

01682



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

UTILIZACION DE LA CAÑA DE AZUCAR EN LA  
ALIMENTACION DE RUMIANTES

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS VETERINARIAS  
P R E S E N T A :  
EMILIO MANUEL ARANDA IBAÑEZ



MEXICO, D. F.

277479

ABRIL DEL 2000.



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.

# UTILIZACION DE LA CAÑA DE AZUCAR EN LA ALIMENTACION DE RUMIANTES

Esta tesis fue realizada por Emilio Manuel Aranda Ibañez bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## DOCTOR EN CIENCIAS VETERINARIAS

### Comité Tutorial:

Director: Dr. Germán D. Mendoza Martínez

Asesor: Dr. Mario A. Cobos Peralta

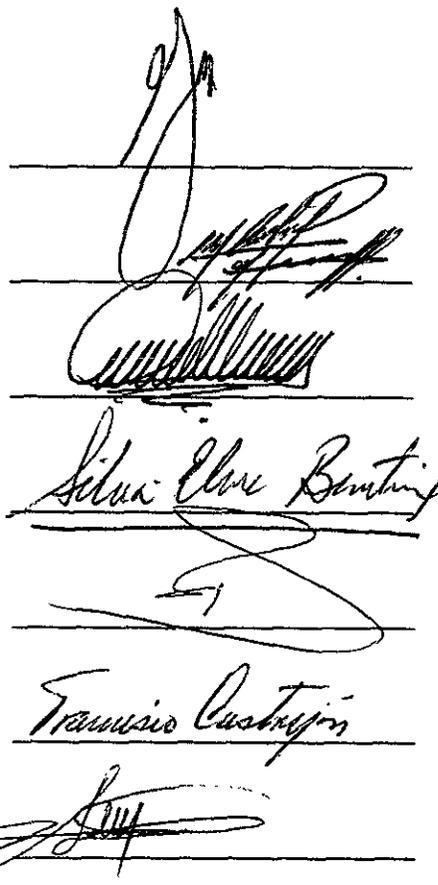
Asesor: Dr. Carlos M. García Bojalil

Asesor: Dra. Silvia Elena Buntinx Dios

Asesor: Dr. Armando Shimada Miyasaka.

Asesor: M.C. Francisco Castrejón Pineda.

Asesor: M.C. Lucas Melgarejo Velazquez



The image shows seven handwritten signatures, each written on a horizontal line. The signatures are: 1. A stylized signature for Germán D. Mendoza Martínez. 2. A signature for Mario A. Cobos Peralta. 3. A signature for Carlos M. García Bojalil. 4. A signature for Silvia Elena Buntinx Dios. 5. A signature for Armando Shimada Miyasaka. 6. A signature for Francisco Castrejón Pineda. 7. A signature for Lucas Melgarejo Velazquez.

## **AGRADECIMIENTOS**

-Al pueblo de México porque a través de las luchas sociales se crearon las condiciones para que los pobres de México estudiaran.

-Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por financiar el proyecto y mi formación académica.

-Al Colegio de Postgraduados en Ciencia Agrícolas y a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser las instituciones que han tenido la responsabilidad de apoyar, orientar y financiar mi formación académica

-Al ISPROTAB y Fundación Produce Tabasco y su Exdirector C.P. Edgar Mendez Garrido, por su amistad y por ser una persona convencida y por impulsar del uso de la caña de azúcar como alternativa en el desarrollo de la ganadería en las regiones tropicales.

-A los Exdirectores del Campus Tabasco Dr. Lauro Bucio Alanis y Dr. Lorenzo Aceves Navarro por su nobleza, amistad, apoyo, impulso y gestión como líderes en el desarrollo del Campus Tabasco, para que el personal académico se supere y cubra las metas y expectativas.

-Al Dr. German D. Mendoza Martínez, Mi Consejero por compartir su amistad, conocimientos, apoyo moral y económico. Por ser una persona excepcional, con una calidad moral amplia y por ser un profesor nato que todos sus discípulos nos honramos por su capacidad de trabajo, la cual nos servirá de guía en nuestro desempeño profesional.

-Al Dr. Mario Cobos Peralta por su disposición, su atención y trasmisión de sus conocimientos, por el apoyo irrestricto en el trabajo de laboratorio de microbiología y por las observaciones y sugerencias en la realización del escrito de la tesis.

-Al Dr. Carlos García Bojalil Por su amistad y enseñanzas así como las orientaciones para la realización de esta investigación.

-A la Dra. Silvia Buntinx Dios por su apoyo y dedicación en la orientación y revisión de la presente investigación, por su amistad y elevada calidad moral.

-Al Dr. Armando Shimada M. Por sus valiosas contribuciones y orientaciones en la realización de esta investigación y por su amistad

-Al M.C. Francisco Castrejon Pineda por su contribución, paciencia y aporte de conocimientos y orientaciones en la realización de la tesis y por ser un amigo con quien siento una confianza y apoyo.

-Al M.C. Lucas Melgarejo Velazquez por su amistad, apoyo y contribuciones en la realización de la tesis.

-Al Dr. Andres Molina del Instituto de Ciencia Animal de la República de Cuba por su amistad y gran calidad humana y por sus orientaciones para iniciar esta investigación.

-A los amigos y compañeros del Laboratorio de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Andres Lee, María Magdalena Crosby Galvan, por su valiosa cooperación y apoyo en los análisis y técnicas de laboratorio, por su amistad y trato cordial.

-A todos los profesores del programa de Ganadería del Colegio de postgraduados, por la trasmisión de conocimientos, amistad y palabras de aliento en todo momento hasta en los jardines y pasillos del Colegio en Montecillos.

-Al Campus Tabasco Colegio de Postgraduados a su personal académico, trabajadores y amigos, especialmente al Dr. Mario Osorio A., Jesús A. Ramos J., Carlos Madrigal, donde he pasado parte de mi vida en convivencia y por el apoyo de las instalaciones y económico para mi formación.

-A todos mis compañeros estudiantes de Ganadería donde he pasado el último año en convivencia Rolando Rojo, Israel Sanchez, Jose Luis Arcos, José Ayala, Alejandro Lara, Porfirio Ruiz, Leonel Cano, David Hernandez, Luz Elba García etc. Gracias por su amistad y confianza.

-A mi madre María del Carmen Aranda P. Por todo su cariño y ejemplo que me ha dado para luchar por la vida en la adversidad, por el amor y confianza que nos ha dado a todos sus hijos.

-A mis hermanos Elizabeth Betty, Raúl, Jorge, José, Felipe, Leticia. Que este camino de satisfacción y sacrificios sirva de ejemplo de superación y acercamiento.

-A mi querida esposa Madge Libertad Cabrera Merino por el sacrificio y apoyo ilimitado para poder soportar todos estos inconvenientes, pero el sacrificio sirva para elevar nuestro espíritu en las cosas grandes de la vida.

-A mis hijas Claudia Noelia y Monica Gabriela con toda mi admiración y cariño, su padre las quiere, esta separación temporal y esfuerzo de toda la familia, les permita luchar para aprender y triunfar en todas las metas, que las lleve al triunfo y ser útiles a la patria.

-A mis sobrinos todos, el trabajo y la adquisición de conocimientos debe ser una meta que les cause satisfacción y profesionalización en su trabajo y su vida, como a mi en este largo camino.

<b>INDICE GENERAL</b>		<b>Página</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b>		x
<b>INDICE DE FIGURAS</b>		xi
<b>RESUMEN</b>		xii
<b>ABSTRACT</b>		xiii
<b>I. INTRODUCCION</b>		1
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>		
2.1. Características de la producción de carne en el Estado de Tabasco		4
2.2. Potencial forrajero de la caña de azúcar		6
2.3. Producción de carne con caña de azúcar		7
2.4. Composición y digestibilidad de la caña de azúcar		10
2.5. Consumo		12
2.6. Fermentación ruminal en dietas con caña de azúcar		14
2.7. Digestión ruminal y componentes de la fibra de la caña de azúcar		15
2.8. Microorganismos ruminales		17
2.8.1. Degradación microbiana de la fibra		19
2.8.2. Protozoarios ruminales		21
2.9. Enzimas fibrolíticas ruminales		21
2.10. Enzimas exógenas microbianas		23
<b>III. OBJETIVOS E HIPOTESIS</b>		26
<b>IV. MATERIALES Y METODOS</b>		
4.1. Efectos asociativos de la caña de azúcar y pasto estrella en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal.		28
4.2. Crecimiento de vaquillas en pastos tropicales suplementadas con caña de azúcar, urea y concentrado nitrogenado.		30
4.3. Cinética de digestión ruminal <i>in situ</i> de la pared celular de tres variedades de caña de azúcar		32
4.4. Crecimiento <i>in vitro</i> de bacterias ruminales en caña de azúcar con o sin adición de enzimas fibrolíticas exógenas.		34
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSION</b>		
5.1. Efectos asociativos de la caña de azúcar y pasto estrella en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal.		37
5.2. Crecimiento de vaquilla en pastos tropicales suplementadas con caña de azúcar, urea y concentrado nitrogenado		44
5.3. Cinética de digestión ruminal <i>in situ</i> de la pared celular de tres variedades de caña de azúcar		50
5.4. Crecimiento <i>in vitro</i> de bacterias ruminales en caña de azúcar con o sin adición de enzimas fibrolíticas exógenas.		58
<b>VI. CONCLUSIONES</b>		
6.1. Efectos asociativos de la caña de azúcar y pasto estrella en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal		67
6.2. Crecimiento de vaquillas en pastos tropicales suplementadas con caña de azúcar, urea y concentrado nitrogenado		67
6.3. Cinética de digestión ruminal <i>in situ</i> de la pared celular de tres variedades de caña de azúcar		68
6.4. Crecimiento <i>in vitro</i> de bacterias ruminales en caña de azúcar con o sin adición de enzimas fibrolíticas exógenas.		68
6.5. Conclusiones generales		69
<b>VII. LITERATURA CITADA</b>		70
<b>VIII- APENDICE</b>		91

## INDICE DE CUADROS

Página

### CUADRO

1. Medio anaeróbico utilizado para la estimación de bacterias totales y celulolíticas	36
2. Composición de los alimentos (base seca)	37
3. Efecto del nivel de caña de azúcar en el consumo y digestibilidad de las raciones	38
4. Efecto del nivel de caña de azúcar en el consumo y digestibilidad <i>in situ</i> de la MS y FDN	41
5. Efecto del nivel de caña de azúcar en el patrón de fermentación ruminal, pH y nitrógeno amoniacal	43
6. Composición química (base seca) , digestibilidad <i>in situ</i> de los forrajes	45
7. Producción y composición botánica de la pradera	45
8. Comportamiento de vaquillas suplementadas con de caña de azúcar (con y sin urea) y con un suplemento proteínico	47
9. Efecto de la suplementación con caña de azúcar (con y sin urea) y un suplemento proteínico en el consumo y digestibilidad <i>in vivo</i>	49
10. Composición de tres variedades de caña madura (12 meses)	51
11. Digestibilidad <i>in situ</i> de tres variedades de caña de azúcar madura	52
12. Crecimiento microbiano (densidad óptica nm) de microorganismos ruminales incubados en caña de azúcar y sus fracciones de fibra	59
13. Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas en el crecimiento microbiano (densidad óptica nm) al incubar microorganismos ruminales con caña de azúcar	62
14. Características del crecimiento microbiano y digestibilidad <i>in vitro</i> en la caña de azúcar y sus fracciones de fibra	63
15. Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas en el crecimiento microbiano y digestibilidad <i>in vitro</i> en caña de azúcar	65

## INDICE DE FIGURAS

Página

### FIGURA

1. Digestibilidad <i>in situ</i> de tres variedades de caña de azúcar	53
2. Digestibilidad <i>in situ</i> de la FDN de tres variedades de caña de azúcar	54
3. Digestibilidad <i>in situ</i> de la FDA de tres variedades de caña de azúcar	54
4. Digestibilidad <i>in situ</i> de la hemicelulosa de tres variedades de caña de azúcar	55
5. Desaparición ruminal de la caña de azúcar variedad MEX69-290 y sus fracciones	57
6. Desaparición ruminal de la caña de azúcar variedad Q-107 y sus fracciones	57
7. Desaparición ruminal de la caña de azúcar variedad MEX83-481 y sus fracciones	58
8. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con caña de azúcar y sus fracciones de fibra	59
9. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con caña de azúcar con y sin enzimas fibrolíticas exógenas	60
10. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con FDN de caña de azúcar con o sin enzimas fibrolíticas exógenas	61
11. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con FDA de caña de azúcar con o sin enzimas fibrolíticas exógenas	61

## RESUMEN

Se realizaron varios estudios para caracterizar el crecimiento microbiano *in vitro* en caña de azúcar y para determinar la cinética de digestión ruminal *in situ* de tres variedades: MEX69-290, MEX83-481 y Q-107. También se realizó un ensayo metabólico con bovinos (*Bos taurus* x *Bos indicus*) para estudiar los efectos asociativos en el consumo, digestibilidad *in vivo* y fermentación ruminal, al combinar caña de azúcar y pasto estrella en diferentes proporciones, y un ensayo de crecimiento con 32 vaquillas en pastoreo, para conocer el efecto de la caña de azúcar ofrecido al 3% del PV con o sin urea (1%), con un suplemento proteínico (1 kg/animal/d) en el comportamiento animal, con una carga animal de 6 vaquillas por ha. En los estudios microbiológicos se observó un mayor crecimiento microbiano en la caña de azúcar integral que en las fracciones de fibra, siendo menor en FDA. La adición de enzimas fibrolíticas incrementó el crecimiento microbiano y la digestibilidad (%) *in vitro* (42.52<sup>b</sup> vs. 38.71<sup>a</sup>). No se encontraron diferencias en la tasa de digestión *in situ* de la fracción potencialmente digestible de la FDN (MEX69-290, -.034; MEX83-481, -.019, y Q-107, -.042) y FDA (-.019, -.012, -.014, respectivamente). Los resultados del ensayo metabólico indicaron que no hay efectos asociativos negativos en digestibilidad y consumo al incrementar el nivel de asignación de caña de azúcar (con 1% de urea) como porcentaje del PV (0, 1, 2 y 3%) con pasto estrella *ad libitum*. En el ensayo en pastoreo se encontró que las vaquillas en pastoreo con suplemento proteínico (.528<sup>b</sup> kg/d) tuvieron las mayores (P<.01) ganancias (testigo .320<sup>a</sup>; caña sin urea .326<sup>a</sup> kg/d; caña con urea .365<sup>a</sup> kg/d). Los resultados de estos estudios indican que la principal limitante de digestión de caña está relacionada a la fracción de FDA y que las enzimas fibrolíticas pueden incrementar la digestibilidad y el crecimiento microbiano. La degradación ruminal de la caña de azúcar integral es extensa debida a los azúcares solubles, sin embargo, la digestión de las paredes celulares es limitada. La digestibilidad ruminal *in situ* de las variedades de caña fue similar. La caña de azúcar debe de ser suplementada con urea para usarse como forraje complementario en pasturas tropicales para mejorar la ganancia diaria de peso. Las vaquillas en pasturas tropicales con caña de azúcar responden positivamente a la suplementación proteínica. La caña de azúcar es un recurso forrajero importante para la alimentación de rumiantes en zonas tropicales.

**Palabras clave:** Caña de azúcar, bacterias, rumen, digestibilidad, variedades, enzimas fibrolíticas, efectos asociativos, crecimiento, pastoreo.

## ABSTRACT

Several studies were conducted to characterize *in vitro* microbial growth in sugar cane and to determine *in situ* ruminal kinetics degradation of three varieties: MEX69-290, MEX-83-481 and Q-107. Also a metabolic assay was conducted with steers (*Bos taurus* x *Bos indicus*) to study associative effects on intake, *in vivo* digestibility, and ruminal fermentation, with combinations of different proportions of sugar cane and stargrass. Finally a growth assay with 32 grazing heifers was conducted to study the effect of sugar cane offered as 3% of the BW with or without urea (1%) and with a protein supplement (1 kg/head/d) on the animals' performance with a stocking density of 6 heifers ha<sup>-1</sup>. In the microbiological studies, a greater microbial growth was observed in sugar cane than in fiber fractions, with the lowest growth with ADF. Addition of fibrolytic enzymes increased microbial yield and *in vitro* (%) digestibility (42.52<sup>b</sup> vs. 38.71<sup>a</sup>). No differences were found in rate of digestion of potentially digestible NDF (MEX69-290, -.034; MEX83-481, -.019; and Q-107, -.042) or ADF (-.019, -.012, -.014, respectively). Results from the metabolic assay indicated that no negative associative effects were present in digestibility and intake when sugar cane (with 1% urea) was offered as a percentage of BW (0, 1, 2 and 3%) with stargrass fed *ad libitum*. In the grazing trial heifers receiving proteinic supplement had the highest ( $P < .01$ ) gain (.528<sup>b</sup> kg/d; control group, .320<sup>a</sup> kg/d; sugar cane without urea, .326<sup>a</sup> kg/d; sugar cane plus urea, .365<sup>a</sup> kg/d). Results from these studies indicated that the main constraint in the sugar cane digestion is related to the ADF fraction and that fibrolytic enzymes can be used to improve digestibility and microbial growth. Ruminal degradation of sugar cane is extensive because of soluble sugars; however, cell wall digestion is limited. No differences were found on *in situ* ruminal digestibility of fiber fractions in the varieties studied. Sugar cane must be supplemented with urea in order to include it as a complementary forage in tropical pastures to improve daily gain. Growing heifers grazing tropical grasses with sugar cane showed a positive response to protein supplementation. Sugar cane is an important forage resource for feeding ruminants in tropical areas.

**Key words:** Sugar cane, bacteria, rumen, digestibility, varieties, fibrolytic enzymes, associative effects, growing, grazing.

## I. INTRODUCCION

Durante varios años se han planteado diversas alternativas de manejo nutricional para mejorar la productividad de ganado en los trópicos, y resolver problemas de variación en calidad y disponibilidad de forrajes. Dentro de las estrategias utilizadas están el uso de suplementos, forrajes de corte complementarios, bloques nutricionales y acceso a bancos de proteína con leguminosas (Stonaker, 1975; Carulla, 1990; Alarcón, 1995; Peiris *et al.*, 1995; Ramos *et al.*, 1998). La inclusión de la caña de azúcar ha sido propuesta como una alternativa viable en los sistemas de producción de carne (Monroy *et al.*, 1980).

En México, de 1977 a 1990 se ha producido en una superficie promedio de 510,919 ha, de caña de azúcar en lugares cuya altitud oscila entre 6 y 1700 metros sobre el nivel del mar, y a pesar de que es factible su producción en muchas partes del país, predominan en 15 estados para la producción de azúcar, distribuidos a lo largo de las zonas costeras del Océano Pacífico y del Golfo de México, en el sur de Quintana Roo y en una franja transversal sobre el paralelo de los 19 grados de latitud norte (Tijerina y Crespo, 1998).

De acuerdo con la información de la Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera, las mayores superficies en donde se produce este cultivo es en minifundios de propiedad ejidal, siendo la superficie promedio por ejidatario menor a 4 ha (CNIA, 1975ab; CNIA, 1976). En México se ha obtenido un rendimiento medio de 59.2 ton/ha, y a nivel mundial ocupa el séptimo lugar, contribuyendo con el 3.3% de la producción. El promedio mundial de producción es de 60.8 ton/ha (Tijerina y Crespo, 1998).

El principal uso de la caña es la producción de azúcar cristalina y derivados como alcohol para la industria. Las melazas son usadas principalmente en alimentación animal, mientras que el bagazo es usado como combustible en las calderas de los ingenios, y en menor proporción para la producción de celulosa (Tijerina y Crespo, 1998). El aprovechamiento de la caña como recurso forrajero no estaría sujeto a los cambios económicos asociados a la tradicional volatilidad del

mercado mundial del azúcar y podría incorporarse fácilmente a los sistemas de producción ganadera en los trópicos.

La alimentación de ganado en los países tropicales se ha basado en la utilización de los pastos, y la productividad de estos presenta gran variabilidad, asociada con los cambios climáticos de temperatura, precipitación pluvial, radiación, y otros factores relacionados con la fertilidad del suelo (Suárez y Herrera, 1979).

La mayoría de los estudios de suplementación se realizan con cantidades limitadas de granos y compuestos nitrogenados para obtener el mayor aprovechamiento del recurso forrajero. Sin embargo, la producción del animal depende más de la disponibilidad del forraje que del tipo de suplemento (Cabrera, 1996), por lo que la complementación con forrajes de corte puede ser una alternativa de manejo para mantener la productividad durante las épocas de escasez de forraje.

La caña de azúcar se ha considerado como un recurso forrajero con potencial estratégico para las épocas de sequía debido a su gran rendimiento comparado con otros forrajes (Preston, 1977; Conrad *et al.*, 1990; Molina, 1990). Sin embargo, los resultados obtenidos al alimentar bovinos con dietas a base de caña de azúcar no siempre han sido satisfactorios debido a que no se han considerado todos los factores que permiten optimizar la fermentación ruminal (Leng, 1989).

La caña de azúcar tiene características muy particulares en relación a su composición, pues tiene un elevado contenido de paredes celulares, una concentración elevada de azúcares solubles, entre ellos la sacarosa, y un contenido bajo de proteína y minerales (Leng, 1989).

Por lo anterior es importante considerar los factores que afectan la actividad microbiana, tales como pH, nitrógeno amoniacal, péptidos, azufre y nutrientes no específicos ( Satter y Slyter, 1974; Hespell y Bryant, 1979; Russell y Dombrowski, 1980; Van Gylswyk *et al.*, 1992 ).

Bajo esta problemática, es necesario desarrollar sistemas que permitan integrar la caña de azúcar en la alimentación de los bovinos en los trópicos y revisar aquellos factores biológicos que limitan su mejor aprovechamiento por los rumiantes. Este trabajo comprende un ensayo metabólico y un ensayo de crecimiento con combinaciones de pasto estrella y caña de azúcar, y los resultados de estos dos ensayos generaron estudios básicos de microbiología ruminal y pruebas de digestión *in situ* de variedades de caña de azúcar. Buscando generar las bases de conocimiento que permitan una producción más eficiente en el trópico con base en pastoreo y caña de azúcar.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Características de la producción de carne en el estado de Tabasco

El estado de Tabasco está ubicado en el trópico húmedo de México y la ganadería es la segunda actividad económica más importante después del petróleo, con una población de 1.6 millones de cabezas en una superficie de 1.2 millones de hectáreas. El principal sistema de alimentación de los bovinos es el pastoreo, aunque hay posibilidad de utilizar productos y subproductos de la actividad cañera (40 mil ha), así como de la producción de plátano (10 mil ha), copra (15 mil ha), cacao (35 mil ha) y arroz (12 mil ha., Gobierno del Estado de Tabasco, 1988). A pesar de que Tabasco posee un gran potencial ganadero por la calidad de los suelos y los niveles de precipitación pluvial, los niveles de productividad son bajos, con una media de 800 kg leche /ha/año, 300 kg peso vivo/ha/año, y con una fertilidad media de sus hatos ganaderos de 35 a 40% (Schiavo, 1983). La baja productividad se ha asociada a varios factores entre los que destacan el consumo limitado de nutrientes digestibles debido a las características de calidad de los forrajes, que generalmente son de baja digestibilidad y concentración de nitrógeno, así como a las épocas de sequía y a las condiciones ambientales que causan estrés calórico en los animales (Stonaker, 1975). Otros problemas que limitan la ganadería son de índole socio-económico, de comercialización y de asistencia técnica y factores relacionados a los programas gubernamentales (Castillo, 1997).

El pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) es la gramínea más difundida en el estado de Tabasco debido a sus características agronómicas que le permiten adaptarse a distintos tipos de suelos ( Meléndez *et al.*, 1980; Torres, 1993 ). El comportamiento productivo del pasto estrella en las distintas épocas del año ha sido descrito por Meléndez *et al.* (1980), mostrando que la mayor producción es en la época de lluvias (junio a octubre), seguida de la época de secas (marzo a mayo), con la menor producción durante la época de nortes (octubre a febrero). Esta variación en la disponibilidad de forrajes se refleja en forma directa en la producción animal (Moreno *et al.*, 1977; Cabrera, 1996).

La actividad ganadera está distribuida en cuatro regiones del Estado conocidas como de los Ríos, de la Sierra, del Centro y de la Chontalpa; presentando variabilidad en sus características ecológicas y climáticas. La Región de la Chontalpa y la de los Ríos, presentan áreas con suelos arcillosos pesados, con partes inundables en las épocas de lluvias y nortes. En la época de lluvias (junio-octubre), el crecimiento y producción de los pastos es mayor, generando excedentes; sin embargo, el ganado no utiliza el pasto en forma óptima, ya que se desaprovecha un porcentaje considerable por efecto del pisoteo. En la época de nortes (octubre-febrero), el crecimiento y producción de los pastos es limitado y presenta escasez por efecto de las bajas temperaturas, alta nubosidad y menor radiación (Meléndez *et al.*, 1980).

Estas características climatológicas afectan la producción de los pastos, lo que se refleja en cambios de peso variables con períodos que van de ganancias aceptables hasta pérdidas de peso. Asimismo, en estas regiones hay áreas de sabana en los municipios de Huimanguillo y Balancán (con importante actividad ganadera), donde predominan suelos rojos, ácidos y de baja fertilidad, con pastos naturales, guinea u otros de reciente introducción, como los pastos *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria decumbes* y *Brachiaria brizanta*; sin embargo, durante las épocas de nortes y secas se presenta la escasez de forrajes (Meléndez *et al.*, 1980).

García (1980) menciona que el potencial de producción de carne en los trópicos, bajo diferentes sistemas de producción, está en función de la producción forrajera y ésta a su vez depende de la fertilidad del suelo y del desarrollo tecnológico. En suelos de baja a mediana fertilidad con pastos naturales, la carga animal posible es de 0.2 a 2.0 animales/ha, mientras que con gramíneas introducidas se pueden manejar cargas de 1 a 2 animales/ha, pero al ser fertilizadas se pueden sostener de 2 a 4 animales/ha y con altas dosis de fertilizante y riego, de 4 a 8 animales/ha. En este intervalo de condiciones se podrían producir de 15 a 800 kg de peso vivo/ha/año.

Si consideramos que la principal determinante en la producción es la disponibilidad de forraje, la caña de azúcar representa una alternativa viable en los trópicos para apoyar la producción de carne a base de pastos o bien para desarrollar una ganadería más intensiva en lugares donde la sequía es más drástica. Para el caso particular de Tabasco, es importante que se realicen estudios básicos y aplicados que nos permitan proponer sistemas de alimentación para resolver los problemas de subalimentación en las épocas de nortes y secas en las regiones de la Chontalpa y de los Ríos.

## **2.2. Potencial forrajero de la caña de azúcar**

En el estado de Tabasco se reportaron 25 512.17 ha sembradas con caña, de las cuales el 78.93% fue producida en ejidos, con un rendimiento medio de 65 ton/ha, representando el 4.1% de la superficie nacional y ocupando el noveno lugar en producción (INEGI, 1991).

El cultivo de la caña de azúcar en el Estado de Tabasco, tiene un potencial para apoyar la actividad ganadera en forma más intensiva, en las diversas áreas ó regiones del Estado, presentando una gama de alternativas que pueden ser específicas en cada sistema de producción regional.

El potencial forrajero de la caña de azúcar radica en la productividad del cultivo. Para Tabasco se tiene un rendimiento promedio de 65 ton/ha/año, y existen algunas investigaciones donde han reportado rendimientos de 89 a 160 ton/ha/año (Salgado *et al.*, 1993). Al igual que otros cultivos, los rendimientos de caña pueden ser variables, y se han reportado desde 56 hasta 397 ton de materia verde por hectárea (Molina, 1990). La máxima masa de tallos cosechables es alrededor de 225 ton/ha/año en peso fresco, equivalente a 45 ton de materia seca, y se estima que se pueden obtener hasta 61 ton de biomasa seca (Tijerina y Crespo, 1998).

Conrad *et al.*, (1990) indican que se pueden producir 2000 kg de carne vacuna con una ha de caña de azúcar. En las condiciones de Tabasco, con la información disponible, considerando un consumo de 20 kg caña fresca por bovino

en pastoreo al día y una ganancia de 600 g diarios, se estima que una hectárea de caña puede sostener de 9 a 22 animales/año dependiendo del rendimiento y se podría producir alrededor de 1,971 a 4,818 kg de peso vivo /año, aspecto que hace relevante la alternativa de utilizar la caña de azúcar para la producción de carne en los trópicos.

Existen algunos estudios sobre el rendimiento de la caña de azúcar y sus principales componentes en función de la edad. Aranda y Losada (1980) evaluaron plantas de caña de la variedad B-4362 de los 5 a los 20 meses. El peso de las plantas se incrementó con la edad, siendo de 0.46 hasta 2.30 kg para las cañas de 5 a 20 meses respectivamente, con un incremento en el número de canutos (4.45 a 25.33) y de hojas (9.75 a 11.4). El peso del cogollo se incrementó de 180 a 1767 g.

### **2.3. Producción de carne con caña de azúcar**

La respuesta en ganancia de peso de rumiantes alimentados con caña de azúcar ha sido variable y ha estado en relación al tipo y nivel de suplementación utilizado. Aranda (1979) trabajando con borregos pelibuey obtuvo ganancias de -67.5, 33.3, 161.0 g/animal/día para caña sola, caña con urea sin o con pulido de arroz, mostrando el efecto benéfico de la inclusión del nitrógeno no proteínico y proteínico. El pulido también suministra almidón y grasa (López y Preston, 1977) y generalmente se muestra una respuesta lineal en la ganancia de peso al adicionar pulido de arroz (López *et al.*, 1976).

Algunos experimentos con bovinos alimentados con dietas basadas en caña de azúcar, han mostrado que la mejor respuesta animal se presenta cuando el suplemento contiene proteína de escape y almidón (Silvestre *et al.*, 1977a, b) y en general existe una respuesta lineal entre el nivel de proteína suplementada y la ganancia de peso vivo (Ferreiro *et al.*, 1977a). Martín (1997) analizó diversos trabajos donde se relacionó la cantidad y tipo de proteína consumida en dietas de caña de azúcar y la ganancia de peso, mostrando una correlación alta ( $r=0.92$ ),

también muestra la correlación de la proteína total y la proteína consumida ( $r=0.95$ ), indicando la importancia de la proteína en la respuesta a la ganancia de peso de los animales alimentados con caña de azúcar. Los resultados de Ferreiro *et al.* (1977a) mostraron la importancia de la suplementación de nitrógeno en dietas con caña de azúcar. La ganancia diarias de 37 g/d en dietas con caña y de 51 g/d al proporcionar maíz, se incremento en un rango de 333 a 669 g/d con harina de pescado-pasta de soya, y de 651 a 728 g/d con pulido de arroz, a pesar de que el pulido de arroz contiene de 12 a 15 % de proteína, con un buen balance de aminoácidos y un porcentaje de sobrepeso así como almidon y grasa contribuye a la respuesta animal. Otros estudios han mostrado menores ganancias con pulido de arroz debido a que se proporcionaron cantidades excesivas (Preston *et al.*, 1976). La suplementación con niveles crecientes de maíz incrementan la ganancia de 430 a 700 g/d, usando de 0.4 a 1.8 kg/animal/d siendo equivalentes a las ganancias obtenidas con 1.2-1.7 kg de melaza con urea (Silvestre *et al.*, 1976).

En otros estudios, la caña sola permitió cubrir los requerimientos para mantenimiento de bovinos (19 g/d) y la infusión de propionato incrementaba la ganancia (180 g/d), lo cual muestra la importancia de proporcionar precursores gluconeogénicos en el suplemento (Ferreiro *et al.*, 1977b).

López y Preston (1977) combinaron distintos niveles de harina de sangre y pulido de arroz en el suplemento de bovinos alimentados con caña, y concluyeron que la respuesta en ganancia de peso es positiva al nivel de pulido de arroz y negativa con el de harina de sangre, esto lo explican los autores a causa del proceso de secado y a un desbalance de aminoácidos ya que es baja en metionina e isoleucina y alta en leucina. Lopez *et al.* (1977) reportan ganancias de 420 a 450 g/d al suministrar de 0.5 a 1.0 kg de pulido de arroz.

Los forrajes tropicales tienen baja concentración de nitrógeno (McDowell *et al.*, 1977; Mendoza *et al.*, 1992) por lo que se ha recomendado el uso de urea con la caña de azúcar cuando se usa como forraje suplementario (Alvarez y Preston, 1976a). Los resultados de suplementación en trópico con diferentes fuentes de

proteína de escape (Cabrera *et al.*, 1995; Reyes *et al.*, 1996; Ramos *et al.*, 1998) han demostrado que el crecimiento de bovinos está limitado por la proteína metabolizable. Se ha reconocido al nitrógeno degradable en rumen como una limitante para el uso de caña de azúcar así como el suministro de proteína de escape (Preston, 1977). Se considera que el añadir urea al 1% del peso de la caña en base fresca permite cubrir los requerimientos de 3 g de N por 100 g de materia orgánica fermentable en rumen para la utilización de los carbohidratos (Alvarez y Preston, 1976a). La adición de urea en la melaza en niveles superiores al 7% reducen el consumo de la mezcla (Losada *et al.*, 1979a).

Las ganancias con caña de azúcar suplementada con urea y harina de algodón estuvieron entre 430 y 531 g/d, con una tendencia lineal a reducirse la ganancia al incrementar la concentración de urea en la melaza (Silvestre *et al.*, 1977c). Trabajando con bovinos, Silvestre *et al.* (1977a) obtuvieron una ganancia diaria de peso muy baja (50-54 g) al alimentar con caña más urea, la cual fue mejorada al suplementar con maíz (292-414 g) y al suplementar con distintas fuentes de proteína solas y con maíz respectivamente: harina de pescado (71-305 a 414-599 g); harina de carne (163-221 a 299-486 g); pasta de algodón (77-313 a 533-419 g). El uso de sulfato de amonio como suplemento de la caña permitió obtener ganancias de 548 g/d (Ferreiro *et al.*, 1977b). Estos resultados mostraron una respuesta positiva al alimentar con ingredientes proteínicos así como el efecto energético del maíz sobre la utilización de la fuente proteínica, lo cual debe de considerarse al formular suplementos en dietas basadas en caña de azúcar.

López *et al.* (1976), trabajando con caña, urea y niveles crecientes de pulido de arroz (400-1200 g/animal/d) obtuvieron ganancias de 90-645 g/animal/d. Alvarez y Preston (1976b) evaluaron los mismos tratamientos con caña inmadura y madura (8 y 14 meses de edad), y obtuvieron una ganancia de 270 y 520 g/animal/d, respectivamente. Los autores atribuyen esta respuesta al mayor contenido de azúcares.

López y Preston (1977) evaluaron dos niveles de harina de sangre (420 y 220 g/animal/d), obteniendo ganancias de 231 y 242 g/animal/d, y combinaciones

de pulido de arroz (400-800 g/animal/d) con harina de sangre (100, 160, 300, 360 g/animal/d), obteniendo ganancias de 380 a 583 g/animal/d. Silvestre y DeB Hovell (1978) incluyeron salvado de trigo a dietas de caña con urea, obteniendo respuestas de 87 a 444 g/animal/d.

Ferreiro y Preston (1976), trabajando con diferentes proporciones de tallo y puntas de caña adicionando urea y pulido de arroz, obtuvieron ganancias de 614 a 834 g/animal/d, mientras que Dixon (1978), trabajando con dietas que contenían 60% de caña, 20% de un suplemento proteínico y 20% de punta de caña, obtuvo ganancias entre 890 y 1110 g/animal/d. En relación al peso inicial de los animales a las dietas de caña de azúcar, García et al., (1990) y Martin, (1997), señalan que en animales de hasta 150 kg de P.V., cuando consumen niveles mayores al 20 % de caña de azúcar de la dieta total, tienen una caída brusca en la ganancia de peso, y en animales mayores de 240 kg de PV, se disminuye la ganancia de peso pero pueden alcanzar ganancias de 600 g/d con niveles hasta de 70 % de caña de azúcar.

En todos estos trabajos se observa una respuesta positiva a la suplementación con distintas fuentes nitrogenadas con o sin granos, y el nivel de la respuesta está en función del nivel de caña, el tipo de proteína de escape y otros componentes de la ración.

#### **2.4. Composición y digestibilidad de la caña de azúcar**

Existen diversos reportes de la composición química de la caña integral, de sus fracciones y subproductos (Banda y Valdez, 1976; Pate, 1977; Aranda y Losada, 1980; Amjed *et al.*, 1992). A medida que transcurre la edad de la caña de azúcar integral y sus partes, tallo y hojas, el contenido de proteína y extracto etéreo es menor y el contenido de lignina y azúcares es mayor (Banda y Valdez, 1976; Aranda y Losada, 1980).

Al igual que en otros forrajes, el contenido de proteína para las hojas es mayor que para los tallos, la pulpa y la cáscara, siendo esta última la que muestra la mayor concentración de lignina (Aranda y Losada, 1980). Los tallos tienen

menos de 1% de proteína cruda (Ferreiro *et al.*, 1977b), las puntas menos del 3% (Preston, 1977), mientras que las hojas pueden tener de 4 a 8 % de proteína dependiendo de la edad de la planta (Losada y Aranda, 1980).

A diferencia de otros forrajes, la digestibilidad de la materia seca se incrementa con la edad debido a que hay una mayor acumulación de azúcares solubles (Banda y Valdez, 1976; Aranda y Losada, 1980). Se han reportado valores de grados Brix entre 9.5 y 21.6 (Ferreiro *et al.*, 1977d), aunque la mayoría de los trabajos muestra concentraciones superiores a los 16 grados (Montpellier y Preston, 1977). La caña de azúcar acumula una gran concentración de carbohidratos solubles, pudiendo constituir de un 30 al 40% de la materia seca (Aranda y Losada, 1980; Gooding, 1982). La digestibilidad *in vivo* de la MS de la caña es relativamente alta, existiendo valores reportados de 60 a 70% (Ferreiro *et al.*, 1977bd; Preston, 1977; Montpellier y Preston, 1977; Ffoulkes y Preston, 1979).

Los valores de estudios *in situ* están alrededor del 50% (Valdez *et al.*, 1977). A pesar de esto, algunos investigadores han señalado la baja digestibilidad de la fibra como una de las limitantes del uso de caña de azúcar (Preston, 1977; Leng, 1989). Esta aparente contradicción se explica por la competencia entre la tasa de digestión y la tasa de pasaje (Allen y Mertens, 1988), donde un forraje de mayor tiempo de retención tiene una digestibilidad aparentemente elevada debido a la lenta tasa de pasaje. Algunos estudios han mostrado una reducción de la digestión de la MS y de la fibra con niveles mayores al 50% de caña en la ración (Gooding, 1982; Molina, 1990).

La pulpa de la caña es la parte de mayor digestibilidad *in vitro* (69%), seguida por el tallo (55.5%) y la hoja (37.0%) para la variedad B-4362 (Aranda y Losada, 1980).

Banda y Valdez (1976) encontraron una correlación positiva entre la digestibilidad *in vitro* y los grados Brix, indicando que a mayor contenido de grados Brix ó azúcares, mayor digestibilidad, con una correlación negativa con la fibra detergente ácido, lignina, celulosa y pared celular.

Con el crecimiento de la caña, hay cambios en las paredes celulares. La digestibilidad *in vitro* de la FDN se disminuyó de 50 a 29% en 168 días, mientras que la de la materia orgánica se incrementó ligeramente de 55 a 60% por los azúcares solubles (Pate, 1977). Se ha reportado una fracción de la FDN potencialmente digerible en 23% para el bagazo de caña y en 27% para la punta de caña (Amjed *et al.*, 1992), lo cual puede considerarse como bajo en comparación con otros forrajes.

Experimentos con caña de azúcar tratada con álcali y peróxido de hidrógeno muestran que la remoción de la lignina puede duplicar la fracción de FDN potencialmente digerible y la tasa de digestión, sin alterar la fase lag (Amjed *et al.*, 1992). Se ha demostrado una relación lineal negativa entre la digestibilidad *in vitro* de la FDN y la proporción FDN:lignina (Pate, 1977). Por otro lado, se ha encontrado que el tratamiento con álcalis incrementa diez veces el número de bacterias adheridas a la pared celular (Latham *et al.*, 1979).

La concentración de lignina se incrementa con la madurez de la planta de 4 a 6% de la MS (Aranda y Losada, 1980). Las puntas de caña y el bagazo muestran concentraciones elevadas de alrededor de 50 y 70% de lignina, respectivamente (Amjed *et al.*, 1992).

La concentración de calcio y fósforo en la caña y sus fracciones es baja (Stuart y Fundora, 1994), por lo que debe de considerarse la suplementación mineral en raciones basadas en caña.

En resumen se considera que la caña de azúcar tiene un contenido bajo de proteína, alta proporción de contenido celular, elevada proporción de carbohidratos estructurales lignina y FDN, elevado contenido de carbohidratos solubles en forma de azúcares, ausencia virtual de grasa y almidones y déficit de macro-minerales.

## **2.5. Consumo**

Los contenidos celulares de la caña de azúcar son altamente digestibles mientras que la fracción fibrosa es de menor degradación, debido a su baja concentración de proteína. En general existe una respuesta positiva tanto en

digestibilidad como en consumo, cuando se suplementa con compuestos nitrogenados. Aranda (1979) determinó la digestibilidad *in vivo* de caña integral con borregos suplementados con urea y pulido de arroz, obteniendo digestibilidades de entre 65% y 75%. El consumo voluntario de caña de azúcar en borregos Pelibuey fue de 0.425 kg MS/animal/d, pero al incluirse urea se incrementó en un 44%. Alvarez y Preston (1976a), al suministrar niveles crecientes de urea de 0 a 300 g/animal/d a toretes, observaron consumos crecientes de 9.05 a 15.03 kg de caña Fresca por animal/d, que se reflejó en ganancias que se incrementaron de 0.009 kg/animal/día para el testigo, hasta 0.586 kg/animal/d para la mayor suplementación con urea. Por otro lado, González *et al.* (1991) al evaluar niveles crecientes de un suplemento nitrogenado, no encontraron diferencias en el consumo, tamaño de partículas ruminales y fecales, indicando una lenta reducción del tamaño de partículas ruminales, concluyendo que esta última es la principal limitante en el consumo de forraje de caña.

Debido a la concentración de azúcares solubles, se ha sugerido que se puede inhibir la celulolisis ruminal y afectar negativamente la digestibilidad y el consumo, con un gran gasto energético para el trabajo de rumia por el elevado contenido de paredes celulares, reducción lenta del tamaño de partículas y elevado tiempo de permanencia de las partículas en el retículo-rumen (Molina, 1990), lo cual podría explicar el bajo consumo y los valores elevados de digestibilidad reportados en algunos experimentos.

La digestibilidad de la materia seca de la caña es mayor que la de otros pastos tropicales debido a los carbohidratos solubles, sin embargo, la tasa de digestión de la fibra es menor que la de la mayoría de los pastos y leguminosas (Mertens, 1993). Esto indica que la digestión de las paredes celulares de la caña de azúcar, representa una de las principales limitantes para su utilización en los rumiantes. González (1995) ha señalado que la lenta tasa de degradación de la fibra tiene como consecuencia una reducida velocidad de tránsito y vaciado del tracto digestivo, lo cual explica el consumo limitado de la caña (Leng y Preston, 1976) aún cuando se ofrece *ad libitum*.

González *et al.* (1989) utilizaron vacas alimentadas con caña de azúcar y suplementadas con diferentes niveles de pasto estrella, y encontraron que el consumo total de MS se incrementaba a medida que recibieron mayor nivel de pasto en sustitución de la caña. Otros estudios han mostrado que al combinar diversos forrajes con caña de azúcar en la ración, se aumenta el consumo de MS (Salais *et al.*, 1977; Ffoulkes y Preston, 1979). En un ensayo con ovinos Pelibuey alimentados con proporciones de 0, 25, 50, 75 y 100% de caña de azúcar adicionada con urea, y otra parte proporcional de pasto estrella, Aranda *et al.* (1997) observaron que el máximo consumo de MS se presentó en la combinación 50:50, y con mayores niveles de caña el consumo se reducía. Muñoz y González, (1998), alimentando vacas secas y recién paridas con caña de azúcar encontraron que la caña estimuló el consumo total de alimento en niveles igual o menor al 45 % , correspondiendo a un consumo máximo de 2.9 y 3.4 kg de MS/100 kg PV para vacas secas y paridas, respectivamente.

La limitante de consumo de caña se puede explicar por la baja digestibilidad de la FDN, su tasa de digestión lenta y un tiempo de retención alrededor de 73 horas de la FDN (Aroeira *et al.*, 1993b) el cual es mucho mayor que el reportado por Poppi *et al.* (1981) para la FDN de pastos (32 a 45 h). Figueira *et al.* (1993) reportan valores de tiempo medio de retención ruminal de 52 a 60 horas para la MS de caña de azúcar suplementada con urea.

Estos antecedentes, nos muestran la importancia del estudio de los factores de origen microbiano (población microbiana, actividad enzimática) o de la estructura de la pared celular (lignificación) para buscar alternativas que permitan incrementar la digestión de la fibra de la caña de azúcar.

## **2.6 Fermentación ruminal en dietas con caña de azúcar**

A pesar de que se ha señalado que la caña de azúcar puede ser usada como un forraje complementario en época de sequía (Preston, 1977) y en época de nortes (Aranda, 1990), existe poca información sobre los cambios en la

fermentación ruminal al combinar la caña con pastos, los cuales pueden ser de importancia para el aprovechamiento óptimo del recurso forrajero.

Marty *et al.* (1974) y Sutton (1979) realizaron estudios sobre la fermentación de la sacarosa, encontrando que se incrementa la concentración de propionato y se reduce la de acetato. La mayoría de los ensayos con bovinos alimentados con caña de azúcar muestran el aumento de ácido propiónico (Minor *et al.*, 1977; Valdez *et al.*, 1977; Meyreles *et al.*, 1977; Priego *et al.*, 1977; Rodríguez *et al.*, 1993).

Además de los cambios en los patrones de fermentación, los azúcares solubles pueden alterar la acidez y con eso a todos los microorganismos del rumen. Sutton (1979) reportó que con 2.7 kg de sacarosa/día se reducía el pH en forma drástica mientras que Marty *et al.* (1974), con 1.0 kg, encontraron valores menores a 5.5. Estudios con dietas basadas en caña de azúcar han mostrado valores de pH arriba de 6.2, los cuales son menores cuando se incluyen suplementos con almidón (Lopez *et al.*, 1977; Minor *et al.*, 1977; Priego *et al.*, 1977; Valdez *et al.*, 1977). El efecto del pH en la actividad celulolítica y en el crecimiento bacteriano (Russell y Dombrowsky, 1980) explicaría parcialmente los efectos negativos de la digestibilidad observados en estudios con altos niveles de azúcares.

En general el patrón de fermentación en dietas basadas en caña de azúcar es similar, y el tipo de compuesto nitrogenado en el suplemento (proteína o NNP), no tiene efectos en la fermentación (Ferreiro *et al.*, 1977c) si se cumplen los requerimientos de proteína degradable (Preston, 1977).

### **2.7 Digestión ruminal y componentes de la fibra de la caña de azúcar**

A pesar de los numerosos estudios que se han realizado sobre la caña de azúcar (Preston, 1977; Conrad *et al.*, 1990; Molina, 1990), existe poca información básica sobre los factores que determinan la utilización de la fibra de la caña por los microorganismos ruminales (Leng, 1989) así como de la cinética de degradación de las fracciones de la pared celular.

Las paredes celulares en la caña de azúcar, al igual que en otros forrajes (Aman, 1993), contienen una fracción soluble, constituida por pectinas, y una insoluble, constituida por hemicelulosa, celulosa, lignina, sílica y compuestos nitrogenados ligados a la fibra. La hemicelulosa está compuesta por pentosas y hexosas con enlaces  $\beta$ , (arabinosa, xilosa, glucosa, galactosa, manosa, 6-deoxi-hexosas con ramosa y fructosa) y ácidos urónicos (galacturónico, glucorónico y 4-oximetil glucorónico). La celulosa es un polisacárido constituido por cadenas de glucosa con enlaces  $\beta$  glucosídicos y la lignina esta formada por compuestos derivados del fenilpropano (ácido cumárico, férulico, sinápico y alcoholes cumaril, coniferil y sinapil (Ralph y Helm, 1993).

Se ha considerado de los ácidos fenólicos al ácido cumárico como el más tóxico para los microorganismos ruminales y como uno de los principales compuestos de la lignina que limitan la digestión (Akin, 1986). Los trabajos de Buxton y Russell (1988) indican que los efectos negativos del ácido cumárico en la digestibilidad de gramíneas se deben en forma parcial a la asociación con la lignina y por su efecto tóxico junto con el ácido férulico. Estos dos ácidos son los que más participan en los enlaces cruzados entre la lignina y la hemicelulosa. Algunos estudios indican que el ácido férulico está más asociado a la hemicelulosa y el cumárico, a la lignina (Azuma *et al.*, 1984, Scalbert *et al.*, 1985).

La lignina forma enlaces éster con hemicelulosa y celulosa dificultando el rompimiento de éstos, por lo que está relacionada negativamente con la digestibilidad de los forrajes. Estos enlaces pueden romperse por la acción de ácidos fuertes, alcalis y peróxidos. Amjed *et al.* (1992) demostraron que tratamientos con álcali y con peróxido de hidrógeno reducen la concentración de lignina e incrementan la tasa de digestión y la fracción de FDN potencialmente digerible en la caña de azúcar. Por otro lado, los tratamientos de la caña de azúcar con NaOH han permitido incrementar el consumo (Losada *et al.*, 1979b).

A pesar de que existen en la literatura resultados positivos al aplicar tratamientos químicos a la caña de azúcar, su uso es escaso por las limitantes prácticas de costo y manejo, por lo que se deben de explorar otras alternativas

para incrementar la digestibilidad con tratamientos biológicos o con el uso de enzimas exógenas. Hasta ahora los procesos biológicos con levaduras no han logrado mejorar la digestibilidad de la caña de azúcar (Carpenter *et al.*, 1993), debido a que estos microorganismos no tienen fenol oxidasas.

## **2.8. Microorganismos ruminales**

Las principales clases de microorganismos ruminales son bacterias, protozoarios, hongos, los cuales se desarrollan en un ambiente anaeróbico y la población de estos varía en función de diversos factores, como son la cantidad y tipo de alimento consumido y las características fisicoquímicas del ambiente intrarruminal, entre los que se pueden mencionar el pH, temperatura, potencial de oxidación-reducción, osmolaridad, contenido de materia seca, gases disueltos, ácidos grasos volátiles, ácido láctico y concentración de amoníaco (Cobos, 1994).

Las bacterias ruminales son consideradas las más importantes tanto en concentración como en actividad en el proceso de fermentación y degradación del alimento ingerido por el animal. La concentración total de bacterias en el rumen es de  $10^{10}$  a  $10^{12}$  bacterias por ml de líquido ruminal; la mayor parte de las bacterias del rumen son cocos o bacilos cortos, cuyo tamaño oscila de 0.4 a 1.0 micras de diámetro y de 1 a 3 micras de longitud. Sin embargo, se pueden encontrar también formas como espiroquetas, rosetas ovales y tetracocos. Su movimiento está relacionado con la presencia de flagelos, importantes para la identificación de las especies móviles. Las bacterias se pueden clasificar por su morfología celular, reacciones de coloración, capacidad de esporulación, sustrato que degradan, características nutritivas, límites de pH en su crecimiento, productos finales de su metabolismo y por su composición química celular (Church, 1988).

Actualmente se han identificado 23 géneros y 70 especies de bacterias ruminales, encontrándose bacterias celulolíticas, hemicelulolíticas, pectinolíticas, amilolíticas, ureolíticas, proteolíticas, utilizadoras de azúcares simples, productoras de metano, productoras de amoníaco, utilizadoras de ácidos orgánicos y lípidos (Czerkawski, 1986).

Los protozoarios se encuentran en los rumiantes que consumen dietas fibrosas pero con una densidad de población baja ( $< 10^5$  por ml de líquido ruminal), mientras que en dietas ricas en almidones ó azúcares pueden alcanzar densidades de  $4 \times 10^6$  por ml de líquido ruminal (Coleman, 1979 ; Coleman *et al*, 1977).

En base a su morfología celular, existen en el rumen dos tipos principales de protozoarios, los ciliados y los flagelados. Los protozoarios ciliados se consideran los más importantes, tanto en concentración como en actividad, perteneciendo a este subclase los Holotricos, que son protozoarios de mayor tamaño y movilidad, en estos destacando los géneros *Isotricha* y *Dasitricha* (Williams y Coleman, 1988). Otra subclase son los espirotricos, orden entodiniomorfos que son de menor tamaño. En estos está el género *Diplodinium*, que se encuentra en animales que consumen dietas ricas en azúcares y fibra (caña de azúcar) y pastos tiernos, los cuales también consisten en una combinación de carbohidratos solubles e insolubles (Preston y Leng, 1989).

A pesar de que se habían reportado varios protozoarios flagelados en el rumen (Clarke, 1977), muchos de estos han sido identificado como hongos (Orpin, 1975, 1976, 1977). Los protozoarios flagelados tienen poblaciones inferiores a  $10^5$  (Williams y Coleman, 1988). Jensen y Hammond (1964) encontraron que el flagelado más predominante en el rumen era *Pentatríchomonas hominis*, y reportaron algunos *Tetratríchomonas buttreijurumantium*. Cobos y Yokoyama (1993) descubrieron recientemente otro protozario flagelado denominado *Tetratríchomonas ruminantium*. Desafortunadamente, no está clara la función de los flagelados en el ecosistema ruminal.

También se han encontrado hongos en el rumen de bovinos, sin embargo su concentración es difícil de cuantificar. Orpin (1988) estimó que la población de hongo en el rumen es del 8% del total de la biomasa microbiana del rumen, y otros autores han estimado que la concentración de formas vegetativas es de  $10^3$  a  $10^4$  zoosporas por ml de líquido ruminal (Wallace, 1993). Durante mucho años los organismos flagelados observados en el rumen eran confundidos con protozoarios

flagelados, sin embargo, después se demostró que en realidad eran zoosporas de hongos anaerobios. Las zoosporas del hongo tienen movimientos más rápidos de sus flagelos que los protozoarios flagelados (Preston y Leng, 1989). Kudo *et al.* (1990) aislaron 12 cepas de hongos celulolíticos anaerobios en líquido ruminal de bovinos alimentados con forrajes en base a sus características morfológicas y flagelos de las zoosporas, encontrando principalmente *Piromyces communis*, *Piromyces sp.*, *Neocallimastix patriciarum*, *Orpinomyces bovis*.

### 2.8.1. Degradación microbiana de la fibra

En la digestión de las paredes celulares participan algunas bacterias, protozoarios y hongos anaerobios. Las principales bacterias ruminales que degradan la fibra son *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens*, y *Ruminococcus albus*, con la característica de ser adherentes dado que las enzimas celulasas se encuentran en la superficie de las células (Mackie y White, 1990). Existen otras bacterias secundarias como las *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Clostridium longisporium* y *Clostridium locheadii*, que tienen poca adherencia a la fibra y sus celulasas son extracelulares (Weimer, 1996).

Para que se degrade la fibra, las bacterias ruminales tienen que adherirse al sustrato. Esta adhesión puede ser inespecífica mediante procesos fisicoquímicos, o por mecanismos específicos por medio de adhesinas y receptores localizados en la pared celular de los vegetales (Busscher y Weerkamp, 1987). También se han identificado interacciones iónicas no específicas (Chesson y Forsberg, 1988). Posteriormente a la adhesión durante el crecimiento microbiano, se desarrollan estructuras granulosas denominadas celulosomas en la superficie de las bacterias, que se han identificado en *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Fibrobacter succinogenes* (Stack y Hungate, 1984). En la superficie de la célula se encuentran las celulasas en forma de complejos multienzimáticos que contienen entre 18 y 20 proteínas localizados en los celulosomas (Weimer, 1996).

Los microorganismos celulolíticos *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Ruminococcus albus*, tienen la capacidad de degradar la celulosa a una tasa entre .05 y .10 h<sup>-1</sup>, para lo cual requieren sintetizar grandes cantidades de celulasas (Wiemer, 1996).

Las bacterias celulolíticas *F. succinogenes* y algunas cepas de *R. albus* y *R. flavefaciens* pueden contribuir a la degradación de la hemicelulosa sin que estén tengan la capacidad de asimilar los azúcares provenientes de ella; *Butyrivibro fibrisolvens* y *Prevotella ruminicola* son las principales bacterias con capacidad de degradar la hemicelulosa (Hespell y Whitehead, 1990).

La mayoría de los estudios con protozarios muestran que la desfaunación reduce la digestibilidad de las paredes celulares (Coleman, 1986; Jounay, 1994). Se sabe que los protozarios colonizan y degradan la fibra, y muestran un proceso de adhesión poco estudiado (Williams y Coleman, 1988).

Se ha reconocido que los hongos anaeróbicos tienen una participación importante en la digestión de las paredes celulares (Orpin, 1975; Akin y Borneman, 1990). Aparentemente, son los primeros organismos en invadir e iniciar la digestión de los carbohidratos estructurales de los vegetales,. Iniciando por la colonización y lesionando el tejido de las plantas en la parte interna, y de esta forma permiten que las bacterias colonicen el material vegetal (Preston y Leng, 1989). Las zoosporas se adhieren al estoma y a las áreas dañadas por algún tipo de estímulo quimiotáctico poco entendido (Orpin y Joblin, 1988). Las enzimas celulolíticas de los hongos tienen una actividad significativa, ya que sintetizan pequeñas cantidades de enzimas de alta actividad (Weimer, 1996). Los hongos también tienen capacidad de producir hemicelulasas (Akin y Borneman, 1990).

Aquellos factores dietarios que modifiquen las condiciones ruminales de pH, pueden afectar el crecimiento de los microorganismos ruminales y la actividad enzimática, y por lo tanto la digestión de la fibra. Generalmente ésta se disminuye cuando se incrementa la suplementación de granos y dietas con azúcares solubles o fácilmente fermentables (Thurston *et al.*, 1993), ya que la acidez puede hacer

desaparecer o disminuir la microflora celulolítica (Russell y Dombrowski, 1980; Sutton, 1979).

### **2.8.2. Protozoarios ruminales**

A pesar de que las funciones de los protozoarios no están totalmente dilucidadas (Hungate, 1984), su presencia en el rumen favorece la digestión de la fibra (Jouany, 1994) e incrementa la actividad celulolítica (Williams y Coleman, 1988). Se ha estimado que los protozoarios contribuyen de un 30 al 50% de la digestión ruminal de la fibra (Bonhorne, 1988).

Los protozoarios son afectados fuera del rango de pH entre 5.5 y 8.0, y el óptimo para su actividad es de alrededor de 6.5 (Hungate, 1966), sin embargo, las especies pueden tener distinta susceptibilidad a la acidez.

La población de ciliados ruminales incrementa 5 o 6 veces su población cuando se incluyen almidones y carbohidratos solubles hasta el punto donde la acidez los afecta negativamente. En animales alimentados con caña de azúcar, se han encontrado poblaciones altas de los protozoarios holotrichos ciliados (Valdez *et al.*, 1977. Leng, 1989), los cuales almacenan la sacarosa en forma de dextrinas, las cuales son metabolizadas lentamente en ácidos grasos volátiles (Leng, 1989).

Varios investigadores han destacado la importancia de los protozoarios ruminales para estabilizar la fermentación, lo cual ha sido atribuido a su capacidad de asimilación de los azúcares solubles o por la predación que hacen sobre las bacterias (Coleman, 1986; Eadie y Mann, 1970; Mendoza *et al.*, 1995).

En dietas basadas en caña, también se han encontrado cantidades apreciables de entodiniomórfidos ( $10^5$  por ml) (Coleman, 1976; Valdez *et al.*, 1977).

### **2.9. Enzimas fibrolíticas ruminales**

La digestión de la fibra es un proceso complejo en el que participan varias enzimas de bacterias, protozoarios y hongos. La celulosa es degradada por endo y exo-celulasas. La endocelulasa es conocida como endo- $\beta$ -1,4-glucanasa,  $\beta$ -

1,4-glucan-glucanohidrolasa, carboximetilcelulasa (CMCasa) o  $C_x$ , es una enzima muy activa en la celulosa tratada con ácido (hidratada) y en la carboximetilcelulosa (CMC), y poco eficiente en celulosa cristalina. La endocelulasa degrada polímeros de celulosa en forma aleatoria produciendo celulodextrinas, celobiosa y glucosa (Mackie y White, 1990). La exocelulasa ha sido descrita en hongos, y a pesar de que su presencia no ha sido demostrada en bacterias, algunas parecen tener este tipo de actividad. La exocelulasa es conocida como *exo- $\beta$ -1,4-glucanasa*,  *$\beta$ -1,4-glucan-celobiohidrolasa*, *avicelasa*, *celulasa  $C_1$* , o *celobiohidrolasa*. Es una enzima muy activa en celulosa cristalina, pero poco efectiva en CMCasa (Mackie y White, 1990).

Se han encontrado celulasas extracelulares en *R. albus* y en *R. flavefaciens*, que son activas con celulosa amorfa e inactivas con celulosa cristalina, mientras que la celulasa del *Fibrobacter succinogenes* es activa con la cristalina (Chesson y Forsberg, 1988). McGavin y Forsberg (1989) identificaron dos endoglucanasas en *Fibrobacter succinogenes*, una con alta afinidad para adherirse a la celulosa amorfa y baja afinidad por la celulosa cristalina, y la otra con baja afinidad para adherirse a ambos tipos de celulosas.

La digestión de la hemicelulosa (xilanas) es también un proceso complejo, dado que las características bioquímicas de la hemicelulosa son muy variables y participan enzimas de diversos microorganismos ruminales, las cuales no han sido caracterizadas. Algunas enzimas pueden estar asociadas a los complejos de adherencia o bien pueden ser extracelulares. Se considera que participan celoxilanasas, xilanasas, arabinofuranosidasas, acetilxilan esterasas, glucoronidasas, xilodextrinasas, xilosidasas, xilodextrin fosforilasas y xilobiosa fosoforilasa (Hespell y Whitehead, 1990).

Un aspecto importante es que las enzimas de las bacterias ruminales se caracterizan por tener múltiples polipéptidos y actividades. Y algunas están en forma de glicoproteínas, lo cual les permite resistir a la degradación de enzimas proteolíticas ruminales sin afectar su actividad fibrolítica (Mackie y White, 1990). Al igual que otros sistemas enzimáticos, las celulasas endógenas son inducibles, y

su actividad se afecta por la concentración de glucosa en el medio (Chesson y Forsberg, 1988).

Los protozarios *Epidinium caudatum* y *Ophryoscolex caudatum* tienen una actividad superior en carboximetilcelulosa que otros ciliados. A pesar de que algunos investigadores han sugerido que la actividad celulolítica del *E. caudatum* está asociada a enzimas celulolíticas de bacterias ingeridas, estudios con *Eudiplodinium maggi* demuestran que es posible mantenerlos con celulosa (Williams y Coleman, 1988). Los estudios de Bonhome (1988) demuestran la presencia la de endo 1,4- $\beta$ -glucanasa y endo-1, 4, 4- $\beta$ -Xilanasa en *Epidinium ecaudatum* cultivado en ausencia de bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas. Por otro lado, se considera que los holotricos tienen una capacidad limitada para degradar la celulosa (Williams y Coleman, 1988).

## **2.10. Enzimas microbianas exógenas**

Recientemente se han estado usando enzimas microbianas celulolíticas exógenas para tratar de incrementar la digestibilidad de la fibra en diversos forrajes. Algunos estudios con gramíneas y leguminosas de clima templado han mostrado que con la aplicación de enzimas fibrolíticas se puede mejorar la digestibilidad y el crecimiento de novillos en un 30% (Beauchemin *et al.*, 1996) y la producción de leche hasta en un 10% (Yang *et al.*, 1998; Beauchemin *et al.*, 1998; Kung *et al.*, 1998).

Las enzimas celulolíticas han sido usadas ampliamente por otras industrias como la papelera, textil, clínica farmacéutica, industria de lavado en seco, productoras de jugo, y la vinícola (Sears y Walch, 1998), y generalmente provienen de microorganismos que han sido manipulados por mutación o ingeniería genética para producir enzimas de una gran actividad biológica.

Conjuntamente el conocimiento de la estructuras de la pared celular de la caña de azúcar y de las enzimas industriales, es posible desarrollar nuevas alternativas de tratamientos para mejorar el aprovechamiento de la celulosa y hemicelulosa por los rumiantes. Loera (1999) señala que de los componentes de la fibra la

hemicelulosa es químicamente compleja, pues está formada por distintos polisacáridos y heterosacáridos. Por tanto, la heterogenidad de esta molécula requiere para su hidrólisis la acción de un complejo enzimático, por lo que podemos pensar en el uso de complejos enzimáticos. Por ejemplo, la cadena principal de xilano se pueden hidrolizar con  $\beta$  1-4 xilanasas,  $\beta$  1-4 xilosidasas. Para los grupos laterales, alfa L-arabinosidasas y alfa D-glucuronidasas probablemente se puedan usar exoxilanasas, y un aspecto de gran importancia, podría ser el uso de esterases, que liberaran grupos acetil, furfuroil y cumaroil de la lignina (Loera, 1999).

La enzima ácido ferulico esterasa ha sido parcialmente purificada de *Streptomyces olivochromogenes* y la ácido cumárico esterasa que rompe enlaces lignocelulósicos, ha sido encontrada en *Streptomyces viridosporas*. Es necesario también estudiar las enzimas de los hongos ruminales. Por ejemplo, se han detectado dos feruloyl esterases en el hongo *Neocallimastix frontalis* (Lema, 1999).

La degradación de la lignina requiere la presencia de oxígeno y esta orientación podría considerarse como otra alternativa de pre-tratamiento de la caña o de algunos de sus subproductos, como el bagazo. Lema (1999) describe las enzimas lignina peróxidasas y manganeso peroxidasas producidas por hongos *P. chrysosporium*; estas peroxidasas descomponen el peróxido de hidrógeno dando lugar a oxígeno atómico iniciador del proceso oxidativo para hidrolizar la lignina. Otros investigadores han cultivado con esquilmos agrícolas hongos comestibles como el *Pleurotus ostreatus*, el cual tiene fenil oxidasas y usa la lignina como sustrato para su crecimiento (Martínez *et al.*, 1995). Este tipo de tratamiento biológico puede ser factible para subproductos de la caña de azúcar.

Tricarico *et al.* (1998) utilizaron un extracto de enzimas fibrolíticas de *Aspergillus niger* y *Trichoderma viridi* con una actividad equivalente a 100 U xilanasas/g, usando una gramínea de clima templado. La adición del extracto incrementó la solubilidad de la fibra en incubaciones de 15 min y la desaparición de la materia orgánica a las 12 horas. Estas observaciones sugieren que las

enzimas modifican la solubilidad y la digestibilidad de la fibra, permitiendo una mayor actividad de los microorganismos ruminales.

En otro estudio con cuatro enzimas fibrolíticas, Titi *et al.* (1998) usaron como sustratos heno de alfalfa y cascarilla de semilla de algodón, y asperjaron enzimas (10% Volumen/Peso), y encontraron que con la enzima se mejoró la desaparición de la materia orgánica *in vitro* a las 12, 24, 36 h.

Algunos estudios no han tenido éxito, quizás porque han usado enzimas celulolíticas en dietas a base de granos, donde las condiciones de acidez limitan la actividad de las enzimas celulolíticas (ZoBell *et al.*, 1998), o la magnitud de los cambios es poco relevante por la cantidad de fibra de la ración (Maki *et al.*, 1998).

Los tipos de enzimas son diversos, y generalmente son mezclas de xilanasas y celulasas con distinta actividad. Algunas compañías han desarrollado enzimas fibrolíticas con cierto grado de protección a la degradación de las proteasas ruminales. Si consideramos que las enzimas celulolíticas de los microorganismos ruminales son extracelulares, el uso de estas enzimas en asperjado antes de alimentar a los rumiantes, en condiciones de pH, temperatura y de solución en el rumen, permiten explicar los efectos benéficos de estas enzimas.

### III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

El presente trabajo tuvo como objetivo el generar conocimiento básico y aplicado sobre la utilización de la caña de azúcar en la alimentación de los bovinos en los trópicos, buscando identificar los principales factores biológicos que limitan el aprovechamiento de la caña de azúcar y sus fracciones de FDN y FDA por los microorganismos ruminales, así como la respuesta animal en pastoreo para poder eficientar y estimular el uso de un recurso de alto potencial productivo como la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes en el trópico.

Los objetivos e hipótesis específicos de los experimentos fueron los siguientes:

1. Caracterizar el crecimiento de bacterias ruminales *in vitro* con caña de azúcar integral como sustrato, bajo la hipótesis de que las fracciones de fibra de la caña de azúcar limitan la degradación de la MS y el crecimiento microbiano.
2. Determinar la cinética de digestión ruminal *in situ* de tres variedades de caña de azúcar, bajo la hipótesis de que pueden existir diferencias en las características de digestión de las variedades, y que se puede identificar la fracción de la fibra que limita la digestión por medio de los parámetros de cinética ruminal.
3. Estudiar el efecto de la adición de enzimas fibrolíticas exógenas sobre el crecimiento microbiano y fermentación ruminal de la caña de azúcar, bajo la hipótesis de que las enzimas fibrolíticas exógenas pueden incrementar la digestibilidad de las paredes celulares de la caña de azúcar, mejorar la eficiencia de la fermentación y estimular el crecimiento microbiano.
4. Conocer los efectos asociativos sobre la fermentación ruminal, consumo y digestibilidad *in vivo*, de combinaciones de pasto estrella con distintos niveles de caña de azúcar, bajo la hipótesis de que el nivel de caña de azúcar puede tener efectos asociados negativos debido a la concentración de azúcares solubles y a la acidez ruminal producida.
5. Evaluar la importancia de la suplementación con compuestos nitrogenados de la caña de azúcar como forraje complementario en vaquillas en crecimiento en

pastoreo, bajo la hipótesis de que las dietas basadas en forrajes tropicales y caña de azúcar son deficientes en proteína metabolizable, por lo que se puede optimizar la ganancia de peso al suplementar con fuentes de nitrógeno degradable en rumen y con proteína de escape.

Se pretende que este estudio contribuya a la generación de conocimiento y que dé las bases para seguir evaluando diferentes alternativas tecnológicas a base de forraje y caña de azúcar para la alimentación de bovinos en los trópico.

## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Efectos asociativos de caña de azúcar y pasto estrella en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal

Cuatro toretes cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus* ( $455 \pm$  kg PV) canulados en rumen y duodeno fueron usados en un cuadro latino 4 x 4. Los tratamientos consistieron en niveles de caña de azúcar integral picada adicionada con 1% de urea en base húmeda (Alvarez y Preston, 1976a). La caña con la úrea se ofreció como porcentaje del PV (0, 1, 2 y 3%) y el pasto estrella *ad libitum*. Los bovinos recibieron la caña de azúcar a las 8:00 h, el pasto estrella a las 12:00 h y dos kg de suplemento a las 13:00 h. El suplemento (22% proteína) estuvo elaborado (base seca) con 10% de pulido de arroz, 50% de pollinaza, 10% de harina de sangre, 10% de harina de carne y 20% de melaza. Se ofrecieron sales minerales y agua *ad libitum*. La composición de los ingredientes se presenta en el Cuadro 8. Los grados Brix determinados con un refractómetro (Banda y Valdéz, 1976) tuvieron una variación de 16.6 a 21.0 en la caña de azúcar, lo que representa entre 40 y 56% de la MS, según la ecuación propuesta por Ferreiro *et al.* (1977e).

Los períodos experimentales consistieron en 14 días de adaptación seguidos de 7 días de muestreo. El líquido ruminal se colectó del saco ventral a las 0, 4, 8 y 12 h. después de haber suministrado la caña, inmediatamente se midió el pH con un potenciómetro marca ORION modelo 250. Posteriormente, 100 ml de fluido ruminal fueron acidificados con un ml de ácido sulfúrico (50%) y se almacenaron en congelación para análisis posteriores de nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles (AGV). La concentración de nitrógeno amoniacal se midió con el método del indofenol en muestras tomadas a las 0, 4, 8 y 12 h. de haber suministrado la caña (McCullough, 1967) y los AGV, a las 8 h., por cromatografía de gases en muestras preparadas con ácido metafosfórico (Erwin *et al.*, 1961). De líquido duodenal se muestrearon 100 ml directamente de la canula tipo (T), en un ciclo de 24 horas (cada 2 horas, alternadas durante 4 días). Inmediatamente se determinó el pH con un potenciómetro ORION modelo 250 y se conservó la

muestra en congelación hasta el momento del análisis en el laboratorio, en que se procedió a descongelar las muestra y hacer muestras compuestas para cada animal en cada período, A estas muestras se les determinó proteína (AOAC, 1980), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido ( FDA) (Goering y Van Soest, 1970), cromo (Williams *et al.*, 1962), cenizas insolubles en ácido Keulen *et al.*, 1977)

A las muestras de alimentos, digesta duodenal y heces, se les determinó la concentración de FDN y FDA con los procedimientos de (Goering y Van Soest 1970). La materia seca y el nitrógeno fueron analizados por métodos del AOAC (1980). La degradación ruminal *in situ* de los forrajes fue medida incubando 5 g de muestra molida en malla de 1 mm, en bolsas de nylon (10 x 5 cm) durante 12, 24, 48 y 72 h., por duplicado (Orskov *et al.*, 1980), determinando la MS y la FDN con los procedimientos descritos.

Se determinó la concentración de cenizas insolubles en ácido para usarse como marcador interno en muestras de alimentos, digesta duodenal y heces (Keulen y Young., 1977; Geerken *et al.*, 1987). Se recolectaron heces del recto durante los últimos 5 días de cada período de muestreo ( Stock *et al.*, 1987). Las muestras de alimentos y de heces fueron secados en estufa (55 °C, 24 h), molidas y compuestas por animal.

Los resultados se analizaron de acuerdo con un cuadrado latino 4 x 4 con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + C_k + E_{ijk}$$

$\mu$  = Media general

$A_i$  = Efecto del *i*ésimo animal

$P_j$  = Efecto del *j*ésimo período

$C_k$  = Efecto del *k*ésimo nivel de caña de azúcar

$E_{ijk}$  = Error experimental aleatorio

Se utilizó el procedimiento GLM del SAS (1985). Se probaron los efectos lineal, cuadrático y cúbico de los niveles de caña en las variables de respuesta consumo de los alimentos y nutrientes, digestibilidad *in vivo* de la MS y nutrientes y parámetros de la fermentación ruminal (Steel y Torrie, 1980). Los efectos asociativos se determinaron cuando la combinación de la caña de azúcar y el pasto estrella registraron una respuesta no lineal (Hart, 1987).

#### **4.2. Crecimiento de vaquillas en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar, urea y concentrado nitrogenado.**

Se usaron 32 vaquillas ( $242 \pm 13$  kg PV inicial) cruzadas (*Bos taurus* x *Bos indicus*), en crecimiento suplementadas en forma individual con caña de azúcar con o sin urea y un suplemento proteínico. Los tratamientos consistieron en un grupo testigo a base de pastoreo, caña de azúcar ofrecida al 3% del PV sin urea, con la adición de urea (1% base fresca), y la caña de azúcar con urea más un suplemento proteínico (1 kg/animal/d). El suplemento se elaboró (base seca) con harina de sangre (10%), pollinaza (50%), pulido de arroz (25%) y melaza (15%) y su composición fue: 23.4% PC, 44.7% FDN y 19.1% FDA.

El experimento se realizó en el Campus Tabasco, ubicado en el km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, municipio de Cárdenas Tabasco (18° 00' Norte, 93° 30' Oeste), altitud 12 msnm (Gobierno del Estado de Tabasco, 1988), durante el período del 28 de agosto de 1997 al 27 de enero de 1998, en la época de nortes. El clima corresponde al tipo Am(f)w'(i)g de acuerdo con la clasificación climática de Koupen modificada por García (1973), con precipitación media anual de 2,163 mm, temperatura media de 25.9° C y humedad relativa de 80%.

Cada mañana las vaquillas se confinaban en corraletas individuales donde se les ofrecía en forma individual la caña de azúcar (08:00 a 12:00) y el suplemento proteínico (12:00 a 13:00) con agua y sales minerales ( 15.8% Ca, 6.83% P, 4.38% K, .02% Mg, 1.75% S, .07% Mn, .03% Cu, .15% Zn, .01% Fe, 11.45% Na, 2.63 ppm Co, 4.38 Se, 36.75 ppm I) *ad libitum*.

Posteriormente, a las vaquillas como un solo grupo se les permitía el acceso a una pradera de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), manteniendo una carga de 6 vaquillas/ha. Las vaquillas se pesaron en ayuno de 12 horas cada mes por 3 días consecutivos. Se determinó el rendimiento de forraje del área de pastoreo, cortando 10 muestras de 0.5 m<sup>2</sup> a una altura de 10 cm del suelo en los meses de Septiembre, Octubre y Diciembre. A partir del día 120, las vaquillas recibieron óxido de cromo (5 g/animal/d) durante 15 días consecutivos. Se tomaron muestras de heces del recto de cada animal durante los últimos 5 días y se prepararon muestras compuestas por animal. La concentración de cromo en heces se determinó por espectrofotometría de absorción atómica preparando las muestras como recomiendan Williams *et al.* (1962). Se determinó el contenido de cenizas insolubles en ácido en muestras del suplemento, sales minerales, pastos y heces (Keulen y Young, 1977), para estimar el consumo de pasto con la técnica de dos marcadores (Geerken *et al.*, 1987), ajustando por el consumo de marcador indigestible de la caña de azúcar y del suplemento:

$$\text{Consumo MS forraje} = \frac{(\text{CIA})_H \times \text{PTH} - \{(\text{CIA})_S \times \text{CS}\} - \{(\text{CIA})_C \times \text{CC}\}}{(\text{CIA})_P}$$

Donde:

(CIA)<sub>H</sub> = Concentración de Cenizas insolubles en ácido (CIA) en heces (g kg<sup>-1</sup> MS)

PTH = Producción total de heces obtenida con el Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como marcador externo (g d<sup>-1</sup>)

(CIA)<sub>S</sub> = Concentración de CIA del suplemento (g kg<sup>-1</sup> MS)

CS = Consumo diario de suplemento (g)

(CIA)<sub>C</sub> = Concentración de CIA en la caña de azúcar (g kg<sup>-1</sup> MS)

CC = Consumo diario de caña (g día<sup>-1</sup>)

(CIA)<sub>P</sub> = Concentración de CIA en el pasto (g kg<sup>-1</sup> MS)

El contenido de nitrógeno se determinó por macro-Kjeldahl (AOAC, 1980), y las fracciones de fibra con detergentes (FDN, FDA), usando los procedimientos

de Goering y Van Soest (1970); la digestibilidad *in situ*, con la técnica de bolsa de nylon (Mehrez *et al.*, 1977).

Los resultados fueron analizados de acuerdo con un diseño completamente al azar (Steel y Torrie, 1980) usando el peso inicial como covariable para la ganancia de peso, con el procedimiento GLM del SAS (1985). El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + F_j + E_{ij}$$

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto de tratamiento

$F_j$  = Covariable a peso inicial

$E_{ij}$  = Error experimental aleatorio

Se analizó la relación entre el consumo y de digestibilidad de nutrientes sobre la ganancia de peso, por medio de un modelo de regresión múltiple por el procedimiento Stepwise GLM del SAS (1985)

#### **4.3. Cinética de digestión ruminal *in situ* de la pared celular de tres variedades de caña de azúcar**

Se usaron dos toretes cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus* (455 kg PV) con cánula ruminal para estudiar los cambios en la cinética ruminal de las variedades MEX69-290, MEX83-481 y Q-107. La variedad MEX69-290 es usada en Tabasco para la producción de azúcar y las otras dos son variedades con potencial forrajero que están siendo evaluadas en el Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados.

Los bovinos fueron alimentados con caña de azúcar integral molida ofrecida al 3% de su PV, y pasto estrella *ad libitum* por 15 días antes de iniciar las incubaciones y durante las mismas. La caña de azúcar se proporcionó con urea al 2% en base húmeda para mantener niveles adecuados de N-NH<sub>3</sub>. Los bovinos recibieron la caña de azúcar a las 8:00 h, el pasto estrella a las 12:00 h y dos kg

de suplemento a las 13:00 h. El concentrado (22% proteína) estuvo elaborado (base seca) con 10% de pulido de arroz, 50% de pollinaza, 10% de harina de sangre, 10% de harina de carne y 20% de melaza. Se ofrecieron sales minerales y agua *ad libitum*.

Se midió la degradación ruminal *in situ* de muestras de caña de azúcar introduciendo al rumen, por duplicado, bolsas de nylon (10 x 5 cm) con 5 g de muestra molida con un tamaño de partícula de 1 mm. y analizando los cambios producidos en el porcentaje de degradación incubando en dos animales (bloque) (Clary *et al.*, 1988) durante 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 horas, (Mehrez *et al.*, 1977). Además de la caña integral molida, se incubaron 5 g de las fracciones de FDN y FDA, las cuales fueron preparadas con detergente neutro y ácido, respectivamente (Van Soest *et al.*, 1991) en bolsas de dacrón, las cuales fueron sometidas a un lavado con agua destilada y secadas, antes de incubarse en el rumen.

Se determinaron las constantes de degradación ruminal de la materia potencialmente digestible de la caña de azúcar integral y sus fracciones, usando el valor de 96 h como punto final de digestión con un modelo de cinética de primer orden con fase lag (Mertens, 1973). Se estimó la fracción potencialmente digestible al substrar la fracción indigestible del total remanente en cada tiempo de fermentación.

Los parámetros se estimaron con el siguiente modelo (Mertens y Loften, 1980), a través de un análisis de regresión (Draper y Smith, 1981) .

$$FA = D e^{-kt} + U$$

donde:

e : base del logaritmo natural

FA: porcentaje de la fracción de fibra residual.

- k : pendiente, tasa de degradación.

t : tiempo de incubación.

D : Fracción de fibra potencialmente digerible en el rumen.

U : Fracción de la fibra indigestible.

Los resultados se analizaron de acuerdo con un diseño de bloques generalizados al azar, considerando a la incubación por animal como el bloque, usando la interacción bloque x tratamiento como error experimental (Steel y Torrie, 1980). Los resultados se analizaron con el procedimiento GLM del SAS (1985). El modelo estadístico aplicado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + B_j + B_j * C_i + R_{ij}$$

$Y_{ij}$  = variable de respuesta

$\mu$  = Media general

$C_i$  = Efecto de la variedad de caña de azúcar

$B_j$  = Efecto del animal (bloque)

$B_j * C_i$  = Error experimental

$R_{ij}$  = Residual

#### **4.4. Crecimiento *in vitro* de bacterias ruminales en caña de azúcar integral con o sin la adición de enzimas fibrolíticas exógenas**

Se realizaron incubaciones de la caña de azúcar integral variedad MEX69-290, así como de sus fracciones de FDN y FDA, extraídas con detergente neutro y ácido (Van Soest *et al.*, 1991), con o sin la adición de la enzima fibrolítica Fibrozyme (Alltec, Inc), en una dosis de 100 mg/g de sustrato incubado (Pinos *et al.*, 1999).

Se prepararon tubos con 150 ml de medio anaeróbico (Cuadro 1), 1 ml de líquido ruminal, y 0.1 g de muestra incubada en bolsa de nylon (4 x 5 cm). Al finalizar la incubación se secó la bolsa a peso constante para determinar la digestibilidad *in vitro* del sustrato incubado. El crecimiento microbiano se determinó en intervalos de 30 minutos en las primeras 10 horas, con una lectura final a las 25 horas, con espectrofotómetro (Spectronic 20 Bausch and Lomb), a una longitud de 600 nm (Russell y Dombrowski, 1980). Se realizó el conteo de bacterias totales, para transformar los valores de densidad óptica en

concentración de bacterias, para caracterizar las curvas de crecimiento (Miranda, 1998).

La tasa de crecimiento se calculó con base en una regresión de logaritmo natural de la concentración de bacterias en función del tiempo y la tasa de generación se obtuvo mediante la relación  $0.693/k$ , donde  $k$  es la tasa específica de crecimiento o el valor de la pendiente de la regresión y el coeficiente de mantenimiento de la relación inversa de la concentración de bacterias al tiempo cero (Pirt, 1982). La fase lag se calculó con el inverso de los valores de crecimiento por extrapolación al tiempo cero (Zwietering *et al.*, 1991). Los parámetros fueron estimados por regresión (Drapper y Smith, 1981).

Los resultados se analizaron de acuerdo con un diseño de bloques generalizados completamente al azar (Steel y Torrie, 1980) con arreglo factorial  $2 \times 3$ , con dos niveles de enzima y tres sustratos (caña integral, FDN y FDA). Se hicieron cuatro repeticiones de incubación (Clary *et al.*, 1988). El modelo estadístico que se aplicó fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + S_i + C_k + S_i * C_k + B_j * S_i * C_k + R_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Variable de respuesta

$\mu$  = Media general

$B_j$  = Efecto de bloque

$S_i$  = Efecto del tipo de sustrato

$C_k$  = Efecto del nivel de enzima

$S_i * C_k$  = Interacción del tipo de sustrato y el nivel de la enzima

$B_j * S_i * C_k$  = Error experimental

$R_{ijk}$  = Residual

Los resultados se analizaron con el procedimiento GLM del SAS (1985), usando la interacción bloque x tratamiento como error experimental. Las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980).

Cuadro 1. Medios anaeróbicos utilizados para la estimación de bacterias totales y celulolíticas.

COMPONENTE	MEDIO GCA-FR	MEDIO PW-FR
	--- CANTIDAD 100 ml <sup>-1</sup> ---	
Extracto de levadura	0.1	0.1
Tripticasa-peptona	0.2	0.2
Glucosa	60	
Celobiosa	60	
Almidón	60	
Solución Mineral I <sup>a</sup>	5.0	5.0
Solución Mineral I <sup>b</sup>	5.0	5.0
Líquido ruminal clarificado	30.0	30.0
Solución de cisteína-sulfido <sup>c</sup>	2.0	2.0
Solución de carbonato de sodio al 8%	5.0	5.0
Resarzurina 0.1%	0.1	0.1
Agua destilada	52.6	52.6
Papel Whatman No. 1	---	una tira

<sup>a</sup> Contiene por 1000 ml K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 6 g.

<sup>b</sup> Contiene por 1000 ml KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 6.0 g; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>, 6.0 g; NaCl, 12 g; MgSO<sub>4</sub>, 2.45 g; y CaCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O, 1.6 g.

<sup>c</sup> 2.5 g L-cisteína (disolver en 15 ml de 2N NaOH; Na<sub>2</sub>S· 9H<sub>2</sub>O, 2.5 g.

GCA-FR = Glucosa, celobiosa, almidón y fluido ruminal

PW-FR = Papel whatman y fluido ruminal

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. Efectos asociativos de caña de azúcar y pasto estrella en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal

Los efectos asociativos se presentan cuando la digestión de un alimento no es independiente de otros alimentos, y se detectan estadísticamente cuando la combinación de dos ingredientes muestran una respuesta no lineal (Hart, 1987).

La composición de la caña indicó bajo contenido de proteína y alto contenido de azúcares y el pasto estrella fue de una regular calidad de acuerdo a la clasificación propuesta por Perez-Infante, (1983). (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de los alimentos (base seca).

Componente	Caña de azúcar	Pasto estrella	Suplemento
Materia seca, %	32.0	29.2	92.3
Proteína cruda,%	2.18	8.08	22.58
FDN, %	48.11	81.83	55.15
CC, %	51.9	18.2	44.9
Hemicelulosa, %	15.62	31.27	33.33
FDA, %	32.49	50.56	21.82
Azúcares, ° Brix	16.6-21.0		

**FDN: Fibra detergente neutro**

**CC : Contenido celular**

**FDA: Fibra detergente ácido**

Al aumentar el nivel de caña de azúcar ofrecida, el consumo de materia seca se incrementó linealmente ( $P < 0.01$ ), representando del 12.5 al 26.6 % del

consumo total, mientras que el consumo de pasto estrella se redujo en forma lineal ( $P<0.05$ ), por lo que el efecto fue sustitutivo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto del nivel de caña de azúcar en el consumo y digestibilidad de las raciones

Variable	Caña de azúcar ofrecida ( % PV )				EE
	0	1	2	3	
<b>Consumo de caña</b>					
Fresca, kg/d	0.0	4.8	7.9	8.7	1.5
<b>Consumo, kg MS/d</b>					
Caña de azúcar <sup>a</sup>	0.0	1.3	2.3	2.6	0.46
Pasto estrella <sup>b</sup>	7.0	7.3	6.7	5.9	0.36
Suplemento	1.8	1.8	1.8	1.8	
Total <sup>ac</sup>	8.8	10.4	10.8	10.3	0.29
Proteína, g/d <sup>d</sup>	967	1117	1174	1196	88.1
FDN, kg/d	6.73	7.59	7.47	6.69	0.43
FDA, kg/d	3.97	4.47	4.50	3.97	0.026
Agua, l/d	48.4	40.0	44.3	37.2	3.02
<b>Digestibilidad ruminal, %</b>					
MS	49.6	50.4	51.4	52.4	0.32
Proteína	62.6	60.8	64.3	65.8	3.3
FDN	55.7	53.3	52.7	54.7	3.9
FDA	40.6	45.3	47.9	49.1	3.4
<b>Digestibilidad total, %</b>					
MS	54.0	53.3	57.6	60.3	3.1
Proteína	65.6	61.3	66.7	67.1	5.14
FDN	56.7	55.9	55.5	55.0	4.3
FDA	41.0	45.7	48.3	49.2	2.6

<sup>a</sup> Efecto lineal del nivel de caña de azúcar ( $P<0.01$ )

<sup>b</sup> Efecto lineal del nivel de caña de azúcar ( $P<0.05$ )

<sup>c</sup> Efecto cuadrático del nivel de caña de azúcar ( $P<0.01$ )

El consumo total de MS fue mayor para los animales que recibieron caña de azúcar ( $P < 0.01$ ) y mostró un efecto asociativo (cuadrático,  $P < 0.01$ ), indicando que con un nivel de 2.07% de caña de azúcar (estimado por la segunda derivada de la ecuación cuadrática), se obtendría el mayor consumo voluntario (Myers, 1976). González *et al.* (1989) utilizaron vacas alimentadas con caña de azúcar y suplementadas con diferentes niveles de pasto estrella, y encontraron que el consumo total de MS se incrementaba a medida que recibieron mayor nivel de pasto en sustitución de la caña.

En este trabajo, como en otros estudios, se ha mostrado que al combinar diversos forrajes con caña de azúcar en la ración, aumenta el consumo de materia seca (Ffoulkes y Preston, 1979; Salais *et al.*, 1977). En un ensayo con ovinos Pelibuey alimentados con proporciones de 0, 25, 50, 75 y 100% de caña de azúcar adicionada con urea, y otra parte proporcional de pasto estrella, Aranda *et al.* (1997) observaron que el máximo consumo de MS se presentó en la combinación 50:50, y con mayores niveles de caña el consumo total se reducía.

El consumo de proteína cruda (Cuadro 3) se incrementó al aumentar el nivel de caña de azúcar adicionada con 1% de urea, mostrando un efecto lineal del nivel de caña de azúcar ( $P < 0.01$ ). Los consumos de urea obtenidos fueron 48, 79 y 82 g /animal/d, para los niveles respectivos de 1, 2 y 3 % de la caña ofrecida, aunque en trabajos de Alvarez y Preston, (1976a) y Losada *et al.* (1979a) con dietas de caña de azúcar se obtuvieron consumos de urea de 300 g/animal/d. El consumo de urea no representó riesgos de intoxicación por niveles tóxicos de N-amoniaco en rumen o en sangre (Webb *et al.*, 1972). La importancia de la urea en el consumo de caña fue demostrada por Alvarez y Preston (1976a).

No hubo ningún efecto ( $P > 0.05$ ) de la caña en el consumo de fibra detergente neutro y ácido (Cuadro 3). No se presentaron efectos ( $P > 0.05$ ) de tratamientos en la digestibilidad ruminal y del tracto gastrointestinal en MS, proteína, FDN y FDA (Cuadro 3). Reportes previos mostraban una reducción de la digestión de la MS y de la fibra con niveles mayores al 50% de caña en la ración (Gooding, 1982; Molina, 1990), lo cual se asoció a la fermentación de azúcares

solubles y a la acidez ruminal, sin embargo los resultados obtenidos indican que existen otros factores limitantes, como la lignificación de las paredes celulares (Amjed *et al.*, 1992).

Los valores de digestibilidad de la MS son menores a los publicados en otros estudios con caña de azúcar (Ffoulkes y Preston, 1979; Preston, 1977; Rodríguez *et al.*, 1993), lo cual puede estar asociado el menor consumo de caña registrado en este ensayo, o bien con los valores limitantes de N-NH<sub>3</sub> (Satter y Slyter, 1974), que podrían considerarse restringidos para la actividad de los microorganismos ruminales. Satter y Slyter (1974) reportan un requerimiento de 5 mg/dl de N-NH<sub>3</sub> en fluido ruminal, o los de Mehrez *et al.* (1977) estimaron un óptimo de 23 mg/dl de N-NH<sub>3</sub>.

Tampoco se observaron diferencias ( $P>0.05$ ) en la digestión *in situ* de la MS y la FDN de las muestras de caña de azúcar y pasto estrella incubadas durante cuatro tiempos distintos (Cuadro 4). Los resultados *in situ* de la caña son similares a los obtenidos en otros estudios (Valdéz *et al.*, 1977; Aroeira *et al.*, 1993b) e inferiores a otros (Aroeira *et al.*, 1993b). Los del pasto estrella son similares a valores reportados en época de sequía (Ramos *et al.*, 1995; Cabrera, 1996; Ramos *et al.*, 1998) y menores a los registrados en época de lluvias (Reyes, 1996). La mayor digestibilidad de la MS de la caña en comparación al pasto se debe a una mayor acumulación de azúcares solubles, la cual puede estar influida por la mayor madurez (Banda y Valdéz, 1976; Aroeira *et al.*, 1993a), y pueden representar de 45 a 60% de la MS digerible (Aranda, 1979). Sin embargo, las fracciones fibrosas de la caña con relación al pasto, muestran una digestión limitada, como se muestra con las tasas de digestión de  $-0.021$  ,  $-0.032$  ( $P<0.01$ ) para la caña y el pasto respectivamente. Algunos tratamientos con álcali y peróxido de hidrógeno indican que la remoción de la lignina puede duplicar la fracción de FDN potencialmente digerible y la tasa de digestión, sin alterar la fase lag (Amjed *et al.*, 1992). Otros procesos biológicos con levaduras que no tienen fenol oxidasas para degradar la lignina, no han logrado mejorar la digestibilidad de la caña de azúcar (Carpenter *et al.*, 1993).

Cuadro 4. Efecto del nivel de caña de azúcar en la digestibilidad *in situ* de la MS y FDN.

Tiempo de Incubación	Caña de azúcar ofrecida ( % PV )				EE
	0	1	2	3	
	<b>Digestibilidad <i>in situ</i> de la MS de la caña de azúcar, %</b>				
Tiempo de Incubación, h					
12	44.9	45.1	43.4	46.5	1.4
24	47.3	47.4	49.5	49.5	2.0
48	46.7	50.8	48.8	50.4	2.0
72	50.6	52.6	50.9	48.8	1.6
kd (h <sup>-1</sup> )	-0.002	-0.015	-0.018	-0.013	0.009
	<b>Digestibilidad <i>in situ</i> de la MS del pasto estrella, %</b>				
Tiempo de Incubación, h					
12	16.0	17.6	17.8	17.5	1.75
24	22.8	25.9	25.9	27.3	1.82
48	28.5	32.1	30.4	31.5	1.29
72	34.1	34.8	33.0	34.8	1.48
kd (h <sup>-1</sup> )	-0.031	-0.027	-0.028	-0.023	0.01
	<b>Digestibilidad <i>in situ</i> de la FDN de la caña de azúcar, %</b>				
Tiempo de Incubación, h					
12	8.68	9.53	9.54	11.47	3.50
24	13.9	15.2	19.3	18.2	4.41
48	16.6	21.2	23.2	22.1	4.83
72	24.5	25.6	26.4	20.6	5.34
kd (h <sup>-1</sup> )	-0.011	-0.022	-0.022	-0.017	0.013
	<b>Digestibilidad <i>in situ</i> de la FDN del pasto estrella, %</b>				
Tiempo de Incubación, h					
12	19.4	19.7	23.0	20.3	3.62
24	28.4	29.0	30.7	31.0	4.82
48	37.6	38.8	38.9	37.6	3.87
72	42.0	43.8	41.2	41.2	4.03
kd (h <sup>-1</sup> )	-0.039	-0.031	-0.029	-0.034	0.015

EE: Error estándar

Kd: tasa de digestión (%/h)

La concentración de nitrógeno amoniacal no fue afectada por los tratamientos, con excepción de las muestras con 21:00 horas de incubación (Cuadro 5). En términos generales, los valores de N-NH<sub>3</sub> detectados fueron bajos (2.5 a 8.5 mg/100 ml) si se comparan con los valores reportados en otros experimentos donde usaron caña adicionada con urea (Minor *et al.*, 1977; Meyreles *et al.*, 1977; Aranda, 1979; Rodríguez *et al.*, 1993). Algunos estudios no han mostrado cambios en la tasa de digestión de la MS y de la FDN de caña de azúcar al incrementar la urea de 1 a 2% como porcentaje de la caña en base fresca, lo que sugiere que existen limitantes relacionadas con la fibra indigestible de la caña que determinan la digestión ruminal (Aroeria *et al.*, 1993b).

Los patrones de fermentación ruminal no fueron afectados por los tratamientos (Cuadro 5). Es posible que la cantidad de azúcares consumida no haya sido suficientemente elevada como para cambiar la proporción de los ácidos grasos volátiles. Los resultados de Marty *et al.* (1974) y Sutton (1979), muestran que con la sacarosa se puede aumentar la concentración de propionato y reducir la de acetato. En algunos ensayos con bovinos alimentados con caña de azúcar (Minor *et al.*, 1977; Rodríguez *et al.*, 1993), la concentración de propionato fue mayor a la observada en este estudio mientras que en otros fue similar (Meyreles *et al.*, 1979; Priego *et al.*, 1977).

Se observó un efecto asociativo en el pH ruminal sólo a las 13:00 horas de incubación (Cuadro 5), con cambios biológicamente poco importantes. A pesar de que los °Brix en el jugo de la caña son ligeramente mayores a los reportados (Banda y Valdéz, 1976; Ferreiro *et al.*, 1977d), no causaron una reducción drástica del pH. De hecho, en los tiempos muestreados no hubo valores inferiores a 6.2, que ha sido considerado como el valor crítico para la degradación de la celulosa (Grant y Mertens, 1992; Miranda, 1998), lo cual coincide con lo observado *in situ* e *in vivo* en las muestras de pasto estrella y caña. Los valores de pH ruminal fueron similares a los de otros estudios con caña de azúcar (Minor *et al.*, 1977; Valdéz *et al.*, 1977) y menores a los de raciones donde la caña representó la mayor parte de la dieta (Meyreles *et al.*, 1977).

Cuadro 5. Efecto del nivel de caña de azúcar en el patrón de fermentación ruminal, pH y nitrógeno amoniacal.

	Caña de azúcar ofrecida ( % PV )				EE
	0	1	2	3	
<b>Patrón de fermentación*</b>					
Acetato, %	70.57	69.78	67.90	68.38	1.23
Propionato, %	18.00	17.26	18.01	17.27	0.57
Butirato, %	11.40	12.94	13.98	13.96	0.74
<b>pH ruminal</b>					
9 horas	7.30	7.18	7.24	7.27	0.07
13 horas <sup>ab</sup>	7.32	7.09	6.95	7.03	0.05
17 horas	6.99	6.79	6.87	6.89	0.05
21 horas	6.68	6.64	6.77	6.66	0.06
<b>N-NH<sub>3</sub> mg/100 ml</b>					
9 horas	3.9	6.1	8.5	7.7	0.89
13 horas	3.9	4.6	5.6	4.8	0.73
17 horas	4.6	4.7	4.3	5.3	0.50
21 horas <sup>cd</sup>	3.5	2.8	3.4	2.5	0.22

<sup>a</sup> Efecto lineal del nivel de caña de azúcar (P<0.01)

<sup>b</sup> Efecto cuadrático del nivel de caña de azúcar (P<0.01)

<sup>c</sup> Efecto lineal del nivel de caña de azúcar (P<0.05)

<sup>d</sup> Efecto cúbico del nivel de caña de azúcar (P<0.01)

EE: Error estandar

\* Resultados a las 8 h pospandrial

A pesar de que varios investigadores han postulado que la baja digestibilidad de la fibra de la caña de azúcar se debe a la disminución del pH ruminal (Preston, 1977; Leng, 1989), los resultados de este experimento indican que pueden existir otros factores relacionados con las características químicas de la pared celular que pueden estar limitando su utilización cuando se incorpora en niveles menores del 30%. Considerando los grados brix de la caña de azúcar usada en este ensayo (Cuadro 2), el máximo consumo de azúcares estaría alrededor de 1.56 kg/d lo cual esta por debajo de las cantidades reportadas para causar condiciones de acidez por Sutton (1979), pero arriba de las observadas por

Marty *et al.* (1974). Sutton reportó que con 2.7 kg de sacarosa/día se reduce el pH en forma drástica mientras que Marty *et al.* (1974) con 1.0 kg encontraron valores menores a 5.5. El efecto del pH en la actividad celulolítica y en el crecimiento bacteriano (Russell y Dombrowsky, 1980) explicaría parcialmente los efectos negativos de la digestibilidad observados en estudios con altos niveles de azúcares. El hecho de que con un consumo equivalente de 1.56 kg de sacarosa no se observaran valores de pH críticos para la digestión de la fibra, nos indica que hay otros factores que pudieron haber influido como la producción de saliva (Cassida y Stokes, 1986) estimulada por la cinética de digestión y pasaje de la fracción fibrosa de la caña de azúcar (Aroeira *et al.*, 1993a) y posiblemente la capacidad buffer de la misma (Jaseitis *et al.*, 1987).

## **5.2. Crecimiento de vaquillas en pastos tropicales suplementadas con caña de azúcar, urea y concentrado nitrogenado.**

La composición del pasto durante el experimento así como de la caña con o sin urea se presentan en el Cuadro 6. La composición de la caña de azúcar con o sin urea no presento variación a través del estudio, siendo similar a la reportada en otros estudios (Alvarez y Preston, 1976; Aranda y Losada, 1980). La caña de azúcar tiene un contenido bajo de proteína, alta proporción de contenido celular, elevada proporción de carbohidratos estructurales, y elevado contenido de carbohidratos solubles en forma de azúcares.

Los valores de pasto estrella son similares a los reportados en otros estudios (Cabrera, 1996; Mendoza *et al.*, 1992; Ramos *et al.*, 1998; Reyes *et al.*, 1996). Los cambios en la concentración de proteína son resultado de las condiciones climáticas que alteran el crecimiento del forraje en la época de nortes. Los valores de digestibilidad *in situ* de la caña de azúcar son menores a los reportados en el estudio sobre los efectos asociativos de la caña y el pasto estrella africana esto pudo estar asociado a la pérdida de azúcares en el tratamiento de las muestras. La digestibilidad del pasto estrella es similar a la reportada en época de lluvias (Reyes, 1996) y de sequía ( Ramos, 1994; Cabrera, 1996 ) en el estado

de Tabasco. La menor digestibilidad que se presenta en diciembre puede estar asociada a las condiciones climáticas de menor temperatura y precipitación (Cuadro 6) características de la época de nortes.

Cuadro 6. Composición química (base seca), digestibilidad *in situ* de los forrajes.

Componente	Caña de azúcar	Caña de azúcar + Urea	Pasto estrella			EE
			Septiembre	Octubre	Diciembre	
MS, %	31.0	27.0	33.0	28.8	30.5	1.34
PC, %	4.7	10.3	6.48 <sup>b</sup>	11.4 <sup>a</sup>	8.7 <sup>ab</sup>	0.61
FDN, %	69.0	71.3	77.3	72.5	78.4	1.94
FDA, %	45.9	48.1	43.3 <sup>a</sup>	34.5 <sup>b</sup>	45.5 <sup>a</sup>	0.69
<b>Digestibilidad <i>in situ</i>, %</b>						
Incubación, h						
12	30.4	25.8	34.0 <sup>ab</sup>	40.7 <sup>a</sup>	21.4 <sup>b</sup>	2.5
24	31.5	25.8	41.3 <sup>b</sup>	54.3 <sup>a</sup>	25.2 <sup>c</sup>	1.89
48	34.8	29.7	50.1 <sup>b</sup>	59.0 <sup>a</sup>	35.5 <sup>c</sup>	0.60
72	35.8	35.6	54.0 <sup>a</sup>	60.4 <sup>a</sup>	42.7 <sup>b</sup>	1.64

<sup>abc</sup> Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P<0.01)

Cuadro 7. Producción y composición botánica de la pradera

	Comportamiento de la pradera			
	Septiembre	Octubre	Diciembre	EE
Forraje, ton MS/ha	4.40 <sup>a</sup>	1.13 <sup>b</sup>	1.82 <sup>b</sup>	0.48
<b>Composición</b>				
Hoja, %	43.5 <sup>a</sup>	43.6 <sup>a</sup>	27.9 <sup>b</sup>	1.67
Relación hoja/tallo	0.78 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>	0.39 <sup>b</sup>	0.04
Material muerto, %	35.1 <sup>a</sup>	27.1 <sup>ab</sup>	24.1 <sup>b</sup>	2.76
Maleza, %	23.7	8.42	14.2	6.3

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P<0.01)

Durante el mes de septiembre la disponibilidad de forraje no fue limitante, sin embargo, para octubre y diciembre, la producción de materia seca estuvo por debajo de los 3.6 ton MS/ha (cuadro 7), considerado como el mínimo para mantener un consumo voluntario máximo (Minson, 1990). La proporción de hojas del pasto fue menor en el mes de Diciembre, debido a la presión de pastoreo (6 animales/ha) y a la lenta recuperación del pasto por efecto de las bajas temperaturas en esta época del año. Esta misma presión de pastoreo influyó en la disminución del material muerto en la pradera.

Las vaquillas en pastoreo con suplemento proteínico tuvieron mayores ganancias ( $P < 0.01$ ) (Cuadro 8) que los animales que consumieron caña sin o con urea y que el grupo testigo. En la correlación entre el consumo y digestibilidad de nutrientes sobre la ganancia de peso de los animales, El consumo de proteína y de FDA fueron los que más contribuyeron. ( $Y = 0398 + 0.77\text{Consp} - 0.16\text{Consfda}$ ) A pesar de que la ganancia de peso de este experimento fue inferior a la reportada en otros experimentos de suplementación en el trópico (Alarcón, 1995; Moss y Murray, 1992; Poppi y McLennan, 1995; Ramos *et al.*, 1998;) y similares a los observados en animales en pastos tropicales sin suplemento (Carulla, 1990; Alarcón, 1995; Pérez y Meléndez, 1980; Lascano *et al.*, 1989), en este experimento se mantuvo una carga animal de 6 vaquillas/ha, por lo que la producción de carne por unidad de superficie al incorporar la caña de azúcar fue de 800 y 1107 kg PV/ha/año para los tratamientos que recibieron caña-urea y caña-urea-suplemento proteínico, respectivamente, es mayor que en la de otros estudios. Otros investigadores han demostrado que con manejo semi-intensivo de pastoreo rotacional restringido de gramíneas y leguminosas tropicales, es posible obtener ganancias entre 260 y 800 g/d con una carga de 10 novillos/ha (Peiris *et al.*, 1995). Prachet *et al.* (1992) lograron ganancias de 660 a 720 g/d con 4 novillos/ha en praderas irrigadas de leucaena y pangola.

Cuadro 8. Comportamiento de vaquillas suplementadas con caña de azúcar (con y sin urea) y con un suplemento proteínico.

	Pasto estrella	Caña de azúcar			EE
		-Urea	+ Urea	+Urea +Supl.	
No. Vaquillas	8	8	8	8	
Peso inicial, kg	225.6	270.8	245.7	216.5	13.07
Peso final, kg	274.3	320.5	301.3	293.3	11.78
GDP, g	320.7 <sup>a</sup>	326.9 <sup>a</sup>	365.5 <sup>a</sup>	528.0 <sup>b</sup>	37.0

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes (P<0.01)

Se ha reconocido al nitrógeno degradable en rumen como una limitante para el uso de caña de azúcar, así como el suministro de proteína de escape (Preston, 1977). Se considera que el añadir urea al 1% del peso de la caña en base fresca permite cubrir los requerimientos de 3 g de N fermentable por 100 g de materia orgánica fermentable en rumen para la utilización de los carbohidratos (Alvarez y Preston, 1978).

Los compuestos nitrogenados de la caña (Preston, 1977) y de los forrajes tropicales (Blasi *et al.*, 1991; Mendoza *et al.*, 1992; Redfearn *et al.*, 1995) se degradan extensamente en el rumen, por lo que existe una respuesta en la ganancia de peso al suministrar compuestos nitrogenados degradables en rumen y proteína de escape (Cabrera *et al.*, 1995; Reyes *et al.*, 1996; Ramos *et al.*, 1998).

De acuerdo con el perfil de aminoácidos de origen microbiano, se ha considerado que la lisina y la metionina son los aminoácidos más limitantes en raciones de ganado para carne (Richardson y Hatfield, 1978; Merchen y Titgemeyer, 1992). La harina de sangre es una buena fuente de lisina metabolizable, pero es limitante en aminoácidos azufrados (Gibb *et al.*, 1992). Los resultados de distintas investigaciones en los últimos años (Stock *et al.*, 1981; Goedeken *et al.*, 1990; Knaus *et al.*, 1998) muestran que el balance de

aminoácidos en la proteína de escape es importante para obtener el máximo crecimiento.

El suplemento proteínico suministraba nitrógeno degradable en rumen y proteína de escape. El pulido de arroz es un ingrediente que suministra proteína de escape y almidón (López y Preston, 1977), la harina de sangre provee proteína no degradable en rumen con un contenido importante de lisina (Goedeken *et al.*, 1990) y la pollinaza complementa con nitrógeno no proteínico. Algunos experimentos con dietas basadas en caña de azúcar con urea, han mostrado que la mejor respuesta animal se presenta cuando el suplemento contiene proteína de escape y almidón (Silvestre *et al.*, 1977ab).

López y Preston (1977) combinaron distintos niveles de harina de sangre y pulido de arroz en el suplemento de bovinos alimentados con caña, y concluyeron que la respuesta en ganancia sería positiva al nivel de pulido de arroz y negativa con el de harina de sangre. De acuerdo con la ecuación de regresión presentada por estos autores, la ganancia de peso esperada para el presente experimento sería de 342 g/d, sin embargo, la ganancia observada fue mayor (528 g/d). Es importante señalar que López y Preston (1977) usaron niveles de 100 a 420 g de harina de sangre/d y de cero a 800 g de pulido de arroz, mientras, que en nuestro estudio el consumo fue de 100 g harina de sangre y 250 g de pulido de arroz. Los resultados de Ramos *et al.* (1998) muestran que la máxima ganancia de peso se obtiene con un consumo de harina de sangre alrededor de 80 y 100 g/d, por lo que niveles mayores podrían causar un efecto negativo como el observado por López y Preston (1977).

No se detectaron diferencias en el consumo total de materia seca, pero al igual que el experimento anterior sobre efectos asociativos de la caña de azúcar y pasto hay una sustitución de la caña por el consumo de pasto. El consumo de caña representó el 39.2, 29.3 y 24.6 % de la ración total para los tratamientos con caña, caña-urea y caña-urea-suplemento proteínico respectivamente. Se detectaron diferencias ( $P < 0.01$ ) en el consumo de proteína al adicionar urea y suplemento proteínico y una disminución cuando la caña se ofrece sin urea

(Cuadro 9). No hubo ningún efecto en el consumo de fibra detergente neutro y ácido (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la suplementación con caña de azúcar (con y sin urea) y un suplemento proteínico en el consumo y digestibilidad *in vivo*.

	Pasto estrella	Caña de azúcar			EE
		-Urea	+ Urea	+Urea +Suplemento	
<b>Consumo, kg MS/d</b>					
Caña de azúcar	0.0	2.7 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	1.98 <sup>c</sup>	1.18
Pasto estrella	8.9 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>	6.1 <sup>bc</sup>	5.2 <sup>b</sup>	0.89
Suplemento				0.93	
Total	8.9	6.9	8.6	8.11	0.88
Proteína, g/d	715 <sup>b</sup>	614 <sup>a</sup>	745 <sup>b</sup>	839 <sup>c</sup>	7.10
FDN, kg/d	6.96	5.2	6.53	5.91	0.69
FDA, kg/d	4.0	3.18	3.94	3.48	0.39
<b>Digestibilidad, %</b>					
MS	75.3 <sup>a</sup>	69.1 <sup>b</sup>	71.8 <sup>ab</sup>	72.3 <sup>ab</sup>	1.07
Proteína	67.6 <sup>b</sup>	65.5 <sup>a</sup>	66.1 <sup>b</sup>	70.9 <sup>c</sup>	1.44
FDN	78.8 <sup>a</sup>	71.4 <sup>b</sup>	74.7 <sup>b</sup>	74.3 <sup>b</sup>	1.06
FDA	71.2 <sup>a</sup>	62.5 <sup>b</sup>	66.8 <sup>ab</sup>	67.8 <sup>a</sup>	1.26

<sup>abc</sup> Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes (P<0.01)

MS: Materia seca

FDN: Fibra detergente neutro

FDA: Fibra detergente ácido

La digestibilidad de la MS no se afectó cuando se suministro la caña con urea y urea con suplemento proteínico, pero fue menor cuando se suministró la caña sin urea (Cuadro 9), lo cual puede explicarse por una menor tasa de pasaje (Poppi y McLennan, 1995). La incorporación del suplemento incrementó la digestibilidad de proteína y de las fracciones de fibra. Los valores de digestibilidad

de la MS son similares a los reportados en otros estudios con caña de azúcar (Ffolukes y Preston, 1979; Preston, 1977).

### **5.3. Cinética de digestión ruminal *in situ* de la pared celular de tres variedades de caña de azúcar**

Los cultivares modernos de caña de azúcar son híbridos de tres especies *Saccharum officinarum*, *Saccharum spontaneum* y *Saccharum robustum*. La selección de variedades de caña se ha definido en función de adaptación al clima y suelo de las zonas de los ingenios del país, así como de la resistencia a plagas y enfermedades, concentración de sacarosa y rendimientos de biomasa (Tijerina y Crespo, 1998). Sin embargo, existe poca información sobre el valor nutritivo de las variedades mexicanas.

La variedad MEX69-290 ha tenido un incremento en su uso como cultivo comercial (Tijerina y Crespo, 1998) mientras que la Q-107 y MEX83-481 se encuentra en evaluación en el Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, por lo cual fueron seleccionadas para su estudio. En México se ha venido impulsando el uso de variedades mexicanas, en cultivos comerciales, predominando 22 variedades, 8 extranjeras y 14 mexicanas (Tijerina y Crespo, 1998). Garza y Shimada (1979) estudiaron la digestibilidad de 6 variedades de caña de azúcar seleccionadas con características agronómicas e industriales en el Estado de Tamaulipas, obteniendo valores similares en digestibilidad, para los seis cultivares. En Cuba, Molina (1999; comunicación personal), está trabajando con 74 variedades e híbridos para conocer su valor forrajero. Sin embargo a pesar de que en México existen numerosos ecotipos de caña de azúcar, no existe información sobre el valor nutricional para rumiantes de las variedades de caña con potencial forrajero en el sureste de México. En el Cuadro 10 se presenta la composición de las tres variedades de este estudio, donde se pueden observar algunas diferencias en la concentración de contenidos celulares, FDN, FDA y en los azúcares solubles, las cuales no son de gran magnitud. La concentración de

azúcares solubles es similar al reportado por otros trabajos (Montpellier y Preston, 1977; Ferreiro *et al.*, 1977d).

Cuadro 10. Composición de tres variedades de caña de azúcar madura 12 meses.

Composición	Mex69-290	Mex 83-481	Q-107	EE
Materia seca, %	32.0	31.9	32.6	0.81
Proteína, %	1.93	2.53	1.94	0.20
CC, %	46.30 <sup>a</sup>	39.50 <sup>b</sup>	47.29 <sup>a</sup>	3.60
FDN, %	53.51 <sup>b</sup>	60.50 <sup>a</sup>	52.55 <sup>b</sup>	3.58
Hemicelulosa, %	14.45	15.64	15.05	3.58
FDA, %	39.06 <sup>b</sup>	44.86 <sup>a</sup>	37.50 <sup>c</sup>	1.20
Lignina, %	7.30	6.72	7.78	0.48
°Brix	18.9 <sup>a</sup>	16.4 <sup>b</sup>	19.6 <sup>a</sup>	1.78

<sup>abc</sup> Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P<0.01)

El conocimiento de la cinética de digestión de las fracciones de la fibra es muy importante por los efectos que tiene en el tiempo de retención y en la regulación del consumo voluntario (Poppi *et al.*, 1981; Mertens y Ely, 1982), además de que los estudios de degradación *in situ* permiten identificar algunas características intrínsecas de las paredes celulares que limitan su digestión (Mertens, 1993). Existen algunas diferencias en la degradación de la MS de la caña integral, con una tendencia a mayor digestión de las variedades Q-107 y MEX69-290, lo cual puede estar asociado con un mayor contenido de azúcares solubles y con la menor concentración de FDN y FDA (Cuadro 10 y Figura 1). En el Cuadro 11 y en la Figura 2 se puede observar que la digestión de la FDN es similar para las tres variedades estudiadas hasta las 24 h de incubación, destacando la variedad Q-107 en mayor degradación hasta las 72 horas de incubación. A pesar de que no hubo diferencias estadísticas en la degradación de la FDA (Cuadro 11), la mayor digestión de la FDN de la variedad Q-107 y la

menor degradación de su FDA (Figura 3), coincide con la mayor digestibilidad de la hemicelulosa (Figura 4).

Cuadro 11. Digestibilidad *in situ* de tres variedades de caña de azúcar madura.

Componente	Horas	Variedad			EE
		Mex69-290	Mex83-481	Q-107	
MS	3	46.2 <sup>a</sup>	36.6 <sup>b</sup>	47.6 <sup>a</sup>	1.68
	6	46.5 <sup>b</sup>	37.7 <sup>c</sup>	49.6 <sup>a</sup>	1.34
	9	47.3 <sup>a</sup>	37.9 <sup>b</sup>	49.5 <sup>a</sup>	1.78
	12	49.2 <sup>a</sup>	39.3 <sup>b</sup>	51.9 <sup>a</sup>	1.84
	24	54.7 <sup>a</sup>	45.8 <sup>b</sup>	55.2 <sup>a</sup>	3.42
	48	57.1	47.9	56.2	5.28
	72	61.9 <sup>ab</sup>	52.5 <sup>b</sup>	58.9 <sup>a</sup>	4.11
	96	63.8 <sup>a</sup>	55.1 <sup>b</sup>	61.8 <sup>a</sup>	3.22
Kd h <sup>-1</sup>		-0.032	-0.024	-0.023	0.012
FDN	3	9.6	12.1	4.9	4.48
	6	10.4	13.8	6.5	5.65
	9	12.3	14.9	6.4	4.92
	12	15.0	16.6	9.8	6.90
	24	18.7	20.0	24.4	4.45
	48	24.6 <sup>ab</sup>	23.4 <sup>b</sup>	29.2 <sup>a</sup>	2.57
	72	35.1 <sup>ab</sup>	32.4 <sup>b</sup>	39.5 <sup>a</sup>	3.51
	96	38.3	35.7	42.6	5.50
Kd h <sup>-1</sup>		-0.034	-0.019	-0.042	0.023
FDA	3	3.3 <sup>b</sup>	3.3 <sup>b</sup>	5.7 <sup>a</sup>	0.91
	6	4.4 <sup>ab</sup>	3.7 <sup>b</sup>	5.4 <sup>a</sup>	0.89
	9	4.0	4.1	4.6	0.93
	12	4.5	4.2	6.0	0.99
	24	6.5	5.6	6.0	1.04
	48	8.7	8.1	7.0	0.99
	72	8.8	9.6	8.0	2.05
	96	11.8	12.8	9.5	2.23
Kd h <sup>-1</sup>		-0.019	-0.012	-0.014	0.006

<sup>abc</sup> Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P<0.05)

kd: Tasa de digestión (%/h)

Es posible que existan diferencias en la forma de asociación con la lignina y en los enlaces cruzados entre la lignina y la hemicelulosa entre variedades, o bien que existan diferencias en la composición de los ácidos fenólicos (Akin, 1986; Buxton y Russell, 1988). Si bien se ha demostrado que la lignificación es uno de los factores que influyen en la tasa de digestión de las paredes celulares, existen otros factores intrínsecos que no han sido plenamente identificados (Van Soest, 1982; Mertens, 1993; Weimer, 1998), pero que se asocian a la tasa individual de degradación de los carbohidratos estructurales o a las proporciones de arabinosa y glucosa, de rápida degradación, con xilosa y ácidos urónicos, de lenta degradación (Dekker *et al.*, 1972; Ben-Ghedalia y Rubinstein, 1984), lo cual sería motivo de estudios posteriores en la caña de azúcar. En la digestión de la FDN hubo algunas diferencias a las 48 y 72 h de incubación que no afectaron la tasa de degradación de esta fracción (Cuadro 11). Existieron algunas diferencias en la digestión de la FDA en las primeras horas de incubación, que no se manifiestan en la tasa de digestión de la fracción potencialmente digestible ni en la fracción indigestible de la FDA.

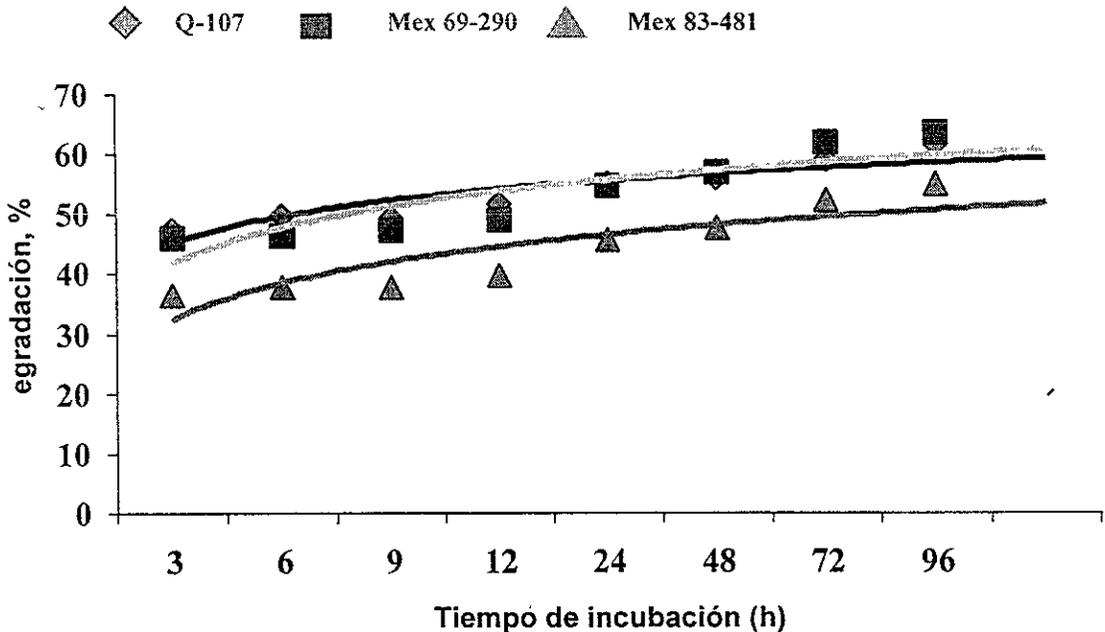


Figura 1. Digestibilidad *in situ* de tres variedades de caña de azúcar.

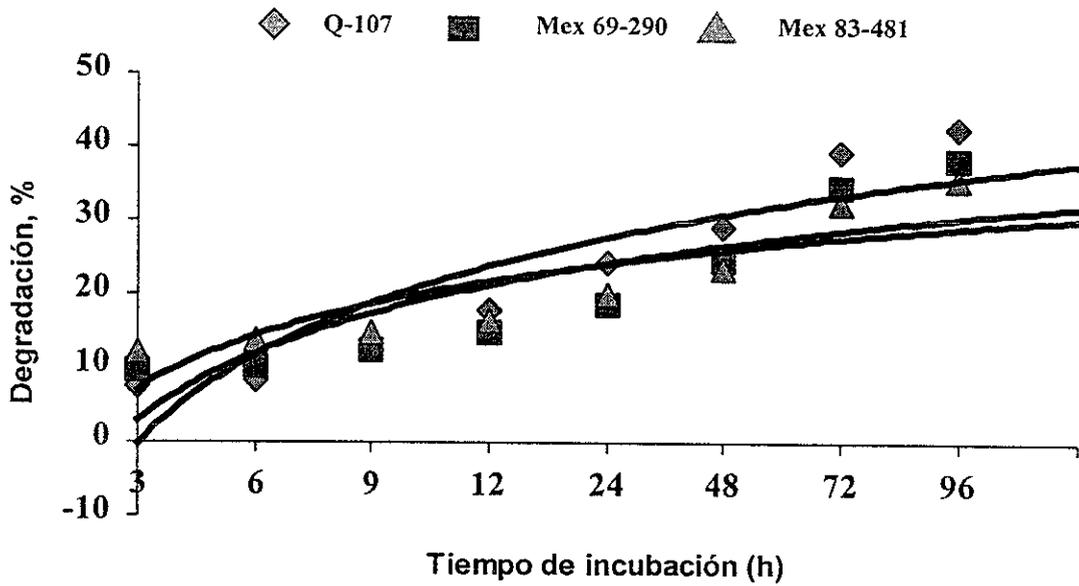


Figura 2. Digestibilidad *in situ* de FDN de tres variedades de caña de azúcar.

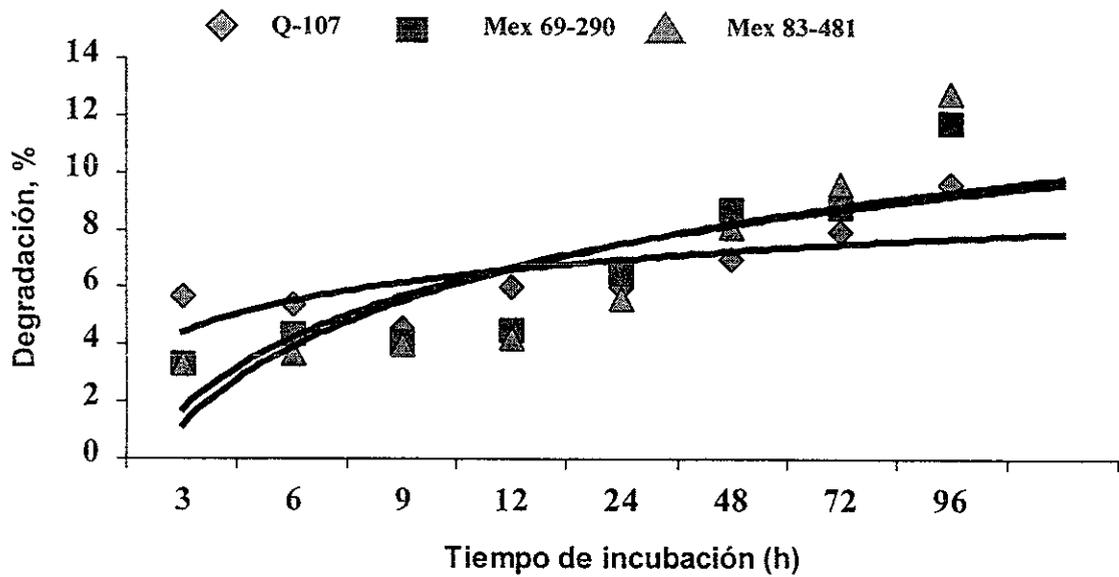


Figura 3. Digestibilidad *in situ* de FDA de tres variedades de caña de azúcar.

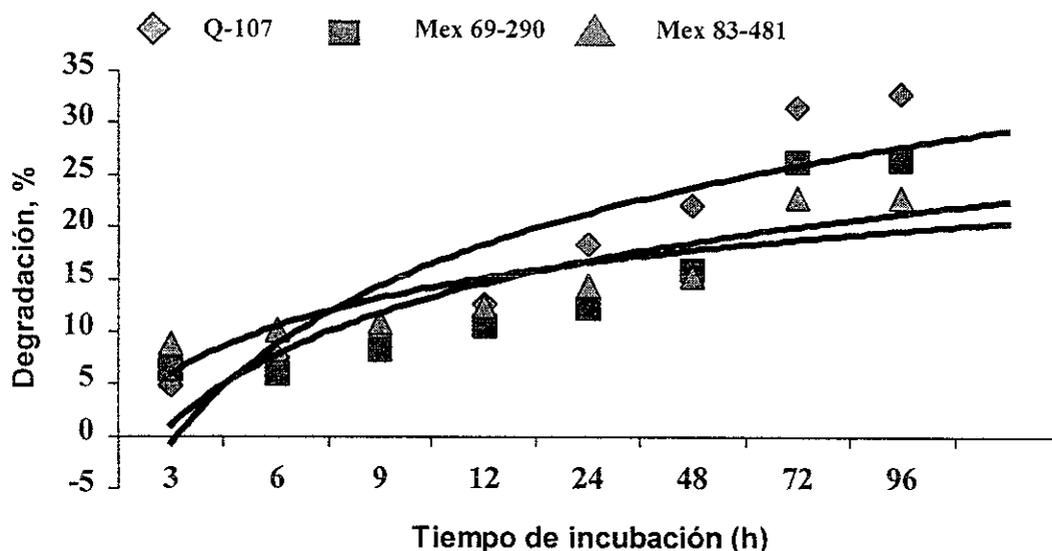


Figura 4. Digestibilidad *in situ* de hemicelulosa de tres variedades de caña de azúcar.

Estudios en otros forrajes han mostrado poca diferencia en la tasa de digestión de la FDA (Cherney *et al.*, 1986), mientras que otros han encontrado diferencias por la metodología de preparación de la fracción (Moore y Cherney, 1986; Sanderson *et al.*, 1989).

La tasa de digestión de la FDN de la caña de azúcar puede considerarse como baja, si consideramos que las gramíneas reportadas en la literatura tienen un rango de .05 a .14, y las leguminosas tienen una media de .11 (Mertens, 1993). La tasa de digestión de la FDN del bagazo (.025) y de la punta de caña (.031), reportada por Amjed *et al.* (1992), confirma que la degradación ruminal de las fracciones fibrosas es limitada, y con tratamientos con álcali y peróxido de hidrógeno, se puede reducir la concentración de lignina y se duplica la tasa de digestión y la fracción de FDN potencialmente digerible. Esto explica los incrementos en el consumo voluntario cuando la caña de azúcar se trata con hidróxido de sodio (Losada *et al.*, 1979b). Alcantara *et al.*, (1989) con caña ensilada tratada con hidróxido de sodio incremento la solubilidad de las paredes celulares, la digestibilidad ruminal y el consumo.

En las Figuras 5, 6 y 7, se presenta la composición de la fracción residual de las variedades de caña. Las diferencias que se presentan entre la digestión de la MS de la caña integral y de las paredes celulares se deben a que los componentes del contenido celular son digeridos de 3 a 10 veces más rápido que los componentes estructurales (Mertens, 1993). La digestión de los carbohidratos estructurales es un proceso complejo que requiere la participación de múltiples enzimas (Weimer, 1998).

En las Figuras 5, 6 y 7, se presenta la degradación de las 3 variedades, donde se puede observar que la desaparición de los contenidos celulares es rápida al inicio de la incubación y que los componentes de la fibra son menos digestibles, y la fracción residual de la FDA es la menos degradable posiblemente por las características de la celulosa y por la mayor proporción que representa la lignina en esa fracción.

No se detectó la fase lag en ninguna de las fracciones de degradación *in situ* de la fibra; sin embargo, los estudios *in vitro* de crecimiento microbiano confirman su existencia biológica y algunos investigadores sugieren que su falta de detección en los estudios de cinética de degradación puede deberse al modelo matemático usado, y que se puede detectar con modelos compartamentales (Varga, 1986; Mertens, 1993; Van Milgen *et al.*, 1991). Estudios de degradación de bagazo y punta de caña muestran que la fase lag para estos sustratos es entre una y dos horas (Amjed *et al.*, 1992).

González (1995) ha señalado que la lenta tasa de degradación de la fibra tiene como consecuencia una reducida velocidad de tránsito y vaciado del tracto digestivo, lo cual explica el consumo limitado de la caña (Leng y Preston, 1976) aún cuando se ofrece *ad libitum*. La limitante de consumo de caña se puede explicar por la baja digestibilidad de la FDN, su tasa de digestión lenta y un tiempo de retención de la FDN de alrededor de 73 horas (Aroeira *et al.*, 1993ab) el cual es mucho mayor que el reportado por Poppi *et al.*, (1981) para la FDN de pastos tropicales (32 a 45 h). Figueira *et al.* (1993) reportan valores de tiempo medio de

retención ruminal de 52 a 60 horas para la MS de caña de azúcar suplementada con urea.

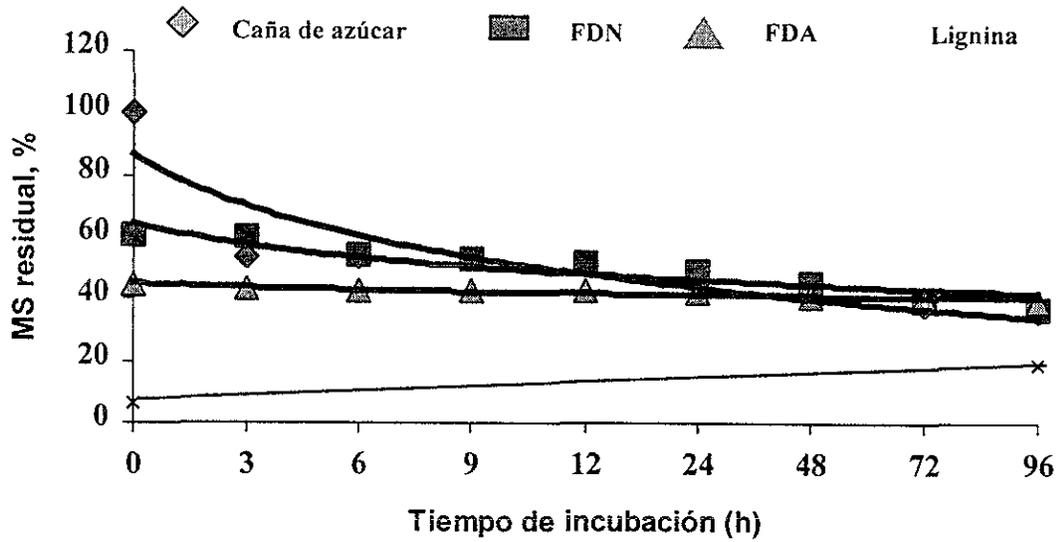


Figura 5. Desaparición ruminal de la caña de azúcar variedad Mex 69-290 y sus fracciones.

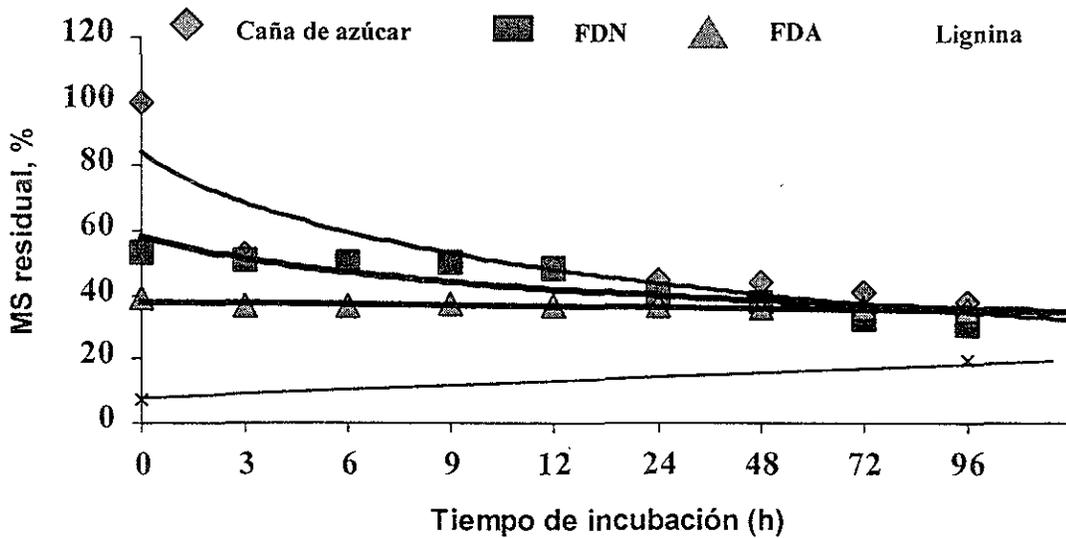


Figura 6. Desaparición ruminal de la caña de azúcar variedad Q-107 y sus fracciones.

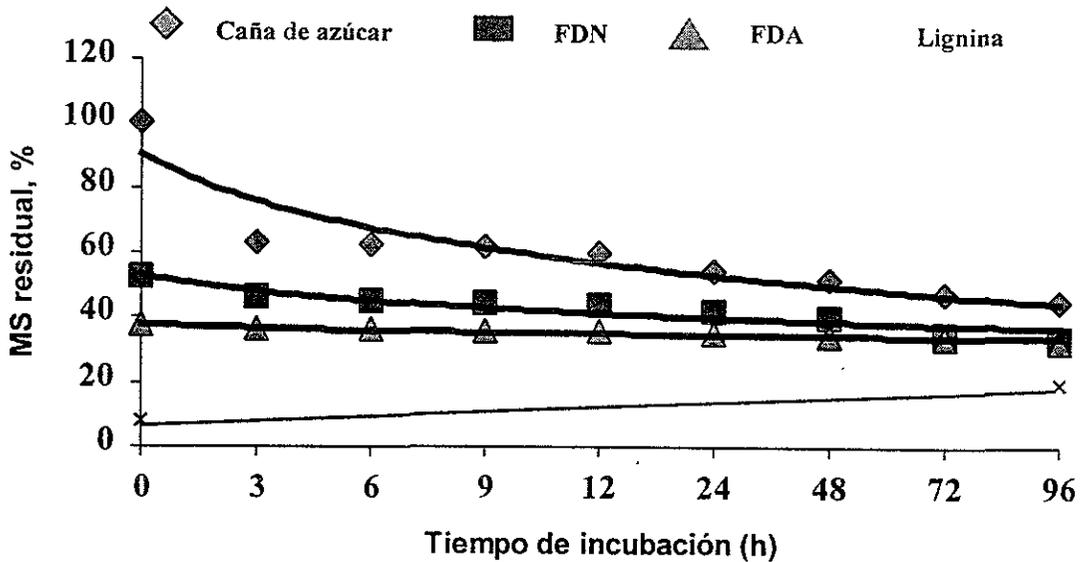


Figura 7. Desaparición ruminal de la caña de azúcar variedad Mex 83-481 y sus fracciones.

#### 5.4. Crecimiento *in vitro* de bacterias ruminales en caña de azúcar con o sin la adición de enzimas fibrolíticas exógenas

En el Cuadro 12 y en la Figura 8 se presenta el crecimiento de las bacterias ruminales de acuerdo con sustrato incubado. A pesar de que se manifiesta una tendencia hacia mayor crecimiento microbiano en la caña de azúcar, las diferencias estadísticas con respecto al sustrato se detectan a partir de las 3.5 horas.

En las primeras horas de incubación no se presentan diferencias significativas, posiblemente por la gran variabilidad de la absorbancia, coincidiendo con las observaciones de Mertens (1973) quién señala que en los trabajos *in vitro*, en la primera etapa la variabilidad es alta. El mayor crecimiento en caña integral se debe a la presencia de azúcares solubles de fácil degradación (Banda y Valdez, 1976), mientras que el menor crecimiento en FDA se asocia con la lignina (Amjed *et al.*, 1992).

Cuadro 12. Crecimiento microbiano (densidad optica, nm) de microorganismos ruminales incubados en caña de azúcar y sus fracciones de fibra

Tiempo (h)	Caña de azúcar	FDN	FDA	EE
0.5	0.060	0.037	0.040	0.034
1.0	0.087	0.052	0.054	0.040
1.5	0.129	0.068	0.074	0.058
2.0	0.156	0.094	0.097	0.070
2.5	0.148	0.099	0.088	0.059
3.0	0.159	0.118	0.095	0.066
3.5	0.200 <sup>a</sup>	0.155 <sup>ab</sup>	0.111 <sup>b</sup>	0.063
4.0	0.240 <sup>a</sup>	0.169 <sup>a</sup>	0.121 <sup>b</sup>	0.057
4.5	0.265 <sup>a</sup>	0.221 <sup>a</sup>	0.146 <sup>b</sup>	0.048
5.0	0.293 <sup>a</sup>	0.245 <sup>a</sup>	0.159 <sup>b</sup>	0.055
5.5	0.307 <sup>a</sup>	0.252 <sup>a</sup>	0.162 <sup>b</sup>	0.046
6.0	0.333 <sup>a</sup>	0.271 <sup>b</sup>	0.182 <sup>b</sup>	0.048
6.5	0.342 <sup>a</sup>	0.294 <sup>a</sup>	0.203 <sup>b</sup>	0.055
7.0	0.361 <sup>a</sup>	0.301 <sup>a</sup>	0.212 <sup>b</sup>	0.050
7.5	0.367 <sup>a</sup>	0.308 <sup>a</sup>	0.216 <sup>b</sup>	0.051
8.5	0.391 <sup>a</sup>	0.321 <sup>a</sup>	0.242 <sup>b</sup>	0.059

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P<0.05)

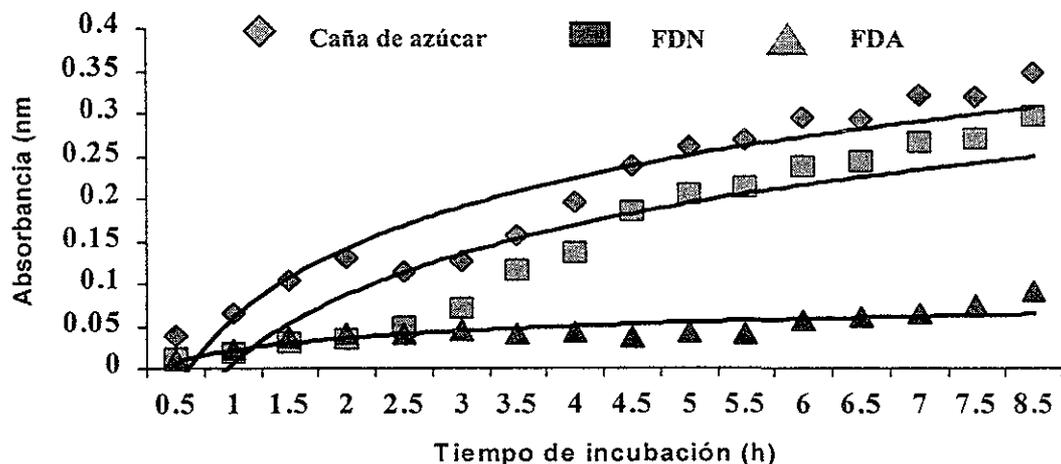


Figura 8. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con caña de azúcar y sus fracciones de fibra.

La respuesta en el crecimiento microbiano a la adición de enzimas se presenta en las Figuras 9, 10 y 11 para cada sustrato. En el Cuadro 13 se presentan los efectos principales, donde se aprecia un mayor crecimiento microbiano en respuesta a la adición de las enzimas. Existe una respuesta positiva a la adición de las enzimas fibrolíticas, indicando que están aumentando la disponibilidad de metabolitos para el crecimiento microbiano. El mayor cambio se observa en la fracción de FDA (Figura 11), lo cual podría estar asociado a una mayor digestibilidad debida a la acción de las enzimas sobre los enlaces lignocelulósicos y posiblemente a otros efectos indirectos. Es posible que la adición de enzimas exógenas pudiesen incrementar la fracción potencialmente digestible de la celulosa de la FDA (Akin, 1986).

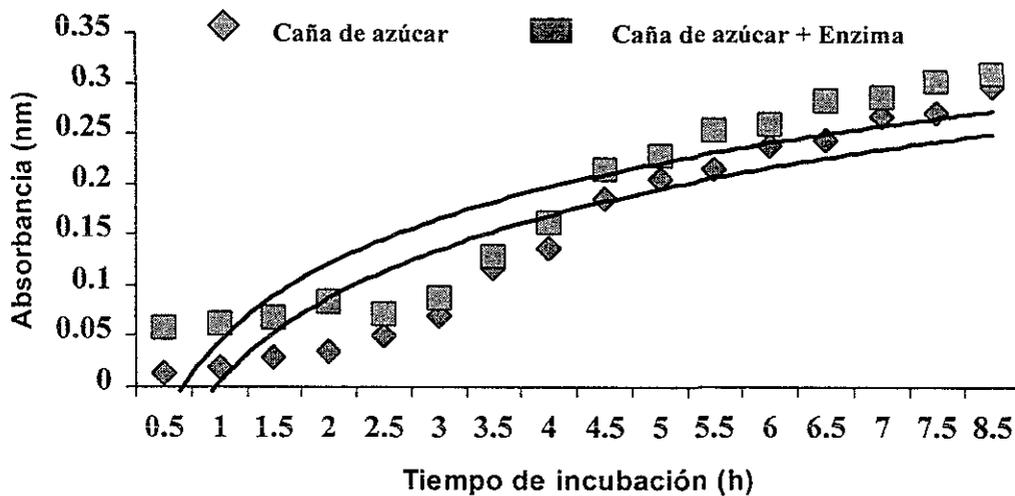


Figura 9. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con caña de azúcar con o sin enzimas fibrolíticas exógenas.

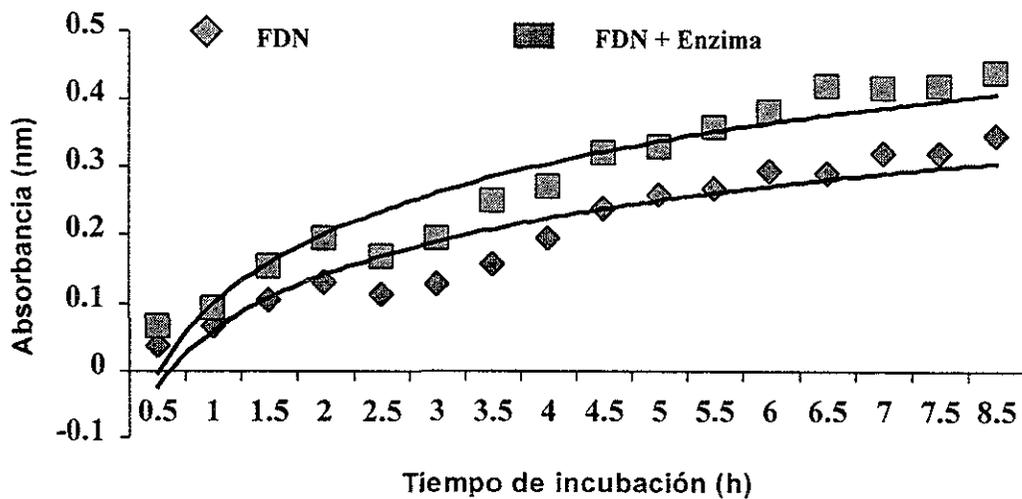


Figura 10. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con FDN de caña de azúcar con o sin enzimas fibrolíticas exógenas.

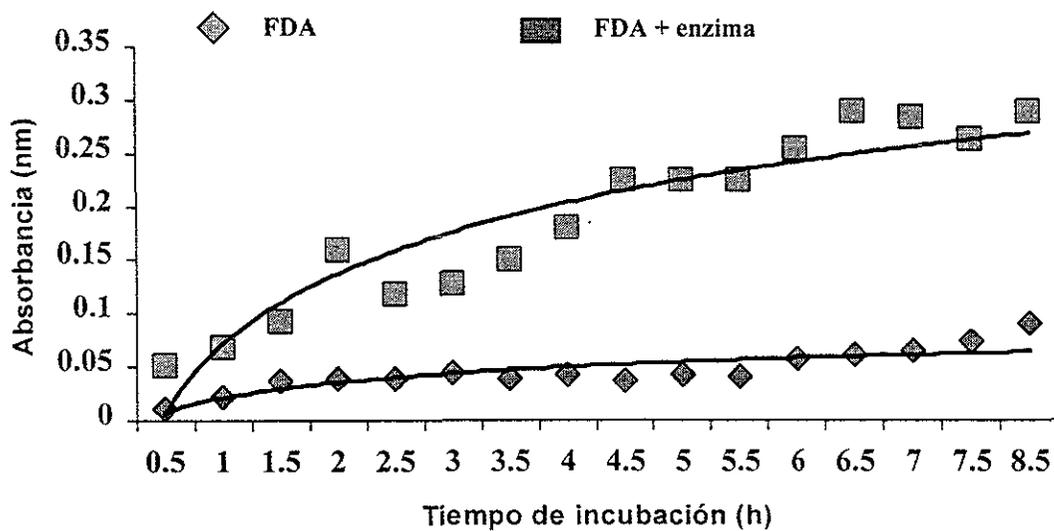


Figura 11. Crecimiento de bacterias ruminales incubadas con FDA de caña de azúcar con o sin enzimas fibrolíticas exógenas.

Cuadro 13. Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas en el crecimiento microbiano (densidad óptica, nm) al incubar microorganismos ruminales con caña de azúcar.

Tiempo (h)	Testigo	+ Enzima	EE
0.5	0.026 <sup>b</sup>	0.070 <sup>a</sup>	0.034
1.0	0.042 <sup>b</sup>	0.093 <sup>a</sup>	0.040
1.5	0.066 <sup>b</sup>	0.124 <sup>a</sup>	0.058
2.0	0.081 <sup>b</sup>	0.162 <sup>a</sup>	0.070
2.5	0.077 <sup>b</sup>	0.158 <sup>a</sup>	0.059
3.0	0.091 <sup>b</sup>	0.170 <sup>a</sup>	0.066
3.5	0.118 <sup>b</sup>	0.206 <sup>a</sup>	0.063
4.0	0.142 <sup>b</sup>	0.229 <sup>a</sup>	0.057
4.5	0.176 <sup>b</sup>	0.266 <sup>a</sup>	0.048
5.0	0.194 <sup>b</sup>	0.290 <sup>a</sup>	0.055
5.5	0.200 <sup>b</sup>	0.301 <sup>a</sup>	0.046
6.0	0.223 <sup>b</sup>	0.323 <sup>a</sup>	0.048
6.5	0.232 <sup>b</sup>	0.348 <sup>a</sup>	0.055
7.0	0.246 <sup>b</sup>	0.359 <sup>a</sup>	0.050
7.5	0.249 <sup>b</sup>	0.368 <sup>a</sup>	0.051
8.5	0.273 <sup>b</sup>	0.385 <sup>a</sup>	0.059

<sup>ab</sup> Medias con letra diferente entre hileras son diferentes (P<0.01)

En el Cuadro 14 se presentan los parámetros de crecimiento bacteriano en la caña de azúcar. A pesar de las diferencias presentadas en el Cuadro 13, no se detectaron diferencias estadísticas en los parámetros del crecimiento microbiano en la caña o sus fracciones. Este problema ha sido detectado en el análisis de cinética de primer orden, por lo que Mendoza *et al.* (1995b) sugieren que los datos se analicen por tiempo de incubación, dado que pueden existir diferencias en algunos tiempos de incubación y la linearización con logaritmo natural cambia el error residual del modelo, lo cual no permite detectar como estadísticas algunas diferencias que biológicamente son importantes. Las tasas de crecimiento microbiano y la tasas de generación fueron similares en la caña de azúcar integral y en las fracciones de FDN y FDA (Cuadro 14). Las tasas de crecimiento observadas en este experimento son menores a las reportada para cultivos mixtos

en sustratos lignocelulósicos ( $1.13 \text{ h}^{-1}$ ) como el rastrojo de maíz (Miranda, 1998). Si consideramos que los microorganismos celulolíticos *F. succinogenes*, *R. flavefaciens* y *R. albus*, tienen la capacidad de degradar la celulosa a una tasa entre  $.05$  y  $.10 \text{ h}^{-1}$  (Weimer, 1998), podemos inferir que la limitada tasa de crecimiento en caña de azúcar está influida por la lignificación de la fibra (cuadro 12) y puede ser la principal limitante para el aprovechamiento de la caña de azúcar, por lo que es necesario buscar alternativas para incrementar la digestibilidad de dicha fracción con tratamientos químicos, enzimáticos o biológicos. La fase estacionaria de crecimiento microbiano tendió a ser mayor en la caña integral (Cuadro 14). Se han reportado valores de 2.5 a 3.0 h de fase lag en incubaciones con rastrojo de maíz con 70% de FDN (Miranda, 1998), los cuales son menores a los observados en este estudio. La fase lag en la lignocelulosa de la caña de azúcar confirma la importancia de la lignina como limitante en la digestión de este cultivo.

Cuadro 14. Características del crecimiento microbiano y digestibilidad *in vitro* en la caña de azúcar y sus fracciones de fibra

Variables	Caña de azúcar	FDN	FDA	EE
k, $\text{h}^{-1}$	0.214	0.330	0.267	0.11
m	0.860	3.680	0.581	5.62
Lag, h	0.46	3.18	5.06	5.73
Ymax	3.11	1.68	2.17	1.39
$k_{0.5}$	3.53	2.50	2.98	1.14
DIVMS	70.14 <sup>a</sup>	30.16 <sup>b</sup>	19.10 <sup>c</sup>	3.82

<sup>abc</sup> Medias con distinta literal entre hileras son diferentes ( $P < 0.01$ )

k: Tasa específica de crecimiento

m: Coeficiente de mantenimiento

Ymax: Crecimiento máximo

Lag: Fase de retraso

$k_{0.5}$  : Tasa de generación, h

FDN = Fibra detergente neutro

FDA = Fibra detergente ácido

DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la MS

La digestibilidad *in vitro* de la caña y sus fracciones de fibra refleja la actividad microbiana y pone de manifiesto las limitantes inherentes de las paredes celulares para la digestión ruminal (Cuadro 12). La mayor digestibilidad de caña de azúcar se debe a la concentración de azúcares solubles en el contenido celular (Banda y Valdez, 1976; Aroeira *et al.*, 1993ab).

Los efectos principales de la caña de azúcar o sus fracciones en el crecimiento microbiano se presentan en el Cuadro 14. Solo se observaron diferencias estadísticas en la digestibilidad, siendo mayor la de la caña de azúcar, seguida de la FDN y FDA. La digestibilidad *in vitro* de la FDN observada en este estudio está dentro del rango de valores reportados (Pate, 1977) y coincide con la FDN potencialmente digerible reportada para subproductos de la caña (Amjed *et al.*, 1992) asociada a la relación lineal negativa entre la digestibilidad *in vitro* de la FDN y la proporción FDN:lignina (Pate, 1977). La menor digestibilidad de la FDA confirma la importancia de la lignina como limitante en el aprovechamiento de la caña por los microorganismos ruminales.

En el Cuadro 15 se presentan los efectos principales de las enzimas fibrolíticas en los parámetros de crecimiento microbiano y en la digestibilidad *in vitro*. La adición de la enzima incrementó la digestibilidad de los sustratos en 3.81 unidades porcentuales, lo cual puede ser la explicación del mayor rendimiento microbiano máximo, sin afectar otros parámetros del crecimiento. Se han reportado incrementos en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, FDN y FDA de gramíneas y leguminosas al adicionar la enzima Fibrozyme (Feng *et al.*, 1996; Tricarico *et al.*, 1998; Pinos, 1999) al igual que en experimentos *in vivo* (Krause *et al.*, 1998; Beauchemin *et al.*, 1998). Sin embargo, los resultados han sido muy variables, posiblemente debida a la relación enzima sustrato y a la degradación de las enzimas por proteasas ruminales, además de que es posible que los efectos de las enzimas se manifiesten en las primeras horas de incubación (Harris, 1998).

Cuadro 15. Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas en el crecimiento microbiano y digestibilidad *in vitro* en caña de azúcar.

Item	Testigo	+ Enzima	EE
k, h <sup>-1</sup>	0.317	0.228	0.11
m	2.97	0.647	5.62
Lag, h	3.340	8.314	5.73
Ymax	1.549 <sup>b</sup>	3.038 <sup>a</sup>	1.39
k <sub>0.5</sub>	2.736	3.253	1.13
DIVMS	38.71 <sup>a</sup>	42.52 <sup>b</sup>	2.06

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P<0.01)

**K:** Tasa específica de crecimiento

**m:** Coeficiente de mantenimiento

**Ymax:** Crecimiento máximo

**Lag:** Fase de retraso

**K<sub>0.5</sub>:** Tasa de generación, h

**DIVMS:** Digestibilidad *in vitro* del sustrato incubado

**FDN =** fibra detergente neutro

**FDA =** Fibra detergente ácido

Las enzimas usadas (Fibrozyme) son una combinación de celulasas y hemicelulasas producidas por hongos, y han sido protegidas por glucosilación, por lo que se estima que pueden permanecer activas alrededor de 12 horas en el rumen (Harris, 1998; Lyons, 1998). Pinos (1999) estudió la composición y degradación ruminal *in vitro* de la enzima fibrozyme; el complejo tiene 93.6% de materia seca, 45.8% FDN, 32.5% FDA y 9.5% de cenizas, encontrando un tiempo medio de degradación del complejo de 57 horas, con una mayor liberación de nitrógeno amoniacal después de las 24 horas.

El uso de enzimas microbianas celulolíticas exógenas para incrementar la digestibilidad de la fibra en la caña de azúcar es una alternativa que debe de evaluarse *in vivo*. Algunos estudios con gramíneas y leguminosas de clima templado han mostrado que con la aplicación de enzimas fibrolíticas se puede mejorar la digestibilidad y el crecimiento de novillos en un 30% (Beauchemin *et al.*, 1996) y la producción de leche hasta en un 10% (Yang *et al.*, 1998; Beauchemin *et*

*al.*, 1998; Kung *et al.*, 1998). Conjuntando el conocimiento de la estructuras de la pared celular de la caña de azúcar y de las enzimas industriales, es posible desarrollar nuevas alternativas de tratamientos para mejorar el aprovechamiento de la celulosa y hemicelulosa por los rumiantes.

## VI. CONCLUSIONES

### **6.1. Efectos asociativos de caña de azúcar y pasto estrella en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal**

No se encontraron efectos asociativos en la digestibilidad al combinar el pasto estrella con distintos niveles de caña de azúcar.

De acuerdo con nuestros resultados, no hay evidencia para probar la hipótesis de que la combinación de caña de azúcar con pasto estrella afectaría negativamente la digestibilidad de la materia seca cuando la caña de azúcar en base húmeda se ofrece en 2 % del peso vivo (equivalente al 26% del consumo de la materia seca).

Los resultados de digestión *in situ* e *in vivo* indican que no hay un efecto negativo de los azúcares solubles de la caña de azúcar en la digestibilidad del pasto estrella ni de la fibra de la caña, por lo que podrían existir factores inherentes de la pared celular de la caña que podrían estar limitando su digestión ruminal.

### **6.2. Crecimiento de vaquillas en pastos tropicales suplementadas con caña de azúcar, urea y concentrado nitrogenado**

Se concluye que la caña de azúcar debe de ser suplementada con urea para usarse como forraje complementario en pasturas tropicales para mejorar la ganancia diaria de peso. Las vaquillas en pasturas tropicales con caña de azúcar responden positivamente a la suplementación proteínica.

Los resultados de este experimento muestran la posibilidad de usar la caña de azúcar adicionada con urea como un recurso complementario durante la sequía o bien para aumentar la producción de carne por unidad de superficie. La suplementación proteínica permite mejorar la respuesta animal en utilización de la caña como recurso estratégico en los trópicos.

### **6.3 Cinética de digestión ruminal *in situ* de la pared celular de tres variedades de caña de azúcar**

La composición y la degradación ruminal *in situ* de las tres variedades de caña MEX69-290, MEX83-481 y Q-107 es similar, y la digestión de las paredes celulares fue limitada.

### **6.4. Crecimiento *in vitro* de bacterias ruminales en caña de azúcar con o sin la adición de enzimas fibrolíticas exógenas**

El crecimiento microbiano en la caña de azúcar es limitado en las fracciones de fibra, posiblemente por el grado de lignificación de las paredes celulares. La mayor digestión *in vitro* de la caña en relación a sus fracciones de fibra está asociada a la presencia de azúcares solubles.

La adición de enzimas fibrolíticas incrementó el crecimiento bacterial máximo y aumentó la digestibilidad de la FDA, por lo que puede considerarse como un aditivo potencial para incrementar el aprovechamiento de dietas con caña de azúcar.

## 6.5. CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de esta investigación indican que es posible usar la caña adicionada con urea como un recurso forrajero complementario durante los períodos críticos de producción de forraje en el Estado de Tabasco. La caña de azúcar puede ser una alternativa viable para aumentar la producción de carne por unidad de superficie y la respuesta animal en ganancia de peso puede mejorarse al incluir suplementos proteínicos. Los estudios metabólicos y de crecimiento nos permiten concluir que se puede ofrecer la caña de azúcar con urea hasta un nivel de 2 % del peso vivo como forraje complementario sin afectar negativamente la digestibilidad, ni la fermentación ruminal. Los estudios de cinética ruminal y de crecimiento microbiano, indican que la tasa de digestión de las paredes celulares de la caña de azúcar es una de las principales limitantes en la digestión de la caña de azúcar. Finalmente uno de los aspectos relevantes de esta investigación fue la respuesta positiva de la adición de enzimas fibrolíticas exógenas en el crecimiento de microorganismos ruminales a nivel *in vitro*, aspecto que nos indica que se necesario realizar estudios para conocer el potencial *in vivo* del uso de estos aditivos para incrementar la disponibilidad de nutrientes de la caña de azúcar y mejorar su eficiencia de utilización.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Akin, D.E. 1986. Interactions of ruminal bacteria and fungi with southern forages. J. Anim. Sci. 63:962-977.
- Akin, D.E. and W.S. Borneman. 1990. Role of rumen fungi in fiber degradation. J. Dairy Sci. 73:3023-3032.
- Alarcón, Z.B., 1995. Cambio de peso de toretes en pastoreo en estrella africana y banco de proteína kudzú en condiciones tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Alcantara, E., A. Aguilera, R. Elliot and A. Shimada. 1989. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane harvested fresh and ensiled with and without NaOH. 4. Ruminant kinetics. Anim. Feed Sci. and Technol. 23:323-331
- Allen, M.S. and D.R. Mertens. 1988. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. J. Nutr. 118:261.
- Alvarez, F.J. and T.R. Preston. 1976a. Studies on urea utilization in sugar cane diets: effect of level. Trop. Anim. Prod. 1:98-104.
- Alvarez, J.F. y T.R. Preston. 1976b. Comportamiento del ganado de engorde en raciones de caña de azúcar madura e inmadura. Prod. Anim. Trop. 1:108-115
- Alvarez, F.J., A. Wilson y T.R. Preston. 1978. *Leucaena leucocephala* como suplemento protéico para la producción de leche y becerros en dietas de caña de azúcar. Comparación con pulido de arroz. Prod. Anim. Trop. 3:47-51.
- Aman, P. 1993. Composition and structure of cell wall polysaccharides. In: Forage cell wall structure and digestibility (A.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hastfield and J. Ralph) ASA-CSSA-SSSA, 677, S. Segoe Rd. Madison WI 53711, USA. 183-199
- Amjed, M., H.G. Jung and J.D. Donker. 1992. Effect of alkali hydrogen peroxide treatment on cell wall composition and digestion kinetics of sugarcane residues and wheat straw. J. Anim. Sci. 70 2877-2884.

- AOAC, 1980. Official Methods of Analysis (13th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Aranda, I.E. 1979. Respuesta a la suplementación de urea y pulido de arroz sobre algunos parametros digestivos de borregos alimentados en base de caña de azúcar. Tesis de Maestría. Colegio Superior de Agricultura Trópical. H. Cárdenas Tabasco.
- Aranda, I.E. 1990. Utilización de la caña de azúcar en el crecimiento y engorda de bovinos. Memoria 1er Seminario Ganadero. Colegio de Postgraduados. Asociación Ganadera Local de Huimanguillo, Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. pp1-12.
- Aranda, I.E. y C.H. Losada. 1980. Efecto de la edad de diferentes secciones de la caña de azúcar sobre la composición, digestibilidad y valor nutritivo. Informe Departamento de Nutrición. CSAT.
- Aranda, I.E.M., P. Díaz, G. Mendoza, C. García-Bojalil y M. Cobos. 1997. Consumo voluntario de diferentes proporciones de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) y caña de azúcar en borregos pelibuey en el trópico. Memorias XXVI Reunión de la Asociación Mexicana de Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp153-156.
- Aroeira, R.S., R.S. Lizieire, L.L. Matos and D.G. Figueira. 1993a. Rumen degradability and rate of passage of sugar cane + urea based diets, supplemented with cottonseed or rice meals in Holstein x Zebu steers. J. Anim. Sci. (Supp. 1) 71:273.
- Aroeira, R.S., D.G. Figueira, N.M. Rodriguez, I.B.M. Sampaio, F.C. Lopes e M.P. Torres. 1993b. Degradabilidade in situ dos nutrientes da cana-de-acúcar e do farelo de algodao em bovinos alimentados com farelo de algodao e cana-de acúcar de tres níveis de ureia. Arq. Bras. Med. Vet. Zoot. 45:221-233.

- Azuma, J., T. Nomura, and T. Koshijima. 1984. Lignin-carbohydrate complexes containing phenolic acids isolated from the culms of bamboo. *Agric. Biol. Chem.* 49:2661-2669.
- Banda, M. y R.E. Valdez. 1976. Efecto del estado de madurez sobre el valor nutritivo de la caña de azúcar. *Prod. Anim. Trop.* 1:96-99.
- Beauchemin, K.A., L.M. Rode and V.J.H. Sewalt. 1996. Fibrolitic enzymes increase fiber digestibility and growth rate steers fed dry forages. *Can. J. Anim. Sci.* 75:641-644
- Beauchemin, K.A., W.Z. Yang, and L.M. Rode. 1998. Effects of fibrolytic enzyme additives on extent of digestion and milk production of lactating cows. *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 1):358.
- Ben-Ghedalia, D.. and Rubinstein. 1984. The digestion of monosaccharide residues of the cell wall of oat and vetch hays by rumen contents in vitro. *J. Appl. Bacteriol.* 35: 1159-1164.
- Blasi, D.A., J.K. Ward, T.J. Klopfenstein and R.A. Britton. 1991. Escape protein for beef cows: III. Performance of lactating beef cows grazing smooth brome or big bluestem. *J. Anim. Sci.* 69:2294-2302.
- Bonhome, A. 1988. Endo 1,4- $\beta$ -glucanase and Endo-1, 4, 4- $\beta$ -Xylanase of the ciliate *Epidinium ecaudatum* free of cellulolytic and hemicellulolytic bacteria. *Jpn. J. Vet. Sci.* 50:543-547.
- Busscher, H.J. and A.H. Weerkamp. 1987. Specific and non specific interactions in bacterial adhesion to solid sustrate. *FEMS Microbiol. Rev.* 46: 165-173.
- Buxton, D.R. and J.R. Russell. 1988. Lignin constituents and cell-wall digestibility of grass and legume stems. *Crop Sci.* 28:553-558.
- Cabrera, E.J.I., G. Mendoza M., C. García B., S. González M., J. A. Ramos J. y E. Aranda I. 1995. Efecto de la suplementación nitrogenada y la adición de un cultivo microbiano (*Saccharomyces cerevisiae*) en la ganancia de peso de toretes en pastoreo. *Vet. Mex.* 26:228 (Supl. 2).

- Cabrera, E.I. 1996. Efecto de la suplementación nitrogenada y la adición de cultivo microbiano de *Saccharomyces cerevisiae* en el comportamiento de toretes en praderas tropicales. Tesis de Maestría. Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Carpenter, J.R., R.Y. Niino-DuPonte and T.S. Liang. 1993. Evaluation of the nutrient composition and *in vitro* and *in vivo* digestibility of bioconverted whole sugar cane (*Saccharum officinarum*) as a roughage source for ruminants. J. Anim. Sci. (Suppl. 1) 71:190.
- Carulla, J.F. 1990. Selectivity and intake of animals grazing an association of *Arachis pintoi* with *Brachiaria dictyoneura* in the savannas of Colombia. Thesis of Master of Science. University of Nebraska, Lincoln.
- Cassida, K.A. and M.R. Stokes. 1986. Eating and resting salivation in early lactation dairy cows. J. Dairy Sci. 69:1282-1292.
- Castillo, G.A. 1997. Variables técnicas y económicas que determinan la rentabilidad del sistema de rejeguería en Campeche. Tesis de Maestría. Especialidad de Ganadería, Colegio de Postgraduados.
- Cherney, J.H., K.J. Moore, J.J. Volenec and J.D. Axtell. 1986. Rate and extent of digestion of cell wall components of brown-midrib sorghum species. Crop Sci. 26:1055-1059.
- Chesson, A. and C.W. Forsberg. 1988. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. *In: The rumen microbial ecosystem* (P.N. Hobson Ed.). Elsevier Applied Science, New York. 251-284.
- Church, D.C. 1988. The ruminant animal digestive physiology and nutrition. Prentice hall, Englewood Cliffs, New Jersey USA. 564 p.
- Clarke, R.T.J. 1977. Protozoa in the rumen ecosystem. *In Microbial ecology of the gut*. Academic press London, New York, San Francisco. pp. 250-275
- Clary, W.P., B.L. Welch, and G.D. Booth. 1988. *In vitro* digestion experiments: importance of variation between inocula donors. J. Wildl. Manage. 52:358-361.

- CNIA. 1975a. El cultivo de la caña de azúcar en la región del Papaloapan. Comisión Nacional de la Industria. Folleto No. 4. México, D.F.
- CNIA. 1975b. El cultivo de la caña de azúcar en Tabasco. Comisión Nacional de la Industria. Folleto No. 3. México, D.F.
- CNIA. 1976. El cultivo de la caña de azúcar en la región Jalisco-Colima. Comisión Nacional de la Industria. Folleto No. 6. México, D.F.
- Cobos, P.M.A. 1994. Microbiología del rumen. En: memoria del Seminario Internacional de Producción de Carne Bovina en Corrales. Universidad Autónoma de Puebla, pp. 165-175.
- Cobos, M. and M. Yokoyama. 1993. Scanning and transmission electron microscopy of a ruminal flagellate protozoan. American Society for Microbiology, 93rd General meeting. Abstr. I-71. 252 p.
- Coleman, G.S. 1979. El papel de los protozoarios en el metabolismo de rumiantes alimentados con productos tropicales. *Prod. Anim. Trop.* 4:204-219
- Coleman, G.S. 1986 The amylase activity of 14 species of entodiniomorphid protozoa and the distribution of amylase in rumen digesta fractions of sheep containing no protozoa or one of seven different protozoal populations. *J. Agric. Sci. Camb.* 107:709.
- Coleman, G.S., J.I. Laurie and J.E. Bairey. 1977. The cultivation of the rumen ciliate *entodinium bursa* in the presence of *Entodinium caudatum*. *J. Gen. Microbiol.* 101: 253-258.
- Conrad, J.H., M.I. Florito and L.R. McDowell. 1990. Producción de 2000 kg de carne vacuna utilizando una ha de caña de azúcar. Conferencia Internacional sobre la Ganadería en los Trópicos. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida. pp B93-B107.
- Czerkawski, J.W. 1986. An introduction to Rumen Studies. Pergamon Press. pp 51-82.
- Dekker, R.F.H., G.N. Richards and M.J. Payne. 1972. Digestion of polysaccharide constituents of tropical pasture herbage in the bovine rumen. *Carbohydr. Res.* 22:173-185.

- Dixon, F.M. 1978. Caña de azúcar para la producción de carne. Caña de azúcar descortezada y picada comparada con heno y pulpa de cítricos. *Prod. Anim. Tróp.* 3:106-110.
- Draper, N. and H. Smith. 1981. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons. New York. 709 p.
- Eadie, J.M. and S.O. Mann. 1970. Development of the rumen microbial population: High starch diets and instability. In: A. T. Philipson (Ed.) *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Oriel Press, Newcastle Upon Tyne.
- Erwin, E.S., G.J. Marco and E.M. Emery. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 44:1768-1776.
- Feng, P.C., W. Hunt, G.T. Pitchard and W.E. Julien. 1996. Effect of enzyme preparations on *in situ* and *in vitro* digestive characteristics of mature cool-season grass forage in beef steers. *J. Anim. Sci.* 74:1349-1357.
- Ferreiro, H.M. y T.R. Preston. 1976. Engorda de ganado con caña de azúcar efecto de diferentes proporciones de tallo y punta. *Prod. Anim. Tróp.* 186-193.
- Ferreiro, H.M., T.M. Sutherland, A. Wilson and T.R. Preston. 1977a. Fattening cattle with sugar cane: A comparison of different supplements. *Trop. Anim. Prod.* 2:309-314.
- Ferreiro, H.M., T.R. Preston, and T.M. Sutherland. 1977b. Investigation of dietary limitations on sugar cane based diets. *Trop. Anim. Prod.* 2:56-61.
- Ferreiro, H.M., T.M. Sutherland and A. Wilson. 1977c. Effect of nitrogen source on rumen fermentation in diets based on sugar cane. *Trop. Anim. Prod.* 2:319-322.
- Ferreiro, H.M., T.M. Sutherland and T.R. Preston. 1977d. Brix and dry matter content as indices of urea requirements in diets based on sugar cane. *Trop. Anim. Prod.* 2:213-218.
- Ferreiro, H.M., T.R. Preston and T.M. Sutherland. 1977e. Digestibility of stalk and tops mature and immature sugar cane. *Trop. Anim. Prod.* 2:100-104.

- Ffoulkes, D. and T.R. Preston. 1979. Effect on voluntary intake and digestibility of supplementing chopped sugar cane stalk with cane tops, banana leaves or cassava forage. *Trop. Anim. Prod.* 4:37-41.
- Figueira, D.G., L.J.M. Aroeria, N.M. Rodriguez, I.B.M. Sampaio, F.C.F. Lopes e M.P. Torres. 1993. Dinamica ruminal e pós ruminal da cana-de açúcar e do farelo de algodao em bovinos aliemntados com farelo de algodao e cana-de-açúcar suplementada com tres diferentes níveis de uréia. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.* 45:71-80.
- García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM.
- García, T.E. 1980. Utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. *Pastos y forrajes* 3:503-554.
- García, G.W., F.A. Nekles and C.H.O. Lallo. 1990. Dietas basadas en forraje de caña de azúcar para la producción de carne. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 24:13-27.
- Garza, F.J., A.S. Shimada. 1979. Digestibilidad de seis variedades de caña de azúcar en borregos. *Tec. Pec. Mex.* 37:22-25
- Geerken, C.M., D. Calzadilla y R. González. 1987. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y Forrajes* 10:266-273.
- Gibb, D.J., T.J. Klopfenstein and M.H. Sindt. 1992. Combinations of rendered protein meals for growing calves. *J. Anim. Sci.*, 70:2581-2589.
- Gobierno del Estado de Tabasco. 1988. Tabasco, Centros integradores. Servicios Cartográficos y Editoriales. 182 p.
- Goedeken, F.K., T.J. Klopfenstein, R.A. Stock, R.A. Britton and M.H. Sindt. 1990. Protein value of feather meal for ruminants as affected by blood combinations. *J. Anim. Sci.* 68:2936-2944.

- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fibre analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). Agriculture Research Service, USDA, Agricultural Handbook No. 20 Washington, D.C.
- González, R.F. 1995. Contribución al estudio de los factores que limitan el consumo de forrajes de caña de azúcar integral por los bovinos. Tesis C. Dr. Cs. Instituto de Ciencia Animal. La Habana.
- González, R., Muñoz, E., Alfonso, F., González, R. M. y Enrique, A.V. 1989. Caña de azúcar como forraje para la producción de leche. 1. Efecto de la inclusión de forraje de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en el consumo y digestibilidad del alimento. Rev. Cubana Cienc. Agric. 23:131-136.
- González, R., E. Muñoz y R.M. González. 1991. Efecto de la suplementación nitrogenada en el consumo y tamaño de las partículas ruminales y fecales en vacas alimentadas con forraje de caña de azúcar. Rev. Cubana Cienc. Agric., 3:255-259
- Gooding, E.G.B. 1982. Efecto de la calidad de la caña sobre su valor como alimento para bovinos. Prod. Anim. Trop. 7:76-97.
- Grant, R.J. and D.R. Mertens. 1992. Altered fiber digestion kinetics associated with low pH and raw corn starch addition. In: Research summaries. U.S. Dairy Forage Research Center. Madison, Wisconsin, USA. pp 83-85.
- Harris, B. 1998. The emerging role of enzymes in ruminant diets: at long last, a breakthrough. Udder Information. Dr. Harri's Guide to Maximizing Dairy Performance. [www.alltech-bio.com/udder98.htm](http://www.alltech-bio.com/udder98.htm).pp1-13.
- Hart, S.P. 1987. Associative effects of sorghum silage and sorghum grain diets. J. Anim. Sci. 64:1779-1789.
- Hespell, R.B. and M.P. Bryan. 1979. Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factors on  $Y_{ATP}$ . J. Anim. Sci. 49:1640-1659.

- Hespell, R.B. and T.R. Whitehead. 1990. Physiology and genetics of xilan degradation by gastrontestinal tract bacteria. *J. Dairy Sci.* 73:3013-3022.
- Hungate, R. E. 1966. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press, N. Y.
- Hungate, R. E. 1984. Challenges in rumen microbiology. In: L. P. Milligan, W. L. Grovum and A. Dobson (Ed.). *Control and Metabolism in Ruminants. Proc. of the 6th Int. Symp. on Ruminant Physiology*.
- INEGI. 1991. Resultados Definitivos del VII Censo Agropecuario. Censos Agrícola, Ganadero y Ejidal. INEGI. ISBN 970-13-0487-X. Núm. de Cat. 115725.
- Jaseitis, D.K., J.E. Wholt and J.L. Evans. 1987. Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. *J. Dairy Sci.* 70:1391-1403.
- Jensen, A.E. and M.D. Hammond. 1964. A morphological study of trichomonads and related flagellates from the bovine digestive tract. *J. Protozool.* 11:386-394.
- Jouany, J.P. 1994. Methods of manipulating the microbial metabolism in the rumen. *Ann. Zootech.* 43:49-52.
- Keulen, J.V., and B.A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 44:282-287.
- Knaus, W.F., D.H. Beermann, T.F. Robinson, D.G. Fox and K.D. Finnerty. 1998. Effects of a dietary mixture and bone meal, feather meal, blood meal, and fish meal on nitrogen utilization in finishing Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 76:1481-1487.
- Krause, M., K.A. Beauchemin, L.M. Rode, B.I. Farr and P. Norgaard. 1988. Fibrolytic enzyme treatment of barley grain and source of forage in high-grain diets fed to growing cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2912-2920.
- Kung, L., R.J. Treacher, M.A. Cohen. 1998. Enzyme-treated forages for lactating cows. *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 1):196.

- Kudo, H., D. Jakober, R.C. Phillippe, K.J. Cheng, D.J.S. Barr, J.W. Costerton. 1990. Isolation and characterization of cellulolytic anaerobic fungi and associated mycoplasmas from the rumen of a steer fed a roughage diet. *Can. J. Microbiol.* 36:513-517.
- Kung, L., R.J. Treacher and M.A. Cohen. 1998. Enzyme-treated forages for lactating cows. *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 1):196.
- Lascano, C.E., J. Estrada and P. Avila. 1989. Animal production of pastures based on *Centrosema* spp. in the Eastern plains of Colombia. Proceedings of the 16th International Grassland Congress, Nice, France. 1179 p.
- Latham, M.J., D.G. Hobbs and P.J. Harris. 1979. Adhesion of rumen bacteria to alkali-treated plant stems. *Ann. Rech. Vet.* 10: 244-245.
- Lema, J.M. 1999. Aplicaciones de las enzimas lignolíticas en la decoloración de efluentes industriales y de blanqueo de pasta de celulosa. III Curso Internacional de Biotecnología Industrial UAM-Ixtapalapa. pp 80-93.
- Leng, R.A. 1989. Restricciones metabólicas para la utilización de la caña de azúcar y sus subproductos para el crecimiento y producción de leche en rumiantes mayores. Colección Geplacea, Serie Diversificación PNND. Grupo de países Latinoamericanos y del Caribe exportadores de azúcar. pp 23-57.
- Leng, R.A. and T.R. Preston. 1976. Sugarcane for cattle production. Present constraints, perspectives and research priorities. *Trop. Anim. Prod.* 1: 1-22.
- Loera, C.G. 1999. Las xilanasas de *Pphanerochaete chrysosporium*. III curso internacional de Biotecnología Industrial. UAM-Ixtapalapa. pp 5-14.
- López, J. and T.R. Preston. 1977. Rice polishings as a supplement in sugar cane diets for fattening cattle: effect of different combinations with blood meal. *Trop. Anim. Prod.* 2:143-147.
- López, J.M., T.R. Preston, T.M. Sutherland and A. Wilson. 1976. Pulidura de arroz en dietas de caña de azúcar. Efecto del nivel en condiciones de lluvia y sequía. *Prod. Anim. Trop.* 1:170-178.

ESTA TERCERA NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Lopez, J.M., A. Priego, A. Wilson and T.R. Preston. 1977. Rice polishings as a supplement in sugar cane diets: Effect of giving it as a separate meal or mixed with the sugar cane. *Trop. Anim. Prod.* 2:323-327.
- Losada, C.H. y I.E. Aranda. 1980. Efecto de la edad de diferentes fracciones de la caña de azúcar sobre la composición y valor nutritivo. Informe Departamento de Nutrición CSAT.
- Losada, H., E. Aranda, J. Ruiz and R. Alderete. 1979a. Effect of urea on voluntary intake and metabolic parameters in bulls fed sugar cane and molasses. *Trop. Anim. Prod.* 4:168-171.
- Losada, H., E. Aranda, R. Alderete and J. Ruiz. 1979b. The voluntary intake by cattle of chopped sugar cane treated with sodium hydroxide. *Trop. Anim. Prod.* 4:51-54.
- Lyons, T.P. 1998. The consumer is king: where will it all end for the feed industry. In: *Biotechnology in the Feed Industry*. Lyons, T.P. and K.A. Jacques (eds.). Proceedings of the Fourteenth Annual Symposium Nottingham University Press, Loughborough, Leics, UK. pp. 3-29.
- Mackie R. and B. White. 1990. Recent advances in ruminal microbial ecology and metabolism: Potential impact on nutrient output. *J. Dairy Sci.* 73:2971-2995.
- Maki, S.P., K.A. Johnson and C. Hunt. 1998. The effect of fibrolytic enzymes on the digestibility of dry rolled and tempered barley. *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 1): 320.
- Martin, P.C. 1997. Forraje de caña en la alimentación de ganado vacuno. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 31:237-248.
- Martínez, S.J., U. Coronel R., M.E. Ortega C., y G. Mendoza M. 1995. Efecto del crecimiento del hongo comestible *Pleurotus* en paja de cebada sobre la digestibilidad *in situ* de la fibra. *Vet. Méx.* 280.
- Marty, R.J., M. Benavides y T.R. Preston. 1974. Fermentación ruminal en toros alimentados con sacarosa como fuente principal de carbohidratos. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 8:161-169.

- McCullough, H., 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clin. Chem. Acta* 17:297-304.
- McDowell, L.R., J.H. Conrad, J.E. Thomas, L.E. Harris and K.R. Fick. 1977. Nutritional composition of latin american forages. *Trop. Anim. Prod.* 2:273-279.
- McGavin, M. and C.W. Forsberg. 1989. Catalytic and substrate-binding domains of endoglucanase 2 from *Bacteroides succinogenes*. *J. Bacteriol.* 171:3310-3315.
- Mehrez, A., E.R. Orskov, and I. McDonald. 1977. I. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *Br. J. Nutr.* 38:437-442.
- Meléndez, N.F., J.A. González M. y J. Pérez. 1980. El pasto estrella africana. Boletín No. 7. Rama de Ciencia Animal. Colegio Superior de Agricultura Tropical. SARH. H. Cárdenas, Tabasco. 99 p.
- Mendoza, M.G.D., J.A. Ramos J., E. Aranda I., R. Ricalde V., N. Pérez P. y E. Najera S. 1992. Importancia de la adherencia microbial en la determinación de la degradabilidad ruminal del nitrógeno *in situ* de forrajes. *Agrociencia Serie Ciencia Animal* 2:295-305.
- Mendoza, M.G.D., R.A. Britton, and R.A. Stock. 1995a. Effect of protozoa and urea level on *in vitro* starch disappearance and amylolytic activity of ruminal microorganisms. *Anim. Feed Sci. Technol.* 54:315-325.
- Mendoza, M.G.D., R. Ricalde V., H. Esparza B. y L. Velazquez T. 1995b. Nota: Efecto de dos cultivos de *Saccharomyces cerevisiae* en la degradación ruminal de la fibra neutro detergente de paja de trigo. *Investigación Agraria, Serie Producción Animal*, 10 :33-38.
- Merchen, N.R. and E.C. Titgemeyer. 1992. Manipulation of amino acid supply to the growing ruminant. *J. Anim. Sci.* 70:3238-3247.
- Mertens, D.R. 1973. Applications of theoretical mathematical models to cell wall digestion and forage intake in ruminants. Doctoral Dissertation, Cornell University, Ithaca, New York. 217 p.

- Mertens, D.M. 1993. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In forage cell wall structure and digestibility (H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield, J. Ralph) ASA-CSSA-SSSA, 677S. Segoe RD. Madison, WI 53711, USA. pp 535-571.
- Mertens, D.R. and J.R. Lofton. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. J. Dairy Sci. 63:1437-1446.
- Mertens, D. R. and L.O. Ely. 1982. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization-A dynamic model evaluation. J. Anim. Sci. 54:895-903.
- Meyreles, L., N.A. MacLeod and T.R. Preston. 1977. Cassava forage as a protein in sugar cane diets for cattle: effects of different levels without urea on growth and on rumen fermentation. Trop. Anim. Prod. 2:200-205.
- Meyreles, L., J.B. Rowe, T.R. Preston. 1979. Efecto del comportamiento de los toros de engorde de suplementar una dieta básica de tallo de caña descortezada con urea, forraje de batata y torta de algodón. Prod. Anim. Trop. 4:263-270.
- Minor, S., N.A. MacLeod, T.R. Preston and R.A. Leng. 1977. Studies on digestion in different sections of the intestinal tract of bulls fed sugar cane/urea with different supplements. Trop. Anim. Prod. 2:163-174.
- Minson, D.J. 1990. Forage in ruminant nutrition. Ed. Cunha T.J. Academic Press, Inc. 483 pp.
- Miranda, R.L.A. 1998. Obtención y caracterización de un cultivo mixto de bacterias ruminales con capacidad para degradar rastrojo de maíz. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Especialidad de Ganadería. Montecillo, Estado de México.
- Molina, A. 1990. Potencial forrajero de la caña de azúcar para la ceba de ganado bovino. Producción de carne en el trópico Edica Cuba. 225 p.
- Monroy, O., F. Torres and G. Viniegra. 1980. Perspectives on the integration of livestock production and the small scale sugar industry. Trop. Anim. Prod. 5:96-106.

- Montpellier, F.A. and T.R. Preston. 1977. Digestibility and voluntary intake on sugar cane stalk in particles of different sizes. *Trop. Anim. Prod.* 2:40-43.
- Moore, K.J. and J.H. Cherney. 1986. Digestion kinetics of sequentially extracted cell wall components of forages. *Crop Sci.* 26:1230-1235.
- Moreno, H., J. Perez, y N.F. Melendez. 1977. Efecto de la carga animal en la producción de carne en pasto alemán (*Echinochloa polystachya*). *Agricultura Trópic* 2:156.
- Moss, R.J. and R.M. Murray. 1992. Rearing dairy calves on irrigated tropical pastures 1. Effect of protein level on liveweight gain and blood components. *Aust. J. Exp. Agric.* 32:569-579.
- Muñoz, E. y R. González. 1998. Caña de azúcar integral para estimular el consumo a voluntad de alimentos voluminosos en vacas. *Rev. Cubana Cien. Agric.* 31:33-40.
- Myers, R.H. 1976. Response surface methodology. Virginia Polytechnic Institute and State University. USA. 246 p.
- Orpin, C.G. 1975. Studies of the rumen flagellate *Neocallimastix frontalis*. *J. Gen. Microbiol.* 91:249-262.
- Orpin, C.G. 1976. Studies of the rumen flagellate *Sphaeromonas communis*. *J. Gen. Microbiol.* 94:270-280.
- Orpin, C.G. 1977. The rumen flagellate *Piromonas communis*: Its life history and invasion of plant material in the rumen. *J. Gen. Microbiol.* 99:107-117.
- Orpin, C.G. and K.N. Joblin. 1988. The rumen anaerobic fungi. *In: The rumen microbial ecosystem* (P.N. Hobson Ed.). Elsevier Applied Science, New York. pp 129-150.
- Orskov, E.R., F.D. DeB. Hovell and F. Mould. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5:195-213.
- Pate, F.M. 1977. Nutritive value of sugar cane at different stages of maturity. *Trop. Anim. Prod.* 2:108-109.

- Perez-Infante, F. 1983. Nuevas consideraciones sobre el balance alimentario. Los pastos en Cuba Tomo II. 565-581 pp.
- Peiris, H., R. Elliot, J.W. Hales and B.W. Norton. 1995. Alternative management strategies for maximizing productivity in beef cattle in the subtropics. *Aust. J. Exp. Agric.* 35:317-324.
- Pérez, P.J. y N.F. Meléndez, 1980. La respuesta fisiológica de las forrajeras al manejo. Rama de Ciencia Animal. CSAT-SARH. H. Cárdenas Tabasco. Boletín CA-5. 31 p.
- Pinos, J.M., S. González M., G. Mendoza M., M Cobos P., R Bárcena G, A. Hernández G. y G. Martínez. 1999. Efecto de una enzima fibrolítica en la fermentación y digestibilidad de la alfalfa y ballico. Memorias del IX Congreso Nacional AMENA. 28 p.
- Pinos, J.M. 1999. Caracterización de un complejo enzimático fibrolítico en la fermentación ruminal y digestibilidad de alfalfa y ballico. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Pirt, S.J. 1982. Maintenance energy: a general model for energy-limited and energy-sufficient growth. *Arch. Microbiol.* 133:300-302.
- Poppi, D.P., D.J. Minson, and J.H. Ternouth. 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. II. Factors controlling the retention of feed in the reticulo-rumen. *Aus. J. Agric. Res.* 32:10-121.
- Poppi, D.P., and S.R. McLennan. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *J. Anim. Sci.*, 73:278-290.
- Prachet, D., S. Young, and M. McIntyre. 1992. The cross characteristics of two steer genotypes grazed in irrigated leucaena-pangola grass pastures in the Ord River irrigation area. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 19:81-84.
- Preston, T.R. 1977. Nutritive value of sugar cane for ruminants. *Trop. Anim Prod.* 2:125-142.

- Preston, T.R., C. Carcaño, F.J. Alvarez and D.G. Gutierrez. 1976. Rice polishings as a supplement in a sugar cane diet. Effect of level of rice polishings and processing the sugar cane by derinding or chopping. *Trop. Anim. Prod.* 1:150-162.
- Preston, T.R. y R.A. Leng. 1989. Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. Cali Colombia. 314 p.
- Priego, A., A. Wilson and T.M. Sutherland. 1977. The effect on parameters of rumen fermentation, rumen volume and fluid flow rate of zebu bulls given chopped sugar cane supplemented with rice polishings or cassava root meal. *Trop. Anim. Prod.* 2:292-299.
- Ralph, J. and R.F. Helm. 1993. Lignin/hidroxycinnamic acid/polysaccharide complex. Syntetic models for regiochemical characterization. In forage cell wall structure and digestibility (A.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hastfield and J. Ralph) ASA-CSSA-SSSA, 677 S. Segoe Rd. Madison WI 53711, USA. pp 201-246.
- Ramos, J.A. 1994. Efecto de la suplementación nitrogenada en toretes cruzados pastoreando en estrella africana (*Cynodon plectostachyus*). Tesis de Maestría. Centro de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Ramos, J.A., G. Mendoza M., E. Aranda I., A. García B., y R. Bárcena G. 1995. Caracterización del nitrógeno del pasto estrella con dos sistemas: proteína metabolizable y proteína cruda digestible. *Rev. Fac. Agron. Zulia* 12:209-220.
- Ramos, J.A., G.D. Mendoza M., E. Aranda I., C. García-Bojalil, R. Bárcena G. and J. Alanís R. 1998. Escape protein supplementation of growing steers grazing stargrass. *Anim. Feed Sci. Technol.* 70:249-256.
- Redfearn, D.D., L.E. Moser, S.S. Waller, and T.J. Klopfenstein. 1995. Ruminant degradation of switchgrass, big bluestem, and smooth bromegrass leaf proteins. *J. Anim. Sci.*, 73:598-605.

- Reyes, B.O. 1996. Efecto del nivel de urea y la adición de *Saccharomyces cerevisiae* en toretes pastoreando en trópico húmedo. Tesis de Maestría. Centro de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Reyes, B.O., S. González, C. García-Bojalil, R. Bárcena, M. Cobos, J. Ramos, and G.D. Mendoza. 1996. Effect of nitrogen supplementation and yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on growing bulls on a tropical pasture. *J. Anim. Sci.* 74:286 (Supl. 1).
- Richardson, C.R. and E.E. Hatfield. 1978. The limiting amino acids in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 46:740-745.
- Rodriguez, N.M., D.G. Figueira, N.M., L.J.M. Aroeira, M.P. Torres, e F.C.F. Lopes. 1993. Efeito do nível de uréia sobre a digestibilidade aparente e o balanço de nitrogenio em bovinos alimentados cana-de açúcar e farelo de algodao. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.* 45:59-70.
- Russell, J. B., and D.B. Dombrowski. 1980. Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 39:604-610.
- Salais, F.J., T.M. Sutherland and A. Wilson. 1977. Effect on animal performance of different sources of forage in diets based on molasses and urea. *Trop. Anim. Prod* 2:158-162.
- Salgado, G.S., E.R. Nuñez y A.L. Bucio. 1993. Manejo del cultivo de la caña de azúcar con alta tecnología en el CEICADES C.P. Memoria Avances de investigación. Ceicades 92-93 Cárdenas Tabasco.
- Sanderson, M.Z., J.S. Hornstein and W.F. Wedin. 1989. Alfalfa morphological stage and its relations to in situ digestibility of detergent fiber fractions of stems. *Crop Sci.* 29: 1315-1319.
- Satter, L.D., and L.L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein *in vitro*. *Br. J. Nutr.* 32:199-208.

- Scalbert, A., B. Monties, J. Lallemand, E. Guittet and C. Rolando. 1985. Ether linkage between phenolic acids and lignin fractions from wheat straw. *Phytochemistry* 24:1359-1362.
- Schiavo, B.C.N. 1983. El marco estructural de la ganadería bovina Mexicana. Colección de Cuadernos Universitarios, Serie Agronomía núm. 5 UACH.
- Sears, A. and G. Walsh. 1997. Industrial enzyme applications. Using these concepts to match animal enzyme and substrate in feed industry applications. *Biotechnology in the feed industry* pp. 373-394.
- Silvestre, R., and F.D. DeB Hovell. 1978. Crecimiento de ganado de engorde alimentado con caña de azúcar integral picada suplementada con diferentes niveles de afrecho de trigo. *Prod. Anim. Trop.* 3: 150-153.
- Silvestre, R., N.A. MacLeod and T.R. Preston. 1976. Supplementation of sugar cane/urea for growing cattle: levels of maize grain and a protein concentrate. *Trop. Anim. Prod.* 1:206-214.
- Silvestre, R., N.A. MacLeod and T.R. Preston. 1977a. Supplementation of sugar cane/urea for growing cattle: effect of maize grain and different levels and sources of protein. *Trop. Anim. Prod.* 2:81-89.
- Silvestre, R., N.A. MacLeod and T.R. Preston. 1977b. Effect of meal, dried cassava root and groundnut oil in diets based on sugar cane/urea, or molasses/urea. *Trop. Anim. Prod.* 2:151-157.
- Silvestre, R., N.A. MacLeod and T.R. Preston. 1977c. Voluntary intake and live weight gain of cattle given chopped sugar cane and solutions of molasses containing different concentrations of urea. *Trop. Anim. Prod.* 2:1-12.
- Stack, R.J. and R.E. Hungate. 1984. Effect of 3-phenylpropanoic acid on capsule and cellulase of *Ruminococcus albus* 8. *Appl. Environ. Microbiol.* 48:218-223.
- Statistical Analysis System, 1985. S.A.S. User's Guide: Statistics. Version 5 edn., SAS Institute Inc., Cary, NC.

- Steel, R.G.D., and J.H. Torrie, 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach (2nd Ed.). McGraw-Hill Book Co., New York. 633 p.
- Stock, R., N. Merchen, T. Klopfenstein, and M. Poss-Floyd. 1981. Feeding value of slowly degraded proteins. J. Anim. Sci. 53:1109-1119.
- Stock, R.A., D.R. Brink, R.A. Britton, F.K. Goedeken, M.H. Sindt, K.K. Kreikemeier, M.L. Bauer and K.K. Smith. 1987. Feeding combinations of high moisture corn and dry-rolled grain sorghum to finishing steers. J. Anim. Sci. 65:290-302.
- Stonaker, H.H. 1975. Beef production systems in the tropics. I. Extensive production systems on infertile soils. J. Anim. Sci. 41:1218-1223.
- Stuart, J.R., Fundora, O. 1994. Utilización de residuos de cosecha de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes Rev. Cubana Cienc. Agric. 28:1-13.
- Suárez, J.J., y Herrera, J. 1979. El clima de Cuba y la producción de pastos. Los pastos en Cuba Tomo I p. 21.
- Sutton, J.D. 1979. Rumen function and the utilization of readily fermentable carbohydrates by dairy cows. Trop. Anim. Prod. 4:1-12.
- Thurston, B., K.A. Dawson and H.J. Strobel. 1993. Cellobiose versus glucose utilization by the ruminal bacterium *Ruminococcus albus*. Appl. Environ. Microbiol. 59:2631-2637.
- Tijerina, L. y G. Crespo P. 1998. Análisis a nivel nacional de la producción de caña de azúcar. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - Colegio de Postgraduados. 115 p.
- Titi, H.H.R., C.R. Richardson and C.W. Cobb. 1998. Effects of fibrolitic enzyme treatment on forage dry matter and organic matter disappearance. J. Anim. Sci. 76 (Suppl. 1): 293.
- Torres, B.I. 1993. Situación y perspectiva de la ganadería bovina de carne. FIRA. Boletín Informativo XXVI (252):1-28.

- Tricarico, M., K.A. Dawson and K.E. Newman. 1998. Effects of an exogenous microbial enzyme preparation (Fibrozyme) on ruminal digestion of fescue hay. *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 1): 289.
- Valdez, R.E., F.J. Alvarez, H.M. Ferreiro, F. Guerra, J. López, A. Priego, T.H. Blackburn, R.A. Leng and T.R. Preston. 1977. Rumen function in cattle given sugar cane. *Trop. Anim. Prod.* 2:260-272.
- Van Gylswyk, N.O., K. Wejdemar, and K. Kulander. 1992. Comparative growth rates of various rumen bacteria in clarified rumen fluid from cows and sheep fed different diets. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:99-105.
- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Ruminant metabolism. Nutritional strategies the cellulolytic fermentation and the chemistry of forage and plant fibers. O and B Books, Inc. Corvallis, OR, 374 p.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A., 1991. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Van Milgen, J., M.R. Murphy and L.L. Berger. 1991. A compartmental model to analyze ruminal digestion. *J. Dairy Sci.* 74:2515-2529.
- Varga, G.A. 1986. Factors which affect estimation of lag time in the rumen. In: Agricultural Experiment station Oklahoma state University (ed.) Symposium Proceedings: Feed intake by beef cattle pp. 70-80.
- Wallace, J. 1993. Microbiología del rumen. Memoria del Curso Internacional Avanzado de Nutrición de Rumiantes. Centro de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 62-67.
- Webb, D.W., E.E. Bartley and R.M. Meyer. 1972. A comparison of nitrogen metabolism and ammonia toxicity from ammonium acetate and urea in cattle. *J. Anim. Sci.* 35:1263-1270.
- Weimer, P.J. 1996. Why Don't ruminal bacteria digest cellulosa faster. *J. Dairy Sci.* 79:1496-1502

- Williams, A.G. and G.S. Coleman. 1988. The rumen Protozoa. In The rumen microbial ecosystem. Elsevier applied science. London and New York pp.77-128
- Williams, C.H., D.J. David and O. Iismaa. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic spectrophotometry. J. Agric. Sci. (Camb.), 59:381-385.
- Yang, W.Z., L.M. Rode and K.A. Beauchemin. 1998. Effects of fibrolitic enzyme additives on milk production of dairy cows. J. Anim. Sci. 76 (Suppl. 1): 320.
- ZoBell, D.R., T.A. McAllister, A.N. Hristov, J.O.Popp, T. Entz and R.B. Cook. 1998. The effect of including a  $\beta$ -glucanase preparation in the finishing diet on feed efficiency and carcass characteristics of yearling feedlot bulls intended for slaughter. J. Anim. Sci. 76 (Suppl. 1): 300 p.
- Zwietering, M.H., J.T. de Koos, B.E. Hasenack, J.C. de Wit and K. Van'T Riet. 1991. Modeling of bacterial growth as a function of temperature. Appl. Environ. Microbiol. 57: pp. 1094-1101.