. *J Anim Sci* 57:206-219.

- 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., H. Kudo, T. Kondo, K. Jodai, Y. Honda, M. Kuwahara, and T. Watanabe. 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 (Butyrivibriocin 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.
- Karunanandaa, K., and G. A. Varga. 1996. Colonization of crop residues by white-rot fungi: cell wall monosaccharides, phenolic acids, ruminal fermentation characteristics and digestibility of cell wall fiber components in vitro. *Anim Feed Sci Tech* 63:273-288.
- Kondo, T., T. Watanabe, T. Oshita, and T. Kyuma. 1998. Physico-Chemical Characteristics of Soluble Lignin Fractions Released from Forage Grasses by Ruminant Digestion. *JARQ* 32:187-195.
- 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. Van Horn. 2000. Performance of dairy cattle fed citrus pulp of corn products as sources of neutral detergent-solubles carbohydrates. *J Dairy Sci* 83:2866-2875.
- Malburg, S. C., L. M. Malburg, T. Liu, A. H. Iyo, and C. W. Forsberg. 1997. Calaytic Properties of the Cellulose-Binding Endoglucanase F from *Fibrobacter succinogenes* S85. *Appl Environ Microbiol* 63:2449-2453.
- 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.

- McCrabb, G. J., K. T. Berger, T. Magner, C. May, and R. A. Hunter. 1997. Inhibiting methane production in Brahman cattle by dietary supplementation with a novel compound and the effects on growth. *Aust J Agric Res* 48:323-329.
- McDougall, G. J. 1993. Phenolic cross-links in growth and development of plants., p. 129-136. *In* A. Scalbert (ed.), *Polyphenolic Phenomena*. INRA Editions, Paris.
- McSweeney, C. S., B. P. Dalrymple, K. S. Gobius, P. M. Kennedy, D. O. Krause, R. I. Mackie, and G. P. Xue. 1999. The Application of Rumen Biotechnology to Improve the Nutritive Value of Fibrous Feedstuffs: pre- and post-ingestion. *Livestock Prod Sci* 59.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci* 80:1463-81.
- Miron, J., D. Ben-Ghedalia, and M. Morrison. 2001. Invited review: Adhesion mechanisms of rumen cellulolytic bacteria. *J Dairy Sci* 84:1294-1309.
- 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.
- 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.
- 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.
- Newbold, C. J., P. W. Griffin, and R. J. Wallace. 1989. Interactions between rumen bacteria and ciliate protozoa in their attachment to barley straw. *Lett Appl Microbiol* 8:63-66.
- 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* 81:2383-93.
- Jogueira, 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.

- 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. 2000c. 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* 83:1333-41.
- 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: 2. Chewing activities. *J Dairy Sci* 83:1342-9.
- Oba, M., and M. S. Allen. 2000b. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 3. Digestibility and microbial efficiency. *J Dairy Sci* 83:1350-8.
- Onodera, R. K., K. Murakami, and K. Ogawa. 1988. Effect of inhibition by ciliate protozoa on the digestion of fibrous materials in vivo in the rumen of goats and in an rumen microbial ecosystem. *Agric Biol Chem* 52:2635-2637.
- Orpin, C. G. 1994. Anaerobic fungi: taxonomy, biology and distribution in nature, p. 1-46. *In* D. O. Mountfort and C. G. Orpin (ed.) (ed.), *Anaerobic fungi*. Marcel Dekker, Inc., New York, N. Y.
- Orpin, C. G., and K. N. Joblin. 1997. The rumen anaerobic fungi., p. 140-195. *In* P. 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* 83:2876-87.
- Pereira, M. N., E. F. Garrett, and G. R. Oetzel. 1999. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and health. *J. Dairy Sci.* 82:2716-2730.
- Phillips, M. W., and G. L. R. Gordon. 1995. Carbohydrate fermentation by three species of polycentric ruminal fungi from cattle and water buffalo in tropical Australia. *Anaerobe* 1:41-47.

- 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.
- Rosazza, J. P. N., Z. Huang, L. Dostal, T. Volm, and B. Rousseau. 1995. Review: Biocatalytic transformations of ferulic acid: an abundant aromatic natural product. *J Industr Microbiol*:457-471.
- 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.
- Schwab, E. C., R. D. Shaver, K. J. Shinnors, J. G. Lauer, and J. G. Coors. 2002. Processing and chop length effects in Brown-Midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci* 85:613-623.
- Sewalt, V. J. H., W. G. Glasser, J. P. Fontenot, and V. G. Allen. 1996. Lignin impact on fibre degradation: 1--quinone methide intermediates formed from lignin during In Vitro fermentation of corn stover. *J Sci Food Agr* 71:195-203.
- 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. 1997a. 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. Biding. 2000. Effects of starch sources and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J Dairy Sci* 83:313-21.
- 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* 83:2295-300.
- 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* 80:1339-52.
- 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.
- 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.
- Tomme, P., R. A. J. Warren, and N. R. D. Gilkes. 1995. Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi. *Adv Microb Physiol*. 37:1-82.
- Trinci, A. P. J. 1995. Pure and applied mycology. *Can J Bot* 73:S1-S14.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci*. 74:3583-3597.
- Varga, G. A., and E. S. Kolver. 1997. Microbial and Animal limitations to Fiber Digestion and Utilization. *J Nutr* 127:819S-823S.
- 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* 84:204-12.
- Webster, J. 1995. A Century of British mycology. *Mycol Res* 100:1-15.
- West, J. W., P. Mandevu, 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* 81:1599-607.
- White, S. L., J. A. Bertrand, M. R. Wade, S. P. Washburn, J. Green, J.T., and T. C. Jenkins. 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.

- Wood, T. M., and C. A. Wilson. 1995. Studies on the capacity of the cellulose of anaerobic fungus *Pirromonas communis* P to degradate hydrogen bond-ordered cellulose. *Appl Microbiol Biot* 43:572-578.
- Wubah, D. A., and D. S. H. Kim. 1996. Chemoattraction of anaerobic ruminal fungi zoospores to selected phenolic acids. *Microbiol. Res.* 151:257-262.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2001a. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *J Dairy Sci* 84:2203-16.
- 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* 81:2645-56.
- 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* 80:2901-6.