

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**TITULO**

**CRECIMIENTO DE RUMINOCOCCUS ALBUS EN  
CABRAS ALIMENTADAS CON FIBRA FORRAJERA Y NO  
FORRAJERA.**

**POR:**

**CRISTIAN BARBERI ALMAZÁN**

**TESIS**

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

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**TORREON COAHUILA, MÉXICO**

**JUNIO 2005**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**TITULO**

**CRECIMIENTO DE RUMINOCOCCUS ALBUS EN  
CABRAS ALIMENTADAS CON FIBRA FORRAJERA Y NO  
FORRAJERA.**

**TESIS POR:**

**CRISTIAN BARBERI ALMAZÁN**

**ASESOR PRINCIPAL: PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO**

**TORREON, COAHUILA, MÉXICO**

**JUNIO 2005**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



CRECIMIENTO DE RUMINOCOCCUS ALBUS EN  
CABRAS ALIMENTADAS CON FIBRA FORRAJERA Y NO  
FORRAJERA.

TESIS POR:

CRISTIAN BARBERI ALMAZÁN

APROBADA POR:

M.C PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO  
PRESIDENTE DEL JURADO

M.V.Z ERNESTO MARTINEZ ARANDA  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



la División  
Regional de Ciencia Animal  
UAAAN - UL

TORREON □ NIVERSI, MÉXICO

JUNIO 2005

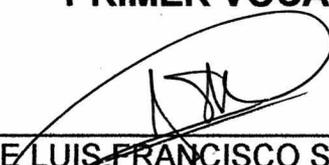
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

**PRESIDENTE DEL JURADO**

  
\_\_\_\_\_  
MC. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

**PRIMER VOCAL**

  
\_\_\_\_\_  
M.S.P. JOSE LUIS FRANCISCO SANDOVAL ELIAS

**SEGUNDO VOCAL**

  
\_\_\_\_\_  
DR. JESÚS VÁZQUEZ ARROYO

**VOCAL SUPLENTE**

  
\_\_\_\_\_  
MC. GERARDO ARELLANO RODRÍGUEZ

**TORREÓN, COAHUILA**

**JUNIO 2005**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

**Por iluminar el camino del saber, dándome luz en todos los momentos mas difíciles de mi vida, y ha sido manantial inagotable de fé y esperanza y por haberme brindado la oportunidad de terminar mi carrera de M.V.Z. bajo condiciones muy difíciles pero no imposibles**

**A la U.A.A.AN – UL por haberme dado techo y comida en el transcurso de mi carrera y por formar parte de mi formación día con día.**

**AL C.B.ta # 8 de Xoxocotla Morelos, por ser el primer escalón en mi formación profesional; le doy gracias al M.V.Z. Moisés Hernández y al M.V.Z. Humberto Ramírez Vellorín.**

**A mi asesor el MC. Pedro A. Robles Trillo, por haberme aguantado por mucho tiempo y por dedicar tanto tiempo en mi formación; le agradezco que aparte de ser mi asesor sea un amigo incondicional, le doy gracias porque siempre que necesite de un consejo, estuvo conmigo en esos momentos tan difíciles; gracias por abrirme las puertas de su hogar.**

**A mi amigo incondicional Israel Martínez por ser una persona tan humilde como yo y demostrarme ser más que un amigo: “Gracias Carnal”.**

**A la familia Castañeda por ser mi segunda familia aquí en la laguna; a la Profa. Mónica Castañeda, Esperanza, al Ing. Luis y a la Sra. María Eugenia.**

**Al M.V.Z. Francisco Campiz por sus regaños para ser un Médico Veterinario mas capacitado y por dedicar su valioso tiempo en enseñarme de la vida profesional. Gracias por demostrarme ser un gran amigo... “Gracias Perro”.**

**Al I.Z. Jorge Horacio Borunda Ramos, por sus consejos y su apoyo moral en muchos momentos difíciles y por demostrarme ser una persona muy derecha, con un corazón muy grande como hay pocas en la Narro. “Gracias Inge”.**

**“MUCHAS GRACIAS A TODOS”**

## **DEDICATORIA**

**A mis padres:**

**al Sr. Mario Barberi Escobar y Bertha Inocente Almazán Solórzano por haber tenido la confianza suficiente en mi y haberme dejado salir de mi tierra con el sueño de tantos muchachos, de ser un profesionista y enseñarme buenos principios, sobre todo a ser un hombre de trabajo, no importándoles quitarse el pan de su boca para mandármelo pero su esfuerzo no fue en vano “gracias mis viejos”.**

**A mis hermanos:**

**Rosendo y Liliana, por sentirlos tan cerca estando tan lejos gracias carnales por sus consejos; no les fallé.**

**A mi esposa.**

**Mayra Berenice Solís Castro por estar conmigo en momentos muy difíciles cuando parece que se nubla pero con palabras de aliento y apoyo todo se despeja y se puede salir adelante “gracias mi flaca hermosa”.**

**A mi hermoso hijo**

**Mario Barberi Solís por ser la motivación para la terminación de este trabajo**

**A mis abuelos:**

**Rosendo Barberi (+), Zenaida Escobar (+), Andrés Almazán y Nestora Solórzano (+), por ser el pilar principal de la hermosa familia que me heredaron y por sus consejos para guiarme en el camino del bien. “gracias”.**

**A mis tíos y primos:**

**Que gracias a Dios los puso en mi camino formando parte importante en mi vida, no me canso de darles las gracias por su apoyo moral y consejos en todo momento ya que cuando necesitaba una palabra de aliento siempre estuvieron ahí.**

**A mis amigos:**

**Aidé Contreras, Rigoberto Cruz, Gabriel Cortes Palacios, Jaime Rendón Villamil, Juvencio salvador García Barreto, Jared Iván Castillo Olivera y Gustavo García Villa por aguantar mi carácter y estar conmigo en las buenas y en las malas.**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>ii</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
CARBOHIDRATOS .....	3
EFECTIVIDAD DE LA FIBRA .....	5
DIGESTION DE LA FIBRA .....	8
FIBRA Y LLENADO DEL RUMEN .....	10
DEGRADACIÓN DE LA PARED CELULAR POR MICROORGANISMOS RUMINALES. ....	11
INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULA SOBRE LA EFICACIA DE LA FIBRA ...	13
COMBINACIÓN DE FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA.....	21
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO .....	23
1.1 INSTALACIONES .....	23
2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	23
2.1 ANÁLISIS DE ALIMENTO.....	23
2.2 ANIMALES .....	23
2.2.1 CONSUMO DE ALIMENTO .....	25
2.3.-MUESTREO DEL CONTENIDO RUMINAL.....	25
2.4.- DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DE RUMINOCOCCUS ALBUS.....	25
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>30</b>

## **Resumen**

Se usaron cuatro machos caprinos castrados y canulados ruminalmente en un diseño cuadrado latino 4 x 4 para determinar el efecto del reemplazo de la fibra detergente neutro (FDN) de la alfalfa con FDN de una combinación de fibra no forrajera (FFNF) sobre el crecimiento de la bacteria celulolítica *Ruminococcus albus*. Se establecieron períodos de 13 días de adaptación y 3 días de toma de muestra. Las cuatro dietas fueron: dieta control (DC) baja en forraje y fibra [(1.51 g de FDN del ensilaje de maíz y 2.06 g de FDN de heno de alfalfa (HA) /100 g de materia seca (MS)], una dieta normal en forraje ó DAFA (DC más 5.33 g adicionales de FDN de HA) y dos DC más, ya sea 2.86 ó 6.74 g por 100/ g de FDN de FFNF (BFNF y AFNF, respectivamente). Los machos fueron alimentados dos veces por día, con un horario de alimentación de 8:00 y 18:00 horas. La toma de muestra de fluido ruminal para el cultivo de *R. albus* se realizó a la hora de la primera servida diaria (0), a las 6 y a las 18 horas postalimentación inicial. Se observaron diferencias significativas en la media de cuadrados mínimos de unidades formadoras de colonia (UFC) de *Ruminococcus albus*. La DC fue la que menor cantidad de UFC permitió (9.17), en tanto que la DAFA permitió la cantidad mayor de UFC. La cantidad de UFC en las raciones que incluyeron FFNF no fueron diferentes a la DC pero si a la DAFA. En conclusión, la inclusión de las FFNF permitió un crecimiento de UFC de *R. albus* similar a la DC, sin embargo, fue inferior a la DAFA.

**Abreviaturas: clave:** FDN = fibra neutro detergente, FFNF = fuentes de fibra no forrajera, CMS= consumo de materia seca, GPV= ganancia de peso vivo CA= conversión alimenticia, DC= dieta baja en forraje, BFNF dieta baja en fibra no forrajera, AFNF= dieta alta en alfalfa, DAFA= dieta normal en alfalfa

**Palabras clave:** FDN, cabras, fibra no forrajera, cabras, rendimiento

## INTRODUCCION.

Los carbohidratos se clasifican en dos grupos: no estructurales y estructurales. Estos últimos consisten de elementos encontrados en la pared de las células y los no estructurales se localizan en el interior de las células de las plantas y son normalmente mas digeribles que los otros (Ishler y Varga, 2000).

Son la mayor fuente de energía para los microorganismos del rumen y son los mayores componentes en la dieta que proporcionan del 60 a 70% manteniendo el soporte y la producción de leche, además influyen en la producción Láctea como precursores para la lactosa, grasa y proteína (Ishler y Varga, 2000).

La degradación de carbohidratos estructurales se puede realizar en medios aerobios y anaerobios; un ejemplo de este último es la comunidad microbiana ruminal compleja que incluye a *R. albus*, *S. ruminatum*, *S. Bovis*, protozoarios ciliados y hongos, los cuales trabajan en forma conjunta para degradar y fermentar las paredes celulares vegetales a compuestos asimilables ( AGV y proteínas microbiana) para el animal, por lo cual es necesaria la manipulación de la flora ruminal para lograr una mejoría en la utilización de los forrajes y por lo tanto elevar la producción de los animales alimentados con estos materiales (Kalmokoff y Teather, 1997a).

En muchas regiones los forrajes no son un recurso barato para alimentar al ganado y las fuentes de fibra no forrajera (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, 1997a). Algunos son subproductos de plantas, producidos por la extracción del almidón, azúcares u otros constituyentes no fibrosos de gran valor (Pereira et al., 1999).

El rumiante requiere una cantidad de fibra, dietética efectiva para un consumo optimo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud (Grant, 1997b). La fibra efectiva ha sido definida como la que puede estimular la masticación, salivación, rumia y fermentación.

Bava et al. (2001a) administraron semilla de algodón en la ración de cabras en lactación, ellos encontraron que su inclusión a través de la lactancia, no tuvo

efectos nocivos en su salud ni en el rendimiento productivo. En otro trabajo Moore et al. (2002a) se estudio el efecto del reemplazo de la FDN de forrajes con subproductos (cascarilla de soya, salvadillo de gluten de maíz y salvadillo de trigo) en las dietas de cabras en crecimiento, los resultados de esos experimentos demostraron que la inclusión de esos recursos alimenticios no provocaba una disminución de pH por debajo de 6 y que esos alimentos pueden ser una opción viable para las dietas de las cabras.

Bowman y Firkins (1993) utilizaron la medición de la carboximetilcelulasa para medir la actividad de colonización de las bacterias asociadas a las partículas de alimento, encontrando un efecto de la especie forrajera y el tamaño de partícula sobre el tiempo de colonización bacteriana. Se ha determinado el efecto del tipo de forraje sobre las poblaciones microbianas celulolíticas del rumen, mostrando que el tamaño relativo de la población de *Ruminococcus albus* fue mayor que *Ruminococcus flavefaciens* y *Fibrobacter succinogenes*, aunque hubo dificultad para demostrar los efectos de la dieta sobre las poblaciones de esas bacterias, debido a alta variabilidad del método de la sonda de RNA que se utilizo en ese experimento (Weimer et al., 1999). Estos trabajos sugieren que el tipo de sustrato puede tener un efecto sobre el fenómeno de colonización microbiana, sin embargo han sido pocos los trabajos que han estudiado este fenómeno cuando la FDN de los forrajes se reemplaza con FFNF (Fron et al., 1996). Por otra parte, se ha demostrado sinergismo para mejorar las habilidades digestivas de las bacterias celulolíticas cuando esas bacterias crecen juntas en diferentes sustratos (Odenyo et al., 1994b), por lo que se plantea la hipótesis, que a pesar de las diferencias entre los sustratos de las FFNF y la alfalfa, la combinación de subproductos no afecta el crecimiento de la bacteria celulolítica *R. Albus* en el rumen.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución de la FDN de la alfalfa con la FDN de una combinación de fuentes de fibra no forrajera sobre el crecimiento de la bacteria *Ruminococcus. albus* en caprinos canulados ruminalmente.

## **Revisión de literatura**

### **CARBOHIDRATOS**

Los carbohidratos se clasifican en dos grupos: no estructurales y estructurales. Estos últimos consisten de elementos encontrados en la pared de las células y los no estructurales se localizan en el interior de las células de las plantas y son normalmente mas digeribles que los otros (Ishler y Varga, 2000). Son la mayor fuente de energía para los microorganismos del rumen y son los mayores componentes en la dieta que proporcionan del 60 a 70% manteniendo el soporte y la producción de leche, además influyen en la producción láctea como precursores para la lactosa, grasa y proteína (Ishler y Varga, 2000)

Además son los grandes componentes de la dieta de vacas en lactación porque constituyen a un 75% de la materia seca y son usados para expresa la fibra neutro detergente (FDN) (Haddad y Grant, 2000). Los carbohidratos neutro detergentes solubles cuyas siglas son (CDNS) son caracterizados como una fracción rápida en el rumen que sirve como una fuente de energía para el mantenimiento de la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Ariza et al., 2001). estos varían en la fermentación y la digestión incluso en el perfil de los nutrientes y la fermentación del rumen (Leiva et al., 2000).

Los CDNS incluyen ácidos orgánicos, azúcares, oligosacáridos, almidones, monosacáridos, fructuosa, pectina B- glucosa que son considerados carbohidratos estructurales y son solubles en soluciones detergentes (Ariza et al., 2001). Los polisacáridos y monosacáridos como los almidones y azúcares tienden a producir mas propionato (Leiva et al., 2000).

Estos a la vez predominan en legumbres, forrajes, la cascarilla soya, azúcar de la pulpa de la remolacha y la pulpa de fruta y el grano del maíz que puede contener de 70% de almidón, 6 a 10% FDNS y o a 5% de azúcar mientras que la pulpa de la fruta que contiene 12 a 40% de azúcar, 25 a 44% de FDNS y 1% o menos de almidón como base de materia seca (Ariza et al., 2001).

La fibra juega un papel importante en los rumiantes para mantener al máximo el consumo de la materia seca (CMS) y la estimulación en la actividad en

la masticación y la fermentación del rumen manteniendo el contenido de la grasa en la leche (Bava et al., 2001b). Wang et al. (2001b). mencionan que los forrajes son fuente de fibra y que son recomendados por el consejo de investigación de los Estados Unidos (NRC), para las vacas en lactación, donde se recomienda por lo menos el 25% de FDN como base de materia seca y 75% FDN provenientes del forraje.

Allen (1997b) realizaron una investigación donde se estableció la relación entre % de FDN en la dieta y pH ruminal ( figura 1),

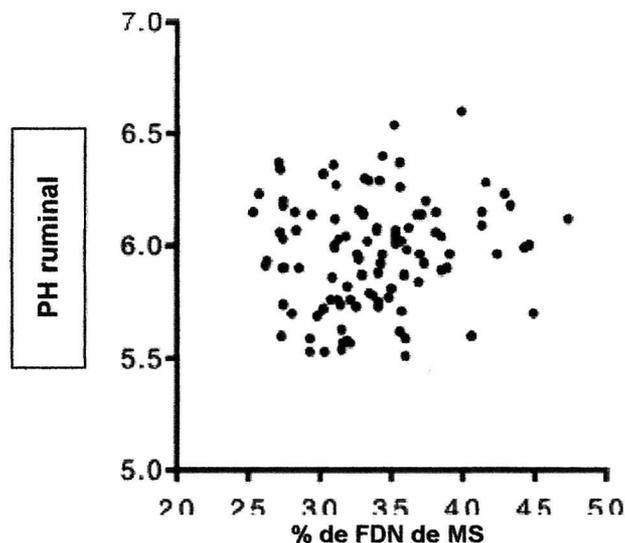


Figura 1: Relación entre el porcentaje de la FDN en la dieta y el pH ruminal. Los datos se obtuvieron del reporte hecho al medio día.

La fibra del forraje contribuye a una cantidad sustancial de energía para las vacas productoras (Stensig y Robinson, 1997). La fibra que se requiere para mantener el funcionamiento adecuado y el porcentaje de grasa en la leche para llevar a cabo el balance optimo entre los carbohidratos estructurales en las raciones del ganado lechero (Ishler y Varga, 2000).

La fibra debe ser de calidad y tamaño de partícula adecuada para provocar el máximo consumo de materia seca (CMS), la actividad en la masticación, la fermentación, pH en el rumen y grasa en la leche ayudando a mantener el tono del músculo del rumen (Grant, 1997a).

La fibra excesiva en la dieta puede ayudar al rendimiento microbiano y la producción de leche (Mooney y Allen, 1997a). El valor nutritivo de los forrajes están

de los ácidos. Como el tamaño de partícula y esta relacionado con las propiedades físicas (Mooney y Allen, 1997c).

El rumiante requiere una cantidad mínima de fibra dietética efectiva para un consumo óptimo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud (Grant, 1997a). La efectividad de la fibra (eFDN) ha sido definida como la que puede estimular la masticación, salivación y rumia, 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 (Armentano y Pereira, 1997a; Clark y Armentano, 1997b; Soita et al., 2000a). La eficacia de la fibra neutro detergente (FDN) de la fibra es definido como la proporción de la fibra neutro detergente (FDN) que estimula la rumia y la respuesta mayor para determinar el pH en el rumen (Haddad y Grant, 2000).

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

Se ha propuesto el tiempo que se emplea para masticar un Kg. de forraje como un índice de la cantidad de eFDN de un alimento. Sin embargo, las fuentes de fibra varían en su habilidad para estimular la masticación, lo cual es evidente cuando se utilizan concentrados altos en fibra para reemplazar a los concentrados (Firkins, 1997a).

La eficacia física esta 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 acetico:propionico o por la concentración de grasa en la leche (Clark y Armentano, 1997c).

Las características físico químicas de una dieta pueden causar cambios en la composición de la leche producida, debido a alteraciones 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 un menor disminución en el contenido de grasa en la leche (Pires et al., 1997).

Las vacas lactantes deben recibir al menos un tercio del total de la materia seca (MS) dietética como heno largo o su equivalente como ensilaje cortado de pequeño a tosco u otros forrajes para proporcionar una fibra efectiva adecuada (Armentano y Pereira, 1997b). Aunque existen recomendaciones para satisfacer un mínimo de FDN en el ganado lechero, tales indicaciones no consideran el contenido de fibra efectiva de los concentrados en la dieta o la influencia del TdeP del forraje sobre la efectividad de la fibra.

El Consejo Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de Norte América (NRC) proporciona solo 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 (Mertens, 1997).

Una limitante para determinar la eficacia de la fibra, es la falta de especificidad en los índices de valores que la determinan ( masticación, rumia, fermentación, 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 (Firkins, 1997a).

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 esta disponible (West et al., 1998; White et al., 2001). La efectividad de la fibra esta basada en cuatro estudios: 1) cambios en la concentración de la grasa en la leche, 2) cambios en la actividad de rumia, 3) cribado y análisis de tamaño de partícula , 4)cambios en el patrón de fermentación ruminal (pH y AGV) (Allen y Grant, 2000). La mayoría de los experimentos que han investigado la concentración de la fibra

neutro detergente (FDN) en la dieta han iniciado cuando el pico de lactancia ha concluido. Por consiguiente existe poca información de la FDN del forraje en vacas entre el parto y pico de lactancia (Wang et al., 2001b).

### **DIGESTION 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 materia seca (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 (Oba y Allen, 2000b.). Por tal razón, la digestibilidad de la FDN es un parámetro importante en la determinación de la calidad del forraje.

Si la fibra es insuficiente o la fibra no tiene una textura tosca puede resultar con un pH ruminal bajo, disminución de la eficacia microbiana o por la disminución de la grasa en la leche (Mooney y Allen, 1997b).

Cuando los alimentos son digeridos en el rumen, los microorganismos microbianos fermentan y producen ácidos orgánicos, disminuyendo el pH ruminal. Aunque es deseable una mayor fermentación en el rumen, para una máxima producción proteína microbiana, la producción de ácidos por la fermentación en el rumen necesita estar balanceada con la remoción de los ácidos y 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, 2000a). Allen (1997b) evaluó la relación entre la producción total de AGV y pH ruminal (figura 3) y los resultados mostraron que arriba de un pH de 6 hay una producción elevada de AGV (125 mmol/L).

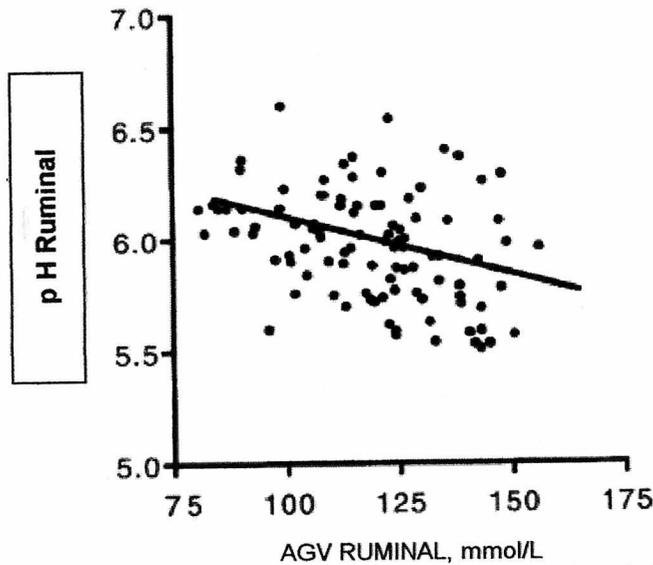


Figura 2: Relación entre la producción total de AGV (mmol/L) y el pH ruminal ( $P < 0.001$ )

Aunque el descenso en el pH ruminal disminuye la digestión de la fibra, los efectos de un pH bajo sobre algunas variables específicas (tasa y grado de digestibilidad de la FDN) la cinética de la digestión varía entre estudios (Faichney et al., 1997). Firkins (1997b) evaluó la relación entre el % de digestibilidad de la FDN y el pH ruminal observando que la mejor digestibilidad está en un pH superior a 6.

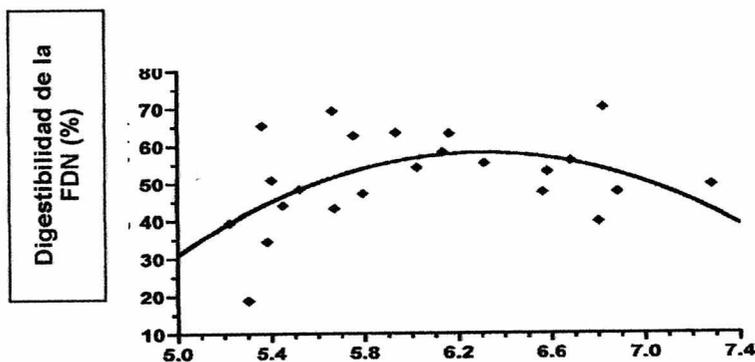


Figura 3: Efecto del pH sobre la digestibilidad de la FDN

Las dietas adecuadas en fibra promueven un pH ruminal deseable, mantienen la integridad del epitelio ruminal, lo que contribuye a la formación del bolo ruminal como un medio de retención de las partículas de fibra lo

suficientemente larga para una digestión adecuada y estimular la síntesis de grasa en la leche (Chen et al., 1996).

### **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 fermenta mas lentamente y son retenidas por mas tiempo en tal órgano (Oba y Allen, 2000c.).

Una desaparición más rápida de la fracción de FDN del rumen debida a un incremento de la tasa de la digestión o de pasaje, podría reducir el tiempo del llenado físico del mismo todo el tiempo y permitir un consumo voluntario más alto de alimento (Oba y Allen, 2000c.).

La digestibilidad ruminal de los alimentos esta 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). Por lo tanto, la expresión cuantitativa de la cinética de la digestión y la tasa de pasaje de la FDN del forraje y su respuesta a cambios en la composición o consumo del alimento son esenciales para presidir el valor nutritivo de los forrajes en diferentes situaciones de alimentación (Shain et al., 1999). La predicción de los efectos de los cambios dietéticos, tales como el tamaño de partícula (TdeP), sobre el MRT 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 gastointestinal (Bernard et al., 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 las relaciones 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 es el factor que mas tiene influencia en la retención de la materia seca (MS) es la retención de las partículas elegibles para salir (Bernard et al., 2000).

### **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 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 al 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).

El rumen contiene una comunidad microbiana compleja que incluye bacterias celulolíticas y no celulolíticas 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 ( $10^4$  a  $10^7$  / ml) y cinco especies de hongos con una concentración de  $10^5$ /ml (Williams y Withers, 1991; Orpin y Joblin, 1997; Stewart et al., 1997).

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 a las proteínas de la planta, a ácidos grasos volátiles y proteínas microbianas que serán aprovechadas por el animal (Kalmokoff y Teather, 1997a).

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 firmemente a las partículas de alimento; 4) bacterias asociadas al epitelio ruminal 5) bacterias asociadas a la superficie de protozoarios y esporangios de hongos (Miron et al., 2001).

(Shi y Weimer, 1997b) 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).

Onodera (1988) 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 B- glucanasa. Por su parte. (Coleman 1985, 1986, Se plantea que el 62% de la actividad celulolítica podría llevarse a cabo por la fracción de protozoarios ruminales (Coleman, 1985; Newbold et al., 1989).

### ***INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULA SOBRE LA EFICACIA DE LA FIBRA***

La forma física de la dieta es una determinante de su valor nutritivo, la cual afecta las actividades de consumo, rumia, función ruminal, eficacia digestiva, producción de leche y su composición, así como la salud de la vaca. La evaluación cuantitativa de la forma física esta basada a menudo en el análisis de la distribución del tamaño de partícula del alimento obtenido utilizando varios métodos de cernido o cribado. Ha habido poco acuerdo sobre que método utilizar para resumir los resultados obtenidos y comparar con los diferentes laboratorios y para compilarlos dentro de un formato que sea útil en la formulación de dietas (Murphy y Zhu, 1997).

La reducción del tamaño de partícula dentro del rango medio de longitud de partícula (0.4 a 0.8) mejoró la tasa de consumo y fermentación y redujo del tiempo de masticación, pH en el rumen y la tasa de ácido acético y propiónico en el fluido ruminal (Clark y Armentano, 1997a).

El tamaño de partícula varia ampliamente entre los forrajes debido a factores que involucran a la planta, a la cosecha del forraje, así como al tipo de procedimiento del alimento, procedimientos de almacenaje, etc (Grabber et al., 1995; Yang et al., 2001b.).

Los forrajes tiene un tamaño de partícula medio el cual es critico y arriba del mismo se obtiene poco beneficio adicional. Por ejemplo la reducción del tamaño medio de la partícula del ensilaje de alfalfa (3.1mm a 2.0 mm) disminuye la masticación aproximadamente a un 21%, en cambio, la reducción del tamaño de partícula medio del heno de alfalfa de 2.3 a 0.90 mm disminuyo el tiempo total de

masticación ( masticación mas rumia) en aproximadamente 16% (Clark y Armentano, 1999).

Yang et al. (2001a.) evaluaron el efecto de la 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 contenido ruminal, las dietas contenían 40% de forraje (50:50 o 25:75 ensilaje y heno, respectivamente) el consumo de nutrimentos se incremento a medida que aumento la tasa de ensilaje pero no fue afectado por el tamaño de partícula. Sin embargo, al incrementarse el tamaño de partícula de las dietas, mejoro 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 en las dietas de las vacas lecheras, la manipulación de la tasa de ensilaje a heno de alfalfa modifico el consumo de alimento, pero tuvo poco efecto sobre la digestión. Encontraste, el incremento del tamaño de partícula del forraje en las dietas mejoro la digestión de la fibra y la síntesis de la proteína microbiana en el rumen. El tamaño de partícula dietética expresado como la eficacia física de la FDN (peFDN). Fue un indicador confiable de la síntesis de proteína microbiana y digestión de nutrimentos.

Krause et al. (2002a) estudiaron los efectos del nivel de carbohidratos fermentables en el rumen y el tamaño de partícula del forraje, así como las interacciones entre estas sobre la producción de leche, digestibilidad de los nutrientes y la producción de la proteína microbiana. Para ello, utilizaron ensilaje de alfalfa con dos tamaños de corte (corto y largo) y con dos niveles de maíz quebrado ( bajo y alto). Estos investigadores concluyeron que la productividad de las vacas no fue afectada por el tamaño de partícula ni por los carbohidratos fermentables en el rumen.

En lo teórico el tamaño de partícula del ensilaje de maíz esta entre 13 a 19mm (Soita et al., 2000b). Este tamaño de partícula proporciono resultados satisfactorios, cuando se compararon tres tamaños para el ensilaje de maíz de plantas enteras (EMPE) la cual se proceso en los siguientes tamaños: 0.95, 1.45 y 1.90 cm de largo. De acuerdo con este experimento se recomienda un corte

teórico de 1.90 cm., de largo para mejorar el consumo de materia seca, digestión del almidón y desarrollo de la lactación (Bal et al., 2000).

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 las vacas contengan la misma proporción de eFDN, lo anterior es debido a una más rápida y extensiva digestión ruminal de la cebada.

Debido a este hecho, Yang et al. (2001b.) evaluaron en vacas lactantes los efectos del tratamiento del grano de cebada (rolado a 1.6 y 1.36 mm), la relación forraje: concentrado y la longitud del forraje de cebada (larga 7.59 y corta 6.08 mm) sobre la masticación, pasaje de la digesta y digestión. Los resultados indicaron que el tamaño de partícula de dietas basadas en cebada rolada no es un indicador confiable de la actividad de la masticación, a diferencia del tamaño de partícula del forraje y el contenido de FDN de la dieta. El contenido de grasa tendió a incrementarse con dietas con relación alta forraje: concentrado o longitud de las partículas del forraje largas (7.59 mm, pero se redujo al alimentarlas con cebada rolada.

Schwab et al. (2002) evaluaron la influencia de largo del corte y el procedimiento mecánico del ensilaje de maíz mutante de enervadura café (brown midrib corn) sobre el consumo, digestión y producción de leche. El tamaño de partícula empleado fue de 13 y 19 mm para el forraje sin procesar y de 19 a 32 mm para el procesado. El procesamiento redujo el contenido de grasa y la digestión de la FDN en el tracto digestivo, pero incrementó la digestión del almidón. En conclusión el ensilaje del maíz de enervadura café provocó una producción de 43 Kg. de leche por día, pero no hubo beneficios en el procesamiento del forrajero en el incremento de la longitud del tamaño de partícula sobre el rendimiento lactacional.

## **FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA ( FFNF)**

Las fuentes de fibra no forrajera ( FFNF) son los subproductos de las plantas procesadas para la extracción de almidón, azúcar y otros constituyentes de valor no fibroso, estas fuentes de fibra que normalmente proporcionan fibra han sido usadas con éxito en las dietas de las vacas en lactación reemplazando una porción de fibra que normalmente proporciona el forraje (Clark y Armentano, 1997e).

Las FFNF pueden tener un contenido de la fibra neutro detergente (FDN) similar a los forrajes toscos pero pueden tener tamaño de partícula similar a los concentrados ( Pereira, et al., 1999). Las FFNF son usadas en la dietas para las vacas en lactación porque reemplazan una porción de la fibra efectiva que es normalmente suministrada al forraje (Clark y Armentano, 1997e).

La mayoría de las FFNF disponibles son altas en fibra cuando son derivados de las plantas procesados y son base de una fuente de forraje (Armentano, et al., 1997). Las FFNF son usadas como una alternativa debido a su precio y disponibilidad son usadas como fuentes de concentrados por su nivel alto de energía neta en lactancia(EN<sub>L</sub>) alta y proteína cruda moderada (Firkins, 1997a).

La concentración de las FFNF sirven como un reemplazo parcial de la fibra del forraje donde la disponibilidad del forraje es limitada (Allen y Grant, 2000).

Las FFNF proporcionan energía que necesitan las vacas en lactación sin carga ácida provocada cuando existen cantidades elevadas de almidón en la ración que caracteriza a las raciones con contenidos altos en concentrado (Boddugari et al., 2001).

La fibra de los diferentes subproductos tiene propiedades físicas y químicas similares a la FDN del forraje en particular esta partículas tienen dimensiones pequeñas y densidad alta que no tiene efecto negativo en el funcionamiento del rumen y en el contenido de grasa en la leche (Bava et al., 2001a). La eficacia de FDN de las FFNF tales como la semilla de algodón tienden a reemplazar al ensilaje de alfalfa debido a su tamaño de partícula pequeño (Mooney y Allen, 1997a). Las FFNF tienen un tamaño de partícula pequeño similar al forraje común

y puede alcanzar el contenido de energía que es alto (Depies y Armentano, 1995b). Su tamaño de partícula de las FFNF proporcionan un efecto en la masticación, rumia y salivación (Grant, 1997a).

El efecto de la FDN de las FFNF puede ser sustancial porque es relativamente bajo con la excepción de la semilla de algodón y la pulpa de los cítricos, el efecto de la fibra esta basada con respuesta a la masticación permitiendo la separación de los efectos físicos y químicos de la fibra (Grant, 1997a).

A continuación en la Cuadro 3, se mencionan algunas de las diferentes fuentes de fibra no forrajera (FFNF) que pueden ser utilizadas para reemplazar al forraje así como el valor de digestibilidad correspondiente.

Stensig y Robinson (1997), evaluaron el efecto de las FFNF en la concentración del pH AGV y N flujo ruminal utilizando dietas que contenían alfalfa (de 8Kg/d y 12Kg/d) y un forraje denominado timothy en las mismas porciones.

La semilla de algodón es una fuente excelente de fibra que mantiene el porcentaje de grasa en la leche debido al contenido del extracto éter 20% y que aumenta la energía en la dieta (Abel-caines et al., 1997). La semilla de algodón entera sirve como fuente de energía, proteína y fibra para las vacas en lactación y cuando es procesada mejora las características en el manejo (Bernard y Calhoun, 1997).

La semilla de algodón es una FFNF que estimula y mejora la rumiación y el tiempo de retención en el rumen debido a que el tamaño de partícula estimula la masticación y la capacidad de neutralizar la fermentación de los ácidos del rumen (Firkins, 1997a).

La cascarilla de soya es un subproducto de la soya procesada e industrializada que tiene un alto valor para las dietas de ganado de leche y carne, porque contienen una gran cantidad de fibra potencialmente digestible, consecuentemente estos pueden ser incluidos en la dieta de alto forraje incrementando el contenido de energía sin decrecer la digestibilidad de la fibra del forraje (Trater et al., 2001).

La cascarilla de soya tiene una proporción baja en lignina y tiene una gran proporción de fibra potencialmente digerible y ha demostrado que puede ser un ingrediente primario en el ganado debido al tamaño de partícula pequeño y la gravedad específica alta o específica lo que da como resultado el paso rápido en el rumen (Loest et al., 2001b).

El reemplazo de la FDN de las FFNF con FDN de la cascarilla de soya es el adecuado para la función en el rumen y producción de leche cuando la dieta tiene 31% FDN (Wang et al., 2001b). La FDN del forraje reemplazado con la FDN de la cascarilla de soya proporciona el 60% del forraje adecuado para estimular la función en el rumen y la producción de leche. La cascarilla de soya puede reemplazar el 59% del forraje total en la dieta donde la FDN se incrementa de 28% a 34% de la materia seca (Harminson et al., 1997).

La cascarilla de soya tiene un tiempo de retención corto en el rumen y es debido a su tamaño de partícula pequeño (Trater et al., 2001). La cascarilla de soya en la dieta incrementa la FDN total de la materia seca pero disminuye la masticación y el pH en el rumen (Pereira y Armentano, 2000).

El efecto de la cascarilla de soya ayuda en la composición de los ácidos grasos de la leche y la fermentación en el rumen (Abel-caines et al., 1997). La cascarilla de soya es efectiva para reducir la FDN del forraje de 21% a 16% de la materia seca y también reduce de un 43% a 34% de materia seca total (Slater et al., 2000).

El uso del bicarbonato de sodio en la dieta combinándola con soya y cascarilla de soya puede reemplazar a la semilla de algodón para la producción de la grasa en la leche, la cascarilla de soya tiene aproximadamente el 70% de FDN (Abel-caines et al., 1997). El bicarbonato es útil en la dieta para incrementar el pH en el rumen y la FDN en el tracto digestivo (Pereira y Armentano, 2000).

Los granos de destilería secos (GDS) son fuente de proteína, de energía y una digestibilidad de FDN y estimula la masticación (Younker et al., 1998).

Los granos de destilería como el sorgo y el maíz son componentes comunes en la dieta para el crecimiento del ganado que reemplazan en un 40% al maíz roloado e incrementa la ADG (Al-Suwaiegh et al., 2002a), son fuente de

proteína económica para la síntesis de proteína microbiana para las vacas en lactación (Powers et al., 1995). Los granos de destilería secos son fuentes de proteína y energía que tiene un valor relativamente alto en grasa y fibra digerible (Schingoethe et al., 1999).

Los granos de destilería secos , la semilla de algodón y los productos de trigo pueden ser usados para suplementar al forraje debido a su alto valor de fibra y reemplazar las fuentes de proteína (Perry y Armentano, 1997).

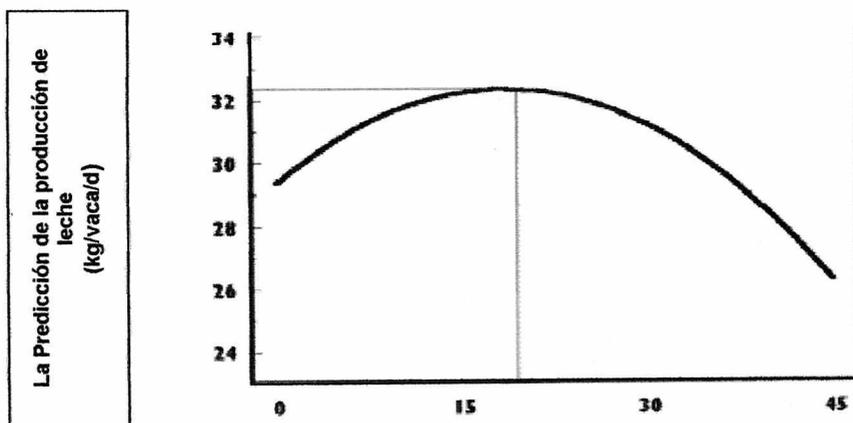
Al-Suwaiegh (2002b) evaluaron el efecto a corto plazo de la adición de granos de destilería de maíz y sorgo (secos y húmedos) sobre la digestión de la FDN y el rendimiento lactacional en el ganado bovino productor de leche. Los niveles de inclusión de los granos de destilería fueron de 30% de la MS. Los resultados de esta evaluación arrojaron datos que permiten concluir que no hubo un efecto de la fuente y forma del grano de destilería sobre el consumo de MS, pH ruminal y el patrón de AGV.

El gluten de maíz es una fuente no forrajera disponible para la mezcla con maíz fermentado, por lo que el gluten de maíz contiene 35 a 45% FDN y tiene solo 2 a 3% de lignina que es una fuente de fibra muy digerible (Boddugari et al., 2001).

El gluten de maíz húmedo es relativamente alto en fibra, mediano en energía, mediano en proteína cruda por lo que son excelentes alimentos para el ganado lechero (Schroeder, 2003), además es un alimento bajo en almidón y alto en FDN (VanBaale et al., 2001).

El gluten de maíz húmedo mejora el consumo de materia seca (CMS) y reduce la acidosis , el porcentaje de la proteína en la leche y puede no diferenciar entre la producción de leche y la eficacia de la FCM (VanBaale et al., 2001).

Schroeder (2003) evaluó la predicción de la producción de leche de las vacas alimentadas con gluten de maíz húmedo, ellos determinaron que el nivel óptimo de CMS para la cáscara de salvado de gluten de maíz fue de 18.6 kg (figura 7). Algunas características de las raciones se experimentan en la Cuadro 7 y en la Cuadro 8, se observa que las dietas con el salvado de gluten produjeron mas leche y mas grasa que la dieta control.



#### Wet Corn gluten feed ( % CMS )

Figura 4: Preedición de la producción de leche de vacas Holstein multíparas alimentadas con un aumento de los niveles de valores de salvado de gluten de maíz expresado en kilogramos. El nivel óptimo del gluten de maíz (WCGF) fue calculado a un 18.6% del CMS.

La administración de proteína degradable en la dieta de ganado bovino productor de carne que consume forrajes de baja calidad mejora su consumo y digestibilidad. (Farmer et al., 2001b). Estos investigadores evaluaron el efecto de la administración de salvado de trigo (49%, 32 y 16% de la dieta) sobre la utilización del forraje y el rendimiento productivo en ganado de carne. Dentro del contexto de las cantidades administradas de proteínas en este experimento, los cambios en la combinación de la proteína suplementada con los subproductos de trigo no afectó el rendimiento o el consumo de las vacas, así como tampoco afectó la digestibilidad de la materia seca de los forrajes de baja calidad.

Farmer et al. (2001a) estudiaron el efecto del salvado de trigo sobre la utilización del forraje y el rendimiento productivo donde el salvado de trigo no afectó el rendimiento y la digestibilidad de la MS (Cuadro 9).

Zhu et al. (1997a) evaluaron el efecto de la sustitución de la FDN del forraje con FDN de subproductos (corn gluten feed 33, granos secos 17% de destilería y salvado de trigo 22%, en todos los casos en MS) sobre la digestión ruminal de nutrientes, síntesis microbiana y producción y calidad de la leche. En todas las dietas con un contenido de 35% de FDN de los forrajes y que además tuvieron un 31% de NDF de las fuentes de FNF proporcionaron la fibra efectiva para mantener las funciones del rumen normalmente. Las concentraciones totales y porcentajes molares de AGV no fueron afectadas por la dieta. La tasa de acetato

o propionato fueron similares entre las dietas. Además la tasa de A:P fue similar entre tratamientos y el pH del fluido ruminal fue más bajo con las dietas con FFNF ( Cuadro 1).

Cuadro 1: Efecto del reemplazo de la FDN del forraje con FFFNF sobre el pH, Amoniaco y AGV del fluido ruminal

Además	Control	ST	SGM	GDS	EE
Total AGV mM	116.7	106.7	101.5	106.0	3.2
AGV mol/100mol					
Acetato	66.0	65.6	66.3	64.6	1.3
Propionato	22.1	22.2	22.2	22.6	1.1
Butírico	8.9	8.8	8.7	10.0	0.6
Isobutírico	0.9	1.0	0.8	0.9	0.04
Isovalerico	1.1	1.4	1.0	0.9	0.1
Valerico	1.1	1.1	1.1	1.0	0.1
A:P	3.2	3.1	3.2	2.9	0.2
PH	6.1	5.9	6.1	6.0	0.05
Amoniaco mg/d	16.8	16.1	10.9	11.8	1.6
Tasa de dilución fraccional %/h	9.6	11.0	9.7	12.9	0.9

ST= salvado de trigo, SGM= salvado de gluten de maíz, GDS= grano de destilería secos

### **COMBINACIÓN DE FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA**

Clark y Armentano (Clark y Armentano, 1997d) evaluaron el efecto de reemplazar la fibra detergente neutro (FDN) de la alfalfa con FDN de una combinación de semilla de algodón entera con borra, salvadillo de trigo y granos de destilería secos sobre el rendimiento y calidad de leche. El rendimiento lácteo, rendimiento de proteína en la leche fueron más altos y el porcentaje de grasa y el rendimiento de grasa más bajos para las vacas alimentadas con dietas bajas en forrajes que las dietas control con alfalfa que fue más alta en alfalfa. Entre las dietas bajas en forraje , el consumo de materia seca, el porcentaje de grasa en la leche y el rendimiento de grasa se incrementaron linealmente como el contenido de NDF se incremento. La relación acetato a propionato en el rumen fueron mayores para las dietas control con alfalfa que para las dietas con concentraciones elevadas de FFNF. De acuerdo con resultados similares previos, el rendimiento de proteína en la leche y su porcentaje se incrementaron cuando la alfalfa fue reemplazada con fibra de fuentes no forrajeras.

Las cabras tienen una tasa de pasaje más altas de las partículas que las vacas y las ovejas y que los subproductos fibrosos no pueden ser retenidos en el

rumen el tiempo suficiente para alcanzar su potencial altamente digestible. Moore et al. (2002b) llevaron a cabo una investigación para evaluar la inclusión de subproductos alimenticios (salvado de trigo, cascarilla de soya y corn gluten feed) en la producción de carne de cabra. Ellos estudiaron el efecto en la digestibilidad, medio ambiente ruminal y características de la canal, encontrando que el pH ruminal fue más bajo para las cabras alimentadas con los subproductos no forrajeros, sin embargo el pH permaneció siempre arriba de 6 (salvado, 6.23, cascarilla de soya 6.41 y corn gluten feed 6.35). Además la ganancia de peso vivo no fue diferente entre tratamientos. Tampoco hubo diferencias en el total de AGV, pero si se encontraron en las proporciones relativas de acetato y propionato con las dietas de heno y cascarilla de soya. Estos animales consumieron estos ingredientes en alrededor del 1% de su peso vivo. Sin embargo estos ingredientes deben administrarse con dietas balanceadas en proteína, Ca y P. Se requieren más estudios porque las ganancias fueron diferentes a las encontradas en otras especies (Cuadros 2).

Cuadro 2. Medida del peso y vestidura de las cabras productoras de carne alimentadas con heno, harina de soya o heno, cascarilla de soya, corn gluten feed o salvado de trigo

parámetros	Heno con har harina	Gluten Cascarilla De soya	Maíz con Soya mezcla	Mezcla media	SEM	Valor del peso
Peso final Kg.	31.3	33.3	31.7	31.9	0.75	0.45
GDP (72d) g/d	33	49	51	38	10	0.56
Peso del animal	14.5	16.0	515.3	15.6	0.34	0.05
% vestidura	46.4	48.3	48.3	48.8	0.70	0.12
Grado del animal	5.7	5.3	5.5	5.2	0.37	0.80

# **Materiales y métodos**

## **1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO**

### **1.1 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 se inicio en mayo y termino en julio de 2004.

## **2. Procedimiento experimental**

### **2.1 Análisis de alimento**

Antes del inicio de los experimentos todos los ingredientes así como las raciones utilizadas en las diferentes tratamientos fueron analizados químicamente. Las muestras fueron molidas en un molino de Willey (criba de 2 mm; Arthur H. Thomas, Filadelfia), El análisis de FDN de los alimentos fueron 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  $\alpha$ -amilasa (A\_3306; Sigma Chemical Co. St. Louis, MO) en la ebullición y otra vez antes de la filtración. Se utilizaron cuatro lavadas de acetona para extraer la grasa antes del procedimiento de FDN para las muestras seleccionadas. La PC fue determinada por el método de Kjeldahl (Nx6.25) (Depies y Armentano, 1995a; Soita et al., 2000a).

### **2.2 Animales**

En este experimento se designaron cuatro tratamientos que utilizaron 4 machos caprinos castrados (con un peso promedio de 55 kg de peso vivo) y canulados ruminalmente. Los animales fueron asignados al azar dentro de una de

las cuatro dietas replicadas en un modelo de cuadrado latino 4 x 4 en períodos de 16 días. Los animales permanecieron en corraletas individuales y fueron alimentados dos veces por día a libre acceso, con un horario de alimentación de las 08:00 y a las 1700 h.

## 2.2 Composición de la Ración

La descripción de la ración y su composición química se presentan en los cuadros 3 y 4, respectivamente. La dieta control estuvo constituida con un contenido bajo de forraje y fibra que contenía un 8.93% de la FDN del heno de alfalfa y 6.5% de FDN del ensilaje de maíz, para un total de 15.42%. La dieta alta en fibra y forraje (DAA) contuvo el 6.42% y 18.33% de FDN del ensilaje de maíz y de alfalfa, respectivamente, para un total de 24.75% en relación a la MS. Las otras dos dietas tuvieron un contenido bajo en fibra no forrajera (BFNF) y uno alto en fibra no forrajera (AFNF). Esas dietas además de la dieta control tuvieron adicionalmente el 9.32 o 18% de MS como FDN a partir de una combinación de semilla de algodón, grano seco de destilería y salvado de trigo.

Cuadro 3.- Composición de ingredientes de las dietas.

Ingrediente	Dietas <sup>1</sup>			
	Control	BFNF	AFNF	DAA
	kg de MS			
Heno de alfalfa	.58	.62	.62	1.20
Ensilaje de maíz	.95	.98	.98	0.95
Grano de maíz	1.59	1.30	1.00	1.20
Semilla de algodón	0	.14	.28	0
Grano de destilería	0	0	0	0
Salvado de trigo	0	.22	.44	0
Harina de soya	.35	.24	.18	.30
Soya tostada	.14	.18	.08	0.02
Gluten de maíz	0	0	0	0
Mineral	0	0	0	0
Carbonato de calcio	0.0	0.02	0.02	0
Oxido de magnesio	0	0	0	0
Vit. ADE	0	.0	0	0

<sup>1</sup> Control= baja en forraje y fibra; BFNF = Dieta control más fibra no forrajera baja; AFNF = dieta control más fibra no forrajera alta; DAA = dieta alta en alfalfa y fibra

**Cuadro 4.- Composición química de las dietas**

Componente	Control	BFNF	AFNF	DAA
% MS	73.58	74.32	74.69	73.83
(% de la MS)				
PC	16.96	16.98	16.41	16.40
FDN total	23.17	30.25	37.00	30.22
De la alfalfa	8.93	8.94	8.82	18.33
Del ensilaje	6.49	6.04	5.96	6.42
De las FFNF	0	9.32	17.99	0
ENI (Mcal/kg MS)	1.86	1.81	1.75	1.69

<sup>1</sup> BFNF = Dieta control más fibra no forrajera baja; AFNF = dieta control más fibra no forrajera alta; DAA = dieta alta en alfalfa

### 2.2.1 Consumo de alimento

Los machos caprinos fueron alimentados dos veces por día, con un horario de alimentación, en el cual se ofreció alimento a las 8:00 y las 18:00 h, en cada servida se suministró aproximadamente el 50% de la ración. A cada animal se le pesó diariamente el alimento ofrecido y también se determinó el porcentaje de MS. El alimento rechazado se recolectó diariamente a las 7:30 h y fue pesado, almacenado y analizado químicamente cada tercer día para determinar el porcentaje de MS. La MS fue determinada por desecado a 60<sup>a</sup> C por un período de 48 horas (Depies y Armentano, 1995a; Soita et al., 2000a; Wang et al., 2001a; Whitford et al., 2001). El cálculo de consumo de MS (kg) se determinó por diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado (Mishra y Rai, 1996).

### 2.3.- Determinación del crecimiento de *Ruminococcus albus*

Para determinar la concentración de *Ruminococcus albus* las muestras de contenido ruminal completo fueron tomadas en el tercer día de evaluación en cada uno de los cuatro períodos de evaluación y se obtuvieron justo a la hora inicial de la alimentación diaria y a las 6 y 18 h después de esta hora. Se tomaron 50 ml del contenido ruminal, éste se exprimió y filtró a través de dos capas de manta y depositados en tubos crónicos graduados (Blue Max 2073, Falcon), se introdujeron en termo con agua a 39 °C y transportadas inmediatamente al laboratorio para su procesamiento. La concentración total de la bacteria celulolítica

*Ruminococcus albus* se determino mediante la técnica de vaciado en placa empleando diluciones decimales hasta  $10^{-12}$  usando el medio propuesto por (Hungate, 1969). Este se preparó de la siguiente manera: 45.0 mL de la solución mineral I, 45.0 mL de la solución mineral II, 0.3 mL de la solución III, 65.0 mL de la solución IV en un matraz de 500 mL, se mezclan y someten a ebullición y se agregó 120.0 ml de fluido ruminal, calentando lentamente hasta ebullición bajo condiciones anaerobias (100%  $\text{CO}_2$ ). Se esterilizo a  $121^\circ \text{C}$  por 15'. Se dejo enfriar a  $45-50^\circ \text{C}$  y se agregó asépticamente 5.0 ml de solución estéril de L-cisteina  $\text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$  y 20 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; mezclando completamente y distribuido en cajas petri, previamente inoculadas con 1 ml de las diluciones  $10^{-8}$ - $10^{-11}$ , éstas fueron incubadas en cámaras de anaerobiosis (Anerobic Chamber Qbblgaspack system) por 72 h a  $37^\circ \text{C}$ . Los valores determinados de Unidad Formadoras de Colonias (UFC) fueron transformados a unidades logarítmicas base 10 (Caldwell y Bryant, 1966).

El contenido de fluido ruminal para la preparación del medio de cultivo se obtuvieron de un macho caprino fistulado que fue alimentado con una ración con cantidades elevadas de alfalfa, éste fue filtrado dos veces usando dos capas de manta de algodón para remover las partículas largas de alimento. Se almacenaron bajo condiciones anaeróbicas en frascos gaseados con  $\text{CO}_2$  estéril (se paso el gas por una columna) y se refrigeró para su uso posterior.

## Resultados y Discusión

Los resultados se muestran en el cuadro 6 en el que se presenta la media de mínimos cuadrados de unidades formadoras de colonia (UFC) de la bacteria *R. albus*. La habilidad digestiva de las bacterias celulolíticas podría mejorarse cuando esas bacterias celulolíticas crecen juntas en diferentes substratos (Odenyo et al., 1994b), por lo que la combinación de FFNF no afecta el crecimiento de *R. Albus*.

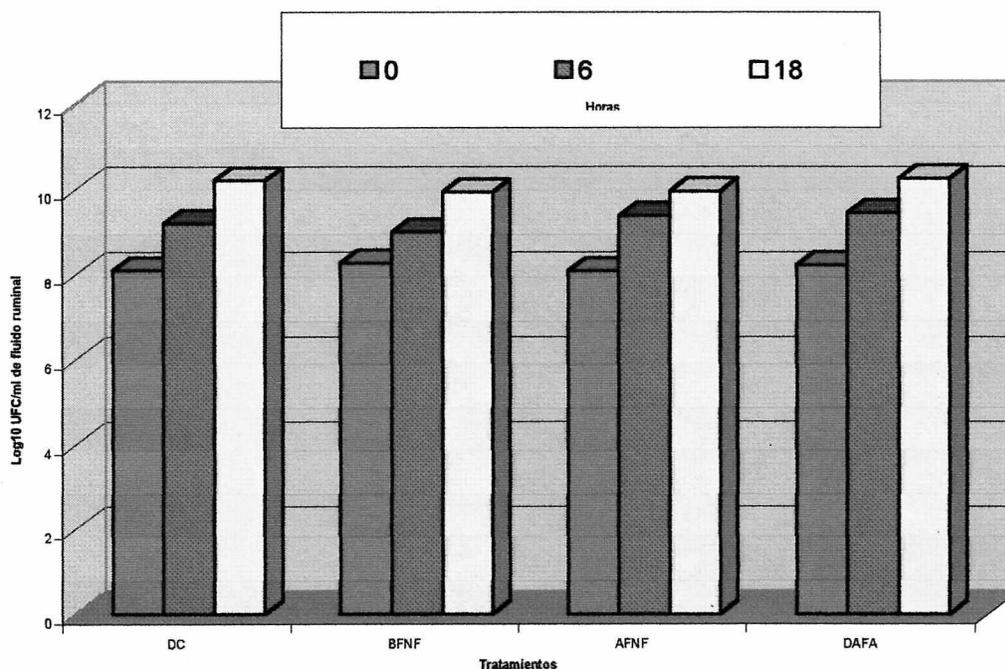
Cuadro 6. Medias de mínimos cuadrados de unidades formadoras de colonias (UCF) de *Ruminococcus albus*.

	DC	BFNF	AFNF	DAFA	EEM <sup>1</sup>	NSO <sup>2</sup>
UFC <i>R. albus</i>	9.17 <sup>ab</sup>	9.05 <sup>a</sup>	9.13 <sup>ab</sup>	9.30 <sup>c</sup>		

En los resultados se observa diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos, de tal forma que el crecimiento de *R. albus* fue mayor para la DAFA (9.3 UFC/ml) mientras que la BFNF fue la que menor crecimiento bacteriano permitió (9.05 UFC/ml). Cabe destacar que entre la DC y las que incluyeron FFNF no hubo diferencias. Dehority y Tirabasso (1998) encontraron que al aumentar el porcentaje de cascarilla en la ración (0 a 50%) disminuía tanto la concentración bacteriana total, como de las bacterias celulíticas (bacteria x  $10^8$  por g), lo cual es similar a los resultados encontrados en este trabajo. Por otra parte, Koike et al. (2003) no encontraron variación diurna en el tamaño de la población de las bacterias celulolíticas ruminales predominantes, sin embargo, reportan un incremento sostenido en el número de células adheridas al sustrato de la hora 6 a la 24 post alimentación, aunque la máxima concentración de bacterias celulolíticas se registro a las 24 horas post ingestión, ellos plantean como posible explicación la adhesión de bacterias nuevas que provienen de la fase líquida o de otras partículas de alimento y la otra explicación es la proliferación bacteriana en los tallos.

En la gráfica 1 se muestra el crecimiento de unidades formadoras de colonias (UCF) de *Ruminococcus albus* a diferentes horas post-incubación. La digestión de la celulosa por las bacterias ruminales celulolíticas requiere del contacto con el sustrato, por lo que la extensión y tasa de adhesión a las

partículas de celulosa por cada cepa es un factor importante a considerar siempre que se estudie la dinámica de crecimiento bacteriano (Shi et al., 1997a). Estos investigadores reportan que dentro de los primeros 30 minutos de incubación, las



Gráfica 1.- Crecimiento de unidades formadoras de colonias (UCF) de *Ruminococcus albus* a diferentes horas post-incubación.

células de la bacteria *R. flavefaciens* FD-1 se adhirieron de 70 a 80% a las partículas de celulosa microcristalina, en tanto que las bacterias *F. Succinogenes* S85 o *R. albus* 7 sólo se adhirieron en un 30 a 40%, aunque para Firkins et al. (1991) los experimentos que usan cultivos puros de bacterias o substratos purificados no se relacionan necesariamente con aquellos que usaron cultivos mixtos o forrajes naturales.

Sin embargo, Koike et al. (2003) utilizaron PCR competitivo para evaluar la cinética de adhesión microbiana del rumen y reportan tasas similares de adhesión entre esas bacterias, esos resultados podrían reflejar mejor la situación de adhesión microbiana ruminal, ya que en los estudios realizados con cultivos no se considera la acción de los protozoarios, que ejercen una depredación importante sobre las bacterias.

En conclusión, la inclusión de las FFNF permitió un crecimiento de UFC de R. albus similar a la DC, sin embargo, fue inferior a la DAFA.

## Literatura citada

- Abel-caines, S. F., R. J. Grant, and S. G. Haddad. 1997. Whole cottonseeds or a combination of soybeans and soybean hulls in the diets of lactating dairy cows J Dairy Sci No. 80. p 1353-1357.
- 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 No. 83. p 322-331.
- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, and T. J. Klopfenstein. 2002a. Utilization of distillers grain from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle J Anim Sci No. 80. p 1105-1111.
- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, and T. J. Klopfenstein. 2002b. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle J Anim Sci No. 80. p 1105-1111.
- Ariza, P., A. Bach, M. D. Stern, and M. B. Hall. 2001. Effects of carbohydrates from citrus pulp and hominy feed on microbial fermentation in continuous culture J Dairy Sci No. 79. p 2713-2718.
- Armentano, L., and M. Pereira. 1997a. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. J Dairy Sci 80: 1416-1425.
- Armentano, L., and M. Pereira. 1997b. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials J Dairy Sci No. 80. p 1416-1425.
- 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 No. 83. p 1264-1273.
- Bava, L., L. Rapetti, G. M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, and G. Succi. 2001a. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. J Dairy Sci 84: 2450-2459.
- Bava, L., L. Rapetti, G. M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, and G. Succi. 2001b. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation J Dairy Sci No. 84. p 2450-2459.
- Bernard, L., and M. C. Calhoun. 1997. Response of lactating dairy cows to mechanically processed whole cottonseed J Dairy Sci No. 80. p 2062-2068.
- Bernard, L., J. P. Chaise, R. Baumont, and C. Poncet. 2000. The effect of physical form of orchardgrass hay on the passage of particulate matter through the rumen of sheep. J. Anim. Sci. 78: 1338-1354.
- 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 No. 84. p 873-884.
- Bowman, J. G. P., and J. L. Firkins. 1993. Effects of forages species and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization in situ. J Anim Sci 71: 1623-1633.
- Caldwell, D. R., and M. P. Bryant. 1966. Medium without rumen fluid for non selective enumeration and isolation of rumen bacteria. Appl Microbiol Biot 141: 794-801.
- 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 No. 71. p 145-150.
- Clark, P. W., and L. Armentano. 1997a. Influence of particle size on the effectiveness of beet pulp fiber 1 J Dairy Sci No. 80. p 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. 1997c. 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. 1997d. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources *J Dairy Sci.* No. 80. p 675-680.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1997e. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources *J dairy sci.* No. 80. p 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.* No. 82. p 521-588.
- 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. *Repornd Nutr Dev* 34: 385-398.
- Dehority, B. A., and P. A. Tirabasso. 1998. Effect of ruminal cellulolytic bacterial concentrations on in situ digestion of forage cellulose. *J Anim Sci* 76: 2905-2911.
- Dehority, B. A., and P. A. Tirabasso. 2000. Antibiosis between ruminal bacteria and ruminal fungi. *Appl Environ Microb.* 66: 2921-2927.
- Depies, K. K., and L. E. Armentano. 1995a. Partial replacement of alfalfa fiber with fiber from ground corn cobs or wheat middlings. *J Dairy Sci* 78: 1328-1335.
- Depies, K. K., and L. E. Armentano. 1995b. Partial replacement of alfalfa fiber with fiber from ground corn cobs or wheat middlings *J Dairy Sci* No. 78. p 1328-1335.
- Faichney, G. J., C. Poncet, B. Lassalas, J. P. Jouany, L. Millet, J. Doré, and A. G. Brownlee. 1997. Effect of concentrates in a hay diet on the contribution of anaerobic fungi, protozoa, and bacteria to nitrogen in rumen and duodenal digesta in sheep. *Anim Feed Sci Tech* No. 64. p 193-213.
- Farmer, C. G., R. C. Cochran, D. D. Simms, J. S. Heldt, and C. P. Mathis. 2001a. Impact of different wheat milling by-products in supplements on the forage use and performance of beef cattle consuming low-quality tallgrass-prairie forage. *J Anim Sci* 79: 2472- 2480.
- Farmer, C. G., R. C. Cochran, D. D. Simms, J. S. Heldt, and C. P. Mathis. 2001b. Impact of different wheat milling by-products in supplements on the forage use and performance of beef cattle consuming low-quality tallgrass-prairie forage *J Anim Sci* No. 79. p 2472-2480.
- 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. 1997a. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion *J Dairy Sci* No. 80. p 1426-1437.
- Firkins, J. L. 1997b. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. *J Dairy Sci* 80: 1426-1437.
- Firkins, J. L., J. G. P. Bowman, W. P. Weiss, and J. Naderer. 1991. Effects of protein, carbohydrate, and fat sources on bacterial colonization and degradation of fiber in vitro. *J Dairy Sci* 74: 4273-4283.

- Fron, M., H. Madeira, C. Richards, and M. Morrison. 1996. The impact of feeding condensed distillers byproducts on rumen microbiology and metabolism. *Anim Feed Sci Tech* 61: 235-245.
- Grabber, J. H., R. D. Hatfield, J. Ralph, J. Zon, and N. Amrhein. 1995. Ferulate cross-linking in cell walls isolated from maize cell suspensions. *Phytochemistry* No. 40. p 1077-1082.
- Grant, R. J. 1997a. Interactions among forages and nonforages fiber sources. *J Dairy Sci* No. 80. p 1438-1446.
- Grant, R. J. 1997b. Interactions among forages and nonforages fiber sources. *J Dairy Sci* 80: 1438-1446.
- Haddad, S. G., and R. J. Grant. 2000. Influence of nonfiber carbohydrate concentration on forage fiber digestion in vitro *Anim Feed Sci Technol* No. 86. p 107-115.
- Harminson, B., M. L. Eastridge, and J. L. Firkins. 1997. Effect of percentage of dietary forage neutral detergent fiber and source of starch on performance of lactating jersey cows *J Dairy Sci* No. 80. p 905-911.
- Hungate, R. E. 1969. A roll tube method for cultivation of a strict anaerobes. In: R. D. W. E. Norris J. R. (ed.) *In: Methods in microbiology*. p 117-119. Academic Press., London, UK.
- Ishler, V., and G. Varga. 2000. Carbohydrate nutrition for lactating dairy cattle *J. Dairy Sci* No. 80. p 1622-1628.
- Kalmokoff, M. L., and R. M. Teather. 1997a. Isolation and characterization of a bacteriocin (butyrovibriocin ar10) from the ruminal anaerobe *butyrovibrio 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.
- Kalmokoff, M. L., and R. M. Teather. 1997b. Isolation and characterization of a bacteriocin (butyrovibriocin ar10) from the ruminal anaerobe *butyrovibrio fibrosolvens* ar10: Evidence in support of the widespread occurrence of bacteriocine-like activity among ruminal isolates of *b. Fibrosolvens*. *Appl Environ Microb* No. 63. p 394-402.
- Koike, S., J. Pan, Y. Kobayashi, and K. Tanaka. 2003. Kinetics of in a sacco fiber attachment of representative ruminal cellulolytic bacteria monitored by competitive pcr. *J Dairy Sci* 86.
- Krause, D. M., D. K. Combs, and K. A. Beauchemin. 2002a. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. Ii. Ruminal ph and chewing activity. *J Dairy Sci* No. 85. p 1947-1957.
- 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* No. 83. p 2866-2875.
- Loest, C. A., E. C. Fitgemeyer, B. D. Lambert, and A. M. Trater. 2001b. Branched-chain aminoacids for growing cattle limit-fed soybean hull-based diets. *J Anim Sci* 79: 2747-2753.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows *J Dairy Sci* No. 80. p 1463-1481.

- Miron, J., D. Ben-Ghedalia, and M. Morrison. 2001. Invited review: Adhesion mechanisms of rumen cellulolytic bacteria. *J Dairy Sci* 84: 1294-1309.
- Mishra, S., and S. N. Rai. 1996. Effects of different rdp and udp ratios on voluntary intake, milk production and feed conversion efficiency in lactating dairy goats. *Small Rum Res* 20: 31-38.
- Mooney, C. S., and M. S. Allen. 1997a. 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.* No. 80. p 2052-2061.
- Mooney, C. S., and M. S. Allen. 1997b. 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.
- Mooney, C. S., and M. S. Allen. 1997c. 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.* No. 80. p 2052-2061.
- Moore, J. A., M. H. Poore, and J.-M. Luginbuhl. 2002a. By-product feeds for meat goats: Effects on digestibility, ruminal environment, and carcass characteristics. *J Anim Sci* 80: 1752-1758.
- Moore, J. A., M. H. Poore, and J.-M. Luginbuhl. 2002b. By-product feeds for meat goats: Effects on digestibility, ruminal environment, and carcass characteristics *J Anim Sci* No. 80. p 1752-1758.
- Murphy, M. R., and J. S. Zhu. 1997. A comparison of methods to analyze particle size as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. In: *J. Dairy Sci.* p 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* No. 81. p 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. 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* No. 83. p 1342-1349.
- 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* No. 83. p 1350-1358.
- 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* No. 83. p 1333-1341.
- Odenyo, A., R. I. Mackie, D. A. Stahl, and W. B. A. 1994b. The use of 16srna-targeted oligonucleotide probes to study competition between ruminal fibrolytic bacteria: Pure-culture studies with cellulose and alkaline peroxide-treated wheat straw. *Appl Environ Microbiol* 60: 3697-3703.

- 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., and K. N. Joblin. 1997. The rumen anaerobic fungi. In: P. N. Hobson and C. S. Stewart (ed.) (ed.) *The rumen microbial ecosystem*. p 140-195. 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* No. 83. p 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.
- Perry, W. C., and L. Armentano. 1997. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber source. *J Dairy Sci* 80: 675-680.
- 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* No. 80. p 1685-1694.
- Powers, W. J., H. H. Van Horn, J. B. Harris, and C. J. Wilcox. 1995. Effects of variable sources of distillers dried grains plus solubles on milk yield and composition *J Dairy Sci* No. 78. p 388-396.
- Robinson, P. H., and R. E. McQueen. 1997. Influence of level of concentrate allocation and fermentability of forage fiber on chewing behavior and production of dairy cows *J Dairy Sci* No. 80. p 681-691.
- Schingoethe, D. J., M. J. Brouk, and C. P. Birkelo. 1999. Milk production and composition from cows fed wet corn distillers grains *J Dairy Sci* No. 82. p 574-580.
- Schroeder, J. W. 2003. Optimizing the level of wet corn gluten feed in the diet of lactating dairy cows *J Dairy Sci* No. 86. p 844-851.
- 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* No. 85. p 613-623.
- 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.
- 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.
- Shi, Y., and P. J. Weimer. 1997b. Competition for cellobiose among three predominant ruminal cellulolytic bacteria under substrate-excess and substrate-limited conditions. *Appl Environ Microbiol* 63: 743-748.
- Slater, A. L., M. L. Eastridge, J. L. Firkins, and L. J. Bidinger. 2000. Effects of starch sources and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows *J Dairy Sci* No. 83. p 313-321.
- Soita, H. W., D. A. Christensen, and J. J. McKinnon. 2000a. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage. *J Dairy Sci* 83: 2295-2300.
- Soita, H. W., D. A. Christensen, and J. J. McKinnon. 2000b. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage *J Dairy Sci* No. 83. p 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* No. 80. p 1339-1352.
- Stewart, C. S., H. J. Flint, and M. P. Bryant. 1997. The rumen bacteria. In: P. N. Hobson and C. S. Stewart (ed.) (ed.) *The rumen microbial ecosystem*. p 10-72. Blackie Academic and Professional Publishers, London, United Kingdom.
- Trater, A. M., E. C. Titgemeyer, C. A. Löest, and B. D. Lambert. 2001. Effects of supplemental alfalfa hay on the digestion of soybean hull-based diets by cattle *J Anim Sci* No. 79. p 1346-1351.
- 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.
- VanBaale, M. J., J. E. Shirley, E. C. Titgemeyer, A. F. Park, M. J. Meyer, R. U. Lindquist, and R. T. Ethington. 2001. Evaluation of wet corn gluten feed in diets for lactating dairy cows *J Dairy Sci* No. 84. p 2478-2485.
- Varga, G. A., H. M. Dann, and V. A. Ishler. 1998. The use of fiber concentrations for ration formulation *J Dairy Sci* No. 81. p 3063-3074.
- Wang, Z., M. L. Eastridge, and X. Qiu. 2001a. Effects of forage neutral detergent fiber and yeast culture on performance of cows during early lactation. *J Dairy Sci* 84: 204-212.
- Wang, Z., M. L. Eastridge, and X. Qiu. 2001b. Effects of forage neutral detergent fiber and yeast culture on performance of cows during early lactation *J Dairy Sci* No. 84. p 204-212.
- Weimer, P. J., G. C. Waghorn, C. L. Odt, and D. R. Mertens. 1999. Effect of diet on populations of tree species of ruminal cellulolytic bacteria in lactating dairy cows. *J Anim. Sci* 82: 122-134.
- 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 of silage *J Dairy Sci* No. 81. p 1599-1607.
- 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* No. 84. p 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.
- Wood, T. M., and C. A. Wilson. 1995. Studies on the capacity of the cellulose of anaerobic fungus *piromonas communis* p to degradate hydrogen bond-ordered cellulose. *Appl Microbiol Biot* 43: 572-578.
- 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* No. 84. p 2203-2216.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2001b. Barley processing, forage:Concentrate, and forage length effects on chewing and digesta passage in lactating cows. *J Dairy Sci* No. 84. p 2709-2720.

- Younker, 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 No. 81. p 2645-2656.
- Zhu, J. S., S. R. Stokes, and M. R. Murphy. 1997a. Substitution of neutral detergent fiber from forage with neutral detergent fiber from by-products J Dairy Sci No. 80. p 2901-2906.
- Zhu, J. S., S. R. Stokes, and M. R. Murphy. 1997b. Substitution of neutral detergent fiber from forage with neutral detergent fiber from by-products in the diets of lactating cows J Dairy Sci No. 80. p 2901-2906.