

11621
26

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**MEDICION DEL EFECTO DE ALIMENTOS COMPLEJOS
CATALITICOS ENERGETICOS O NITROGENADOS SOBRE
LA DIGESTIBILIDAD DE FORRAJES FIBROSOS EN EL
TROPICO SECO EN BOVINOS**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
P R E S E N T A :
CESAR GALICIA ARENALES

ASESOR: DR. MIGUEL ANGEL GALINA HIDALGO

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

D. N. A. M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Medición del efecto de alimentos complejos catalíticos energéticos
o nitrogenados sobre la digestibilidad de forrajes fibrosos en el
trabajo seco en bovinos.

que presenta el pasante César Galicia Aronales
 con número de cuenta: 09657105-6 para obtener el título de:
Médico Veterinario Zootecnista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de Marzo de 2003

PRESIDENTE Dr. Miguel Ángel Galina Hidalgo

VOCAL MVZ. Lucas G. Melcareño Velázquez

SECRETARIO Dr. Guillermo Tomás Oviedo Fernández

PRIMER SUPLENTE MVZ. R. Javier Hernández Balderas

SEGUNDO SUPLENTE MVZ. Jesús Guevara Vivero

B

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Por ser un ejemplo de fortaleza e inspiración, por demostrarme que todo se puede en esta vida y que la única barrera es uno mismo y que el límite es hasta donde uno quiera llegar.

Gracias por enseñarme el camino y hacer de mi una persona útil.

A MIS HERMANAS:

Arcelia y Norma por apoyarme en todo momento y siempre creer en mi.

Gracias por sus enseñanzas y su fe.

A MI AMIGA Y COMPAÑERA:

Violeta por todo lo bueno que has enseñado, por estar siempre a mi lado tanto en grandes alegrías como en fuertes desconciertos y por apoyarme en todo momento.

Gracias por tu fe y amor.

A MI SOBRINO:

Fernando por ser motivo de inspiración y fuerza de vida.

Gracias por estar conmigo.

☺

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y avivar en mi el espíritu de superación.

Al Dr. Galina por confiar en mi y permitirme trabajar a su lado, por su valiosa asistencia en la realización del presente trabajo y por todo el entusiasmo y optimismo que siempre me transmitió.

A la MC Magdalena por todo su apoyo incondicional y por brindarme su gran amistad.

A mis compañeros de generación por brindarme su amistad y apoyo ya que fuero de gran ayuda para que pudiera lograr esta meta.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo.

“Muchas Gracias”

D

INDICE

I.- RESUMEN	3
II. INTRODUCCIÓN.	4
II.- REVISIÓN DE LA LITERATURA	10
II.1.- GANADERIA	10
II.2.- ENGORDA DE BOVINOS	11
II.3.- CONSTITUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA FIBRA DE LOS FORRAJES	14
II.4.- PRODUCTOS DE LA DEGRADACIÓN DE LOS FORRAJES	17
II.5.- UTILIZACIÓN DE LOS FORRAJES POR LOS MICROORGANISMOS RUMINALES	21
II.6.- CALIDAD Y DIGESTIBILIDAD DE LOS FORRAJES	22
II.7.- CONSUMO DE LOS FORRAJES	23
II 8.- FACTORES QUE AFECTAN LA DIGESTIÓN DE LOS FORRAJES	25
II 9.- LOS FORRAJES TROPICALES	28
II.10.- COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA EN EL RUMIANTE	31
II.10.1.- Hidratos de carbono de fácil fermentación	32
II 10.2.- El nitrógeno no proteico (NNP) y la pollinaza	33

II.10.3.- Proteína fermentable y de sobrepaso	34
II.10.4.- Elementos álcalis y buffer	37
II.10.5.- Minerales	38
II.11.- FERMENTACIÓN RUMINAL	39
II.12.- CINETICA DE LA DIGESTA RUMINAL	40
II.13.- PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD	41
II.14.- CINETICA DE DIGESTIÓN	45
III.- HIPÓTESIS.	52
IV.- OBJETIVOS	53
V.- MATERIAL Y METODOS.	54
VI.- RESULTADOS.	58
VII.- DISCUSIÓN.	65
VIII.- CONCLUSIÓN	69
IX.- BIBLIOGRAFIA.	70

RESUMEN

El experimento se llevo a cabo en Comala, Colima, México 19° 24' y 103° 41' a 1,400 msnm. Clima calido sub-humedo con lluvias en verano Aw1 (w) ACw1(w), con una precipitación de 1,100 mm y una temperatura media de 22°C. Se utilizaron cuatro novillos criollos con un peso inicial promedio de 450 (\pm 10)Kg., con cánulas ruminales fijas, en un diseño experimental factorial 2x8, el efecto principal a medir fue la desaparición *in situ* de Materia Seca (MS) de una dieta compuesta con el 80% de puntas de caña (*Saccharum officinarum*) y un 20% de king grass (*Pennisetum purpureum*). Esta mezcla se asocio con ACC (Alimento Complejo Catalítico) en una proporción del 20%, se formaron ocho tratamientos variando el aporte y origen de la proteína y la energía además de una dieta control (puntas de caña sin suplementación). Se determino la cinética de pH y NH₃, para lo cual se obtuvo liquido ruminal a las 0, 2, 4, 6, 8 y 12 horas, digestibilidad *in situ* y cinética de digestión. Los resultados AQP proteína oscilo en niveles de 3.1 y 1.37% para el *Saccharum officinarum* y el *Pennisetum purpureum*. Pared celular (FDN) 68.82% y 86.29% y contenido de lignina 9.48% y 12.31%. Los resultados permitieron observar un pH entre 6.71 resultado del suplemento numero 4 y 6.99 obtenido del suplemento numero 7 comparado con un 6.30 mas acido que cuando se utiliza el ACC (P< 0.05). Con cualquier fuente de NNP ya sea urea, pöllinaza se elevó el pH ruminal, (diets 6 y 7) aun cuando la fuente no fuera de NNP como el caso de la harina de pescado tanto con fuente de carbohidratos (dieta 3). La degradación *in situ* de la PC, en comparación con la degradación de la PC sin suplementación, con el suplemento 1, se logro una degradación mayor que con los otros, obteniendo resultados que van de 45.12% (a las 4 horas) a 72.84% (a las 96 horas). La tasa de degradación a las 72 h punto asintoto de inflexión fue de 55.40% para la punta sola. Con las dietas energeticas la dieta de pulidora de arroz, 1 tuvo una diferencia significativa (P< 0.01) de 70.90% mientras que la de maiz, dieta 4 sólo obtuvo un 65.00% (P< 0.05). En lo referente a el efecto proteico la dieta de harina de pescado (8) fue la mayor con 69.20% (P< 0.01) mientras que el no adicionar una fuente de NNP provoco un descenso de la tasa de desaparición a un 62.10% menor que las otras dietas proteicas o energeticas, pero aun superior al uso de punta de caña sola. Las dietas fibrosas de los rumiantes se pueden manejar de diferentes formas, la digestibilidad y el consumo se pueden mejorar con el uso de suplementos complejos cataliticos, sin embargo el uso de diferentes fuentes de energia o nitrogeno modifica la respuesta. Las dietas energeticas que aumentan la pulidora de arroz fueron mejores en digestibilidad y tenor de amonaco ruminal, que las que aumentaron el maiz, comparativamente similares a las dietas de nitrogeno que utilizaron la pöllinaza como su fuente. Las dietas que aumentaron sólo la urea o la harina de pescado fueron superiores en los parametros de cinética ruminal estudiados que los de punta de caña sola, pero inferiores a los observados por la dieta de pöllinaza. La pulidora de arroz y la pöllinaza fueron los dos elementos claves para mejorar la fermentación ruminal de la punta de caña.

I.- INTRODUCCIÓN

La importancia de las especies forrajeras en la producción de alimentos y otros productos de origen animal exigidos por la creciente presión demográfica, han señalado la importancia de realizar la explotación pecuaria económicamente a partir de la utilización eficiente de las grandes extensiones de tierra que existen en el mundo y en particular en las regiones tropicales y subtropicales. Esto permite sugerir la necesidad de un mayor conocimiento de la biología y manejo de las especies forrajeras del trópico, con vistas a minimizar la utilización para la alimentación de los rumiantes, de granos y cereales u otros alimentos que el hombre pueda consumir (Elias, 1983)

La fibra, en especial la celulosa es una de las sustancias orgánicas que más abundan en la naturaleza y que, a su vez, constituye una de las mayores fuentes de energía. Sin embargo los vertebrados en el curso de la evolución no han sido capaces de desarrollar en su organismo las enzimas que ataquen la configuración de los enlaces 1-4 glicosídicos de la celulosa. En los herbívoros esta ausencia no influye en la utilización de la fibra especialmente por los rumiantes, ya que en el primer compartimiento (retículo-rumen) se ha establecido una microflora celulolítica responsable de una fermentación pregastrica (Elias, 1983)

En este proceso la celulosa y otros polímeros, constituyentes de la fibra se transforman en fuentes energéticas aprovechables por el animal en forma de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico). Es por ello, que el rumiante puede utilizar los alimentos fibrosos, más eficientemente que los monogástricos, produciendo alimentos de alto valor biológico para el hombre (Elias, 1983)

Los rumiantes tienen la habilidad de utilizar forrajes como única fuente de alimento. Desde el criterio de morfología vegetal, al contrario de las semillas, los tejidos de las

plantas contienen una cantidad importante de su materia orgánica MO (35 al 80%) en las paredes celulares que le proveen a los tejidos su integridad estructural. En los bovinos se permite la utilización, como nutrimento de esas estructuras fibrosas de los forrajes, a través de una degradación de paredes celulares de los microorganismos del rumen capaces de fermentar los polisacáridos en las paredes celulares, que no son sustrato para la hidrólisis de las enzimas de los mamíferos (Jung y Allen, 1995) Al maximizar la presencia de bacterias ruminales se incrementa significativamente la síntesis de proteína con paso al duodeno, produciéndose una reducción del reciclaje del N en el rumen, permitiendo aprovechar el potencial para mejorar la productividad de los rumiantes (Koening et al., 2000). A su vez ha sido recientemente posible obtener altas tasas de eficiencia en la fermentación de rumiantes alimentados con forrajes de baja calidad, suplementados con nutrientes críticos y nitrógeno no proteico (Galina *et al.*, 2000, Ortiz *et al.*, 2002). La energía necesaria para un importante desarrollo microbiano puede provenir de las paredes celulares de los forrajes fibrosos, cuando se mejora la celulólisis con suplementación de una dosis adecuada de carbohidratos fermentables (Galina *et al.*, 2002).

Los alimentos altos en fibra, bajos en proteína, acompañados de los residuos de cosechas son los forrajes de mayor abundancia para los rumiantes en los trópicos (Fernández *et al.*, 1990, Preston, 1995) Trabajos previos han obtenido mejoras en las tasas de producción cuando estos forrajes han sido suplementados adecuadamente, favoreciendo una eficiente fermentación ruminal con un aporte de nutrientes esenciales hacia el intestino delgado. (Preston, 1990, 1991, 1995, Galina *et al.*, 1997) Investigaciones previas buscaron optimizar la relación simbiótica entre los microorganismos ruminales y el animal huésped (Orskov, 1994) Un incremento en la población microbiana celulolítica, particularmente las especies *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavifaciens* y *R. Albus*, pueden tener

dos funciones, por un lado aumentar la energía de la dieta accesible al rumiante, incrementando la digestibilidad de los forrajes ricos en fibra, permitiendo a su vez, un aporte superior por el señalado en las tablas convencionales de alimentos (INRA, 1988; Orskov, 1994; Russel y Wilson, 1996; Martin 1997) Por el otro lado al incrementar el flujo ruminal se produce un aumento en la cantidad de nutrientes debido a un mayor volumen de materia seca ingerida, permitiendo un consumo voluntario aparente muy por encima de márgenes conocidos con anterioridad (Ortiz *et al.*, 2000, INRA, 1988) Para lograr una mayor eficiencia fermentativa microbiana se ha recomendado la presencia constante de una base de nitrógeno amoniacal como urea, pollinaza, sulfato de amonio o cualquier otra fuente de nitrógeno no proteico (Oltjen *et al.*, 1968, Leng, 1990, Preston, 1995, Zinn *et al.*, 1996) En combinaciones que pueden tener concentraciones importantes de urea (Visek, 1984) Acompañada de carbohidratos fermentables como la melaza (Ferreiro y Preston, 1976, Preston, 1995, Russell y Wilson, 1996) Otros elementos que complementan la optima fermentación microbiana han sido azufre y fósforo, además de alcalis que modifiquen el pH hacia la neutralidad (cal) aunado a sustancias buffer, como el cemento (Russell *et al.*, 1979, Soller *et al.*, 1980, Wheeler *et al.*, 1981 a; 1981b, Russell y Wilson, 1996) La productividad se puede complementar con proteína de sobrepaso, carbohidratos de baja degradabilidad (almidón) que escapen a la fermentación ruminal, grasa animal que aporte un incremento energético por Kg de MS, además de ácidos grasos de cadena larga que aumenta el NADPH (Orskov, 1998, 1991, Leng 1990) Con la mezcla de ellos se incrementa la absorción de nutrientes, aumentándose la productividad hasta 10 veces más de aquella obtenida por métodos convencionales (Leng, 1990)

Con anterioridad se han realizado estudios sobre los efectos individuales de cada uno de los elementos utilizados en la propuesta, sin embargo hay pocas investigaciones

mediando los efectos ruminales de una mezcla (Galina *et al.*, 1997) o administrada en forma de bloques de urea que han sido utilizados con buenos resultados en bovinos (Kunju, 1986). La utilización de diversas estrategias de alimentación para los rumiantes en el trópico ha derivado en el uso de pastos, rastrojos, pajas y otros recursos forrajeros como la caña de azúcar y sus subproductos, tales como el bagazo, bagacillo y las puntas; sin embargo, la principal característica de estos forrajes es su pobre valor nutritivo resultando de un alto tenor de fibra y un bajo contenido de proteína, asociado con una baja digestibilidad, lo que repercute directamente sobre el consumo, generando una baja eficiencia productiva (Leng, 1991)

Para disminuir estas características, se han desarrollado varias estrategias como los tratamientos químicos y físicos del material fibroso (Elizondo, 1998; Aguilera 1988), pasando por la incorporación de forrajes de mejor calidad (Leng, 1991) y la complementación con elementos no convencionales (Preston y Leng, 1984) Para lograr una máxima expresión productiva con estos recursos forrajeros, sin embargo, es prioritario el establecimiento de un ecosistema ruminal donde se maximice la digestibilidad de la fibra complementando los elementos que limitan la capacidad fermentativa microbiana (Leng, 1991)

El bajo nivel de nitrógeno en los forrajes tropicales, es indicativo de la necesidad de su incorporación en la dieta (Preston y Leng, 1984) Así pues, la complementación con nitrógeno en forma de proteína natural o de nitrógeno no proteico (Oltjen *et al.* 1968, Swingle *et al.* 1977, Leng, 1990, Valdes y Castillo, 1993, Preston, 1995, Zinn *et al.* 1996) han probado incrementar las características digestivas de los forrajes de baja calidad, generando una máxima proliferación de microorganismos celulolíticos cuyos

requerimientos simples de nitrógeno son cubiertos por la presencia de amoníaco en el rumen procedente de la hidrólisis de la urea o de las proteínas (Elias, 1983)

Durante muchos años, se ha reconocido el impacto de los nutrientes inorgánicos, especialmente el de los minerales, para estimular la actividad metabólica de los microorganismos del rumen. De esta manera algunas de las sales minerales (potasio, sodio, calcio, azufre y fósforo), ejercen un efecto benéfico en la degradación de los hidratos de carbono estructurales de la pared celular de los forrajes, al formar parte de los complejos enzimáticos celulares (Elias, 1983, Leng, 1991, Preston, 1995)

Es imperativo reconocer que el crecimiento del animal no puede ser sostenido por los productos de la fermentación digestiva, por lo que es imprescindible la utilización de proteína de baja degradabilidad ruminal para aprovechar la energía de los AGV absorbidos (Preston y Leng, 1984, Preston, 1995) La complementación con estos elementos (harinas de carne, de pescado y algodón etc) son empleados principalmente en el aporte de aminoácidos para la síntesis de proteína animal

En el caso de la harina de pescado se sabe que también aporta aminoácidos esenciales, lípidos, calcio y fósforo Además de otros micro y macro minerales que estimulan el crecimiento microbiano, generando así un aporte de proteína microbiana hacia el intestino, incrementando la eficiencia productiva del rumiante Otro elemento de suma importancia en la nutrición del animal huésped, lo constituyen los hidratos de carbono (almidón) de baja degradabilidad ruminal presente en los granos de cereales (Orskov, 1998) Así como la adición de ácidos grasos de cadena larga que favorecen el contenido energético de la ración (Gusnet y Demarne, 1987, Leng, 1990, Valdes y Castillo, 1990) Además de los recursos glucogénicos (maíz y pulido de arroz) impactando directamente sobre el aporte nutrimental del animal.

Por otra parte, en la literatura científica han sido reportados muchos estudios sobre los efectos individuales de estos elementos. Sin embargo, existen pocas investigaciones que valoren los efectos ruminales de una mezcla compleja catalítica que incorpora estos elementos (Preston y Leng 1984, 1987, Puga *et al.*, 1998; 2001c). Intensificando la capacidad fermentativa en el rumen y el aporte de nutrientes esenciales hacia el intestino. Además de conocer cual es el nivel de inclusión óptimo, para lograr una máxima expresión nutricional de los forrajes, reflejándose en un mejor nivel productivo en los rumiantes Preston en 1995 mencionó que el comportamiento de un catalizador es como un elemento que acelera una reacción y no rebasa el 30% de inclusión en la ración

II.- REVISIÓN DE LITERATURA.

II.1. GANADERIA

La ganadería tropical se localiza mayoritariamente en los países de menor desarrollo tecnológico que poseen más del 50% de los inventarios de los rumiantes del mundo, pero aportan apenas un 20% de leche y un 25% de la carne que se consume. Por otro lado los países con mayor uso de tecnología localizados en su mayoría en las regiones templadas, áridas, semiáridas, poseen el otro 50% de los inventarios produciendo el 80% de leche y 75% de carne (Avalos *et al.*, 1994). Además de proveer alimento para consumo humano, los bovinos sirven para otras actividades como tiro, transportación y reciclaje de nutrientes con eficiente sostenibilidad de los sistemas de producción ganaderos. Los productos de origen animal proveen una sexta parte de los nutrientes energéticos y más de un tercio de la proteína global para el consumo humano (Leng, 1991; Bradford, 1999).

México, a pesar de tener potencial ecológico para producir forrajes todo el año, en sus áreas tropicales ocupa solamente el lugar número 16, con 1.5% de la leche producida en el mundo (Torres, 1991). No obstante se tiene el reto debido a que los recursos naturales ya no logran satisfacer las necesidades de alimentación de la ganadería en nuestro país, por lo que problemas que tradicionalmente solo se circunscribían a dicho sector, tienden a extenderse encontrándose en la mayoría de las regiones ganaderas del país, que se traduce en una producción insuficiente (Flores, 1983). Leng (1991) discute los factores de tal deficiencia:

- Problemas en cantidad o calidad de recursos alimenticios para los rumiantes
- Malas prácticas de manejo de pastos y ganado
- Control deficiente de enfermedades y parásitos

> Baja calidad genética de los animales.

Por su parte Preston (1997), propone tres pasos a seguir para un apropiado desarrollo tecnológico en la producción animal:

- 1 - Elegir la especie animal adecuada
- 2 - Valorar las fuentes de alimentación regionales
- 3 - Analizar los sistemas de manejo

Este mismo investigador, señala que no se deben dejar a un lado los objetivos del desarrollo de los sistemas de producción animal los cuales engloban una serie de factores que se enumeran de la siguiente forma (Preston, 1997)

- 1 - La producción de carne y leche lo cual mejoraría el nivel de nutrición de la población, satisfaciendo la demanda de productos de calidad para el sector popular
- 2 - Los problemas de competencia con los productos extranjeros.
- 3 - La creación de empleos, particularmente en las áreas rurales.
- 4 - La mejora de la calidad de vida, reduciendo la contaminación, desarrollando estrategias tomando en cuenta la necesidad de mantener el entorno ecológico.
- 5 - La contribución al desarrollo regional
- 6 - El incremento a sistemas que sean biológica, económica y ecológicamente apropiados para el crecimiento del país

11.2. Engorda de bovinos en el trópico.

Trabajo previos en la literatura mexicana, mencionan cinco regiones ecológicas, las cuales están divididas de la siguiente manera

Region	Superficie en Km ²	% Pais
Arida y semiarida	792,017	40
Templada	189,278	10
Tropical húmeda	260,263	13
Tropical seca	240,399	12
Montañosa	490,589	25

(Alba, 1976)

De ella el uso de las áreas tropicales se distribuye en agostaderos con 50%, 25% de praderas inducidas, mientras que el otro 25% son destinadas al uso agrícola de acuerdo a un grupo de investigadores nacionales (Avalos *et al.*, 1994)

Por otro lado dentro de la nutrición animal en la literatura se ha discutido la importancia de tomar en cuenta que los rumiantes también pueden utilizar el almidón y las proteínas requeridas por los animales domésticos de estómago simple, pero las aprovechan con menor eficiencia económica. Estos alimentos deberán ser empleados para los animales de estómago sencillos y la celulosa para los rumiantes. Individualmente en el mundo se puede llegar a mejorar la eficiencia de la utilización de los alimentos, pero todo parece tener como base el uso de compuestos nitrogenados sencillos, los cuales no pueden ser utilizados por los no rumiantes. Concluyen varios estudios (Hugante, 1975; Elias, 1983; Leng, 1991). La baja eficiencia de conversión alimenticia del ganado en trópico, se atribuye por trabajos anteriores en gran parte a los sistemas de manejo de las praderas y agostaderos existentes ya que predomina el sistema de pastoreo extensivo, basando su alimentación en especies nativas como principal recurso forrajero, gramas o pasto común que por su

naturaleza ofertan una variabilidad estacional cuantitativa y cualitativa (Avalos *et al.*, 1994)

En la literatura dos componentes importantes han sido considerados en la nutrición de los rumiantes: la raza y el clima, los cuales tienen una influencia en los requerimientos de energía para mantenimiento permitiendo explicar los logros con razas principalmente *Bos indicus* en climas tropicales donde se comportan mejor que los animales europeos, debido entre otros a su sistema de dispersión de calor y resistencia a parásitos, sin embargo sus tasas de conversión son menores que las razas altamente especializadas en carne (*Bos taurus*), cuando estos últimos son trabajados en ambientes favorables con mejores alimentos como aquellos prevalientes en clima templado (Sánchez y Ortiz, 1977, Martín, 1994)

Trabajos anteriores de la nutrición de rumiantes han demostrado lo complicado de las características fisiológicas de estos animales debido a que cuentan con una porción dilatada en su tracto digestivo (rumen) donde los alimentos fibrosos que forman una gran porción de su dieta, son detenidos sufriendo una gran degradación. En este sentido, ha sido sugerido tener en cuenta los procesos nutricionales por separado. La nutrición de la población microbiana ruminal como un ente y la del hospedero, que en su aplicación son inseparables, se ha probado que estos microorganismos ruminales necesitan nutrientes críticos que permitan su desarrollo (Elias, 1983, Preston, 1991, 1995). Para lo cual algunos investigadores proponen la manipulación del rumen con el fin de desarrollar un microsistema favorable, donde se incremente la producción de energía con base a los AGV's de baja degradabilidad, el almidón y los ácidos grasos de cadena larga de la fermentación ruminal, tener control de los protozoarios así como aumentar la digestión de carbohidratos estructurales, mediante un tratamiento físico o químico de los

forrajes, la adición de nitrógeno fermentable (urea, amoníaco) acompañado de micro nutrientes -azufre, fósforo, aminoácidos y péptidos- (Preston y Leng, 1984; Preston, 1991).

Lo anterior se puede definir como biotecnología del rumen, lo cual implica mejorar el potencial nutritivo de los alimentos para rumiantes por medio del conocimiento de los compartimentos ruminales, su uso, así como el manejo natural recombinante de los microorganismos para mejorar la producción de estos animales (McSweeney *et al.*, 1999).

II.3. CONSTITUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA FIBRA DE LOS FORRAJES.

Los forrajes tropicales, pajas y esquilmos agrícolas tienen como principal característica nutricional, la presencia de un alto contenido de lignocelulosa, el cual es un complejo compuesto por celulosa, pectinas, hemicelulosa y lignina con una asociación física y química sumamente estrecha. En base a estas características se identifican tres fracciones

1 - Fracción de hidratos de carbono fácilmente fermentable por la población microbiana ruminal (glucosa, fructuosa, sacarosa, almidón y algunos polisacáridos que se almacenan como fructosanas y rafinosa)

2 - Fracción de celulosa y hemicelulosa potencialmente digestible, pero por la presencia de lignina es parcialmente aprovechada.

3 - Fracción de lignina y sílice, esencialmente indigestible por los microorganismos ruminales (Elias, 1983, Aguilera, 1988, Wilson, 1994)

Los forrajes están formados básicamente por un complejo que constituye la pared celular llamada lignocelulosa (fibra), la cual está formada por dos paredes: la primaria está compuesta por el 90% de polisacáridos (microfibrillas de celulosa, pectina y hemicelulosa) y 10% de proteínas. La pared secundaria se sitúa envolviendo a la primaria y se genera cuando la planta alcanza su madurez, incrementándose la cantidad de celulosa,

hemicelulosa y lignina (Pigden y Heaney, 1969; Wilson, 1994). La fibra en especial la celulosa es una de las sustancias orgánicas que más abunda en la naturaleza y que, a su vez, constituye una de las mayores fuentes de energía para los rumiantes (Elias, 1983; Wilson, 1994). La celulosa es polisacárido más abundante de la pared celular (20-50% de la MS) y uno de los constituyentes más insolubles, esta formada por cadenas lineales de glucosa: unidas por enlaces β -1,4 (Chesson y Forsberg, 1988) En la fibra celulósica hay alrededor de 40 cadenas de glucosa, llamadas glucanos, son fuertes y se alinean por laminas sostenidas por puentes de hidrogeno, estos proporcionan una gran fuerza y resistencia a la degradación química

En 1975 Albersheim, propuso un modelo, en el que describió la estructura de la pared celular, donde las fibras de celulosa estaban unidas por medio de los polisacáridos xilosa, arabinosa y ramosa Adhiriéndose muchas moléculas de xiloglucanos sobre la superficie de la fibra, las cuales se unen en una cadena simple de arabinogalacturano, estas se pueden unir a cadenas de ramnogalacturano, uniendo a diferentes fibras de celulosa, estas extensas uniones inmovilizan a la fibra en una matriz rígida

Según el tratamiento empleado para la extracción de la celulosa de las plantas se pueden distinguir, con la ayuda de la fracción de rayos X, cuatro formas cristalinas llamadas celulosa I, II, III y IV La celulosa I es la que normalmente se encuentra formando parte de la pared celular, la II es la que se obtiene por maceración, la III se separa con etilamina anhidra y la IV se obtiene por tratamiento a altas temperaturas y es muy similar a la I La diferencia entre estos cuatro grupos es importante en los ensayos enzimáticos destinados a su degradación ya que la celulosa II constituye un buen sustrato para estos fines (Elias, 1983)

Otro de los hidratos de carbono de la pared celular lo constituye la hemicelulosa que es un polisacárido amorfo formado por cadenas cortas de glucanos, polímeros de xilosa, arabinosa, ramnosa, galactosa y por ácidos glucoronico y galacturonico. La hemicelulosa se diferencia del resto de las fracciones de la pared celular (celulosa y lignina), básicamente por el método de extracción a través de álcalis (Chesson y Forsberg, 1988). El contenido de hemicelulosa varía según el tipo vegetal, pero oscila en un rango de 30 a 40%

El principal componente de la fracción hemicelulosa lo compone el xilano, estas unidades de monosacáridos y sus derivados están unidos de forma continua por enlaces glucosídicos 1-3, 1-4 y 1-6. En su mayoría son moléculas lineales aunque pueden poseer ramificaciones cortas, tienen un peso molecular más bajo que la celulosa y su grado de polimerización no excede a 200 (Elias, 1983)

Las sustancias pectínicas, son polímeros coloidales formados, en su mayor parte, por unidades de ácido anhidrogalaconico unido por enlaces 1-4. Tienen la característica de formar geles en presencia de sacarosa a un pH adecuado. Estas sustancias tienen dos tipos de polisacáridos: 1 - Polímeros neutros, L-arabinosa y D-galactosa y 2 - Polisacáridos neutros y pequeñas cantidades de otros azúcares como L-ramnosa, L-fucosa y D-xilosa (Elias, 1983)

Por otra parte un complejo tridimensional formado por un polímero de fenilpropano carbohidratado, lo constituye la lignina cuya función es dar soporte estructural y resistencia a la pared celular de las plantas (Jung y Fahey, 1983), su estructura está formada por una mezcla de polímeros como el 3,5-dimetoxi-4-hidroxifenilpropano, por el ácido ferulico y ácido p-cumárico, variando su proporción con respecto al tipo de vegetal. La lignina constituye una de las partes más insolubles de la pared celular de las plantas y a causa de su estrecha asociación mediante los enlaces covalentes con los polisacáridos de la pared,

frecuentemente actúa como barrera física que impide la degradación microbiana de estos compuestos, por lo que además de no ser digerible, puede influir en la digestibilidad de otros componentes de la pared celular (Elias, 1983) La lignina esta extensamente ligada a los polisacáridos de la pared celular. A esta unión entre la lignina y los carbohidratos, se le ha denominado complejo "lignocelulósico" (Chesson y Forsberg, 1988)

II.4. PRODUCTOS DE LA DEGRADACIÓN DE LOS FORRAJES.

La fermentación de glucidos es la principal fuente de energía para la producción de ATP, el cual es esencial para el mantenimiento y crecimiento de la microbiota ruminal. La ruta primaria de fermentación de las hexosas en los microorganismos ruminales es la ruta de Embden-Meyerhof (EM). Los productos de degradación de la celulosa y almidón pasan directamente a glucosa o glucosa 6 ó 1-fosfato, mientras que los productos de la degradación de pectinas y hemicelulosa pasan al ciclo de las pentosas para forma fructuosa-6-fosfato o a gliceraldehido-3-fosfato, terminando la ruta EM hasta la formación de piruvato (Lehninger, 1983). La vía completa de la EM produce 2 ATP netos, en tanto que la producción neta de ATP por la fermentación de un mol de pentosa es de 1.67 moles; esta ruta comprende la conversión de tres pentosas fosfato a dos hexosas fosfato y una tirosa fosfato vía las reacciones transcetolasas y transaldolasas. El piruvato es el compuesto del cual parte la producción de acetato, propionato y butirato, formando metano y dióxido de carbono, por lo cual, su papel dentro del metabolismo de los hidratos de carbono es indispensable, tanto para la formación de piruvato como del NADH₂ y ATP, su formación varía enormemente dependiendo de los microorganismos involucrados y de las condiciones de incubación (Williams y Coleman, 1988).

La necesidad primordial dentro de los microorganismos, es la de mantener el balance de hidrogeno en el sistema, es decir la metanogenesis es activa y como resultado, la

presión parcial de hidrogeno en el medio exterior es baja, los microorganismos poseen una hidrogenasa que puede liberar el hidrogeno del NADH como H₂. Si el H₂ en el medio exterior es alto, la termodinámica de la reacción $\text{NADH} \rightarrow \text{H}_2 + \text{NAD}$, no es favorable y el organismo es forzado a reducir piruvato a lactato ó propionato para mantener el balance de H₂ (Baldwin y Allison, 1983).

Entre las reacciones del piruvato se encuentra la producción de acetato de la cual se han observado dos mecanismos donde el mas comunes el sistema piruvato-formato, el cual produce formato y acetil-CoA como producto inmediato. El formato es liberado y convertido a CO₂ + H₂ y posteriormente a CH₄ con la consecuente liberación de un ATP (Baldwin et al., 1970, Baldwin y Allison, 1983). El otro mecanismo, es el enzimático donde el piruvato por medio de la acción de la piruvato-ferredoxina oxidoreductas, se convierte en ferredoxina reducida, CO₂ y Acetil-CoA (Leng, 1970). El acetil-CoA es convertido a acetato + ATP, por la fosfotransacetilasa + acetocinasa. La producción de ATP en la conversión de piruvato a acetato es de un ATP por mol (Thaver y Jungermann, 1977, Tamminga, 1978, 1979). Harrison *et al.* (1975, 1976), sugirieron que la producción de acetato esta asociada con la formación de 4.25 moles de ATP por mol de hexosa fermentada (Bergen, 1979, Buttery, 1981).

Por otra parte, las bacterias metanogénicas (*Methanobacterium ruminantium*) son un grupo de microorganismos que reducen el CO₂ a CH₄, con un atermodinamica altamente favorable para la formación de ATP. Los mecanismos de formación de ATP aun no son del todo conocidos. Por su parte, la inhibición en la producción de metano, ha generado merementos en la formación de propionato, pero tambien hay una perdida considerable en la cantidad de energia como H₂ (Baldwin y Allison, 1983, Wolin y Millar, 1983). El

propionato es producido por la ruta del oxalacetato (orandomización) y por la ruta del acrilato (ruta de la reducción directa) (Bergen, 1977) Para catalizar la carboxilación del piruvato pueden actuar tres enzimas

- 1 - La fosfoenolpiruvato carboxina, la cual convierte el fosfoenolpiruvato \rightarrow ADP ó GDP a oxalacetato $+ATP$ ó GDP (Wolin y Millar, 1983).
- 2 - La piruvato carboxilasa que transforma el piruvato $+CO_2$ y ATP en oxalacetato $+ADP$ (Tamminga, 1978, 1979).
- 3 - La metil malonil-CoA carboxitransferasa, la cual transfiere una unidad de carbono de la metilmalonil-CoA al piruvato, durante la conversión de succinato a propionato.

El primer y tercer proceso enzimático son preferidos por los microorganismos por que completan la carboxilación sin costo energético para la célula, mientras que la reacción de piruvato carboxilasas emplea un ATP por mol. En la fermentación de la celulosa, via la reacción de carboxiltransferasa se observa muy poco carbón reciclado, lo cual se debe a que varios microorganismos celulolíticos producen succinato como producto final (Baldwin *et al.*, 1970, Baldwin y Allison, 1983)

El ácido succínico es un importante precursor de una porción del propionato formado en el rumen. El succinato es descarboxilado a propionato y CO_2 (Wolin y Millar, 1983). Las bacterias que producen mayores cantidades de succinato a partir de la celulosa son *Bacteroides rummicola*, *Bacteroides succinogenes* y *Ruminococcus flavefaciens*. Entre los microorganismos descarboxilantes esta *Selenomonas ruminantium*, la cual se encuentra en altas concentraciones en el rumen y producen propionato, acetato y CO_2 a partir de los glucosidos, en tanto que los microorganismos tales como *Propionibacterium* y *Veillonella* usan la ruta del succinato para producir propionato y son capaces de descarboxilar el succinato a propionato y CO_2 . Es importante señalar, que para llevar a cabo la

descarboxilación del succinato es necesaria la biotina (Wolin y Miller, 1983; Stewart y Bryant, 1988)

Cuando la celulosa es el principal azúcar de la cadena hidrocarbonada de la dieta, la ruta predominante para la producción de propionato en el rumen es la ruta del succinato o la ramdomización. No obstante cuando el almidón es el glucido predominante, la mayor parte del propionato se produce por la ruta del acrilato o ruta de la reducción directa (Van Soest, 1982; Leng, 1990). Esta ruta alternativa ha sido identificada en bacterias tales como *Megasphaera elsdenii*, *Barcterioide rummicola*, la cual involucra la formación de lactato conversión de acrilil-CoA a propionil-CoA via un crotonil-CoA reductasa unida a NADH2 (Baldwin y Allison, 1983; Stewart y Bryant, 1988)

Debido a que el acido propionico, ha sido reconocido como el único acido graso volátil gluconeogenico su producción es de vital importancia ya que este es utilizado por el animal como fuente de energia y como sustrato para sintesis de glucosa. De esta manera en condiciones aeróbicas el rendimiento energético por mol de acido propionico es de 18 moles de ATP y su rendimiento esta asociado a la produccion de 4 moles de ATP por mol de hexona fermentada (Baldwin, 1970; Buttery, 1981; Baldwin y Allison, 1983; Wolin y Miller, 1983)

Otro de los productos de la fermentacion lo constituye el butirato el cual puede ser producido por dos vias. Por la via de la condensacion de dos moleculas de acetyl-CoA o (reversa de la β -oxidacion) o bien por la condensacion de una molecula de acetyl-CoA y una de malonil-CoA (Leng, 1970). En la ruta de malonato cuando se parte de acetato se requieren de dos moles de ATP para formar un mol de butirato, mientras que en la reversa de β -oxidacion, solo se requiere de un mol de ATP (Leng, 1970). La producción de butirato esta asociada a la producción de 3 moles de ATP por mol de hexosa fermentada (Leng,

1970, Harrison *et al.*, 1975; Bergen, 1979; Thaver y Jungermann, 1977; Buttery, 1981; Van Soest, 1982)

11.5. UTILIZACIÓN DE LOS FORRAJES POR LOS MICROORGANISMOS RUMINALES

La accesibilidad del material celulósico a los agentes biodegradables, esta directamente relacionada con su estructura física. La degradabilidad del material vegetal, esta dada por la acción enzimática de los microorganismos, la cual a su vez esta sujeta a varios factores como el tamaño, la forma y el área de superficie de los capilares de la pared celular, además de la capacidad de adhesión de los microbios (Aguilera, 1988; Wilson, 1994). Microorganismos tales como bacterias, hongos y protozoarios colonizan prácticamente todo el material vegetal que entra al rumen. La mayor ruta de invasión es a través de las líneas de la epidermis vegetal. Por su parte, las bacterias celulolíticas (*Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Fibrobacter succinogenes*) se adhieren, cortan y dañan la superficie de la pared celular como primer paso del proceso de degradación, algunos hongos y protozoarios (*Neocallimastix frontalis*, *Polyplastron multivesiculatum*, *Eubrophodnum magga*, *Epidinium caudatum* y *Eremoplaston bovis*) son atraídos a través de quimiorreceptores hasta el sitio de colonización, enquistándose e invadiendo el tejido vegetal (Chesson y Forsberg, 1988; Russel y Wilson, 1996; Weimer, 1996; Fondevila y Dehority, 1996; Matsui *et al.*, 1998).

Este primer evento, es seguido por el inicio de la digestión de la celulosa, este mecanismo se lleva a cabo a través de la acción enzimática (celulasas) de los microbios ruminales, rompiendo el polímero, en pequeñas moléculas de diferente peso molecular como oligosacáridos, di o trisacáridos (celobiosa y celotriosa), en monómeros glucosa, en

pequeños alcoholes, ácidos grasos volátiles, cetonas, metano, bióxido de carbono y agua (Chesson y Forsberg, 1988).

Las enzimas bacterianas de acción celulolítica se clasifican en tipo exo y endo, las primeras producen la separación de azúcares, comenzando por el extremo reductor de la cadena β -1,4 glucano y el tipo endo actúa sobre los enlaces glucosídicos β -1,4. Las enzimas de los hongos se clasifican en tres tipos: las endo- β -1,4-gluconasas, las exo- β -1,4-gluconasas y las 1,4- β -glucosidasas, las primeras rompen los enlaces glucosídicos internos, resultando celulo-dextrinas solubles en agua. Las exo reducen la celulosa a celobiosa y glucosa, la última hidrolizan las celulo-dextrinas y la celobiosa, para obtener glucosa. Para degradar la celulosa cristalizada, se requiere de la acción conjunta de las enzimas exo y endo (Chesson y Forsberg, 1988).

Este fenómeno digestivo es continuado por la fermentación de la hemicelulosa, la cual se lleva a cabo por la acción enzimática, liberando el disacárido xilobiosa, a través de la enzima xilosidasa para formar xilobiosa. Esta actividad representa la hidrólisis a las uniones β -1,4-xilosídicas por la hemicelulasa (Chesson y Forsberg, 1988). Los protozoarios (*Eudiplodinium magna*, *Epidinium caudatum* y *Eremoplston bovis*), activamente en la producción de enzimas hemicelulasas y/o xilanasas (Chesson y Forsberg, 1988). Cabe destacar que la máxima eficiencia de las enzimas celulolíticas se lleva a cabo en un rango de pH de 6.0 a 7.0 y en una temperatura promedio de 39 a 45° C.

II.6. CALIDAD Y DIGESTIBILIDAD DE LOS FORRAJES

Cuando en los pastos existen poblaciones insignificantes de leguminosas y no se aplica fertilizante nitrogenado, la fuente principal lo constituye el nitrógeno almacenado en el suelo, lo que limita la producción y contenido proteico de los pastos. El aporte de nitrógeno al suelo a través de la fijación simbiótica de las bacterias ondulares de las leguminosas es

considerable. Sin embargo, aunque las leguminosas mejoran el comportamiento de los animales, es evidente que la fertilización nitrogenada a las gramíneas permite duplicar la carga y obtener mayor producto animal que en los rebaños con leguminosas. La respuesta a la fertilización nitrogenada está relacionada con la obtención de una alta producción de materia seca (MS) y por el incremento en el nivel de proteína, así como una consecuente mejoría en la digestibilidad del material vegetal. Sin embargo, esta respuesta puede variar, en lo referente al grado de digestibilidad. De esta manera, se ha encontrado que la digestibilidad se incrementa cuando el forraje es joven, invirtiéndose de forma negativa o no significativa cuando el forraje entra en estado de madurez avanzada (Elias, 1983).

En este sentido, Almanza y Paretas en (1976) utilizaron el pasto Pangola (*Digitaria decumbens*) para evaluar el grado de correlación existente entre el nivel de fertilización con nitrógeno y la digestibilidad de la materia seca, encontrando una respuesta positiva, es decir que cuando la cantidad de fertilizante empleado se incrementa, la digestibilidad se incrementa de igual forma.

Por otra parte, Elias en (1983), reportó evidencias de que la digestibilidad de la materia seca (DMS) está estrechamente relacionada con la proporción de hojas (hojas/tallos) de los pastos, es decir, que a medida que la planta crece se incrementan los hidratos de carbono en especial la lignina la cual ejerce una función protectora, lo que trae como consecuencia una disminución en el grado de digestibilidad del sustrato, de esta manera la disponibilidad energética del forraje dependerá en gran medida de su contenido de lignina y fibra.

II.7. CONSUMO DE LOS FORRAJES

La capacidad de consumo de los ruminantes alimentados con forrajes de baja calidad, principalmente con forrajes tropicales dependen de una larga degradación del alimento, de esta manera, las partículas de alimento con un tamaño superior a 0.2 cm son retenidas por

mas tiempo en el rumen, disminuyendo su flujo hacia el intestino, generando una subsecuente disminuci3n sobre el consumo (Van der Meer y Van Es, 1987)

El consumo de la materia orgánica (MO) digerible, usualmente es el factor principal, que limita la producci3n en los rumiantes (Arthur, 1989); es asi que, el consumo responde de forma positiva a la complementaci3n con proteina cruda, en este sentido, se recomienda realizarla principalmente en dietas donde el contenido de PC sea menor al 5% (Alden, 1981, Hennessy y Williamson, 1983) Por otra parte, Kempton *et al.*, (1977) y Van Soest (1982) sugieren que la inclusi3n de nitr3geno en dietas con bajos niveles de PC restauraron el balance metab3lico y las diferencias nitrogenadas en los tejidos.

Orskov en 1982 menciono que los forrajes maduros son tipicamente altos en fibra y bajos en componentes solubles, dando como resultado un pobre consumo y una baja digeribilidad, sin embargo Elias (1983) y Ellis (1979), mencionaron que un incremento en el consumo de estas fuentes de fibra, es posible gracias a una correcta complementaci3n; asociando algunos elementos tales como azucares simples de f3cil fermentaci3n (melaza, almid3n o granos de cereales), proteinas naturales (caseina, soya, gluten de maiz, etc.) adem3s de diversas fuentes de NNP (urea, pollinaza), lo que trae como consecuencia una mejora en la tasa de digesti3n y pasaje de estos forrajes dentro del rumen

Por su parte, Arthur en 1989 menciono que el contenido de energia bruta de estos forrajes no parece ser una limitante, sin embargo, su pobre consumo y digeribilidad resulta en una disminuci3n en el aporte de energia digerible y metabolizable al hospedero Por otro lado, Elias (1983) indico que una complementaci3n con azucares solubles genera un incremento en la digeribilidad de la fibra, ya que los microorganismos ruminales (celulol3ticos) son incapaces de obtener la energia de la celulosa, para sus funciones celulares hasta que la mol3cula sea digerida, lo anterior sugiere que al inicio de la digesti3n

es necesario la presencia de pequeñas cantidades de azúcares simples. Pero en cambio si esta adición se incrementa por encima de los 3 Kg. /500 Kg de PV/DIA (más del 0.6% del PV/DIA) se sustituye la digestión del forraje y su utilización empeora

Asimismo, Oltjen *et al.* (1986), mencionaron que la complementación con proteína natural y NNP incrementa la digestibilidad de la MS. Además de lograr una mayor eficiencia de utilización, debido a una amplia proliferación de los microorganismos celulolíticos, cuyos requerimientos simples de nitrógeno son cubiertos por la presencia de amoníaco en el rumen procedente de la hidrólisis de las proteínas o de la urea (Bryant y Robinson, 1961, Hungate, 1966)

Asimismo, mediante la incorporación de los aminoácidos tales como la valina, lisina, isoleucina, prolina y metionina, se ejerce una influencia positiva sobre la digestión de la fibra debido a que los microorganismos celulolíticos requieren de estos elementos para su incremento (Dehority *et al.*, 1958, Allison, 1969) Sin embargo Dehority *et al.* (1958) y Robinson (1961) mencionaron que la función principal de los aminoácidos en la degradación de la fibra, es la de aportar cadenas carbonadas necesarias, luego de su desaminación para la síntesis de ácidos grasos volátiles, especialmente los de cadena ramificada (valérico, capríco, isobutírico e isovalérico) estimulando la celulólisis ruminal (Ehas 1983)

11.8. FACTORES QUE AFECTAN LA DIGESTIÓN DE LOS FORRAJES

El estudio de la nutrición de los rumiantes, es complicado debido a las características del proceso de fermentación que se efectúan en el rumen. En este sentido, hay que tener en cuenta los procesos nutricionales por separado la nutrición de la población microbiana ruminal y la del animal hospedero, que en su aplicación son indispensables. Por lo tanto, esta última es de vital importancia en la producción animal. La primera puede ser de mayor

significancia en la utilización de los alimentos, especialmente al alimentar con dietas fibrosas. Esto se debe fundamentalmente a que la digestibilidad y utilización de los alimentos de naturaleza fibrosa para los rumiantes depende fundamentalmente de los microorganismos del rumen; en este contexto, es importante considerar los factores que influyen en la estimulación o disminución de la celulosis ruminal. (Elias, 1983; Wilson, 1994)

El contenido de la pared celular de un forraje es nutricionalmente importante, por que su incremento generalmente esta seguido de una reducida digestibilidad, lo que impacta sobre un pobre consumo. Dentro de los factores que limitan la digestibilidad de la pared celular, se encuentra la inaccesibilidad de ataque microbiano, debido a la formación de complejos fenolicos (p-cumarico y los alcoholes coniferil y sinapil) presentes en la lignina, los cuales tienen una acción toxica sobre los microorganismos celuloliticos (Chesson y Forsberg, 1988). Entre otros factores que afectan a la digestion de la pared celular, se encuentran los relacionados con el ambiente y la función ruminal, que influyen directamente sobre la población microbiana. Asimismo la temperatura del rumen es esencial que permanezca siempre entre 38 y 42° C. Además de una secreción abundante de saliva, que ayude al establecimiento de un pH ruminal entre 5.9 y 7.4. La entrada constante de nutrimentos, es otro de los factores esenciales que garantizan el desarrollo y establecimiento de microbiota ruminal. De esta manera es imperativo la promoción de las condiciones de producción de gases (metano, biosido de carbono, nitrógeno, hidrógeno) y la baja tensión de oxígeno para una mayor proliferación de los microorganismos anaerobicos, facultativos u obligados. Aunado a los movimientos ruminales que mezclen constantemente la digesta para que la microbiota este en contacto con nutrimentos frescos, promoviendo una actividad de rumia constante, generando una reducción en el tamaño de

las partículas alimenticias; de esta manera estos factores facilitan el ataque microbiano e influyen en la tasa de pasaje de los alimentos fibrosos mejorando su utilización. Es imperativo reconocer que al suministrar diferentes tipos de raciones, se produzcan cambios en la actividad microbiana ruminal, influyendo no solo en la actividad, sino también en la modificación de la población predominantemente en el rumen (Elias, 1983)

Entre otros factores, que afectan la digestibilidad de los forrajes, se encuentra la reducida disponibilidad del nitrógeno, la escasez de hidratos de carbono de fácil fermentación, además del déficit de algunos minerales, entre los que destacan el azufre, el fósforo y el calcio, elementos indispensables para la población microbiana celulolítica (Ellis, 1979)

La digestibilidad de los forrajes, no solo está influenciada por aspectos relacionados con la capacidad fermentativa del hospedero, sino por diversos factores como el contenido de nitrógeno y el estado de madurez de los pastos, factores climáticos (precipitación, temperatura, intensidad lumínica), agronómicos (riego, fertilización, etc.) edáficos y morfológicos entre otros. Lo que repercute sobre los constituyentes químicos y estructurales de los forrajes reflejándose sobre su producción y calidad nutricional (Herrera, 1983)

En este contexto, Cázares y Santana en 1988, valoraron el rendimiento nutritivo del pasto *Pennisetum purpuricum* (King grass) en ovinos considerando como factor principal la edad del rebrote. Los resultados mostraron una disminución del contenido de proteína cruda, a medida que el pasto tuvo mayor edad. De esta manera, el contenido de proteína cruda del *P. Purpuricum* disminuyó de (8.5 a 5.8%) 46% a medida que el pasto alcanzó los 70 días de edad.

Asimismo, la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) disminuyó a medida que el estado de madurez se acentuó; registrando un nivel de 67% los 28 días de edad, y 60% a los 56 días de edad.

11.9. LOS FORRAJES TROPICALES

Es conocido, que la mayoría del área de pastos, se encuentre ocupado por las sabanas. Las cuales ocupan 18.1 millones de Km² en América, África y Australia, en donde existen prolongados meses de sequía y predominan los pastos naturales descubiertos, de porte bajo y cantidades limitadas de arbustos de poca altura. Las gramíneas más comunes son las pertenecientes a los géneros *Hyparrhenia*, *Cymbopogon*, *Andropogon*, *Cynodon*, *Eragrostis* y *Paspalum* (Elias, 1983)

Estas especies generalmente tienen un bajo valor nutritivo y su contenido de nutrientes es variable. Tienen un rápido crecimiento durante la época de lluvias, el cual se ve reflejado en la producción de materia seca, contrastando con la temporada de estiaje donde su desarrollo es más lento, además de presentar un bajo contenido de proteína, lo que repercute negativamente sobre el nivel de digestión y consumo. Estos forrajes tropicales son generalmente carentes de elementos minerales, tales como el molibdeno, selenio, azufre y fósforo, debido al nivel de acidificación de los suelos, lo que se refleja en una baja digestión (Elias, 1983, Herrera, 1983)

Por otra parte, en las gramíneas tropicales la capacidad fotosintética es mayor que en las gramíneas templadas e incluso en las leguminosas tropicales. Esto responde a tres factores principales: 1) El sendero de la fotosíntesis se produce por la vía C4 y no por la C3; 2) La falta de fotorespiración durante el proceso de fotosíntesis en presencia de luz, aunque la respiración en la fase oscura parece ser mayor en las gramíneas tropicales y 3) La actividad

fotosintética se incrementa con la intensidad lumínica en las gramíneas tropicales llegando a ser el doble de la actividad de las templadas (Herrera, 1983).

Los forrajes tropicales son importantes fuentes de fijación solar, la cual es transformada vía la fotosíntesis en otro recurso energético, como los azúcares estructurales de la pared celular, el cual puede ser liberado a través de la fermentación microbiana dentro del rumen y ser aprovechado en otros elementos de alto valor biológico (carne, leche, etc.); sin embargo, para optimizar la utilización es necesario un manejo estratégico de la complementación alimenticia en los rumiantes. Que permite obtener niveles productivos de medianos a altos (Preston, 1995)

A continuación se presenta una breve recapitulación de los recursos forrajeros utilizados en esta investigación:

Pennisetum purpureum o también llamado pasto King grass, esta especie es una gramínea alta, de porte erecto, con tallos gruesos hasta 4.5 m de alto, se encuentra en suelos húmedos de zonas con más de 1000 mm de precipitación anual. Tolerante a sequías breves, pero no el anegamiento es una de las gramíneas forrajeras más cultivadas rinde grandes cantidades de materia seca, pero su contenido de proteína es bajo, salvo cuando se corta muy tierno. En el manejo de esta especie no deben realizarse cortes demasiado bajos, nunca por debajo de los 15 cm. Es importante buscar un equilibrio entre el rendimiento y la calidad nutritiva, ya que a mayor tamaño del pasto se obtienen mejores rendimientos pero de menor calidad y viceversa. Por ello se recomienda cortar el pasto cuando alcanza una altura de 1 a 2 metros, para obtener una buena producción, así como riqueza alimenticia. Con un buen manejo se pueden obtener tres o cuatro cortes al año. En la época de lluvias y con niveles altos de fertilización nitrogenada, los rendimientos se incrementan alcanzando en promedio 100 t/ha. Este forraje ha sido establecido en regiones de clima templado,

obteniendo rendimientos excelentes de 143 t /ha (González y Eguiarte, 1997). El forraje puede ofertarse en verde picado para que las hojas y tallos se mezclen bien, resultando en un alimento succulento para el ganado esta especie al igual que otras gramíneas tropicales, se ven influenciadas por el estado de madurez, disminuyendo la cantidad de proteína e incrementando los niveles de fibra. En este contexto, la cantidad de proteína oscila entre 15.1% en una hierba fresca hasta 4.2% para un material duro de porte alto y con un estado de madurez avanzada. De la misma manera, la cantidad de fibra se hace presente en niveles desde los muy favorables como 28.6% hasta por los desfavorables de 40% y más. Por otra parte, los niveles de digestibilidad reportados para el contenido de proteína superan el 40% y para la fibra llegan a ser de 56%. Cabe destacar que estas características se presentan en un material vegetal maduro (INIA, 1970, FAO, 1982).

El *Saccharum officinarum*, cabe señalar que de esta únicamente se utilizó la porción más elevada conocida como puntas. Esta especie es clasificada como una gramínea perenne de 3 metros de altura, las cañas pueden tener de 5 a 6 cm. de diámetro y las hojas 0.5 a 1 m de largo. Se estima que la planta de caña de azúcar completa, aporta distintas proporciones de material vegetal útil generando hasta 30% de puntas, 60% de caña, 10% de hojas, así como una proporción de material procesado, del 10% como azúcar, 3% de melaza y 15% de bagazo (FAO, 1982).

Dentro del material vegetal, considerado como residuos de la industria azucarera, se encuentran las puntas o gocillos de la caña de azúcar, los cuales son generados durante la cosecha. Este material es empleado como recurso forrajero en la alimentación animal, el cual se puede incorporar en fresco o seco a la ración. Por sí solo, puede aportar los nutrientes necesarios para el mantenimiento de los animales, pero si se desea utilizar para la producción es necesario añadir un complemento alimenticio. Las características químicas

de las puntas de caña han reportado un contenido proteico de 2 a 6%, aunado a un elevado tenor de fibra en niveles por encima del 42%. Otros de los elementos que enmarcan su caracterización, lo constituye el nivel de digestibilidad que registra el contenido de proteína, siendo alrededor del 50% (FAO, 1982).

Por otra parte, este material ha sido empleado en varias investigaciones, entre las que se señalan las realizadas por Ferreiro y Preston en (1976), y por Ferreiro *et al.* (1977b; 1977a). Donde se probó la incorporación de las puntas de caña fresca sobre el consumo voluntario y el comportamiento animal, logrando un incremento del 38% en la ganancia de peso en novillos (605 vs 839 g/d) y del 66% en el consumo de MS (4.52 vs 7.50 Kg. de MS). Lo que trajo como consecuencia un efecto positivo sobre la producción animal.

Por su parte, Naseeven en (1986) reportó un incremento del 5% en la degradabilidad *in vitro* (48 horas) de la MS de las puntas de caña cuando se mezclaron con melaza y urea (49.9 vs 52.4) comparado al uso de puntas solas. Sin embargo cuando se mezclaron únicamente con melaza la digestibilidad fue de 60.1%, representando un incremento del 20% respecto al tratamiento testigo.

II.10. COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA EN EL RUMIANTE

La complementación alimenticia, en la nutrición en los rumiantes, ha incorporado cada vez más productos y subproductos agropecuarios. Además de algunos forrajes alternativos (arboles y arbustos), provocando una mejora en la respuesta productiva en el animal (Preston, 1995, Sangines, 1998). La energía (zacates o melaza) y el nitrógeno fermentable (urea) han probado ser ingredientes de bajo costo, mientras que las fuentes de aminoácidos y componentes glucogénicos (los alimentos proteicos y cereales) son caros (Leng, 1990). Los hidratos de carbono fermentables (la melaza) por ejemplo proveen la energía para la multiplicación microbiana, que permiten degradar la fibra. Es imperativo reconocer que el

crecimiento del animal no puede ser sostenido por los productos de fermentación digestiva, por lo que es imprescindible la utilización de proteína de sobrepaso para aprovechar la energía de los AGV absorbidos (Preston y Leng, 1987; Preston, 1995). Una relación simbiótica entre los microorganismos ruminales y el animal (Orskov, 1994), señala la necesidad de suplementar a la población microbiana ruminal, para incrementar su potencial fermentativo. Numerosos trabajos han estudiado las dietas basadas en forrajes, en las cuales la celulosa es el componente más abundante de la pared celular, por lo tanto los microorganismos ruminales celulolíticos, entre los cuales se encuentran un gran número de bacterias, hongos y protozoarios, jugando un papel primordial para la digestión de la fibra (Orskov, 1994, Russel y Wilson, 1996, Weimer, 1996, Fondevila y Dehority, 1996).

11.10.1. Hidratos de carbono de fácil fermentación

Se sabe que pequeñas cantidades de hidratos de carbono fácilmente fermentables, estimulan la fermentación de la celulosa, sugiriéndose una inclusión en la ración de 5 a 10%. Sin embargo cuando se administran grandes cantidades de estos azúcares, provocan una disminución de la digestibilidad de la lignocelulosa, debido a que la población microbiana celulolítica, fermenta primero a los azúcares simples y coloca en segundo término los carbohidratos de la pared celular (Elias, 1983). En los países tropicales como Cuba, el uso de los elementos no convencionales en la alimentación de los rumiantes cobran gran importancia al incorporar algunos subproductos de la caña de azúcar como la melaza: su combinación con otros elementos, como la urea (25g de urea/Kg de melaza), mostraron una mejora en la actividad de los microorganismos ruminales (Preston, 1986).

En 1980, Sanchez y Preston, evaluaron la respuesta del jugo de caña y la melaza con o sin la adición de urea, además de un kilogramo de harina de girasol, en una dieta con pasto estrella, sobre la ganancia de peso en novillos, logrando un incremento de 1,300 sobre

525kg/PV/DIA en el tratamiento sin urea. Otros trabajos han reportado el uso de la melaza como vehículo para la adición de urea en dietas basadas en caña de azúcar (Ferreiro y Preston, 1976; Montpellier y Preston, 1977; Meyreles *et al.*, 1982; Kunjun, 1986). Sin embargo, la importancia en la utilización de este recurso se basa en el aporte de carbohidratos solubles, fácilmente fermentables en el rumen, indispensables para los microorganismos ruminales (Preston, 1995; Russel y Wilson, 1996).

II.10.2. El nitrógeno no proteico (NNP) y la pollinaza

El aporte de nitrógeno, es una parte muy importante dentro de la nutrición de los rumiantes, para la síntesis de proteína microbiana. El nitrógeno puede ser de origen dietario, del nitrógeno no proteico (NNP) externo o del nitrógeno de reciclaje endógeno. La proteína microbiana (PM) formada en el rumen, pasa hacia el intestino, representando el 70-90% de nitrógeno no amoniacal que penetra al intestino (Van Soest, 1982). La PM, puede verse afectada por la cantidad de energía (ATP) disponible para el crecimiento microbiano (Church, 1988). Las fuentes de NNP más económicas, han sido la urea y el amoníaco en forma líquida o gaseosa, administrado en forrajes de baja calidad, incluyendo algunas sales amoniacales, así como el de origen endógeno, el cual es transferido hacia el rumen a través de la saliva. La adición de NNP en las dietas pobres en proteína como los forrajes tropicales, ha sido de gran importancia (Ferreiro y Preston, 1976; Montpellier y Preston, 1977; Meyreles *et al.*, 1982).

Estudios de Alvarez *et al.* (1976), adicionaron 10 Kg /animal/día de pulidora de arroz a 30 toros Cebu con una dieta de caña de azúcar picada, adicionada con urea en tres concentraciones A, B y C (100, 200 y 248 g) en una proporción de 50 ml/Kg. de caña fresca, obteniendo un incremento en la ganancia de peso de 0 793, 0 796 y 0 833 Kg /DIA respectivamente, demostrando la importancia de una fuente de almidón parcialmente

protegida como proteína de sobrepaso en la suplementación de los animales con nitrógeno no proteico. Otros elementos claves para el desarrollo bacteriano son los aminoácidos esenciales. La pollinaza es un subproducto de la industria avícola, fuente de nitrógeno amoniacal y ácido úrico como NNP (Oltjen *et al.*, 1968), la cual aporta aminoácidos indispensables (arginina, histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, triptofano y valina) o esenciales como la lisina y treonina (Zinn *et al.*, 1996). Como promotores de la síntesis microbiana ruminal, Zinn *et al.* (1996) mencionaron que estos últimos aminoácidos (lisina y treonina), no pueden ser sintetizados por el animal, ni su población microbiana, por lo tanto deben ser suministrados en la dieta.

Investigaciones de Zinn *et al.* (1996), realizaron una evaluación con pollinaza, en dietas para novillos, un incremento en el flujo de amoníaco y nitrógeno hacia el intestino delgado, estimado 22% de nitrógeno como sobrepaso. La adición de pollinaza en la dieta no logra un incremento en el flujo de aminoácidos hacia el intestino, sin embargo, colabora en la producción de proteína microbiana mediante su aporte de aminoácidos en el rumen. Por otra parte Reddy en 1994, evaluó la complementación con pollinaza (500g/animal/DIA) y trigo (10 Kg), sobre la cinética de desaparición de la materia seca en la paja de arroz, la cual incrementa de 50.7 a 59.72%. Finalmente Swingle *et al.* (1977), reportaron un incremento en la digestibilidad aparente de la paja de trigo (68%), cuando se suplemento con pollinaza.

II.10.3. Proteína fermentable y de sobrepaso

En los sistemas de alimentación para rumiantes se han incorporado nutrientes que escapan a la degradación ruminal (sobrepaso) con la finalidad de incrementar la capacidad productiva de los rumiantes. En este contexto, Preston y Leng (1984) destacaron que el empleo de las harinas de origen animal (pescado, carne, pluma, pollo, etc.) y vegetal (torta

de algodón, harinolina, polvillo o afrecho de arroz, maíz, soya plátano); además del follaje de algunas leguminosas arbóreas (*Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Brosimum alcastrum*, *Guazuma ulmifolia*, etc.) han incidido positivamente sobre los parámetros productivos, en el consumo y la digestibilidad de elementos forrajeros de baja calidad (Kuvera *et al.*, 1999).

Un alimento que ha tenido relevancia en la complementación alimenticia, ha sido la harina de pescado, debido a su baja degradabilidad ruminal (Lonsdale, 1989), dentro de sus características químicas se destaca un elevado contenido de proteína el cual oscila de 50 a 75% y con un contenido de 23 aminoácidos; es rica en lisina (5.8%) y aminoácidos azufrados como la metionina y cistina, además de vitaminas y minerales (P, Ca, Na, Mg). Entre los principales aminoácidos se destacan alanina, arginina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina, tirosina, valina, prolina y serina (Trabanco, 1985). La complementación con harina de pescado, ha producido un incremento en la respuesta productiva en novillos alimentados con ensilados de maíz y pastos (Garstang, 1981; Cottrill, 1982), así como la utilización de pajas de arroz (Saadullah *et al.*, 1982).

Por su parte, Preston (1986) evaluó el efecto de la complementación con diferentes fuentes de proteína (harina de pescado, soya, girasol y algodón) sobre la ganancia de peso en novillos alimentados a base de forrajes de baja calidad, obteniendo resultados de 780, 770, 750 y 780g/día, para pescado, soya, girasol y algodón respectivamente, comparados con 370 g/día sin complementación.

Otro elemento utilizado, ha sido la harina resultante del proceso de pulido del grano de arroz, los primeros trabajos se realizaron a finales de la década de los 70's, los cuales fueron generados en el trópico mexicano encabezados por Preston y Alvarez, en la búsqueda por incrementar los parámetros productivos en los rumiantes. Muchos trabajos se

realizaron utilizando como dieta basal el forraje de la caña de azúcar así como sus subproductos (López *et al.*, 1976) El pulido de arroz, es un alimento energético (2.8 Mcal/EM/Kg de MS) y proteico (16.0%), un contenido de almidón de 310 g/Kg/MS caracterizado como elemento de sobre paso (Lonsdale, 1989).

Preston *et al.* (1986), evaluaron la adición de la pulidora de arroz en niveles de 0 a 1.200 Kg/animal/día, en 400 toros de cruce cebú con pardo suizo y holstein, incrementando la ganancia de peso en forma lineal, con respecto al nivel de complementación, el consumo voluntario de la caña de azúcar se incremento en 400%. Alvarez *et al.*(1976), evaluaron la ganancia de peso en 30 novillos Cebú, con la incorporación de 1.0 Kg/animal/día de pulidura de arroz, en una dieta de caña de azúcar picada y urea, obteniendo resultados de 793 796 y 833 g/día de ganancia de peso.

La incorporación de la harinolina (harina de algodón) en las dietas de los rumiantes, ha cobrado mayor importancia debido a su calidad proteica destacando su elevado porcentaje de aminoácidos esenciales (lisina, metionina, triptofano, histidina, tirosina y cistina), así como su capacidad de sobrepasar la digestión ruminal (Trabanco, 1985) Silvestre *et al.* (1976), determinaron el efecto en la ganancia de peso con dos niveles de maíz (0 y 1000g/día) con diferentes niveles y fuentes de proteína (harina de pescado y harinolina en 0, 75, 150, y 225 g/día respectivamente), con caña integral picada, adicionada con urea y sulfato de amonio, obteniendo un ganancia de peso por unidad de proteína suministrada en ausencia de maíz de 3.09 y 2.06 con harinolina y harina de pescado respectivamente, sugiriendo que la ventaja de la torta de algodón es por su contenido de almidón el cual actúa como precursor de la glucosa. El uso del maíz dentro de las dietas, ha probado ser un elemento de excelentes rendimientos, como lo reporta Silvestre *et al.* (1976) La complementación con maíz (1.0 Kg.), con distintas fuentes y niveles de proteína,

registro un incremento en la respuesta productiva, siendo mayor para la harina de maíz, con ganancias de peso de 267 a 599 g/día en una relación de 0:150 y de 1.000:150 g de maíz pescado, la suplementación de maíz, torta de algodón. Se reportaron ganancias de peso de 77 a 472 g/día en una relación de 0:75 y 1.000:75 g respectivamente.

II.10.4. Elementos álcalis y buffer

El aumento en el uso de alimentos concentrados, altos en granos, ha tenido un efecto metabólico al disminuir el pH ruminal causando trastornos en la pared ruminal o acidosis, por ello a fines de la década de los 70's e inicios de los 80's, en los EU; se realizaron investigaciones acerca de la adición de cemento y cal en las dietas para ruminantes, con el objetivo de elevar el pH, dentro del tracto gastrointestinal, los trabajos estuvieron encabezados por Wheeler y Oltjen en 1979, que incorporaron 3.5% de cemento en una dieta complementada con soya, logrando ganancias de peso de 1.520 Kg en novillos. El nivel de pH en el rumen-retículo fue de 6.75 y 6.82 adicionando cemento con o sin soya. Otros trabajos de Wheeler (1979) evaluaron el efecto de la adición de cemento sobre el porcentaje de desaparición de la materia seca, el cual se incremento en un 10.9% con respecto a las dietas sin cemento, el pH se mantuvo en un rango de 6.57 y 6.49, la concentración total de AGV's se aumento 119.6 μM ($P>0.05$) con respecto 86.7 μM en la dieta control. Soller *et al* (1980) determinaron la capacidad del cemento para neutralizar los ácidos, caracterizando su actividad buffer debido a su habilidad para secuestrar protones (H^+), la cual se favorece con la concentración de carbonato de calcio, siendo mas reactivo a un pH 3.0 que a 6.0.

Wheeler *et al* (1981) realizaron un estudio donde compararon el uso de la cal (1.6-1.8%) y el cemento (2.2-2.0%), como elementos de similar rango de actividad iónica dentro de los parametros de producción en ganado de engorda, en el tracto gastrointestinal,

utilizando dietas con altos niveles de concentrados (15.0% silo de maíz, 85% de concentrado) en los animales tratados se obtuvieron ganancias diarias de peso de 1.340 y 1.410 Kg respectivamente, el rango de pH en el retículo con cal y cemento oscilo entre 6.75 a 6.81 respectivamente. La digestibilidad de la materia seca fue alta ($P < 0.05$) de 73.8 y 68.0% para cal y cemento. El cemento ha destacado como un elemento toxico debido a la presencia de plomo, arsénico, mercurio, cadmio o selenio, acumulándose en los tejidos. Sin embargo, Wheeler y Oltjen en (1979) realizaron un análisis en tejidos de corazón, hígado y riñón, en donde se encontró plomo de 0.2-1.0, 0.80-0.76 y 0.33-0.38 ppm respectivamente, sin registrarse depósitos de arsénico o mercurio. Los niveles de selenio fueron de 1.17-1.21 en el riñón y de 0.33-0.37 en el hígado, estos valores fueron considerados entre los rangos biológicos normales, de animales alimentados con dietas convencionales

II.10.5. Minerales

El efecto de la complementación mineral en los microbios celulolíticos ruminales, es de suma importancia para la digestión de la fibra (Elias, 1983). La mayoría de la información ha sido generada en investigaciones *in vitro*, encontrándose que elementos como el molibdeno, yodo, magnesio, calcio, hierro, azufre y fósforo, incrementan la respuesta digestiva de la celulosa y hemicelulosa; mientras que el boro, cobre, cobalto y el zinc la deprimen. Por otra parte la adición de azufre (0.16 a 0.24%) y aminoácidos azufrados en todas sus formas (sulfato de sodio, sulfato de calcio, DL-metionina y análogos de esta) en la dieta, favorece el crecimiento y la actividad de los microbios ruminales mejorando el consumo, la digestibilidad y la retención del nitrógeno en animales alimentados con forrajes de baja calidad (Elias, 1983, Doyle, 1987, Aguilera, 1988.)

II.11. FERMENTACION RUMINAL

Según Owens y Goetsch en 1988, mencionaron que en una dieta de forrajes del 50 al 80% de la energía metabolizable para el rumiante, proviene de los ácidos grasos volátiles (AGV's), estos son producidos por los microorganismos ruminales como productos finales de la fermentación de la digesta, son absorbidos en el rumen y una pequeña cantidad pasa al tracto gastro-intestinal inferior. Los principales AGV's son el acético, propiónico y butírico. El ácido propiónico y el butírico son metabolizados en la pared del rumen y pasan al tejido hepático. El propiónico es utilizado como un recurso primario en la gluconeogénesis. El ácido acético no es metabolizado en la pared ruminal, ni el hígado, pero es transportado al tejido adiposo y muscular para su oxidación (Maynard y Loosli, 1969). El acetato es el producto final de la fermentación de los forrajes, consecuentemente el propiónico y butírico reflejan la fermentación de contenido celular. Los ácidos de cadena ramificada (valérico, isovalérico, isobutírico), son el resultado del rompimiento enzimático de la proteína de la dieta (Van Soest 1982, Orskov, 1982). El amoníaco ruminal (NH_3) resulta de la acción proteolítica de los microorganismos, a partir del nitrógeno de la dieta, transformándolo en péptidos y aminoácidos, el amoníaco, constituye el primer recurso de nitrógeno para el 50 al 70% de los organismos ruminales (Arthun, 1989). Slyter *et al.*, (1979) sugiere que una concentración mínima de 2.2 mg/100 ml de amoníaco (NH_3) es necesaria para el crecimiento microbiano y una concentración de 5 mg/100 ml como óptima (Satter y Slyter, 1974). El pH ruminal óptimo para el crecimiento microbiano celulolítico según Mertens, 1977, Orskov, 1982, Owens y Goetsch, 1988, oscila en un rango de 6.2 a 6.7. Sin embargo, Elias en 1983, menciona que la máxima actividad de la celulasa se logra en un pH de 5.5. De ahí, que sea de mayor importancia el establecimiento de un pH

adecuado para la proliferación de la microbiota celulolítica que para una mayor actividad enzimática.

II.12. CINÉTICA DE LA DIGESTA RUMINAL

Cuando las fases sólidas y líquidas del contenido ruminal, son marcadas pueden ser utilizadas en los estudios de nutrición para estimar el flujo, la tasa de paso, la tasa de dilución, el volumen y el tiempo de recambio. Asumiendo que las condiciones están en un estado estático y siguen una cinética de primer orden, incluyendo marcadores en el área de interés (rumen), seguido por un tiempo de muestreo. Los marcadores son definidos como sustancias inertes, no tóxicos, no absorbibles, ni metabolizables, tienen que ser ingeridos y excretados en su totalidad, además es de suma importancia que se mezclan íntimamente con el alimento. Los marcadores se clasifican en externos e internos. Los marcadores externos incluyen (Cr, Ce, Yb, Dr, Er), fibras mordantadas. Los internos se refieren a los componentes naturales de la dieta que son presumiblemente indigestibles (lignina, nitrógeno fecal). Otra clasificación incluyen los absorbibles y los no absorbibles o marcadores fecales, los primeros se absorben completamente con el alimento y son recuperados en la orina, los segundos no se absorben y se recuperan en las heces. Entre los marcadores utilizados para rastrear a la fase líquida de la digesta ruminal se encuentra el polietilenglicol (Sinha *et al.*, 1970, Ellis *et al.*, 1979), para el rastreo de la fase sólida se han utilizado Ru, Ce y Cr₂O₃ (Wilkinson y Prescott, 1970, Thewis *et al.*, 1979). Independientemente del marcador utilizado, el vehículo en el cual es suministrado, se obtendrán irregularidades en el muestreo de heces y digesta ruminal, probablemente a las variaciones en la secreción salival o al consumo de agua (Sangines, 1998).

11.13. PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD.

Existen diferentes factores que afectan la digestibilidad de un alimento, como por ejemplo la composición y preparación del mismo; el tiempo de tránsito a través del tracto gastrointestinal y factores del animal per se, como son la especie, la edad y etapa productiva

Por otra parte se podría dar el caso en donde la digestibilidad pudiera ser sobre estimada, especialmente cuando la última comida del período experimental es larga y el incremento de la salida fecal se retrasa hasta después del final de la colección fecal.

Asimismo, en los animales existen variaciones en cuanto a la digestibilidad de un alimento se refiere. Se sabe que dentro de una misma especie animal hay diferencias más o menos grandes en el aprovechamiento de los alimentos y dependen, sobre todo, de la raza, etapas productivas (edad) y estado de salud, que en conjunto muestran hábitos y requerimientos alimentarios diferentes. Por lo tanto, la digestibilidad del mismo alimento puede variar aun dentro de la misma raza debido a que existen requerimientos nutricionales diferentes de un animal a otro. Por otro lado existe una influencia del nivel de nutrición en la digestibilidad de los alimentos en diversas especies animales. Cuando se reduce la ingestión de alimento por debajo del nivel de mantenimiento en animales que poseen completos e intactos todos los órganos del aparato gastrointestinal, estos tienden a ser más eficientes en la digestión de alimentos y el aprovechamiento de los nutrientes (Maynard y col. 1986)

Entre los factores que pueden afectar la digestibilidad de algunos forrajes o raciones en rumiantes destacan

- a) La cantidad de alimento consumido, ya que al aumentar este, se reduce la digestibilidad en virtud de que la digesta se incrementa.
- b) Cantidad de fibra y/o lignina en el alimento. Como regla general la digestibilidad de los forrajes disminuye conforme el porcentaje de fibra ácido detergente aumenta.
- c) Diferencia entre las especies. Los bovinos digieren los forrajes mejor que los ovinos, que a su vez digieren mejor los concentrados que los primeros, inclusive entre animales de la misma especie existen diferencias se ha visto que el ganado Cebú tiene mayores tasas de fermentación que el ganado europeo
- d) Deficiencias nutricionales. numerosos experimentos indican que la relativa o absoluta deficiencia de proteína resulta en una reducción de la energía digerible, también es notorio que la deficiencia de algunos micro y macro minerales disminuyen la digestión ruminal
- e) Factores que afectan el apetito cualquier factor que afecte el apetito tiene efecto en la digestibilidad, estos incluyen tanto la naturaleza física de la ración como la ausencia o presencia de algún nutrimento o factor que influya en el apetito
- f) Frecuencia en la alimentación, ya que al aumentarse esta, se tiende a incrementar la digestibilidad
- g) Preparación del alimento al rolar los granos, se aumenta la digestibilidad, en este rubro puede incluirse los tratamientos que reciben los esquilmos y pajas
- h) Efecto asociativo del alimento se ha observado que una combinación de pellet de alfalfa y ensilado de maíz tiene mayor digestibilidad que estando estos separados
- i) Adaptación a cambios de ración. Los microorganismos ruminales requieren como mínimo 10 días de adaptación, de no ser así la digestibilidad disminuirá

Digestibilidad *in situ*: La técnica de la bolsa de fibra artificial, ha sido utilizada durante varios años para proporcionar valores estimados de la tasa de desaparición de los constituyentes alimenticios en el rumen (Orskov y col, 1982) Esta técnica tiene la ventaja de dar una estimación rápida de la tasa y el grado de degradación de los alimentos en el rumen, sin necesidad de ningún procedimiento complicado más que simplemente pesar. Por otra parte se ha observado que los valores encontrados después de 48 horas de degradación, se pueden comparar con los encontrados en la digestibilidad *in vivo* cuando se utilizan bolsas con poros extremadamente pequeños (Huntington, 1995) Otra ventaja consiste en que el material alimenticio se encuentra suspendido en el rumen, estando este en mínimo contacto con el ambiente ruminal (temperatura, pH, sustrato, buffer, enzimas, etc.), cosa que no sucede en la técnica de digestibilidad *in vivo* Orskov y col, (1982) mencionan tres limitantes en esta técnica

- a) Al ser la muestra confinada dentro de la bolsa, no esta expuesta a ninguna reducción debido a la masticacion y rumia
- b) El alimento normalmente podria salir del rumen, una vez que tuviera el tamaño adecuado
- c) Debe recordarse que lo que es cuantificado es la reducción del material a un tamaño suficientemente pequeño para salir de la bolsa y no necesariamente una degradacion completa a componentes quimicos sencillos. Por lo tanto, los resultados deben ser tratados con el debido cuidado y, en general ser usados como indicadores cualitativos de los principios generales

Asi mismo, se han mencionado diferentes fuentes de variacion en esta técnica que son importantes considerar, entre las que se encuentran el tipo de material con el que están elaboradas las bolsas, la porosidad de las mismas, la preparación de la muestra, el tamaño

de la partícula, la cantidad de la muestra, la dieta del animal, el tiempo de incubación y el número de bolsas incubadas. El procedimiento de lavado después de la incubación también es importante, ya que se ha observado en diferentes investigaciones que es muy variable dependiendo de la duración, así como el efecto animal. Este último se ha dividido en tres posibilidades: comparación entre especies, entre animales y dentro del mismo animal. Con respecto a este último, es preciso mencionar que se han encontrado variaciones en un mismo animal en los duplicados y entre días consecutivos (Huntington, 1995).

Por su parte Vanzant (1998) sugieren ciertos procedimientos para estandarizar las determinaciones *in situ*.

Concepto	Recomendación
Dieta	
Tipo	60 a 70% de forraje
Nivel de alimentación	mantenimiento
Frecuencia de alimentación	>2 veces/DIA
Bolsa	
Material	poliéster
Tamaño de poro	40 a 60µm
Tamaño de muestra - área de superficie	10mg/cm ²
Procesamiento de la muestra	
Repeticiones	
Número de animales	>2
Número de dietas	>2
Número de bolsas	>1
Procedimiento de incubación	
Preincubación	no es necesario
Posición ruminal	en la parte ventral del rumen
Introducción y remoción	remoción simultánea
Tiempo de incubación	que describa una curva
Enjuague	mecánico (5 veces 1 min/enjuague)
Corrección microbiana	si
Modelo matemático	simple disponible y adecuado para describir los datos
Substrato estándar	si

II.14. CINÉTICA DE DIGESTIÓN.

Los métodos *in situ* se emplean para estimar la cinética de digestión de la proteína, materia seca o de las paredes celulares por ser los más apropiados para ello, ya que se pueden medir efectos combinados del alimento y del animal y el objetivo fundamental es medir la tasa intrínseca o inherente y el grado de digestión del alimento, en donde la digestibilidad sea proporcional a la concentración de sustrato (Mertens, 1993).

$$dS/dt = K_s S$$

Donde:

dS/dt = Velocidad a la que disminuye la concentración de sustrato (S)

K_s = Constante de velocidad de la desaparición de sustrato.

La digestión en los rumiantes es un proceso complejo que involucra interacciones dinámicas entre la dieta, la población microbiana y el animal. Conceptos como digestibilidad o eficiencia de conversión son coeficientes generalmente estáticos e independientes del tiempo, sin embargo, ambos procesos van a depender del tiempo de retención y de la velocidad de reacción. La cinética de digestión es importante por que con ella se determina la proporción de nutrimentos consumidos que pueden ser absorbidos y utilizados por el animal, además de no describir solo la digestión, sino que caracteriza las propiedades intrínsecas de los alimentos que limitan su disponibilidad para los animales a partir de modelos desarrollados con base en principios biológicos, clasificando a los alimentos en fácilmente digeribles, de digestión lenta o indigeribles (Mertens, 1993). La porción parcialmente digerible podría ser digerida, o bien, pasar de largo, por lo que ocurren dos reacciones simultáneas de primer orden que operan sobre el mismo pool

(digestión y pasaje), que se combinan para dar una sola tasa de desaparición aparente del pool potencialmente digestible; mientras que la fracción indigestible solo puede pasar, ya que no sería digerido si se mantuviera en el rumen por un tiempo infinito (Singh, 1992)

El concepto de que no todos los componentes son potencialmente digestibles no solo simplifico la descripción de la digestión matemática, sino que clarifico la estructura o esqueleto biológico para explicar la digestión. Es intuitivo que la velocidad de digestión es valida únicamente para los componentes potencialmente digestibles, es decir, los componentes indigestibles no pueden tener velocidad de digestión. Por lo tanto, el problema al describir la cinética de digestión son los residuos remanentes después de la digestión, los cuales son una mezcla de materia indigestible y no digerida. Ahí se supone que los residuos indigestibles no desaparecen, mientras que los residuos potencialmente digestibles desaparecen a una tasa que es proporcional a su masa en cualquier tiempo.

Mertens (1993) por su parte sugirió que los modelos comúnmente descritos de digestión de los alimentos en el rumen consisten en tres fases

1 - La fase inicial, conocida como fase lag

2.- Un periodo de degradación rápida y

3 - Una digestión lenta como la proporción del incremento de la fracción, y con el intervalo entre las observaciones se podria hacer una estimacion precisa para cada variable

La fase lag de digestion se define como el periodo de fermentación inicial, cuando la digestion es constante o se presentan tasas muy reducidas. El efecto lag se muestra como una característica no lineal (Mertens y Ely, 1982 y Mertens 1993) y se debe a la adherencia o asociación de los microorganismos al sustrato antes de la digestion enzimática (Mertens y Ely, 1982). Por lo que medir la hora cero es necesario para distinguir la solubilidad de la digestión y estimar el efecto lag

Por otra parte, el tracto gastrointestinal de los rumiantes puede ser dividido en tres entidades anatómicas con propiedades digestivas y de pasaje únicas: rumen-retículo, el intestino grueso y el intestino delgado. En el rumen e intestino grueso se lleva a cabo una digestión basada fundamentalmente en la fermentación microbiana, mientras que en el intestino delgado la degradación es de tipo enzimática. Para comprender mejor el proceso de fermentación ruminal se puede estudiar desde el punto de vista anatómico y fisiológico. El rumen funciona como una mezcladora imperfecta, así como un reactor de flujo continuo.

Desde el punto de vista nutricional, el tiempo de tránsito es un factor importante que determina la eficiencia de utilización de una cantidad dada de alimento. En la literatura se pueden encontrar diversos términos que se utilizan para describir el paso de material ingerido a través del tracto digestivo, como son flujo, tiempo medio de retención, tiempo de recambio, tiempo de tránsito y tiempo promedio de retención. Estos términos en ocasiones son intercambiados, por lo que frecuentemente causan confusión al momento de la interpretación. Por lo tanto a continuación se presenta la definición que se le dará a cada uno de ellos en el presente trabajo.

Flujo - Cantidad de material que es transferido de un compartimiento a otro por unidad de tiempo.

Tiempo medio de retención - Es el tiempo en que se retiene la mitad de la digesta en la primera porción del tracto gastrointestinal, o bien el tiempo que tarda en salir el 50% del marcador (Van Soest *et al.* 1982).

Tiempo de recambio - Tiempo requerido para cambiar una cantidad de digesta igual a la presentada en la porción superior del tracto digestivo, es decir cuando se recupera el 63% del marcador (Hungate, 1966).

Tiempo de tránsito.- Es el tiempo que tarda la digesta de un alimento en pasar a través del tracto digestivo o por algún segmento de este. La fórmula de calcular el tiempo de tránsito es considerando la primera aparición del marcador en las heces (Kutb y Luckey, 1972)

Tiempo de retención o tiempo promedio de retención.- Es el tiempo requerido para cambiar una cantidad de digesta igual a la presentada en el rumen (Hungate, 1966), o bien es el tiempo promedio que permanecen las partículas en el rumen (Bull *et al.*, 1979 y Hungate, 1996). Es la relación de volumen/flujo (V/F) (Quintero, 1993) Es importante mencionar que Mertens (1993) a esto lo define como tiempo de recambio.

Digesta - Alimento y material ingerido sujeto a digestión dentro del tracto digestivo, técnicamente también incluye secreciones y excreciones de los órganos digestivos

El sistema de cultivo continuo conocido como quimiostato ha sido utilizado por los nutriólogos para el estudio de los aspectos básicos de la fermentación ruminal. Este sistema de cultivo controla el crecimiento celular por medio de la tasa de adición de sustrato y de la tasa de dilución en un volumen fijo (Bergen, 1979) Un quimiostato es un sistema abierto, homogéneo y de una sola etapa Para entender mejor este concepto, a continuación se explica la teoría del quimiostato Este es un cultivo en el que se introduce continuamente medio fresco a una velocidad uniforme, el volumen de cultivo se mantiene constante por extracción también uniforme de ese cultivo Idealmente el mezclador debe ser perfecto, es decir, que cuando una gota del medio entra al reactor, instantáneamente deberá quedar uniformemente distribuida en el cultivo Esto significa en la práctica que el tiempo requerido para mezclar un pequeño volumen del medio con el cultivo será también pequeño comparado con el tiempo de retención (t_r) dado por V/F , donde V es el volumen y F la velocidad de flujo volumétrico del medio (Quintero, 1993)

Obviamente el rumen no es una replica exacta de este modelo; sin embargo, su similitud en algunos puntos es suficiente para aplicar la teoría de alimentación continua (Hungate, 1996). pues ambos siguen cinéticas de primer orden (Bergen 1979) En el siguiente cuadro se mencionan las diferencias entre el quimiostato y el rumen.

Factor	Quimiostato	Rumen
Estado constante o estable	Si	No (depende del nivel y tipo de alimentación)
Concentración bacteriana	Constante	Variable con base al tipo de alimentación
Concentración del sustrato	Constante	Variable con base al ciclo de alimentación
Tasa de dilución	Constante	Variable con base al ciclo y tipo de alimentación
Rendimiento celular	Constante	Variable en base al tipo de alimentación
Cultivo continuo	Si	Si cuando la alimentación se basa en granos No cuando se basa en forrajes con alto contenido de fibra
Mezclado	Perfectamente líquido	Existe fase líquida y sólida

La fermentación ruminal tiene características tanto de un sistema batch o flujo pistón, como uno continuo. En un sistema continuo la masa fermentada, el flujo y los residuos alimenticios salen en cantidad equivalente a los que entran. El rumen varía del modelo de fermentación continua por que el alimento consumido por el animal, el volumen y la tasa de secreción y velocidad con que sale el material del rumen no son constantes. Así se tiene que a bajas tasas de dilución ruminal (principalmente con alimentación con alto contenido de fibra), la fermentación ruminal generalmente se asemeja a un cultivo batch y la eficiencia de rendimiento celular ($Y_{(1/P)}$) es relativamente baja y constante.

Por otro lado en condiciones dietarias que presentan altas tasas de dilución (principalmente granos), la fermentación ruminal se asemeja a un cultivo continuo, con altas tasas de eficiencia energética para la síntesis de proteína microbiana (Aguilera, 1988).

Un sistema de fermentación continuo está descrito por la tasa de dilución o recambio (D), el volumen (V), la tasa de flujo (F) y el tiempo de retención (t_r).

La tasa de dilución es la cantidad de digesta (como peso o proporción del volumen ruminal) que sale del rumen en un tiempo dado y se expresa en h^{-1} o $\%h$. La tasa de dilución presenta la tasa de flujo (F) por unidad de volumen (V). La relación V/F se denomina tiempo de retención.

Teóricamente las tasas de dilución muy altas pueden causar ineficiencias a través de la pérdida de sustrato no fermentado, lo cual conduce a una reducción en la digestibilidad y a una competencia entre la dilución y el tiempo de generación celular (Van Soest, 1982).

En los rumiantes la eficiencia de crecimiento bacteriano está directamente relacionada con la tasa de dilución de las bacterias y/o el contenido ruminal, pero debido a que las bacterias en el rumen están parcialmente asociadas con los sólidos y con la pared ruminal, la tasa de crecimiento bacteriano puede ser o no necesariamente paralela a la tasa del líquido (Aguilera, 1988), lo cual se explica por que solamente en cultivos continuos de estado estable la tasa de crecimiento específico (μ) de los microorganismos es igual a la tasa de dilución (D) del cultivo.

Los factores más importantes en la determinación de la eficiencia con la cual el animal utiliza una cantidad dada de alimento son: la tasa de dilución de la digesta ruminal, el grado de degradación de la digesta, la naturaleza de los productos finales de la degradación y los requerimientos nutricionales del animal.

Para determinar el volumen, se asume que la cantidad de agua en el rumen permanece constante y la tasa de flujo de agua hacia dentro y hacia fuera del rumen es continua y permanece constante durante el experimento. En esta técnica una cantidad conocida de marcador se administra directamente dentro del rumen y se toman muestras de

contenido ruminal a diferentes intervalos de tiempo. Suponiendo una condición de equilibrio y una rápida homogeneización del marcador, se tiene una relación exponencial (Thevis *et al.*, 1979) entre la concentración del marcador y el tiempo, que puede expresarse en escala de logaritmo natural y graficarse como una línea recta. Cuando esta línea se extrapola al tiempo cero se puede estimar la concentración del marcador al tiempo de la dosificación

III. HIPÓTESIS

Por medio de la suplementación con un Alimento Complejo Catalítico (ACC), en gramíneas tropicales *Pennisetum purpureum* (Pp) y *Saccharum officinarum* (So) será posible incrementar la fermentación ruminal (pH y amoníaco) y la desaparición *in situ* de la materia seca (MS), mejorando el consumo de materia seca y la cinética de digesta (sólidos y líquidos) en bovinos productores de carne.

IV. OBJETIVOS.

- 1.- Determinar los parámetros de la fermentación ruminal (pH y NH₃) y la desaparición *in situ* de la materia seca (MS), de Punta de Caña (*Saccharum officinarum*) y King Grass (*Pennisetum purpureum*) suplementados con 20% de un Alimento Complejo Catalítico (ACC)
- 2.- Determinar los parámetros de la fermentación ruminal (pH y NH₃) con ocho tratamientos diferentes, variando el aporte de proteína y energía.

V. MATERIAL Y METODOS.

El método más apropiado para determinar el potencial nutricional de los forrajes fibrosos (carbohidratos) es la técnica de la bolsa de nylon (Orskov, 1982).

El experimento se llevo a cabo en el municipio de Comala, Colima, México 19° 24' de latitud norte y 103° 41' de longitud, a una altitud de 1.400 msnm. El clima de acuerdo a la clasificación de Koppen, se encuentra en una zona de transición entre los climas calido sub-humedo con lluvias en verano Aw1 (w) y semi-calido sub-humedo con lluvias en verano A \bar{C} w1(w), con una precipitación pluvial de 1.100 mm anuales y una temperatura media de anual de 22°C.

Se utilizaron cuatro novillos criollos con un peso inicial promedio de 450 (\pm 10)Kg., con cánulas ruminales fijas, en un diseño experimental factorial 2x8, el efecto principal a medir fue la desaparición *in situ* de NIS de una dieta compuesta con el 80% de puntas de caña (*Saccharum officinarum*) y un 20% de king grass (*Pennisetum purpureum*). Esta mezcla se asocio con ACC (Alimento Complejo Catalítico) en una proporción del 20%, se formaron ocho tratamientos variando el aporte y origen de la proteína y la energía, tambien se manejo la dieta control (puntas de caña sin suplementacion).

Los ocho tratamientos diferentes estan conformados de la siguiente manera

Ingredientes	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Cal	3 20	3 20	3 20	3 20	3 20	3 20	3 20	3 20
Cemento	1 60	1 60	1 60	1 60	1 60	1 60	1 60	1 60
Cebo	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00
H pescado	4 20	4 20	10 80	4 20	4 20	4 20	4 20	10 80
Harina	16 40	36 70	27 00	16 80	33 60	25 60	16 40	27 00
Minerales	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
Pollinaza	11 60	36 70	0 00	0 00	0 00	0 00	17 20	0 00
Polvillo	27 00	0 00	16 00	0 00	16 00	16 00	16 00	16 00
Sal	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00	4 00
Sulfato	1 80	1 80	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
Urea	3 80	3 80	0 00	0 00	0 00	8 00	0 00	0 00
Ortofosfato	3 00	3 00	3 00	3 00	3 00	3 00	3 00	3 00
Maiz	0 00	0 00	11 20	44 00	11 20	11 20	11 20	11 20
Melaza	18 20	00 00	18 20	18 20	18 20	18 20	18 20	18 20
%	100	100	100	100	100	100	100	100

Los forrajes fueron secados y homogenizados a un tamaño de partícula de 3 mm. La distribución de las dietas se realizó al azar, los animales se colocaron en corrales independientes durante ocho periodos experimentales con una duración de 15 días cada uno, de los cuales 10 días fueron de adaptación a la dieta y 5 de muestreo.

Se determinó la cinética de pH y NH₃, para lo cual se obtuvo líquido ruminal a las 0, 2, 4, 6, 8 y 12 horas, separándose en dos porciones, a la muestra para amoníaco (NH₃), se le adicionó 0.1 ml de HCl al 0.1N, para evitar su volatilización, cuantificándose con un electrodo de ion selectivo. El pH se cuantificó por potenciometría (Bateman, 1970), utilizando un medidor portátil.

La digestibilidad *in situ* y la cinética de digestión, se realizó durante los cinco días del muestreo, usando la bolsa de nylon (Orskov et al, 1980) las bolsas usadas fueron de 12 x 8 cm, con una porosidad de 1,600 orificios/cm² y un contenido de 3g de punta de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y 3g de king grass (*Pennisetum purpureum*), estos se colocaron en bolsas diferentes, con un tamaño de partícula de 1mm, las bolsas se colocaron dentro del rumen en diferentes intervalos.

En el siguiente cuadro observamos un ejemplo de cómo se programó el muestreo para la determinación de la digestibilidad *in situ*, esto va de las 4 a las 72 horas; las literales (m) y (s) nos indican cuando se introduce la bolsa al rumen y cuando se debe de sacar, respectivamente.

animal 1 dieta 1 harinolina

# bolsa	tiempo	Sábado	Domingo	lunes am	Lunes pm	Martes	miércoles
2-86	4			m 8 00 am	s 12.00 pm		
3-87	8			m 8 00 am	s 4 00 pm		
3i-88	16				m 4 00 pm	s 8 00 am	
4-89	24	m 8 00 am	s 8 00 am				
5-90	48	m 8 00 am		s 8.00 am			
6-91	72	m 8 00 am				s 8 00 am	

Al final del periodo de la incubacion, todas las bolsas fueron retiradas y lavadas en periodos de agitacion a 1,200 rpm/10 minutos, hasta obtener un liquido de enjuague claro. posteriormente el material fue secado a 60°C, durante 24 horas. Al material residual se le determino el contenido de materia seca (MS), según la metodologia del AOAC, 1995 y Goering y Van Soest 1970, respectivamente.

La prueba de digestibilidad *in situ* de MS, se realizo según la metodologia de Mehrez y Orskov (1977). Para cuantificar la cantidad de alimento digerido por unidad de tiempo de la MS, Ce y He de cada una de las dietas, se calculo la cinética de digestión siguiendo el modelo desarrollado por Waldo et al (1972).

Donde la fraccion potencialmente digestible se realiza por digestión y pasaje, mientras que la fraccion indigestible, desaparece unicamente por pasaje (Singh et al., 1992). Dejando una expresion matematica para describir la tasa de digestión (kd), la tasa de pasaje (kp) y llenado ruminal

VI. RESULTADOS

En el cuadro 1, se presentan los resultados de la composición química de los forrajes empleados durante el experimento, donde se observa la reducida cantidad de proteína la cual osciló en niveles de 3.1 y 1.37% para el *Saccharum officinarum* (So) y el *Pennisetum purpureum* (Pp), respectivamente. Otra de las características es el elevado contenido de la pared celular (FDN) de estos forrajes donde el *Pennisetum purpureum* registro 86.29% y el *Saccharum officinarum* 68.82%. La concentración de hidratos de carbono estructurales de la pared celular (celulosa y hemicelulosa) osciló en niveles de 37.78 y 31.67%, así como 32.32 y 23.06%, respectivamente. Dentro de la caracterización de la pared celular otro elemento de suma importancia lo constituye la lignina la cual registro un contenido de 12.31% para *Pennisetum purpureum* y para *Saccharum officinarum* de 9.48%. Por otra parte el contenido de energía bruta presente en estos forrajes fluctuó en niveles de 2.73 y 2.49 Mcal EB/kg de MS.

Cuadro 1. Composición química de los forrajes tropicales utilizados durante este experimento

%	<i>Saccharum officinarum</i>	<i>Pennisetum purpureum</i>
Materia Seca	99.65	96.13
Cenizas	9.21	9.22
Proteína cruda	3.10	1.37
FND	68.82	86.29
FAD	45.75	53.97
Celulosa	31.67	37.78
Hemicelulosa	23.06	32.32
Lignina	9.48	12.31
Energía Bruta*	2.49	2.73

*Mcal/kg de MS

En el Cuadro 2 y la Gráfica 1, se presenta la cinética de pH ruminal de novillos alimentados con forrajes de mala calidad (puntas de caña) sin suplementación, y con suplementación de los diferentes ACC. Los resultados permitieron observar un mantenimiento del pH entre 6.71 resultado del suplemento numero 4 y 6.99 obtenido del suplemento numero 7 comparado con un 6.30 más ácido que cuando se utiliza el ACC ($P < 0.05$). No obstante cuando se utilizó cualquier fuente de nitrógeno no proteico ya sea urea, pollinaza se elevó el pH ruminal, (dietas 6 y 7) aún cuando la fuente no fuera de NNP como el caso de la harina de pescado tanto con fuente de carbohidratos (dieta 3) como cuando se aumenta la proteína de baja degradabilidad ruminal (dieta 8)

Cuadro 2. Concentraciones de pH con los 8 diferentes suplementos ACC y el grupo control

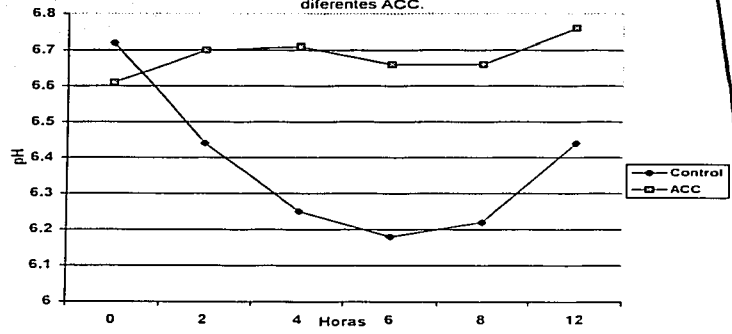
Dieta	Control	1	2	3	4	5	6	7	8	Promedio
0	6.72	6.62	6.62	6.63	6.60	6.58	6.6	6.62	6.62	6.61
2	6.44	6.74	6.75	6.70	6.73	6.7	6.95	6.94	6.68	6.7
4	6.25	6.55	6.58	6.60	6.58	6.86	6.96	6.99	6.58	6.71
6	6.18	6.49	6.47	6.50	6.45	6.91	6.85	6.87	6.72	6.66
8	6.22	6.62	6.61	6.62	6.63	6.67	6.6	6.68	6.83	6.66
12	6.44	6.65	6.63	6.65	6.64	6.65	6.95	6.95	6.89	6.76
Promedio	6.3c	6.61a	6.62a	6.61a	6.60a	6.72b	6.81b	6.84b	6.72b	

c, b Literales distintas indican diferencia estadística ($P < 0.05$), con la prueba de Tukey

c, a Literales distintas indican diferencia estadística ($P < 0.01$), con la prueba de Tukey

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Grafica 1. Concentraciones de pH ruminal de puntas de caña y promedios de las 8 dietas puntas de caña más king grass suplementadas con los diferentes ACC.



En el Cuadro 3 y la Grafica 2, se presenta la concentración de amoníaco ruminal, la cual registro un incremento superior cuando la complementacion alimenticia se realizó con el ACC numero 7, dicho incremento fue de 27.25 y de 27.57 NH₃mg/100 ml., esto se dio entre las cuatro y las seis horas respectivamente posteriores al consumo del suplemento. No obstante que se duplica la cantidad de amoníaco aún en la dieta que no contiene NNP (dieta 5), las diferencias significativas importantes fueron con la dieta de pollinaza 21.30 dieta 7, en el ensayo proteico. En el resto de las dietas energeticas 1, 3 y 4 los promedios fueron de alrededor de 8.00 siendo significativamente superiores a el 2.9% de la punta de caña sola. Tambien se observa que el contenido de amoníaco es relativamente bajo cuando no se oferta una fuente de NNP en el rumen como se muestra cuando se compara con la dieta 8 de harina de pescado que solamente muestra un tenor de 5.50. La importancia energetica

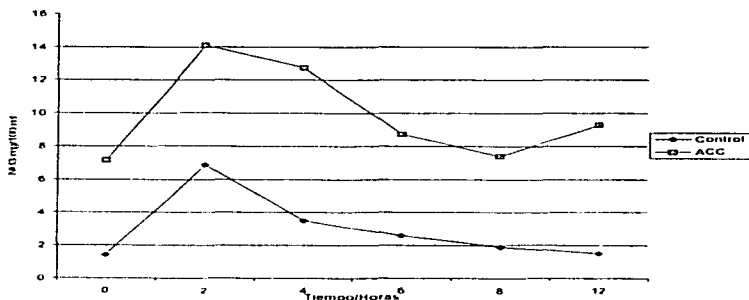
del amoníaco se muestra en la dieta 3 de harina de pescado con una tenor mayor de carbohidratos solubles, mostrando un tenor de 8.67 comparado con el 5.50 de la dieta 8.

Cuadro 3. Concentración de amoníaco (NH₃mg/100ml) ruminal, con los distintos suplementos y de el grupo control.

Dietas	Control	1	2	3	4	5	6	7	8	Promedio/ Hora
0	1.4	7.65	8.55	7.66	4.34	5.90	8.46	7.70	6.90	7.14
2	6.9	16.0	22.0	11.72	19.33	10.90	9.59	15.22	8.08	14.11
4	3.5	15.2	22.2	11.65	5.60	5.68	8.29	27.57	5.67	12.74
6	2.6	10.6	10.2	5.88	3.30	3.58	5.70	27.25	3.32	8.73
8	1.9	5.10	9.60	4.47	3.76	3.29	9.92	19.39	3.60	7.4
12	1.5	8.16	13.6	9.63	3.76	3.12	7.18	24.6	4.23	9.29
Promedio/ Dieta	d2.96	b10.6	b14.4	bc8.67	c6.68	c5.4	bc8.2	a21.3	c5.5	b10.1

a, b, c. Literales distintas indican diferencia estadística (P<0.05) con la prueba de Tukey

Grafica 2. Producción de amoníaco ruminal (NH₃ mg/100 ml) de puntas de caña, y puntas de caña más king grass suplementadas con los diferentes ACC



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En el Cuadro 4 y la Gráfica 3, podemos observar el efecto de los diferentes suplementos sobre la degradación *in situ* de la punta de caña, en comparación con la degradación de la punta de caña sin suplementación, en el cual podemos destacar el efecto del suplemento número 1, con el cual se logra una degradación mayor que con los otros suplementos, obteniendo resultados que van de 45.12 (a las 4 horas después de aplicado el suplemento) a 72.84% (a las 96 horas). La tasa de degradación a las 72 h punta asintoto de inflexión fue de 55.40% para la punta sola. Con las dietas energéticas la dieta de pulidora de arroz, 1 tuvo una diferencia significativa ($P < 0.01$) de 70.90 mientras que la de maíz, dieta 4 sólo obtuvo un 65.00% ($P < 0.05$). En lo referente a el efecto proteico la dieta de harina de pescado (8) fue la mayor con 69.20% ($P < 0.01$) mientras que el no adicionar una fuente de NNP provocó un descenso de la tasa de desaparición a un 62.10% significativamente menor que las otras dietas proteicas o energéticas, pero aún superior al uso de punta de caña sola.

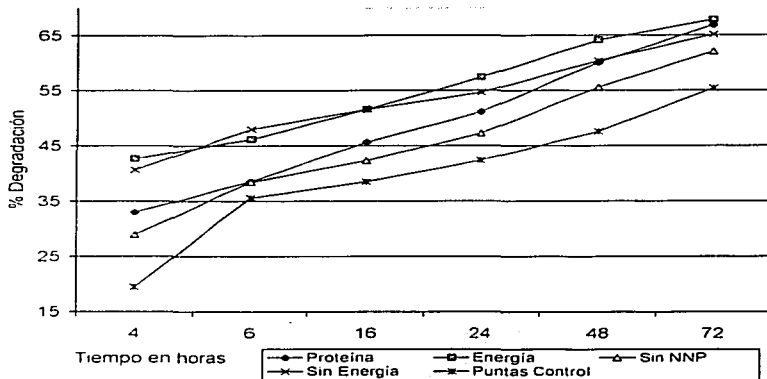
Cuadro 4. Efecto sobre la degradación *in situ* de la punta de caña y punta de caña influenciado por los 8 suplementos distintos

Tiempo	4	8	16	24	48	72	96	% 72 horas
Dietas								
1	45.12	49.24	53.92	59.46	67.86	70.89	72.84	70.89 b
2	40.71	48.05	51.60	54.72	60.42	65.13	68.20	65.13 a
3	38.16	43.14	48.53	54.75	62.10	67.77	69.08	67.77 b
4	40.03	43.14	49.29	55.47	60.42	64.75	66.13	64.75 a
5	28.97	38.49	42.38	47.30	55.63	62.05	63.82	62.05 a
6	29.61	33.69	41.57	48.87	59.11	66.30	69.34	66.30 a
7	33.00	40.88	46.67	51.24	57.51	65.08	68.91	65.08 a
8	36.48	41.12	48.70	53.41	63.72	69.16	70.96	69.16 b
Promedio	36.5	42.2	47.8	53.2	60.8	66.4	68.7	66.4 a
Control	19.5	35.6	38.5	42.4	47.6	55.4	56.3	55.4 c

a - Literales distintas indican diferencia estadística ($P < 0.05$) con la prueba de Tukey

b - Literales distintas indican diferencia estadística ($P < 0.01$) con la prueba de Tukey

Grafica 3. Degradación de materia seca *in situ* de puntas de caña (control) comparada con los promedios de las dietas proteicas, energéticas, sin carbohidratos o sin NNP(nitrógeno no proteico)



La grafica 3 muestra el impacto sobre la tasa de degradación que aumenta en las dietas energeticas significativamente de las de punta de caña sola, tambien en forma paralela si se aumenta el nitrógeno no proteico Sin embargo cuando se quitan las fuentes de energia o protoma, se observa una mayor tasa de degradacion pero menor que cuando se utilizan formulas de mayor numero de elementos

En el Cuadro 5, se muestra la fraccion soluble, la fraccion insoluble pero potencialmente digestible y la fraccion indigestible, en el cual podemos observar que la fraccion digestible se incremento significativamente ($P < 0.05$) con la suplementación, por

consecuencia tenemos que la fracción indigestible se redujo significativamente ($P < 0.05$) cuando la dieta base se suplemento con los distintos ACC

Cuadro 5. Fracción soluble, fracción potencialmente digestible y fracción indigestible de puntas de caña y puntas de caña suplementadas con los distintos tipos de ACC.

Partículas	Puntas de caña	Puntas de caña +ACC
Fracción soluble (a) %	5.90b	6.43 a
Fracción potencialmente digestible (b) %	55.11b	62.25 a
Fracción indigestible (100-(a+b)) %	38.99 ^a	31.32a

a, b Literales distintas entre renglones indican diferencia estadística ($P < 0.05$) con la prueba de Tukey

VII. DISCUSIÓN

En la presente observación se evaluó el efecto de complementación de una dieta basal constituida por dos forrajes tropicales (*Saccharum officinarum* y *Pennisetum purpureum*), con ocho alimentos denominados Alimento Complejo Catalítico (ACC) 1,2,3,4,5,6,7 y 8, en novillos fistulados. Se compararon los diferentes tratamientos con una dieta única de punta de caña

De esta manera, el análisis química proximal del King grass mostró una concentración de proteína del 1.37% ; valor muy por de bajo del alcanzado por Cáceres y Santana (1987); además del obtenido por Bross *et al.* (1988), donde se registro una concentración promedio de 6.28 y 3.69% respectivamente, siendo igualmente bajo, de acuerdo con los estándares de referencia de la FAO (1982) Probablemente las diferencias sean producto del manejo agronómico que recibió este material, sin fertilización ni riego el zacate de la presente observación, además de haberse cortado en una etapa de madurez (5 meses) que incrementa el tenor de paredes celulares, disminuyendo la cantidad de nitrógeno. No obstante Ferreiro *et al* (1977b) presentaron una concentración de proteína (1.64%) similar a la encontrada en esta observación, en ensayos en Cuba, donde no se utiliza frecuentemente la fertilización de los zacates

Por otra parte, Kevenleng *et al* (1983a) reportaron una concentración de 68% en la cantidad de paredes celulares, así como un nivel de 32% en el contenido de celulosa dentro de la caracterización química de las puntas de caña (So). Estos resultados coincidieron, con los obtenidos en la presente observación (Cuadro 1). Los trabajos discutidos se realizaron en África donde el manejo de los pastos es similar en fertilización y corte a el que tenemos en muchas de las regiones de América Latina.

Por otra parte, en relación a los resultados obtenidos en el nivel de pH en este ensayo, se puede mencionar que el empleo de los diferentes suplementos mantienen el pH por arriba de los reportado por Puga (2001) cuando midió el pH de un concentrado balanceado el cual era de 5.85, este comportamiento probablemente generó un efecto depresivo sobre el rendimiento de la población microbiana, como lo han reportado (Dixon, 1986; Weimer, 1996; Orskov, 1998); así como también observamos que el nivel de pH cuando se realiza la suplementación se mantiene por encima de los niveles mostrados cuando se administra la punta de caña sin suplementación (Puga *et al.*, 1998, Ortiz *et al.*, 2001) Esto probablemente por los efectos de la cal y el cemento como ha sido demostrado con anterioridad para dietas de punta de caña (Puga *et al.*, 2001a; 2001b) El nivel más bajo de pH observado con los suplementos fue de 6.45, y el más alto fue de 6.99, estos resultados mantienen relación con los resultados obtenidos por Russell *et al.*(1979) al adicionar bicarbonato de sodio y cal a la ración, así como con los valores propuestos por Wheeler en (1979, 1981) y Wheeler *et al.*(1981) donde se logró incrementar el pH ruminal en niveles de 6.7 a 6.8 con la adición de 3.5% de cemento en la dieta. Así mismo, en México Godoy y Elliot (1981) obtuvieron un nivel de 6.60 en el pH ruminal de novillos, al suplementar con urea, melaza y harina de pescado, una dieta basada en puntas de caña; estos resultados coinciden con los obtenidos en este experimento, al complementar la dieta base con el ACC

De acuerdo con los resultados, en el presente estudio, se observa que los valores de amoníaco ruminal obtenidos con dos diferentes tipos de complementación, suplementos 2 y 7 (Cuadro 2), fueron similares a los reportados por Dixon *et al.*(1983), donde se alcanzó una concentración de 21.9 a 35.4 mg NH₃/100ml de líquido ruminal empleando una dieta basada en el pasto Pp el cual fue suplementado con una mezcla de melaza/urea y gallinaza

Las concentraciones de amoníaco con pollinaza en el presente trabajo (dieta 7) fueron de 21.3 mg/100 ml mostrando la importancia de las fuentes de nitrógeno no proteico como fuente potencial de amoníaco, particularmente cuando se administra en forma continua (Ortiz *et al.*, 2002). La aplicación por ejemplo de la urea (dieta 6) triplico el nivel de amoníaco ruminal, comparado cuando solo se da punta. Efecto que ya se había observado en otros trabajos con alimentos complejos catalíticos (Puga *et al.*, 2001b). Las dietas energéticas (1 y 4) aumentaron también el nivel de amoníaco, probablemente la concentración de energía permita un aumento significativo en la proteólisis de la harinolina que es la fuente de nitrógeno de esas dos dietas, teniendo un efecto similar al observado con anterioridad cuando se suministra un concentrado rico en almidón que se manifiesta por un aumento significativo del amoníaco pero solo en las primeras horas posteriores a las dietas disminuyendo después de las 4 horas (Puga *et al.*, 2001a).

Por otra parte, de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente experimento cabe señalar que los niveles de amoníaco alcanzaron las recomendaciones propuestas por Leng (1991), donde se menciona que es necesaria una concentración mínima de 200 mg de NH₃/litro de líquido ruminal para optimizar la síntesis de proteína microbiana. Esto debido al aporte de nitrógeno no proteico en el suplemento.

Con respecto a la degradación *in situ* los resultados obtenidos, muestran estrecha relación con los reportados por Ortiz *et al.* (2002) cuando experimento con el suplemento en su fórmula original con todos los elementos para estimular una mejor fermentación ruminal sobre las puntas de caña, donde se obtuvo una degradación de 79%, comparada con un 55% de degradación de las puntas de caña solas. En el presente experimento la degradación va de 55% (el más bajo) para la punta sola, similar a lo observado por Ortiz *et al.* (2002), mientras que aumento a 65% en las dietas sin energía, 62% para las dietas sin NNP. Estos

valores aumentan al incrementarse la cantidad de energía a 67% o en dietas con mayor cantidad de nitrógeno 67% lo que demuestra el efecto gradual de los elementos de la dieta como fue discutido recientemente (Ortiz *et al.*, 2002) La ración de pulidora de arroz (dieta 1) y la de pollinaza (dieta 7) mostraron tener un mayor efecto sobre las tasas de degradación. Estos resultados permiten estudiar con mayor detalle los efectos de los elementos en la dieta de alimentos promotores de la fermentación en relación a resultados anteriores (Galina *et al.*, 2003). Esto nos muestra que la suplementación con los distintos tipos de ACC incrementa en gran medida la degradación de los forrajes fibrosos del tropico

VIII. CONCLUSIONES

Las dietas fibrosas de los rumiantes se pueden manejar de diferentes formas, la digestibilidad y el consumo se pueden mejorar con el uso de suplementos complejos catalíticos, sin embargo el uso de diferentes fuentes de energía o nitrógeno modifica significativamente la respuesta. Las dietas energéticas que aumentan la pulidora de arroz fueron mejores en digestibilidad y tenor de amoníaco ruminal, que las que aumentaron el maíz, comparativamente similares a las dietas de nitrógeno que utilizaron la pollinaza como su fuente. Las dietas que aumentaron solo la urea o la harina de pescado fueron superiores en los parámetros de cinética ruminal estudiados que los de punta de caña sola, pero inferiores a los observados por la dieta de pollinaza.

La pulidora de arroz y la pollinaza fueron los dos elementos claves para mejorar la fermentación ruminal de la punta de caña.

Esto se debió probablemente por una mejor condición fermentativa del rumen producto de una mejor pH que permitió aumentar las bacterias a través de proveerlas de aminoácidos esenciales, nitrógeno no proteico, azufre y fósforo a los microorganismos ruminales. El administrar los nutrientes selectivos de las bacterias ruminales con los aminoácidos esenciales, azufre y fósforo probablemente mejoró la degradación de las paredes celulares. El ofertar continuamente amoníaco permitió explicar mejor los resultados. Proteína de baja degradabilidad ruminal, carbohidratos glucogénicos y ácidos grasos de cadena larga probablemente son otros ingredientes que en el huésped permitieron un crecimiento adecuado de los microorganismos ruminales.

Agradecimientos. La presente investigación fue sustentada por fondos de PAPIIT 211701 UNAM y la Catedra SB-FES-Cuautitlan UNAM.

IX. BIBLIOGRAFIA.

Aguilera, B. A. 1988 Evaluación del efecto de la suplementación de rastrojo amoniatizado sobre la cinética ruminal y digestibilidad en borregos pelibuey. Tesis Maestría. UNAM. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, México. 142 pp.

Alba, M. J. 1976. Panorama actual de la ganadería mexicana. FIRA_Banco de México. D.F. México. 35 pp.

Allersheim, P. 1975. The walls of growing plants. Ed. Scientific Amer. USA: 232 pp.

Alden, W. G. 1981. Energy and protein supplements for grazing livestock. In: Morley F. H. W. Grazing animals. Elsevier Scientific Pub. Co. New Cork. USA. 289-307.

Allen, M. S. and Mertens, D. R. 1987. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. J. of Nutrition 188: 261-270.

Allison, D. W. 1969. Forage lignins and their relationships to nutritive value. Proc. Nat. Conf. For. Qual. Eval. Utilization. Nebraska Center for continuing educación lincon. Nebraska, USA.

Almanza, V. R. y Paretas, J. J. 1976. Efecto del fertilizante sobre la digestibilidad y valores nutritivos de la hierba pangola. II seminario internacional científico y técnico. EE. P. F. Indio Hatuey. Matanzas Cuba: 17-23 p.

Alvarez, F. J., Wilson, A., Sutherland, T. M. and Preston, T. R. 1976. Studies in urea utilization in sugar cane diets. Effect of different methods of incorporating urea in the ratio. Tropical Animal Production.

AOAC. 1995. Oficial Methods of Analysis. Association of Oficial Agricultural Chemist. Ed. 16th Washington DC. USA.

Arcos, G. L. 1996 Efecto de la adición de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la digestibilidad de la fibra y el metabolismo ruminal en dietas para ovinos basadas en puntas de caña. Tesis de Maestría. FMVZ, UNAM, México.

Arthun, D. 1989. Influence of foros and shrubs on intake, digestibility, energy and nitrogen balance, ruminal fermentation an digesta kinetics in beef steers fed low- quality forages. Thesis Doctor of Philosophy in animal Science. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico , USA

Avalos, F. L., Gonzalez, C. J y Carrizales, G. A. 1994. Pastoreo intensivo tecnificado de praderas tropicales FIRA. Boletín informativo. Núm 259.

Baldwin, R. L., Lucas, H. L. And Cabrera, R. 1970. Energetic relationships in the formation and utilization of fermentation and products 319-334. Wescastle England

Baldwin, R. L and Allison R. L. 1983. Metabolism of the rumen. J Anim. Sci 52 (2).

Bartley, E. E. and Deyoe, C. W. 1981. Reducing the rate of ammonia release by the use of alternative non-protein nitrogen source. In Recent developments in ruminant nutrition. Ed Haresing, W. And Cole, D. J. A. Butterworths, London: 99-114.

Bateman, J V 1970 Nutrición animal. Manual de métodos analíticos Ed. Herrero-Hernandez. Mexico. 60 pp

Bergen, W G 1979 Factor affecting growth yields of microorganisms in the rumen Trop Anim Prod 4 13-20

Bondr, A 1981 Metabolismo f protein in ruminant animals. Nutr. Rep Intern 23 993-1002.

- Boniface, A. M., Muray, R. M. and Hogan, J. P. 1986. Optimum level of ammonia in the rumen liquor of cattle fed tropical pasture hay. Australian Society of Animal Production 16: 151-154
- Bradford, G. E. 1999. Contributions of animal agriculture to meeting global human food demand. Livestock Prod. Sci. 59 (2-3)95-112
- Brow, W F Urea amoniation effects on the feeding value of Guinea grass (*Panicum maximum*) hay J Anim. Sci. 73 3085-3093
- Bryant, M. P. and Robinson, I M 1961 J of Dairy Sci 42: 1823 En Elias, A. 1983 Digestión de pastos y forrajes En los pastos de Cuba. Ed Instituto de ciencia animal. La Habana Cuba
- Bull. L. S., Rumpler, W. V., Weeney, T. F and Zinn, R. A 1979. Influence of ruminal turnover on site and extent of digestion. Feed Production 38: 2713-2719
- Butterry, P. J. 1981. Aspects of the biochemistry of rumen fermentation and their implication in ruminant productivity. Ed. Betterworths, London England. 140-156 p.
- Caceres, C Y Santana, H. 1987. Valor nutritivo y rendimiento de nutrimentos de seis gramíneas forrajeras Pastos y forrajes 10 76-82
- Caceres, C Y Santana, H 1988 Influencia de la edad de cosecha sobre valor nutritivo y rendimiento de nutrimentos de tres gramíneas forrajeras Pastos y forrajes 11 183-189
- Castañeda, F E y Monroy, A J 1984 Metodos de procesamiento de subproductos agrícolas para elevar su valor nutricional Memorias del seminario Utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes
- Chalupa, W 1977 Manipulating rumen fermentation J Anim Sci 43 824-834

Chesson, A. and Forberg, C. W. 1988. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. 251-284. Ed. Elsevier Applied Science. N. Y. USA: 527 pp.

Church, C. D. 1988. El rumiante fisiología digestiva y nutrición Ed. Acribia. Zaragoza. España. 641 pp.

Dehority, B. A., Jonson, R. R., Bantley, O. C. and Moxon, A. L. 1958. Arch. Biochem. Biophys. 78: 15. La Habana Cuba.

Dixon, R. M. 1986. Effects of dietary concentrates on rumen digestion of fibrous feedstuffs.

Dixon, R. M., Preston, T. R. y Parra, R. 1983. Observaciones preliminares sobre fermentación ruminal y crecimiento en bovinos alimentados con forrajes de *Pennisetum purpureum* y *Canavalia ensiformis* tratada con NaOH. Prod Anim Trop. 8: 247-253.

Doyle, P. T. 1987. Supplements other than forages 429-464. Ed Academia Press. Australia.

Eguarte, V. J. A., Carrete, C. F. O. 1984. Los pastos tropicales son fuente importante para la alimentación del ganado. Centro de investigaciones pecuarias del estado de Jalisco, Mexico 16 p.

Elias, A. 1983. Digestión de pastos y forrajes tropicales. En: Los pastos en Cuba. Instituto de Ciencia Animal, Cuba 187-247.

Elizondo, E. I. 1998. Evaluación de tratamientos alcalinos sobre la calidad nutricional de subproductos lignocelulosicos. Tesis Doctorado. PICH FANVZ. Universidad de Colima, Colima, Col. Mexico. 111pp.

Ellis, W. C., Matis, J. H. and Lascano, C. 1979. Quantifying ruminal turnover. Federation Proceedings 38: 2702-2706.

FAO. 1982. Piensos tropicales: resúmenes informativos sobre piensos y valores nutritivos
Ed. FAO Roma Italia: 550 pp.

Fernández, J. M., Croom, W. J., Tate, L. P., Johnson, A. D. 1990. Subclinical ammonia toxicity in steers. *J. Anim. Sci.* 68:1726-1742.

Ferreiro, H. M. y Preston, T. R. 1977. Digestibilidad y consumo voluntario en tallo de caña descortezado con la adición de puntas. *Prod. Anim. Trop.* 2: 93-103.

Ferreiro, H. M. y Preston, T. R. 1977a. Digestibilidad de tallo y puntas de caña madura y tierna. *Prod. Anim. Trop.* 2: 104-108.

Ferreiro, H. M. y Preston, T. R. 1977b. Limitaciones dietéticas en raciones basadas en caña de azúcar. *Prod. Anim. Trop.* 2: 58-63.

Ferreiro, H. M., and Preston, T. R. 1976. Fattening cattle with sugar cane: The effect of different proportions of stalks and tops. *Trop. Anim. Prod.* 1: 178-185.

Flores, M. F. 1983. Utilización de esquilmos y subproductos agroindustriales en la producción animal. *Rev. Méx. Prod. Animal* Vol. 15.

Fondevila, M. and Dehority, B. A. 1996. Interaction between *Fibrobacter succinogenes*, *Prevotella ruminicola* and *Ruminococcus flavefaciens* in the digestion of cellulose from forages. *J. of Anim. Sci.* 74: 678-684.

Forbes, J. M. and France, J. 1993. Quantitative Aspects of ruminant digestion and metabolism. CAB International, Wallingford, UK. 515 p.

Galina, M. A., Orskov, E. R., Perez-Gil, F. and Ortiz, R. M. A. 2003. Effect of slow intake urea supplementation on fattening of steers feed sugar cane tops (*Saccharum officinarum*)

and maize (*Zea mays*) with or without SIUS. Ruminal fermentation, feed intake and digestibility. *Lives Prod. Sci.* en prensa.

Galina, M. A., Guerrero, C. M., Serrano, G., Morales, R., and Haenlein, G. 2000. Effect of complex catalytic supplementation with non protein nitrogen on ruminal ecosystem of growing goat pasturing shrub land in Mexico. *Small Rum. Res.* (36):33-42.

Galina, M. A., Pineda, J., Rosado, J., Aguilar, A., Rubio, C and Murillo, J. C. 1997. Fattening of steers zebu + F1 cross feed high fermentable carbohydrate diet of a continuous non-protein supplement. *Adv. Agric. Res.* 6 (3) :22-32.

Galina, M. A., Guerrero, M. and Haenlein, G. F. W. 2002. Effect of a controlled-released urea supplementation on growing kids feed corn stubble or alfalfa with a balanced concentrate. Ruminal Fermentation, feed intake, digestibility and nitrogen balance. *Small Rum Res.* In press

Garstang, J. R. 1981. Silage supplements for calves. *Anim. Prod.* 32: 355-360

Godoy, R. y Elliott, R. 1981. Efecto de cinco forrajes tropicales sobre algunos parámetros de la función ruminal y flujo de nutrientes al duodeno de bovinos alimentados a base de melaza/urea. *Prod. Anim. Trop.* 6: 177-184

Goering, H. K. and Van Soest, P. J. 1970. Forage Fiber Analyses. United State Department of Agriculture. Agricultural Research Service, Washington, D. C. USA

Grumer, R. R. 1988. Influence of prilled fat and calcium salt of Palm oil fatty acids of ruminal fermentation and nutrient digestibility. *J. of Dairy Sci.* 71 (1): 117-123

Hacker, J. B. and Fernouth, J. H. 1987. The nutrition of herbivores. Ed. Academic Press Australia. 552 pp

Harrison, D. G., Beever, D. E., Thomson, D. J. and Osbourn, D. E. 1976. Manipulation of fermentation in the rumen. *J. Sci. Feed Agric.* 27:617-620

Hennesy, D. W. And Williamson, P. J. 1963. The influence of higher VFA on the intake of urea supplemented low quality cereal. *Australian J. of Agric. Res.*

Herrera, R. S. 1983. La calidad de los pastos. En los pastos en Cuba. Ed. ICA. La Habana Cuba.

Hobson, P. N. 1988. The rumen microbial ecosystem. Ed. Elsevier Applied Science. NY, USA. 527 pp.

Hungate, R. E. 1966. The rumen and its microbes. Academic Press NY, USA.

INIA. 1970. Los forrajes tropicales y su aprovechamiento. Campo agrícola experimental Cotaxtla, Veracruz, Ver. México

Jung, H. G. And Allen, M. S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim Sci* 73:2774-2790.

Kempton, T. J., Nolan J. v. and Leng R. A. 1977. Principles for the use of non protein nitrogen and by-pass protein in diets for ruminants. *Word Anim. Revi*

Kempton, T. J. 1980. El uso de la bolsa de nylon para caracterizar el potencial de degradabilidad de alimentos para ruminantes. *Prod. Anim Trop* 5: 115-126.

Kevelenge, J. E., Said, A. N. y Kiflewahid. 1983. Valor nutritivo de cuatro subproductos de cultivo comúnmente utilizados para la alimentación de ganado lechero por los productores de pequeña escala en Kenya. I. Componentes estructurales orgánicos y digestibilidad. *Prod Anim Trop* 8: 175-184.

Koenig, K. M., Newbold, C. J., Mcintosh, F. M and Rode, L. M. 2000. Effect of protozoa and bacterial nitrogen recycling in the rumen. *J. Anim. Sci.* 78:2431-2445.

Kotb, A. R. and Luckey, T. D 1972. Markers in nutrition abstracts and reviews.

Kunju, P. J. G. 1986. Urea molasses block lick: a feed supplement for ruminants. In rice and related feeds in ruminants rations Ibrahim and Schiere, editors. Wageningen, Pudoc, Netherlands. 261-274

Ku-Vera, J. C. Ramirez-Aviles, L., Alayon-Gamboa, V., Valdivia-Salgado, L., Ramirez-Cancino, G and Perez-Luna, E. 1999. Nutritive value of tropical trees and shrubs for ruminants. Oklahoma state educational course stilwater. March 9. 1-6 pp

Lehninger, A. L. Bioquímica 2a Ed Omega, Barcelona, España

Leng, R. A. 1970. Formation and production of VFA in the rumen. Oriel Press Limited, Newcastle, England

Leng, R. A. 1990. Factors Affecting the utilization of poor quality forage by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutritional Research Reviews* 3:277-303

Leng, R. A. 1991. Applications of biotechnology to nutrition of animals in developing countries. FAO UN Rome No 90, Italy 146 Pp

Lonsdale, C. 1989. Straights. Raw materials for animal feed compounders and farmers. Ed Chalcombe, Great Britain

Lopez, J. M. Preston, R. T. And Wilson, A. 1976. Rice polishings as a supplement in sugarcane diets. *Trop Anim Prod* 1: 164-171

Martin, P. C. 1997. Forraje de caña en la alimentación del ganado vacuno. Rev. Cubana Cienc. Agric. 12:51-57

Martinez-Avalos, M. A., Mendoza, D. G., Cobos, M. A. y Gonzalez, M. 1998. Nutricional evaluation of cattle manure silage with molasses for ruminants. Anim. Feed Sci Technol. 70 257-264.

Matsui, H., Ushida, K., Miyazaki, K., Kojima, Y. 1998. Use of ration of digested Nylon and digested cellulose (N/C) as an index of fiber digestin in plant cell-wall material by ruminal microorganisms. Anim. Feed Sci.

Maynard, A. L., Loosli, K. J., Hintz, F. H. y Warnae, G. R. 1986. Nutrición animal. México

Mertens, D. R. 1993. Rate and extent of digestion. CAB International 13-51.

Mertens, D. R. and Ely, O. L. 1982. Relationship of rate and exentent of digestion to forage utilization-A dynamic model evaluaton. J. of Anim. Sci.

Meyreles, L., Pound, B. y Preston, P. T. 1982. Uso de la leucaena o cogollo de caña como fuente de forraje en dietas de melaza/urea, suplementadas con gallinaza o afrecho de trigo. Prod Anim Trop

Montpellier, F. A. y Preston R. T. 1977. Digestibilidad de punta, corteza, tallo descortezado y caña de azúcar integral. Prod Anim Trop

Naseeven, M.R. 1986. Sugarcane tops as animal feed. Sugarcane. Proceeding of an FAO expert consultation held. Santo Domingo, Dominican Republic

Noller, C. H., White, J. L., and Wheeler, W. E. 1980. Characterization of cement kiln dusts and Animal Response. J. Dairy Sci. 63: 1947-1952

Oltjen, R. R., Slyter, L. Kozak, A. S. and Williams, E. 1968. Evaluation of urea, biuret, urea phosphate and uric acid as NNP sources for cattle. J. Nutr., 94: 193-202

Orskov, E. R. 1994. Recent advances in understanding of microbial transformation in ruminants. Livestock Prod. Sci. 39:53-60

Orskov, E. R. 1998. Feed evaluation with emphasis on fibrous roughages and fluctuating supply of nutrients. Small Rum. Res 28: 1-8

Orskov, E. R. 1991. Manipulation of fiber digestion in the rumen. Proc. Of the Nutritional Society. 50: 187-196

Orskov, E. R., Hovell, F., and Mould, F. 1982. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. (Use of the nylon bag to evaluate feeds). Prod. Anim. Trop. 5: 213-233

Ortiz, R. M. A. 2000. Efecto de un alimento complejo catalítico en asociación de forrajes y fuentes alternativas de proteína en bovinos de engorda. Tesis de Maestría. Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias. Universidad de Colima, Colima, México. 95 Pp.

Ortiz, R. M. A., Galina, M. A. and Carmona, M. M. A. 2002. Effect of a slow non-protein nitrogen ruminal supplementation on improvement of *Cynodon nlemfuensis* or *Brachiaria brizantha* utilization by Zebu steers. Livestock Production Sci. 78 (2) 125-131

Ortiz, R. M. A., Haenlein, G. F. W. and Galina, M. 2001. Effects on feed intake and body weight gain when substituting maize with sugar cane in diets for Zebu steers complemented with slow release urea supplements. Intern. J. Animal Sci. 16(2) 239-245.

UNIVERSIDAD DE COLIMA
LABORATORIO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS PECUARIAS

Owen, F. N. and Goesch, A. L. 1988. Rumen fermentation. In Church, D. C. Ruminant Animal. Practice Hall. New Jersey, USA.

Pigden, W. J. and Heaney, D. P. 1969. Lignocellulose in ruminant nutrition. American Chemical Society Washington. USA.

Preston, T. R. 1986. Molasses as animal feed: An overview. Sugarcane. Proceeding of an FAO expert consultation held. Santo Domingo. Dominican Republic.

Preston, T. R. 1991. Sugar cane for feed and fuel: Recent developments. World Anim. Rev. 1: 84-89.

Preston, T. R. 1995. Tropical Animal feeding. A manual for research workers, FAO Animal Production and Health Paper 126. Rome, Italy: 305Pp.

Preston, T. R. y Leng, R. 1987. Adecuando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles. Aspectos basicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el tropico Cali. Colombia

Preston, T. R., Leng, R. 1984. Supplementation of diets based on fibrous residues and byproducts. In Straw and other Fibrous Byproducts as feed (Sundstol and Owen, editors) Elsevier Press Amsterdam. 373-413

Puga, D. C., Galina, M. A. y Murillo J. C. 1998. Tasa de desaparición in situ de *C. dactylon*, *Panicum maximum* y *B. Brizantha*, pH ruminal y amoníaco ruminal en bovinos en pastoreo en el trópico mexicano con la adición de un alimento complejo catalítico (ACC). Noviembre. XI Reunión Avances de Investigación Trópico 98. Guadalajara, Jalisco, U. de Colima 78-82

Puga, D.C., Galina, M.A., Perez-Gil, F., Rosado, J. y Murillo, J.C. 2001c. Efecto de un Alimento Complejo Catalítico sobre el pH, amoníaco (N-NH₄) ruminal y la desaparición in situ de *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon dactylon*, *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha*

en bovinos en Pastoreo en el Trópico Mexicano Pastos y Forrajes Cuba. Vol 24. Número 2:157-166

Puga, D.C., Galina, M., Perez-Gil, R. F., Sangines, G.L., Aguilera, B. A., Haenlein, G.F.W., Barajas, C.R. and Herrera, HJ 2001b. Effect of a controlled-release urea supplementation on feed intake, digestibility, nitrogen balanced and ruminal kinetics of sheep fed low quality tropical forage. *Small Rum Res* 41 (1):9-18

Puga, D.C., Galina, M.A., Pérez-Gil, R.F., Sanguinés, G.L., Aguilera, B.A. and Haenlein, G.F.W. 2001a. Effect of a controlled-release urea supplement on rumen fermentation in sheep fed a diet of sugars tops (*saccharum officinarum*), corn (*Zea mays*) and king grass (*Pennisetum purpureum*) *Small Rum Res* 39 (3) 269-276

Quintero, R. R. 1981. *Ingeniería Bioquímica Teoría y aplicaciones*. Ed Alhambra Mexicana, S. A Mexico

Ready, 1994. Effect of supplementation of caged poultry droppings and wheat bran on rumen degradation kinetics and nutrient utilization in buffalo calves fed rice straw. *Indian J Anim Sci* 64 (12) 1388-1389.

Russell, J., and Wilson, D. 1996. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *J Dairy Sci* 79 1503-1509

Russell, J.R., Young, A.W., and Jorgensen, N.A. 1979. Effect of sodium bicarbonate and limestone addition to high grain diets on feedlot performance and ruminal and fecal parameters in finishing steers. *J Anim Sci* 51 996-1002

Saadullah, M., Haque, M. and Dolberg, F. 1982. Effect of fish meal on growth of Zebu cattle calves fed on a basal diet of urea-treated rice straw. *Trop Anim Prod*.

San Martín, F., Pezo, D., Ruiz, E. M. y Li, H. H. 1983. Suplementación de bovinos con banano verde. I. Efecto sobre parámetros de digestión de la fibra en punta de caña. *Prod. Anim. Trop* 8: 232-239.

Sanchez, M. y Preston, R. T. 1980. Jugo de caña de azúcar como alimento bovino: Comparaciones con melaza en la presencia o ausencia del suplemento proteico. *Prod Anim. Trop* 5: 127-134.

Sanchez, E. J. y Ortiz, V. 1977. Determinación del gasto energético (Mcal/día) por el ganado bovino a partir de sus hábitos y comportamiento en pastoreo en verano. *Tec. Pec. Méx.*

Sangines, G. L. 1998. Efecto de la suplementación de atriplex canescens sobre la cinética ruminal y digestibilidad en borregos. Tesis Maestría UNAM FMVZ. México: 89 pp.

Santana, H., Cáceres, O. y Rivero, L. 1985. Calidad y valor nutritivo de cinco gramíneas forrajeras. *Pastos y Forrajes* 8: 435-447.

SAS, Institute Inc. 1996. Statistical Analysis System User's Guide. Statistics, Version 6.12 Edition. Cary, North Carolina, USA.

Setter, I. D. and Slyter, L. L. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein in vitro. *Br. J. Nutr.*

Silva, A. T. and Orskov, E. R. 1989. Influence of ammonia treatments and supplementation on the intake, digestibility and weight gain of sheep and cattle on barley straw diets. *Anim. Prod.* 48: 99-108.

Silvestre, R. y Preston, T. R. 1976. Suplementación de la caña de azúcar/urea para ganado en crecimiento: niveles de maíz y concentrado proteico. *Prod Anim. Trop* 1: 214-223.

- Singh, B., Makkar, H. P. S. and Negi, S. S. 1992. The kinetics of digestion in ruminants-A review. Indian J. Dairy Sci. (46) 3 90-99.
- Slyter, L. L. and Setter, L. D. 1974. Effect of ammonia concentration on nitrogen utilization by steers. J. Anim. Sci.
- Stewart, C. S. and Bryant, M. P. 1988. The rumen bacteria. In: The rumen microbial ecosystem. Ed Elsevier Appliend Sci. NY USA.
- Swingle, R. R., Araiza, A. and Urias, R. 1977. Nitrogen utilization by lambs fed wheat straw alone or with supplements containing dried poultry waste, cottonseed and feed evaluation. Ed. Agricultural research Council. London.
- Tamminga, S. 1979. Relation between different carbohydrates and microbial synthesis of protein. Kiel Group Seminar. Uppsala.
- Thewis, A. and Lefancois, E. Rate of passage of digesta in sheep. Ann. Rech. Vet.
- Torres, B. I. 1991. La produccion de leche en México. Boletín informativo.FIRA. México.
- Trabanco, S. A. 1985. La harina de pescado como fuente proteica en los alimentos balanceados. UNAM FMVZ México, D. F.
- Traver, R. K. and Jungermann, K. 1977. Energy conservation in chemotropic anaerobic bacteria. Bact. Rev.
- Valdes, G. y Castillo, F. 1993. Sistema de manejo de machos bovinos en pastoreo I. Rev. Cubana Cienc. Agric.
- Van der Meer, J. M. and Van Es, A. J. H. 1987. optimal degradation of lignocellulosic feeds by ruminants and in vitro digestibility test. NY USA.

Van Soest, P. J. 1982. Nutritional Ecology of the ruminants. Ed. O & B Brooks, Corvallis, Oregon USA: 374 pp.

Visek, W. J. 1984. Amonia It's effects on biological systems, metabolic hormones and reproduction. J. Dairy Sci. 67: 481-498.

Waldo, D. R. Smith, L. W. and Cox, E. L. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen J. of Dairy Sci. 55: 125-129.

Ward, G. M., Old, G. A. Greathouse, A. and Coveny, D. D. 1979. Cement kiln dust in finishing lamb diets. J. of Anim. Sci. 49 (3) 637-640.

Weimer, P. 1996 Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster. J. of Dairy Sci. 79: 1496-1502.

Wheeler, W. E. 1979 Influence of cement Kiln dust on reticulorumen parameters of beef steer fed complete diets J. of Anim. Sci.

Wheeler, W. E. 1981. Variability in response by beef steers to cement kiln dust in high concentrate diets J. Of Anim. Sci. 52 (3) : 618-627.

Wheeler, W. E. and Oltjen, R. R. 1979 Cement Kiln in complete diets for finishing steers and growing lambs J. of Anim. Sci.

Wheeler, W. E., Noller, C. H., and White, J. L. 1981b Comparison between limestone and cement kiln dusts of similar rates of reactivity used in high concentrate diets for beef steers J. Anim. Sci. 52 (4) : 873-881

Wilkinson, J. M. y Prescott, H. D. 1970 The use chromic oxide in the measurement of individual feed intake in cattle fed on silage and barley Anim. Prod.

Williams, G. A. and Coleman, G. S. 1988. The rumen protozoa. Ed. Elsevier Applied Sci NY, USA

Wilson, J. R. 1994. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by the ruminants. *J. of Agri. Sci. Cambridge*. 122: 173-182.

Wolin, M. J. and Miller, T. L. 1983. Interactions of microbial populations in cellulose fermentation. *Fed Proc*

Zinn, R. A., Barajas, R., Montaño, M., and Sean, Y. 1996. Protein and energy value of dehydrated poultry excreta in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 74: 2331