



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GANADERÍA**

**DIGESTIÓN DEL FORRAJE ÍNTEGRO Y DE LAS PAREDES  
CELULARES EN LOS PASTOS *Pennisetum purpureum* CT 115,  
*Brachiaria humidicola* Y EN *Saccharum officinarum***

**JOSÉ MANUEL ROBLES ROBLES**

**T E S I S**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2009**

La presente tesis titulada: **Digestión del forraje íntegro y de las paredes celulares en los pastos *Pennisetum purpureum* CT 115, *Brachiaria humidicola* y en *Saccharum officinarum***, realizada por el alumno: **José Manuel Robles Robles**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GANADERÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO**

\_\_\_\_\_  
DR. EUSEBIO ORTEGA JIMÉNEZ

**ASESOR**

\_\_\_\_\_  
DR. EMILIO ARANDA IBÁÑEZ

**ASESOR**

\_\_\_\_\_  
DR. DAVID HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

**ASESOR**

\_\_\_\_\_  
DR. JORGE PÉREZ PÉREZ

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, diciembre de 2009.



# DIGESTIÓN DEL FORRAJE INTEGRO Y DE LAS PAREDES CELULARES DE LOS PASTOS *Pennisetum purpureum* CT 115, *Brachiaria humidicola* Y *Saccharum officinarum*

José Manuel Robles Robles, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2009

## RESUMEN

Se realizaron dos ensayos para determinar la cinética de degradación de los componentes fibrosos de los forrajes Cuba CT-115 (CT), Humidícola (H) y Caña de azúcar (CA). En el primer ensayo se evaluó la cinética de degradación de la MS, FDN y FDA de los forrajes en estudio. En el segundo ensayo las muestras de los forrajes evaluados fueron tratadas previamente con detergente neutro y ácido, y también se estudio la cinética de degradación ruminal de la MS, FDN y FDA. La CA presentó el mayor ( $p < 0.05$ ) contenido de MS y el menor contenido de PC. Asimismo, el contenido de FDN y FDA de la CA fueron bajos ( $p < 0.05$ ) en comparación con los registrados en los pastos CT y H. En el Ensayo I, con los forrajes no tratados previamente, la digestibilidad de la MS a las 3 y 24 h de incubación fue alta ( $p < 0.05$ ) en la CA y la más baja ( $p < 0.05$ ) en el pasto Humidícola. Después de las 48 h de incubación, el pasto H y el CT presentaron niveles de digestibilidad similares ( $p > 0.05$ ), mientras que la CA mantuvo la digestibilidad más alta ( $p > 0.05$ ). Dentro de los parámetros evaluados, en la fase Lag no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los tres tratamientos; pero la extensión de la digestión en la CA fue superior ( $p < 0.05$ ) a los forrajes H y CT. En la fracción indigestible, el pasto H fue superior ( $p < 0.05$ ) a la CA y CT. Finalmente, en la fracción potencialmente digestible la CA de azúcar tuvo el valor más alto ( $p < 0.05$ ), seguido por el pasto CT y el valor más bajo ( $p < 0.05$ ) se registró con el pasto H. En el Ensayo II, donde se valuó la cinética de digestión de las paredes celulares de los forrajes evaluados previamente tratados con detergente neutro y ácido. Durante las primeras 24 h de incubación, la digestibilidad de la FDN de los forrajes CT y CA no mostró diferencias ( $p > 0.05$ ); sin embargo, el pasto H tuvo los valores más bajos ( $p < 0.05$ ) en este periodo. Después de las 24 h de incubación, no se observaron cambios generalizados en a digestibilidad de la FDN entre los forrajes evaluados. La digestibilidad de FDA en el material previamente tratado con detergente fue mayor ( $p < 0.05$ ) para el pasto CT en los horarios de 3 a 9 h y a las 24 h, con relación al pasto H y a la CA de azúcar. En Contraste, en los horarios de 72 y 96 h el CT mostró la digestibilidad de la FDA más baja ( $p > 0.05$ ) con relación a los otros dos forrajes evaluados. La tasa de digestión en la FDN y FDA del pasto H fue la más alta ( $p < 0.05$ ) con relación a los forrajes evaluados, no existiendo diferencias ( $p > 0.05$ ) entre el pasto CT y la CA para estas variables. No se observaron diferencias ( $p > 0.05$ ) en la fase lag y en la fracción potencialmente digestible entre los forrajes evaluados. Sin embargo, la extensión de la digestión fue menor ( $p < 0.05$ ) y la fracción indigestible fue mayor ( $p < 0.05$ ) para la caña de azúcar. Para el caso de los parámetros de la digestión de la FDA no se encontraron diferencias ( $p \geq .05$ ) en ninguno de los parámetros evaluados, entre los forrajes en estudio.

**Palabras clave:** Digestibilidad, paredes celulares, *Pennisetum purpureum* CT 115, *Brachiaria humidicola*, *Saccharum officinarum*.

**INTEGRAL FORAGE AND CEL WAL DIGESTION IN *Pennisetum purpureum* CT 115, *Brachiaria humidicola* AND *Saccharum officinarum***

José Manuel Robles Robles, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2009

**ABSTRACT**

Two essays were realized to determine the kinetic one of degradation of the fibrous components of the forages Cuba CT-115 (CT), Humidícola (H) and Sugar cane (CA). In the first essay there was evaluated the kinetic one of degradation of the MS, FDN h FDA of the forages in study. In the second essay the samples of the evaluated forages were treated before by neutral and acid detergent, and also I study the kinetic one of degradation ruminal of the MS, FDN and FDA. The CA there presented the major one ( $p < 0.05$ ) content of MS and the minor contained of PC. Likewise, content of FDN and FDA of the CA they were low ( $p < 0.05$ ) in comparison with the registered ones in the pastures CT and H. In the Test(Essay) I, with the forages not treated before, the digestibility of the MS at 24 after 3 h of incubation was high ( $p < 0.05$ ) in the CA and the lowest ( $p < 0.05$ ) in the pasture Humidícola. After the 48 h of incubation, the pasture H and the CT presented similar levels of digestibility ( $p > 0.05$ ), mints that the CA supported the highest digestibility ( $p > 0.05$ ). Inside the evaluated parameters, in the phase Lag they did not find significant differences ( $p > 0.05$ ) in three treatments; but the extension of the digestion in the CA was top ( $p < 0.05$ ) to the forages H and CT. In the undigestible fraction, the pasture H was top ( $p < 0.05$ ) to the CA and CT. Finally, in the fraction potentially digestible the CA of sugar had the highest value ( $p < 0.05$ ), followed(continued) by the pasture CT and the lowest value ( $p < 0.05$ ) it registered with the pasture H. In the Essay the IIInd, where valuó the kinetic one of digestion of the cellular walls of the evaluated forages before treated with neutral and acid detergent. During the first ones 24 h of incubation, the digestibility of the FDN of the forages CT and CA it did not show differences ( $p > 0.05$ ); nevertheless, the pasture H had the lowest values ( $p < 0.05$ ) in this period. After 12 p.m. h of incubation, changes were not observed generalized in to digestibility of the FDN between the evaluated forages. FDA digestibility in the material before treated with detergent was major ( $p < 0.05$ ) for the pasture CT in the schedules from 3 to 9 h and at 12 p.m. h, with relation to the pasture H and to the CA of sugar. In Contrast, in the schedules of 72 and 96 h the CT showed the digestibility of the lowest FDA ( $p > 0.05$ ) with relation to other two evaluated forages. The rate of digestion in the FDN and FDA of the pasture H was the highest ( $p < 0.05$ ) with relation to the evaluated forages, not existing you differ ( $p > 0.05$ ) between the pasture CT and the CA for these variables. Were not observed differences ( $p > 0.05$ ) in the phase lag and in the fraction potentially digestible between the evaluated forages. Nevertheless, the extension of the digestion was minor ( $p < 0.05$ ) and the undigestible fraction was major ( $p < 0.05$ ) for the sugar cane. For the case of the parameters of the digestion of the FDA they did not find differences ( $p > = .05$ ) in none of the evaluated parameters, between the forages in study.

## I. INTRODUCCIÓN

En los países en desarrollo existe la demanda creciente de alimentos de origen animal, y para satisfacerla es necesario incrementar la productividad por unidad animal y por unidad de superficie en las áreas de producción comercial, debido al ritmo sostenido de crecimiento de la población (FAO, 2003), y a la disminución de las áreas de cultivos y áreas ganaderas.

Por lo general, las gramíneas tropicales erectas son reconocidas por acumular altas cantidades de biomasa, debido a su mayor eficiencia en la captación y conversión de la energía solar. El *Pennisetum purpureum* y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) son las especies forrajeras tropicales que expresan las características antes mencionadas; sin embargo, al mismo tiempo que acumulan biomasa, sus tejidos sufren modificaciones de naturaleza anatómica y química que modifican su estructura, implicando una reducción en la tasa de pasaje y en la digestibilidad por el rumiante (Deschamps *et al.*, 1998).

Uno de los problemas más importantes que se presentan en la alimentación de los rumiantes en el trópico, es la subutilización de los carbohidratos estructurales de los forrajes, explicándose por los enlaces químicos que se establecen entre estos y la lignina, y afectan la degradación del material vegetal por los microorganismos rúminales. Esto impide el uso óptimo de los nutrientes presentes en el forraje, y afecta la productividad del ganado (Núñez *et al.*, 2002).

Las especies forrajeras de interés han sido ampliamente estudiadas desde el punto de vista agronómico y nutricional. Sin embargo, aun son escasas las investigaciones que estudien con profundidad los términos de composición y conformación de la pared celular; así como su implicación en el proceso de digestión ruminal, de manera que se amplíe el conocimiento de las bases moleculares y en cuanto al proceso de lignificación de las paredes celulares, que impide la digestibilidad de las fracciones fibrosas; dado lo anterior y con el propósito de desarrollar procedimientos novedosos, de manera que permitan conocer y manejar más eficientemente estas fuentes de biomasa en la nutrición de los rumiantes, a fin de lograr mayor sostenibilidad de los agro ecosistemas tropicales.

## II. OBJETIVO

Estudiar la cinética de digestión de los componentes fibrosos de los forrajes integrales y de las paredes celulares en los pastos Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y en Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como fuentes de forraje para rumiantes en el trópico.

## III. HIPÓTESIS

La cinética de degradación y la tasa de digestión del forraje íntegro y de las paredes celulares de los pastos Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y en Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) varían en función de los constituyentes cualitativos y cuantitativos de la pared celular.



## **IV. REVISIÓN DE LITERATURA**

El trópico húmedo tiene una superficie de 24 millones de hectáreas, constituyendo el 12 % del territorio nacional. Se localiza principalmente en los estados de Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Chiapas, Campeche y Quintana Roo. Estas regiones se caracterizan por tener climas cálidos húmedos, de los tipos Aw, Am y Af, con precipitaciones superiores a los 1000 mm anuales y una época seca que varía de 0 a 5 meses. Los suelos predominantes son clasificados como Acrisoles, Cambisoles, Vertisoles, Luvisoles, Gleysoles y Litosoles, variando en fertilidad, pH y capacidad de intercambio catiónico. El recurso forrajero más importante en esta región, son las praderas de temporal, ya que aportan la mayor parte del forraje para los rumiantes (Enríquez, 2001).

### **4.1 Condiciones ambientales y producción de forraje en el trópico**

La zonas tropicales de México se caracterizan por la explotación de ganado en sistemas extensivos y por la ganadería de doble propósito (carne y leche), basada en pastos, con limitado uso de suplementos alimenticios. Lo anterior genera a los productores ingresos por venta de crías y ganado de engorda, y por la comercialización de leche, como actividad complementaria (De Dios, 2001).

Román (1995) señaló que el potencial de producción animal de las regiones del trópico mexicano es alta, y está determinado por la capacidad fotosintética de las especies forrajeras que ahí se desarrollan. Sin embargo, los

índices productivos del ganado bovino explotado en el trópico son bajos, en comparación con los que se obtienen en otras regiones del país.

El Estado de Tabasco es una de las regiones del país con mayor precipitación. Está situado al sureste de México, limita por el norte con el Golfo de México, por el Noreste con el Estado de Campeche, por el Sur con el estado de Chiapas, por el Oeste con el estado de Veracruz, y por el Sureste con Guatemala. Dentro de las regiones ganaderas más importantes del país, se encuentra el trópico húmedo con 2 466 100 ha, lo que representa el 1.25 % del territorio nacional (INEGI, 2004).

En Tabasco, se definen tres épocas climáticas. 1) la de sequía, que comprende de marzo a mayo y en algunas regiones, la primera quincena de junio, presentándose altas temperaturas, elevada radiación solar y baja precipitación (9 a 14 % del total anual); a pesar de esto se encuentra humedad en los terrenos bajos, proveniente de humedad residual y del manto freático; 2) la época de lluvias se presenta de junio a octubre; la precipitación representa un 59 a 65 % del total; 3) la época de nortes se sitúa de noviembre a febrero caracterizándose por la presencia de masas de aire húmedo con alta nubosidad, que ocasiona baja radiación y temperatura, además de frecuentes y prolongadas lluvias (25 a 27 % de la precipitación total) (Meléndez *et al.*, 1980).

Los sistemas de producción en esta región, se caracterizan por utilizar pastos nativos e introducidos, cuya disponibilidad y calidad nutritiva varía durante el año, debido a la ocurrencia de dos épocas bien definidas (seca y lluvias).

Durante las lluvias el pasto crece abundantemente y posee una calidad nutritiva relativamente aceptable; sin embargo, durante la sequía la disponibilidad del pasto se reduce notablemente, así como su valor nutritivo (proteína y digestibilidad aparente), reduciéndose el aporte de nutrientes (Pérez *et al.*, 2001).

Los pastos más utilizados son los nativos, principalmente de los géneros *Axonopus spp.* y *Paspalum spp.*, los cuales tienen bajo potencial de producción. También se explotan gramíneas introducidas de los géneros *Panicum*, *Cynodon*, *Digitaria*, *Pennisetum*, *Hyparrhenia* y *Cenchrus* y, en años recientes, especies de *Brachiaria* y *Andropogon*. Algunos productores utilizan leguminosas, las más comunes son la *Pueraria phaseoloides*, *Clitoria ternatea*, *Arachis pintoii*, *Centrosema pubescens*, *Gliricidia sepia* y *Leucaena leucocephala*, las cuales se explotan en asociación con gramíneas o en monocultivo como bancos de proteína (Enríquez *et al.*, 1999).

#### **4.2. Crecimiento de los pastos**

La fotosíntesis es uno de los procesos realizados por las plantas de mayor importancia (Crespo *et al.* 2003), se lleva a cabo en los cloroplastos, en dos fases, la primera, llamada reacción lumínica, consiste en la captación de energía luminosa por los pigmentos verdes que absorben la luz y la convierten en energía química (ATP) y la producción de ciertos agentes reductores, especialmente el NADPH. En la segunda fase llamada reacciones oscuras, los productos ricos en energía de la primera fase (NADPH y ATP), se emplean como fuentes energéticas para efectuar la reducción del CO<sub>2</sub> atmosférico y formar hexosa

(almidón, celulosa y otros polisacáridos). Las reacciones luminosas y oscuras se producen simultáneamente durante el día (Vázquez y Torres, 1990).

El crecimiento y producción de los pastos está regulado por la vía metabólica utilizada para llevar a cabo la fotosíntesis (Herrera, 2004). Según Hernández (2002), la mayoría de las gramíneas tropicales presentan la vía fotosintética  $C_4$  pero las gramíneas y leguminosas de regiones templadas son portadoras de la vía fotosintética  $C_3$ .

Las plantas  $C_3$  fijan el  $CO_2$  mediante el ciclo de Calvin, que se lleva a cabo en las células del mesófilo (Figura 2). Las hojas de las plantas  $C_4$  contienen dos tipos de células fotosintéticas, que presentan diferentes organizaciones bioquímicas y estructurales. La fijación del  $CO_2$  en las plantas  $C_4$ , primero se realiza en las células del mesófilo y posteriormente, en las células túnico-vasculares (Figura 3).

A pesar de que las plantas  $C_4$  requieren dos ATP adicionales para sintetizar una unidad de hexosa (Figura 3) con relación a las plantas  $C_3$ , pueden sintetizar hexosas más eficiente por unidad de superficie de hoja y crecer más rápido, debido a la elevada afinidad de la enzima fosfoenol piruvato carboxilasa por el  $CO_2$ , lo cual le permite captar el  $CO_2$  con gran eficiencia, mientras que la enzima ribulosadifosfato-carboxilasa de la ruta  $C_3$  muestra una baja afinidad por el  $CO_2$ , aunque es abundante en la célula (Lehninger, 1991).

### **4.3 Potencial de producción de carne y leche a base de pastos tropicales.**

El cambio en la disponibilidad y calidad de los forrajes a través del año afecta la productividad de los rumiantes en pastoreo, lo que ocasiona variación en su crecimiento, y se manifiesta en la pérdida o mantenimiento del peso vivo, o crecimiento rápido. Existen períodos con buenas ganancias de peso, seguidos por otros en donde una alta proporción de esta ganancia de peso se pierde (Ruiz, 1994). En términos generales se han alcanzado ganancias de 0.8 a 1.2 kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, con pastos mejorados, en períodos cortos o épocas de crecimiento del pasto. Sin embargo, cuando las ganancias diarias de peso (GDP) se miden en años completos o períodos de ceba, raramente sobrepasan 0.6 kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, existiendo registros promedio de 0.4 a 0.5 kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (García-Trujillo, 1980).

Los forrajes son la partes vegetativas de las gramíneas o leguminosas que contienen alta proporción de fibra. Estos son requeridos en la dieta de rumiantes en forma física tosca (partículas de 1 a 2 mm). Fuentes de fibra en los rumiantes son los residuos de cosechas y subproductos agroindustriales de baja calidad nutritiva; estos residuos son las partes de la plantas que quedan en el campo después de cosechar el cultivo (rastrojo de maíz, paja de cereales, bagazo de caña, entre otros (Wattiaux y Howar, 2001).

La fibra contenida en los forrajes es un constituyente que contribuye al mantenimiento del funcionamiento (llenado y estímulo de las contracciones ruminales) y mantiene las condiciones del ambiente ruminal (pH), lo cual esta en

función de la composición de la fibra, la degradación y la forma de presentación de esta (Calsamiglia, 1997).

Los forrajes son la principal fuente de alimento para los rumiantes en pastoreo (Garmendia, 1998; González y Rodríguez, 2003), son deficientes en proteína y tienen baja digestibilidad de la materia seca (Enríquez *et al.*, 1999; Garcés y Canudas, 2000); la producción de éstos es estacional y está determinada por las condiciones edáficas y climáticas, lo que propicia excedentes de producción en la época de lluvias y déficit en las épocas de secas y nortes (Ruiz, 1994).

#### **4.4 Características estructurales de los forrajes tropicales**

En las regiones tropicales de México, los forrajes son usados extensivamente para la alimentación del ganado bovino bajo diferentes propósitos (leche, carne o doble propósito). Estos alimentos se caracterizan por tener alto porcentaje de fibra y bajo contenido de proteína. Por sus características químicas, los pastos tienen baja digestibilidad y esto afecta el consumo voluntario, y existe un aporte inapropiado de nitrógeno para la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Ku *et al.*, 1999).

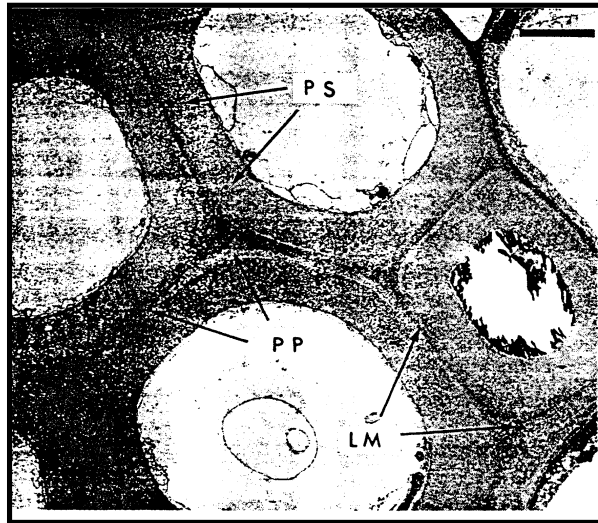
Los rumiantes en pastoreo dependen de materiales vegetales ricos en fibra para su alimentación, los cuales se pueden utilizar gracias a la presencia de bacterias, protozoarios y hongos ruminales, que aportan al rumen la enzimas necesarias para la digestión y fermentación de alimentos fibrosos (Church, 1993).

La calidad nutricional de un alimento para rumiantes incluye la producción de materia seca y el contenido de nutrientes. La producción de materia seca o forraje es el principal objetivo de toda especie forrajera, de ahí su nombre de forrajes. En general, a mayor producción de materia seca de los pastos, se observa mayor producción animal, por unidad de superficie, y es posible sostener mayor carga animal (Bolaños-Aguilar, 2006).

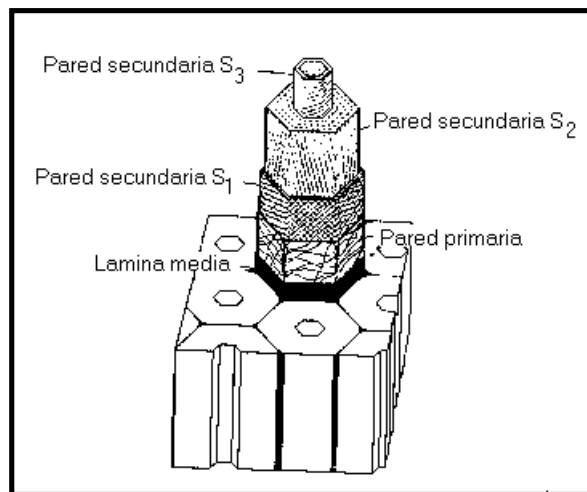
#### **4.4.1 Constitución y composición de la pared celular**

La pared celular de las plantas superiores está constituida por la lámina media, pared primaria y pared secundaria. Los componentes químicos de estas capas tiene una determinada organización en el espacio, lo que origina dos fases denominadas microfibrilar y amorfa. Las paredes son químicamente complejas, pues están constituidas por una mezcla de carbohidratos, proteínas, lignina, agua, iones, moléculas inorgánicas y en algunos casos están presentes moléculas de cutina y suberina (García y Peña, 1995).

Después que el crecimiento de una célula se ha detenido, la pared celular empieza a engrosarse. Las capas ahora formadas, son llamadas la pared secundaria y a menudo se dividen en S1, S2 y S3 (Figura 2).



**Figura 1. Regiones de la pared celular, PP: pared primaria, PS: pared secundaria y LM: lámina media**



**Figura 2. Pared celular, la porción salda hacia arriba muestra como puede ser la orientación de las fibrilla de celulosa**



En los tejidos maduros, la lámina media actúa como un pegamento en las paredes de las células y eso no es celulolítico. Las paredes primarias y secundarias pueden a menudo estar separadas debido a diferencias en el contenido de lignina y celulosa, más tarde puede haber claras diferencias en el depósito de celulosa en las diferentes capas (Klopfenstein *et al.*, 1987).

Las paredes celulares o también conocidas como fibra detergente neutro (FDN) están constituidas principalmente de celulosa (39.4 %), hemicelulosa (16.4 %), proteína (4 %) y lignina (6 a 7 %); además, contienen cantidades pequeñas de pectina, grupos acetilos y constituyentes fenólicos (Cuadro 1) (Castañeda y Monrroy, 1984).

La fase microfibrilar está formada por cadenas de celulosa que es un polímetro lineal de dos unidades de glucosa con enlaces  $\beta$ -1,4 llamado glucano. En la pared celular existe un número variable de moléculas individuales de celulosa que se unen y forman agregados, dando origen a las microfibrillas (fase microfibrilar de la pared celular). Las microfibrillas tienen dos formas de organización, pueden agruparse en regiones, en donde los grupos hidroxilo de sus azúcares tienen un arreglo simétrico preciso (región cristalina) que le da una resistencia a la tensión y en regiones menos ordenadas (región no cristalina), compuesta por moléculas de agua y residuos polisacáridos no hemicelulósicos, ubicados en el exterior del eje de simetría de las microfibrillas (García y Peña,

1995). En la naturaleza la celulosa se encuentra unida con otros polisacáridos xilosa y lignina.

La conformación de la celulosa favorece la formación de enlaces y explica la fuerte unión de la celulosa con otros componentes celulares que son resistentes a la degradación biológica de la hidrólisis ácida. La digestión de la celulosa depende de la cristalinidad y la asociación físico-química con otros compuestos celulares como la lignina que son resistentes a la digestión (Chaundhry, 1998).

**Cuadro 1. Carbohidratos presentes en los forrajes**

Carbohidratos del tejido vegetal	Estructurales (los que se encuentran en la pared celular).	Celulosa Hemicelulosa Lignina Nitrógeno ligado a la pared celular Sílice Sustancias pecticas
	No estructurales (los que se encuentran en el contenido celular).	Monosacáridos Disacáridos Trisacáridos Almidones Otros carbohidratos solubles

La hemicelulosa es un carbohidrato de estructura compleja y heterogénea, formada por diferentes azucares (glucosa, xilosa, manosa, arabinosa, galactosa y ácido galacturónico). Las hemicelulosas contribuyen a la plasticidad y porosidad de las paredes celulares, lo que es relevante para el intercambio de metabolitos y

agua entre las células (García y Peña, 1995). La digestibilidad de la hemicelulosa puede estar reducida por la lignina, esto se presenta en plantas con avanzado estado de madurez y que contiene ácido urónico de la hemicelulosa y compuestos fenólicos de lignina (Chaundhry, 1998).

La lignina es un polímero amorfo, formado por monómeros de fenil propano. La lignina se distribuye entre las microfibrillas de celulosa incrementando la resistencia a la tensión y la fuerza de compresión de la pared (García y Peña, 1995). La lignina es un compuesto de alto peso molecular que le da rigidez a la pared celular de las plantas y limita la disponibilidad de carbohidratos estructurales a la acción de microorganismos ruminales (Van Soest, 1994).

Las fracciones de la pared celular de las plantas han sido implicadas como un mecanismo de control para el consumo de forraje por los rumiantes. Una reducción en la concentración del material de las paredes celulares puede mejorar el consumo y la densidad de energía, aumentando así la digestibilidad y la disponibilidad de la energía contenida (Waldo, 1986).

#### **4.5 Digestibilidad de la fibra**

La digestibilidad de la fibra (potencial de fermentación), está en función de la velocidad con la cual la fibra es fermentada y el tiempo de retención en el rumen. La tasa de digestión, expresada como la fibra digerida por unidad de tiempo, depende de las características físico-químicas de la pared celular (Allen y Mertens, 1988).

La tasa de pasaje también tiene un efecto considerable sobre la digestibilidad de la fibra, cuando la tasa de pasaje se incrementa la digestibilidad baja. La tasa de pasaje esta en función del tiempo de retención, el cual va a depender del tipo de dieta, edad del animal, tamaño de partícula, entre otros (Allen y Mertens, 1988).

La fracción indigestible de la fibra tiene un efecto sobre el consumo y digestibilidad de la materia seca de los forrajes, esta fracción se relaciona con el contenido de lignina presente. La lignina puede ser solubilizada durante la fermentación dependiendo de la planta y el estado de madurez. El contenido de lignina va de 5 a 25 % del contenido celular de la planta con valores altos para leguminosas que para pastos (Allen y Mertens, 1988).

Las leguminosas generalmente muestran grandes uniones de lignina con celulosa y pequeñas unidades de hemicelulosa, en comparación con los pastos, los cuales presentan mayores uniones de lignina a la hemicelulosa (Van Soest, 1994).

Con algunas excepciones, la degradación de la FDN se correlaciona negativamente con la proporción de lignina en pastos y leguminosas (Smith *et al.*, 1972), por lo que la digestibilidad de la FDN disminuye en función de la madurez del forraje (Jung y Deetz, 1993). Dicha correlación es mayor con gramíneas ( $r^2=0.95$ ) que con leguminosas ( $r^2=0.35$ ) lo que muestra diferencias en la pared

celular de estos dos grupos de forrajes. Según Buxton y Russell (1988) el contenido de lignina influye 62% más en la digestibilidad de la FDN de gramíneas que de leguminosas. La FDN de la alfalfa se degrada dos veces más rápido que la FDN de sorgo, y tres veces más que la paja de trigo (Moore y Cherney, 1986).

#### **4.6 Características de pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*)**

El CT-115 es una planta forrajera obtenida a partir del King grass en los laboratorios del Instituto de Ciencia Animal, de la Universidad de la Habana, Cuba, por el método de cultivo de tejidos.

Este clon se ha utilizado en la producción de forraje en pie y pastoreo directo por sus características promisorias, pues se puede almacenar como forraje en la época de seca, ya que aun a los 4 a 6 meses de edad presenta una aceptable calidad y mayor valor nutritivo que otros alimentos preservados o cultivados para este fin (Herrera, 1997; Martínez, 1998).

Entre sus características deseables están (Martínez, 1998):

- Mayor número de hijos por planta.
- Alto contenido de azúcares.
- Porte bajo al disminuir el tamaño de los entrenudos.
- Mejor relación hoja: tallo al acortarse los nudos.
- Florece muy poco.
- Excelente respuesta después del pastoreo.

La escasa floración de este pasto permite dejarlo en el campo como reserva de alimento desde finales de la primavera hasta el inicio de la seca, sin que se afecte su calidad, lo que sumado a su buena proporción de hojas y capacidad de rebrote, le confieren (a diferencia del King grass que le dio origen) características favorables para el pastoreo, lo que propició el desarrollo de la siguiente tecnología por investigadores del Instituto de Ciencia Animal, de la Habana.

**Cuadro 2. Composición química del *pennisetum* Cuba CT-115 (Valenciaga (2004)**

Indicador	%
PB	12.63
FDN	74.10
FDA	36.16
Lignina	5.34
Celulosa	30.72
Hemicelulosa	36.94

#### **4.6.1 Uso para pastoreo**

- Preparación convencional del suelo con surcos profundos.
- Sembrar con lluvia o riego a 1 m entre surcos.
- Intercalar con leguminosas temporales entre surcos.
- Intercalar con leguminosa perennes y volubles sobre el surco (Glycine, Ciratro, Kudzú y otras).

- Sembrar en julio o agosto y dar 5 o 6 meses de establecimiento para iniciar el primer pastoreo entre diciembre y febrero.
- Dar 70-80 días de reposo por cuartón para ejecutar el segundo pastoreo entre marzo y mayo.
- Ejecutar un pastoreo en julio.
- Ejecutar las labores de cultivo según recursos disponibles después del pastoreo de julio. Iniciar el nuevo ciclo después de 5 meses de reposo.
- Ejecutar cada pastoreo a fondo hasta que se consuman todas las hojas.
- Ajustar la carga instantánea según la disponibilidad de biomasa, considerar un 60 % de aprovechamiento y comidas de 14 kg de MS (30 a 40 kg de forraje).
- Cada ha de Cuba CT-115 mantiene de 600 a 700 vacas d<sup>-1</sup> durante el período seco.

#### **4.7 Características de *Brachiaria humidicola***

El género *Brachiaria* ha abierto nuevas expectativas en la ganadería tropical por su amplio rango de adaptación, principalmente a suelos ácidos, de baja fertilidad, típicos de los ecosistemas de Sabana, así también por la mayor producción de forraje de mejor calidad nutritiva, en comparación con los pastos nativos. Los pastos correspondientes a este género fueron liberados en México en la década de los ochentas y principios de los noventas, actualmente abarcan una superficie aproximada de 2.6 millones de hectáreas (Holnam *et al.*, 2005). Dentro de este género, el pasto humidicola (*Brachiaria humidicola*) es el de mayor explotación por parte de los ganaderos del Estado de Tabasco, por presentar importantes atributos como resistencia a altas presiones de pastoreo y al ataque

de la mosca pinta (*Aeneolomia* sp), alta tolerancia a suelos con problemas moderados de drenaje (Fisher y Kerridge, 1996), los cuales son frecuentes en el trópico húmedo, crecimiento estolonífero, lo que induce a la formación de praderas densas en detrimento de las malezas, e importante adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad. Gracias a estos atributos, tan solo en Tabasco se estima una superficie superior a 237 000 hectáreas como áreas de alto potencial para el cultivo de este pasto (Olivera y Meléndez, 1997).

El origen de cultivos comerciales de plantas forrajeras del género *Brachiaria* se derivan directamente de accesiones de germoplasma natural recolectado en África oriental (Miles y Do Valle, 1997).

Planta estolonífera con ramas ascendentes de 38 a 60 cm de altura y estolones que pueden alcanzar 1.2 m de longitud, los cuales presentan facilidad de enraizamiento y producción de hijos en los nudos y un buen sistema radical con rizomas que emergen nuevas plantas.

Esta especie se encuentra en un amplio rango de condiciones ambientales. Crece bien en un rango de 0 hasta 2000 msnm en zonas con rango de precipitación en rangos que oscilan de 500 mm a 4000 mm.

Las Brachiarias, además de adaptarse a suelos de baja fertilidad, también son altamente tolerantes a los períodos secos del año no mayores a los seis meses. Tienen amplio rango de adaptación a casi todo tipo de suelo, aunque el



grado de adaptación al exceso de humedad en el suelo depende de la especie del *Brachiaria* en particular. Por ejemplo, el pasto *B. humidicola* se caracteriza por un buen desarrollo en suelos con problemas de drenaje, en cambio el *B. dictyoneura* soporta encharcamientos no mayores a los 14 días. Por el contrario, el híbrido *B. ruziziensis* x *B. brizantha* (pasto mulato) y los pastos *B. brizantha* y *B. decumbens* no toleran suelos con mal drenaje y mucho menos inundados (Funes *et al.*, 1998). *B. decumbens* demuestra un importante comportamiento agronómico y producción animal en carne y leche; sin embargo, un mal manejo, como el sub-pastoreo, lo hace altamente susceptible al ataque de la mosca pinta (*Aeneolamia* spp) o Salivazo (Valerio *et al.*, 1996). Por lo anterior, las *Brachiarias* cubren importantes superficies de explotación ganadera en las regiones tropicales de América (Miles *et al.*, 1996).

**Cuadro 3. Contenido de proteína y digestibilidad de la materia seca de diferentes gramíneas del género *Brachiaria***

Especie	Proteína cruda	Digestibilidad
<i>Brachiaria humidicola</i>	7.1	56.9
<i>Brachiaria decumbens</i>	8.6	61.5
<i>Brachiaria brizantha</i>	10.0	61.8
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	11.2	65.5
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	8.6	59.0

Pérez y Cuesta, 1992.

#### 4.7.1 Producción de forraje

La producción de las plantas depende químicamente de tres factores: fotosíntesis, respiración y organización de fotosintatos, definiéndose el incremento neto como la ganancia de peso por fotosíntesis menos las pérdidas de peso debido a la respiración (Myers, 1991). La limitación más importante para incrementar la producción del cultivo, es la eficiencia con la cual se absorbe y utiliza la energía solar mediante la fotosíntesis; además, el dióxido de carbono se convierte en compuestos orgánicos utilizados para el crecimiento y desarrollo de la planta (Major *et al.*, 1991).

La producción de forraje generalmente se presenta de manera estacional y se refiere a la producción de forraje obtenida en cada estación del año, y su importancia se fundamenta en asegurar la cosecha y manejo del mismo. La producción estacional se determina mediante mediciones de la velocidad de crecimiento de la pastura, utilizando el concepto de tasa de crecimiento o producción, y es referida a la cantidad de materia seca en kilogramos, acumulada por unidad de superficie (ha) y tiempo (día); las estaciones calidas son las más favorables para el crecimiento vegetal, porque en éstas se presentan las lluvias y alta luminosidad, conjugando la mayoría de los factores que determinan el crecimiento de las plantas (Lascano *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2005).

La producción de forraje de las *Brachiarias* es muy variable entre especies, e influenciada por las condiciones del suelo, precipitación y manejo (Enríquez, 1994). Se han reportado producciones anuales de materia seca de 15 y 30 t ha<sup>-1</sup>

en *B. humidicola* y en *B. dictyoneura*, dependiendo de la fertilidad del suelo, pero continuamente se observa una productividad superior a otras gramíneas, sobre todo en el segundo año de establecido, en condiciones de suelos ácidos e infértiles. Por su tolerancia a la sequía, la producción de materia seca puede alcanzar de 30 a 40 % de la producción anual, según la duración e intensidad del período (Tergas, 1981). Argel (1996) reportó un rendimiento de 717, 2461 y 1840 kg ha<sup>-1</sup> de MS para *B. humidicola*, *B. dictyoneura* y *B. decumbens*, respectivamente, en época de sequía, en diferentes ecosistemas de sabana de Centroamérica, México y el Caribe; en ecosistema de bosque tropical siempre verde se obtuvieron 4113, 3304 y 3322 kg ha<sup>-1</sup> MS para las tres especies, respectivamente; y en un bosque tropical lluvioso se reportaron 2957 y 4972 kg ha<sup>-1</sup> de MS para *B. dictyoneura* y *B. decumbens*, respectivamente.

#### **4.8 Características la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea perenne, adaptada a zonas tropicales y sub-tropicales, y su persistencia está asociada a su manejo. Se considera como un recurso forrajero con potencial en los trópicos, debido su alta producción de biomasa por unidad de superficie, ya que es un cultivo eficiente en la captura de la energía solar durante la fotosíntesis. Además, se puede emplear en las etapas críticas de disponibilidad de pastos y forrajes, sobre todo en la época de seca, ya que es en ella cuando tiene la mayor producción de biomasa, debido a que este cultivo requiere poca agua cuando está en edad adulta (Alexander, 1988; Mena, 1988; Figueroa y Ly, 1990; Molina, 1990; Aranda *et al.*,

2003; Martín, 2004). Además, en la época de seca se puede usar como heno en pie y no requiere lugar de almacenaje, ya que normalmente se deja en el propio terreno.

Esta gramíneas es originaria de la India y china. Esta extendida en todo el país de Cuba, utilizándose básicamente para la producción de azúcar y presenta un excelente potencial para la producción de forraje. Es una fuente rica en carbohidratos y la utilización de hojas, paja y tallos se enriquece con adición de urea o se someten a procesos de fermentación lo que les eleva el valor nutritivo (Figueroa y Ly, 1990).

Se plantan tallos de 3 a 5 yemas, que se ponen a surcos corridos y a una distancia entre surcos de 1,20-1,60 m. La profundidad es de 20-30 cm, con una dosis de 8-10t/há. Se planta en los tres primeros meses de la primavera. Se adapta a casi todos los tipos de suelos, aunque prefiere los profundos y fértiles. No es aconsejable para suelos de mal drenaje, erosionables o de bajo grado de mecanización. Tiene bajos requerimientos de fertilizantes (100 Kg. N) y riego con relación a los forrajes tradicionales y posee la bondad de dar cosechas en la época de sequía, cuando la disponibilidad de los pastos es muy baja o nula (Martín, 2004).

Al igual que otros forrajes, el contenido de proteína en las hojas es mayor que en los tallos, la pulpa y la cáscara; esta última muestra mayor concentración de lignina (Aranda y Losada, 1980). De acuerdo con Ferreiro *et al.* (1977), los tallos tienen menos del 1 % de proteína cruda, las puntas menos del 3 % (Preston,

1977); mientras que las hojas pueden tener de 4 a 6 % de proteína cruda, dependiendo de la edad de la planta (Aranda y Losada, 1980).

El aprovechamiento óptimo de la caña de azúcar por los bovinos está limitado por el bajo contenido de proteína. Cuando la caña de azúcar es ofrecida como único alimento, se ha observado que el contenido de carbohidratos solubles reduce la actividad de las enzimas celolíticas (González, 1995; Muños y González, 1998). La digestibilidad de la materia seca de la caña de azúcar, es mayor que la de otros pastos tropicales debido a los carbohidratos solubles de fácil fermentación. Sin embargo, la tasa de digestión de la fibra es menor que la mayoría de los pastos y leguminosas (Mertens, 1993). Esto indica que la digestión de la pared celular de la caña de azúcar, representa una de las principales limitantes para su utilización en la alimentación de los rumiantes. González (1995) señaló que la baja tasa de degradación de la fibra, tiene como consecuencia una reducida velocidad de paso y vaciado del tracto digestivo, lo cual explica el consumo limitado de la caña aun cuando se ofrezca *ad limitum* (Leng y Preston, 1976).

La caña es una gramínea empleada como forraje de auxilio durante la época seca en rumiantes, pues posee características bromatológicas y químicas que limitan su empleo como forraje único al constar tan sólo con un 2.6 % de proteína cruda, un contenido de fibra del 25.7 %, un total de nutrientes digestibles (TND) del 61 % y una digestibilidad de la materia orgánica (DIVMO) del 60.6 %; además de tener un bajo contenido de energía digestible (2.69 Mcal kg<sup>-1</sup>) (Conrad

*et al.*, 1990), lo que provoca una disminución en el consumo y en la productividad animal. Estas limitaciones han sido estudiadas para compensarlas a través de la suplementación, tratamientos químicos y físicos para aumentar la digestibilidad de la fibra (Martín, 1985; Sttuart *et al.*, 1994).

**Cuadro 4. Proporciones de fibra y sus componentes (%) de tres variedades de caña de azúcar de 12 meses de edad**

Componentes	Variedades		
	Q-107	Mex 69-290	Mex 83-481
Proteína	1.94	1.93	2.53
Contenido celular	50.03a	47.98a	39.61b
Fibra neutro detergente	49.98b	52.02b	60.40a
Fibra acido detergente	35.08b	33.64b	40.19a
Celulosa	25.02b	24.78b	29.80a
Hemicelulosa	14.89	18.38	20.21
Lignina	8.59	7.39	8.8
Sílice	1.48	1.5	1.60

Aranda *et al.*, 2004.

#### **4.9 Métodos de evaluación del valor nutritivo y de las características fisiológicas estructurales de las paredes celulares de los pastos tropicales**

En los años sesentas, Van Soest desarrolló métodos para cuantificar la fibra utilizando detergentes en soluciones neutras y ácidas. En el primer caso la muestra era tratada con una solución de Sulfato de lauril sódico en amortiguador

de pH neutro y al residuo lo llamó fibra detergente neutro (FDN) o paredes celulares (Van Soest y Wine, 1967). El pH neutro disminuye las pérdidas de la hemicelulosa y de la lignina, contrario a lo que sucede a pH alto o bajo. La FDN no es una unidad fisiológica; sin embargo, se ha demostrado experimentalmente que corresponde bastante bien con lo que se define como fibra de la dieta.

#### **4.9.1 Método de la fibra detergente neutro (FDN)**

Este método consiste en hervir con un detergente neutro la muestra de alimento que fue secado a una temperatura de 55 a 60 °C; los residuos obtenidos son las paredes celulares, si proviene de un alimento vegetal, y fibra detergente neutro si el alimento no es vegetal. Este método permite obtener una fracción soluble, la cual resulta, casi completamente digestible para los rumiantes y no rumiantes (Van Soest, 1963).

#### **4.9.2 Método de la fibra detergente ácido (FDA)**

El método de la fibra detergente ácido determina el complejo lignocelulósico y silicio mediante la digestión de materia seca con un detergente (Bromuro de cetiltrimetilamonio) en un amortiguador ácido. La diferencias entre los valores de paredes celulares (FDN) y la fibra detergente ácida es una estimación de la hemicelulosa. El detergente ácido elimina la proteína y otro material ácido soluble que interfiere con la determinación de lignina. El residuo FDA consiste de celulosa, lignina, cutina y cenizas ácida ácido insolubles (Van Soest, 1963).

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Ubicación**

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en el Km. 21 carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, en el Municipio de H. Cárdenas, Tabasco. El Campus Tabasco está localizado a los 18° 00' latitud norte y 93 ° 30' de longitud oeste, con una altitud de 9 m s.n.m.. El clima de la región es del tipo Am (f) w''(i) g, cálido húmedo con lluvias en verano, de acuerdo a la clasificación climática de Koopen, modificada por García (1987). La precipitación promedio anual es de 2 163 mm. y la temperatura media anual de 25 °C, con una humedad relativa promedio de 80 %. Los análisis químicos de las muestras de alimento se realizaron en el Laboratorio de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en Periférico Carlos A. Molina S/N, carretera Cárdenas-Huimanguillo, H. Cárdenas Tabasco.

### **5.2 Suelos**

De acuerdo con Palma y Cisneros (1996), los suelos de la región experimental son Vertísoles, los cuales después de los primeros 18 cm, tienen 30 % o más de arcilla, grietas hasta por debajo de la superficie, en alguna época del año, a menos que estén irrigados; tienen por lo menos 1 cm de ancho a la profundidad de 50 cm; poseen caras de deslizamiento (caras de frotamiento) hasta intersecciones (recortes) o agregados estructurales, en forma de cuña o



paralelepípedo a una profundidad entre 25 y 100 cm, con o sin gilgai (microrelieve en forma de pequeños puntos promontorios), producidos por los fenómenos de expansión y concentración.

### **5.3 Forrajes evaluados**

Se evaluó el material vegetal de los pastos Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). El material se colectó en tres municipios del estado de Tabasco. Las muestras del pasto Cuba CT-115 fueron obtenidas de una pradera establecida en el municipio de Tenosique y se cosechó cuando la planta tenía 70 días de rebrote. Las muestras del pasto Humidícola, se colectaron en el Municipio de Huimanguillo de una pradera con edad de crecimiento de 50 días. El material vegetal de la caña de azúcar se colectó a 180 días de crecimiento, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, en el Municipio de H. Cárdenas.

De los forrajes evaluados, se cortaron al azar cinco sub muestras de 20 kg en el área del cultivo, se extendieron para pre secar al sol durante dos horas, después se introdujeron en una estufa de aire forzado a una temperatura constante de 60 °C, durante 48 h. Finalmente las muestras se molieron en un molino de martillos marca Thomas Willey® con malla de 1 mm.

## **5.4 Tratamientos experimentales**

Para fines del presente estudio, el trabajo experimental se dividió en dos ensayos:

### **5.4.1 Ensayo I: Cinética de digestión de los componentes estructurales de los forrajes evaluados íntegros**

El primer ensayo consistió en evaluar la cinética de degradación y la tasa de digestión de la materia seca, y de la fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y en la Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), sin previo tratamiento (Cuadro 5.)

### **5.4.2 Ensayo II: Cinética de digestión de las paredes celulares de los forrajes evaluados**

Para el segundo ensayo se siguió un procedimiento similar al realizado en el primer ensayo, con la variante de que a las muestras de los forrajes evaluados se les dio un tratamiento previo a la incubación ruminal con detergente neutro y ácido, para determinar el potencial de digestibilidad de la fracción fibrosa de forrajes tropicales en estudio (Cuadro 5).

## 5.5 Tratamientos experimentales

Los tratamientos experimentales se establecieron con base a los ensayos planteados para este trabajo, evaluando los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), y la única variante entre los ensayos I y II fue el tratamiento previo o no con detergente neutro y ácido de las muestras analizadas (Cuadro 5). El tratamiento previo de las muestras se hizo con base a la metodología propuestas por Van Soest *et al.* (1991).

**Cuadro 5. Tratamientos experimentales para los ensayos evaluados**

Tratamientos (T)	Ensayo I <sup>‡</sup>	Ensayo II <sup>£</sup>
T1	Humidícola	Humidícola
T2	Caña de azúcar	Caña de azúcar
T3	Cuba CT115	Cuba CT115

<sup>‡</sup> Ensayo I. Muestras de forrajes sin tratamiento con detergentes neutros y ácidos.

<sup>£</sup> Ensayo II. Muestras de forrajes previamente tratados con detergentes neutros y ácidos.

## 5.6 Animales

Se utilizaron dos novillos con encaste *Bos taurus* x *Bos indicus* con un peso vivo promedio de  $540 \pm 12$  kg, acondicionados con fístula ruminal. Los animales permanecieron en pastoreo en una pradera de Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*) y fueron suplementados por la mañana (8:00 h) y tarde

(17:00 h) con caña de azúcar enriquecida con urea (3 %). Asimismo, se ofreció agua y las sales minerales a libre acceso. Previo a la incubación de las muestras en el rumen, los animales tuvieron un período de adaptación a la dieta de 15 días.

Al inicio del experimento los novillos fueron identificados, pesados, desparasitados interna (Ripercol<sup>®</sup>, 5 mL animal<sup>-1</sup>) y externamente (Neguvon<sup>®</sup>) y vitaminados (Vigantol<sup>®</sup>, 5 mL animal<sup>-1</sup>).

## **5.7 Variables de respuesta**

### **5.7.1 Materia seca, MS**

Se determinó pesando 100 g de material fresco y posteriormente se introdujo en una estufa con aire forzado a 55 °C hasta alcanzar peso constante y por diferencia de peso se obtuvo la MS (AOAC, 1990).

### **5.7.2 Proteína total, PT**

Se determinó el contenido total de nitrógeno por medio del método Micro Kjeldahl, de acuerdo al método propuesto por la AOAC (1990).

### **5.7.3 Fibra Detergente Neutro (FDN) y Ácido (FDA)**

Se realizó con base a la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991), empleando detergente neutro (FDN) y ácido (FDA).

#### **5.7.4 Digestibilidad y cinética de digestión *in situ***

Se determinó la digestibilidad *in situ* de la materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido mediante la técnica de Vanzant *et al.* (1998) usando bolsas de nailon (15 x 5 cm; tamaño de poro de  $30 \pm 10 \mu\text{m}$ ) con 5 g de muestras (MS) de los forrajes evaluados (Cuba CT-115, Humidícola y Caña de azúcar), y sus fracciones de fibras (previamente tratadas con detergente neutro y ácido), de acuerdo a los tratamientos y ensayos (I y II) establecidos para esta investigación (Cuadro 5). Las muestras fueron previamente molidas en un molino de martillos marca Thomas Willey® con malla de 1 mm. Se colocaron dos bolsas de cada muestra dentro del rumen de cada novillo.

Los tiempos de incubación fueron: 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 h. Posteriormente las bolsas se lavaron con agua corriente, agitando manualmente hasta que el afluyente de las bolsas se tornó claro, se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C, conservándose para su análisis posterior. Se midió el residual de MS, FDN y FDA en cada bolsa, y la digestibilidad *in situ* se estimó como el porcentaje de desaparición calculándolo de la siguiente forma:

Se determinaron las constantes de degradación ruminal de la materia potencialmente digestible para los tres forrajes utilizados, empleando 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 remanente en cada tiempo de fermentación.

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

$$FA = De^{-kt} + U$$

Dónde:

e = base del logaritmo natural.

FA = porcentaje de la fracción residual.

-k = pendiente, tasa de degradación.

t = tiempo de incubación.

D = fracción potencialmente digerible en rumen.

U = Fracción indigestible.

## 5.8 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron de acuerdo con un Diseño de Bloques Generalizados al Azar, considerando a la incubación por animal como un bloque, usando la interacción bloque x tratamiento como error experimental (Steel y Torrie, 1980). Se utilizó el procedimiento GLM del SAS (1999) para el análisis de resultados. El modelo estadístico aplicado fue el siguiente:

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

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media general

$C_i$  = Efecto del tipo de suplemento

$B_j$  = Efecto del animal (bloque)

$B_j * C_i$  = Error experimental

$R_{ij}$  = Residual

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Composición química los forrajes Cuba CT-115, Humidícola y de la Caña de azúcar

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de la composición química de los pastos Humidícola, Caña de azúcar y Cuba CT-115, en donde se puede apreciar que la caña de azúcar presentó el mayor ( $p < 0.05$ ) contenido de MS, en tanto que el CT-115 y el Humidícola resultaron similares ( $p > 0.05$ ) en el contenido de esta variable.

**Cuadro 6. Composición química (%) de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**

Forraje	MS	PT	FDN	FDA
Cuba CT-115	10.8 <sup>b</sup>	10.7 <sup>a</sup>	73.4 <sup>a</sup>	43.9 <sup>a</sup>
Humidícola	7.5 <sup>b</sup>	9.4 <sup>a</sup>	75.2 <sup>a</sup>	40.7 <sup>a</sup>
Caña de azúcar	24.3 <sup>a</sup>	3.8 <sup>b</sup>	57.4 <sup>b</sup>	31.4 <sup>b</sup>
C.V.	6.4	5.9	10.4	11.6

MS= Materia seca, PT = Proteína total, FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido.

a, b: Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

C.V. Coeficiente de variación.

En contraste, el contenido de proteína total presentó un comportamiento inverso, observándose el menor ( $p < 0.05$ ) contenido de este nutriente en la Caña de azúcar, representando a penas el 30 % de la proteína encontrada en los pastos CT-115 y Humidícola. Asimismo, contenido de FDN y FDA de la caña de azúcar fueron bajos ( $p < 0.05$ ) en comparación con los registrados en los pastos CT-115 y Humidícola.

En un estudio conducido por Deschamps y Alves de Brito (1998), donde evaluaron variedades del género *Pennisetum purpureum*, se encontraron valores de composición química inferiores a los reportados en este trabajo. De manera similar, Herrera y Ramos (1990) reportaron valores promedio de proteína cruda de 9.8 % en King grass, inferior al encontrado en este estudio.

En estudios recientes realizados en diferentes pastos tropicales explotados en Tabasco, se han demostrado que, en promedio, el contenido de proteína puede ser de 10 %, en la época de lluvias, y hasta de un 14 % en la época seca, teniendo el pasto *B. humidicola* los valores más bajos, que van de 7 a 13 % durante el mismo período (Juárez y Bolaños-Aguilar, 2004; Juárez *et al.*, 2006). Para el caso de este estudio, el contenido de proteína total se ubicó dentro de ese intervalo. No obstante, en el estudio conducido por Purata (2007) al evaluar 21 genotipos de *Brachiaria humidicola* encontró niveles porcentuales ligeramente superiores a los detectados en nuestro estudio. Este fenómeno puede ser explicado por un efecto de dilución de la proteína cuando se incrementa la materia



seca, comportamiento que ha sido expuesto en forrajes de zonas templadas y tropicales (Cruz y Lemaire, 1996; Cruz y Guillaume, 1999; Juárez *et al.*, 2006).

La composición de la caña de azúcar fue similar a la reportada por Cano *et al.* (2003), quienes encontraron niveles de 2.93, 71.04 y 36.57 % de PT, FDN y FDA, respectivamente. De manera similar, Torres-Salado *et al.* (2007), encontraron valores similares a los reportados en este estudio para proteína, FDN y FDA.

## **6.2 Ensayo I. Cinética de digestión de los componentes estructurales de los forrajes evaluados íntegros**

### **6.2.1 Digestibilidad de la materia seca**

La digestibilidad de la materia seca (Cuadro 7 y Figura 3) fue diferente ( $p < 0.05$ ) en los forrajes evaluados entre las 3 y 24 h de incubación, observándose la digestibilidad más alta ( $p < 0.05$ ) en la Caña de azúcar y la más baja ( $p < 0.05$ ) en el pasto Humidícola. Después de las 48 h de incubación, el pasto Humidícola y el CT-115 presentaron niveles de digestibilidad similares ( $p > 0.05$ ), mientras que la caña de azúcar mantuvo la digestibilidad más alta ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro 7. Digestibilidad *in situ* de la materia seca de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**

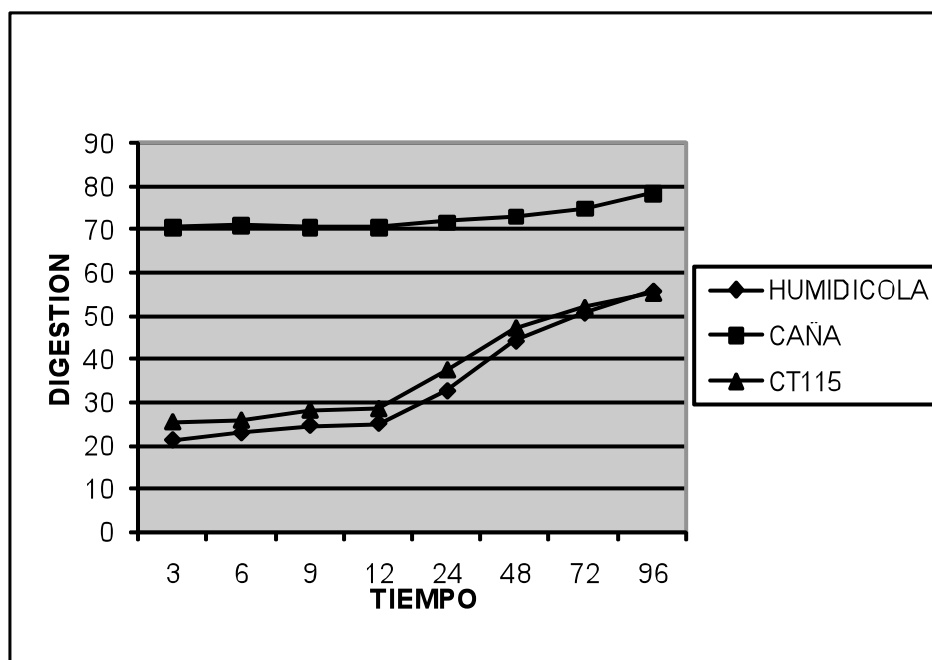
Tratamiento	Horario de incubación							
	3	6	9	12	24	48	72	96
CT-115	25.54b	25.93b	28.24b	28.58b	37.56b	47.25b	52.05b	55.16b
Humidícola	21.37c	23.04c	24.78c	25.24c	32.77c	44.33b	51.04b	50.62b
Caña	70.66a	70.97 <sup>a</sup>	70.51 <sup>a</sup>	70.73a	71.75 <sup>a</sup>	77.13a	74.41a	75.10a
C.V.	1.81	2.02	1.90	1.89	1.87	4.84	3.42	4.38

a,b,c: Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

C.V. Coeficiente de variación.

Se ha señalado que el potencial de digestión de los forrajes en el rumen está en función de los nutrientes disponibles para el crecimiento y una óptima actividad de las bacterias, protozoarios y hongos ruminales. En este sentido, un aporte adecuado de energía y proteína se relacionará un mejor comportamiento de digestibilidad de la materia seca en el rumen (Church, 1993). Congruente con lo anterior, la caña de azúcar presentó los valores más altos de digestibilidad de la materia seca; resultados que son similares a los reportados por Cano *et al.* (2003), Aranda *et al.* (2004) y Torres-Salado *et al.* (2007), explicándose por el alto contenido de carbohidratos solubles. No obstante, la digestibilidad de la materia seca de la Caña de azúcar está en función de los componentes morfológicos de

las planta, de esta manera Valenciaga *et al.* (2001) encontraron una degradación de la materia seca de 59.7, 38.1, 50.1 % en hojas, tallos y en la planta completa, respectivamente.



**Figura 3. Digestibilidad *in situ* de la materia seca de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).**

Vergara y Araujo (2006) concluyeron que las degradabilidad en el rumen de la materia seca del pasto Humidícola obedecen a un comportamiento cinético de segundo orden, con una fase de lenta degradación o fase retardada y otra de rápida degradación. A este respecto, se ha considerado que en parte, la baja digestibilidad del pasto Humidícola está relacionada con los niveles deficientes de proteína en este pasto (Bolaños-Aguilar, 2006; Reyes, 2007), lo cual conduce a un crecimiento y actividad bacteriana inapropiada, ocasionando que se obtenga niveles de digestión cercanos al 50 % de la materia seca. Congruente con esto,

Pérez y Cuesta (1992) reportaron valores de digestibilidad de 56.9 %, similar al encontrado en esta investigación al final del periodo de incubación (96 h).

Congruente con la similitud observada en el contenido de proteína, FDN y FDA entre los pastos CT-115 y Humidícola, los resultados en la digestibilidad de la materia seca, al final del periodo de incubación (96 h) fueron también similares entre estos forrajes. Aunque el pasto CT-115 ha sido seleccionado con el objetivo de brindar ventajas sobre otros pastos tropicales, el aprovechamiento animal aun es el factor limitante (Valencia *et al.*, 2001).

### **6.2.2 Tasa de digestión de la MS, FDN y FDA**

La tasa de digestión de la materia seca (Cuadro 8) de la caña de azúcar fue superior ( $p < 0.05$ ) a la observada en los pastos Humidícola y CT-115; no observándose diferencias ( $p > 0.05$ ) entre la tasa de digestión de estos pastos. En contraste, la tasa de digestión de la FDN y FDA de la caña de azúcar fue las más baja ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. La alta tasa de digestión de la materia seca observada en la Caña de azúcar está relacionada con una rápida fermentación de los carbohidratos solubles; sin embargo, no sucede lo mismo con la tasa de digestión de la FDN y FDA, debido al alto grado de lignificación que presentan los tallos de esta gramínea (Aranda *et al.*, 2004).

**Cuadro 8. Tasa de digestión (% h<sup>-1</sup>) de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**

Tratamiento	MS	FDN	FDA
CT115	12.67 <sup>b</sup>	3.80 <sup>a</sup>	1.80 <sup>a</sup>
Humidícola	8.31 <sup>b</sup>	4.55 <sup>a</sup>	2.85 <sup>a</sup>
Caña	26.40 <sup>a</sup>	1.54 <sup>b</sup>	0.79 <sup>b</sup>
C.V.	5.24	58.93	43.31

MS= materia seca FDN= fibra detergente neutro FDA= fibra detergente acido, a,b= Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, p<0.05)

C.V. Coeficiente de variación.

### 6.2.3 Parámetros de la digestión de la materia seca

Dentro de los parámetros evaluados, en la fase Lag no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los tres tratamientos; pero la extensión de la digestión en la caña de azúcar fue superior ( $p < 0.05$ ) a los forrajes Humidícola y CT-115. En la fracción indigestible, el pasto Humidícola fue superior ( $p < 0.05$ ) a la Caña de azúcar y al CT-115. Finalmente, en la fracción potencialmente digestible la Caña de azúcar tuvo el valor más alto ( $p < 0.05$ ), seguido por el pasto CT-115 y el valor más bajo ( $p < 0.05$ ) se registró con el pasto Humidícola.

**Cuadro 9. Parámetros de la digestión de materia seca los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**

Tratamiento	Fase lag	Extensión de la digestión	Fracción indigestible	Fracción potencialmente digestible
CT-115	1.3a	55.2b	44.7ab	46.3b
Humidícola	1.9a	55.9b	51.5a	38.8c
Caña	2.1a	78.5 <sup>a</sup>	21.3b	89.9a

a,b= Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Los resultados de los parámetros de la digestión de la materia seca indican, de manera general, que no existió diferencia en el tiempo que las bacterias ruminales reconocen el sustrato de los forrajes evaluados e inician la digestión de éstos. Asimismo, se destaca que la caña de azúcar posee una mayor cantidad de constituyentes potencialmente digestibles, generados básicamente por los carbohidratos solubles y de fácil fermentación.

### **6.3 Ensayo II. Cinética de digestión de las paredes celulares de los forrajes evaluados previamente tratados con detergente neutro y ácido**

Durante las primeras 24 h de incubación, la digestibilidad de la paredes celulares (FDN) de los forrajes CT115 y Caña de azúcar no mostró diferencias ( $p>0.05$ ); sin embargo, el pasto Humidícola tuvo los valores más bajos ( $p<0.05$ ) en este período. Después de las 24 h de incubación, no se observaron cambios generalizados en a digestibilidad de la FDN entre los forrajes evaluados.

En el fraccionamiento de la caña de azúcar con detergente neutro y la evaluación de su digestibilidad permitió obtener resultados de 35.69, 37.89 y 42.12, correspondientes a tres variedades (Aranda *et al.*, 2004). Estos resultados son inferiores a los encontrados en este estudio. Los niveles de digestibilidad de la FDN encontrados para el forraje Humidícola por Vergara *et al.* (2006) fueron de 49.20 a 51.52 en época de seca y de 52.54 a 55.23 en época de lluvias, en diferentes edades de corte, resultando similares los obtenidos en esta investigación.

**Cuadro 10. Digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) previamente tratados con detergente neutro**

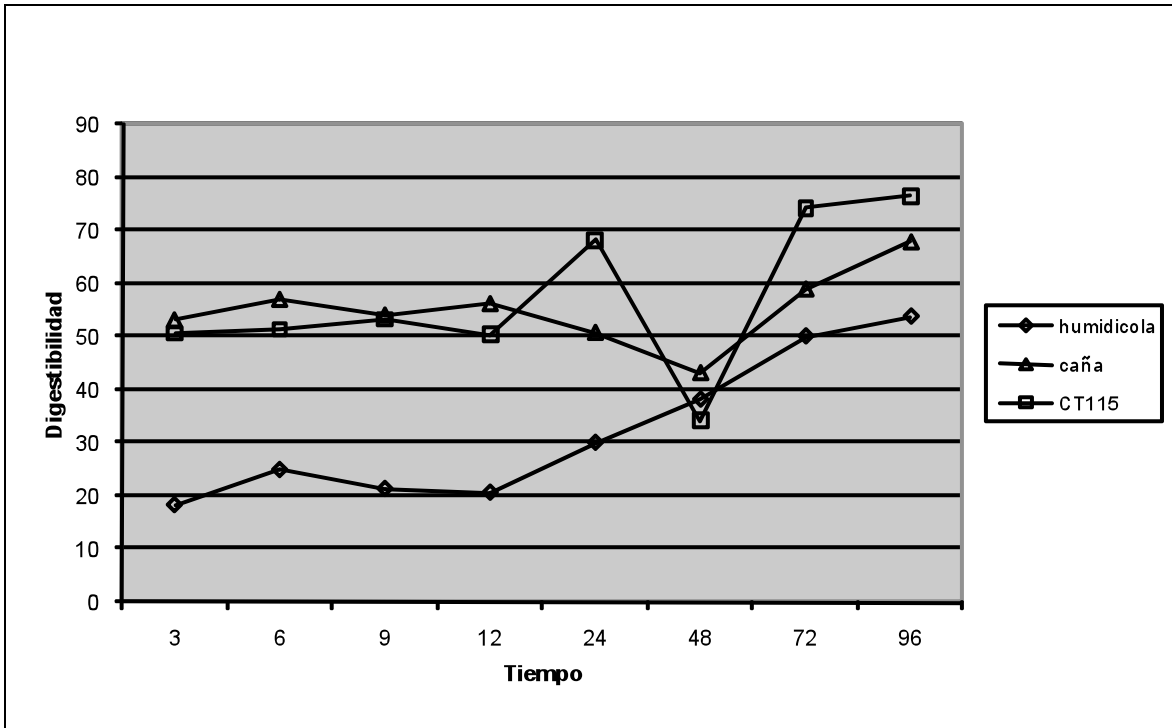
Tratamiento	Horario de incubación							
	3	6	9	12	24	48	72	96
Humidícola	18.43b	25.01b	21.46b	20.76c	30.11b	38.21a	50.06b	53.77a
Caña	53.21 <sup>a</sup>	57.10a	54.15a	56.29a	50.86ab	43.21a	59.08ba	67.99 <sup>a</sup>
CT-115	50.75 <sup>a</sup>	51.46a	53.36a	50.42b	68.41a	34.23a	74.35a	76.67 <sup>a</sup>
C.V	8.5	12.75	4.62	6.14	24.16	19.84	17.79	19.71

MS= materia seca FDN= fibra detergente neutro FDA= fibra detergente acido, abc= Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

C.V. Coeficiente de variación.

En el caso del CT-115, los niveles de digestibilidad de FDN, reportados por Valenciaga *et al.* (2001) fueron similares a los encontrados en este trabajo. En contraste, Herrera *et al.* (1995) encontraron resultados superiores en la digestibilidad de la FDN, relacionándolos con menores contenidos de lignina en el Cuba CT-115.





**Figura 4. Digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) previamente tratados con detergente neutro**

La digestibilidad de la fibra detergente ácido (FDA) (Cuadro 11) en el material previamente tratado con detergente fue mayor ( $p < 0.05$ ) para el pasto CT-115 en los horarios de 3 a 9 h y a las 24 h, con relación al pasto Humidícola y a la Caña de azúcar. En Contraste, en los horarios de 72 y 96 h el CT-115 mostró la digestibilidad de la FDA más baja ( $p > 0.05$ ) con relación a los otros dos forrajes evaluados.

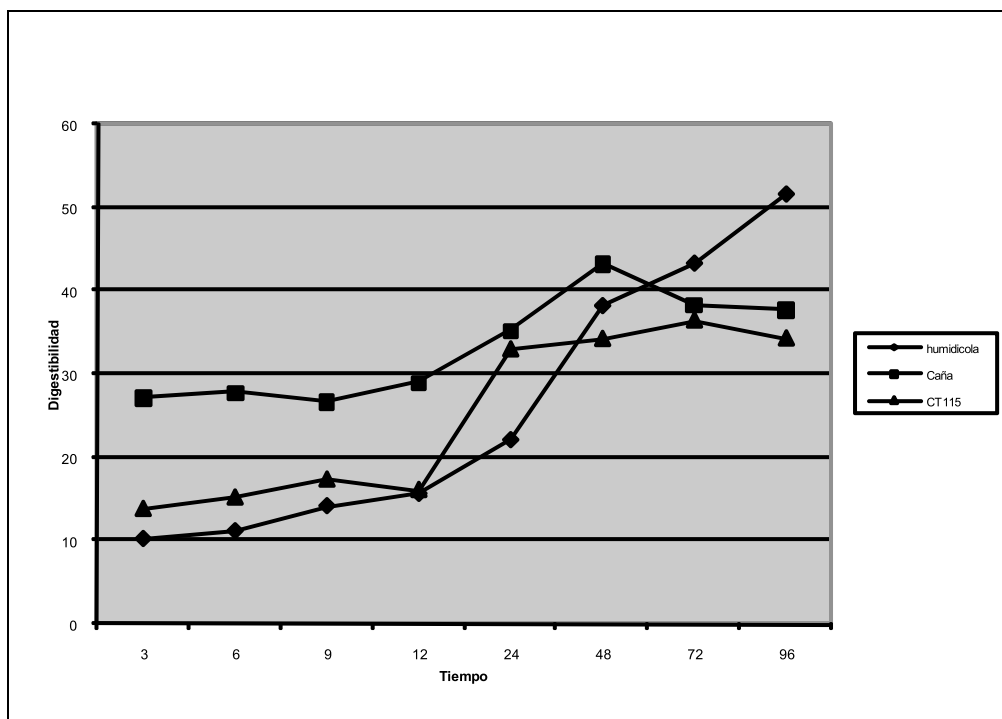
**Cuadro 11. Digestibilidad de fibra detergente ácido (FDA) de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) previamente tratados con detergente ácido**

Tratamiento	Horario de incubación							
	3	6	9	12	24	48	72	96
CT115	13.90 <sup>a</sup>	15.27 <sup>a</sup>	17.41 <sup>a</sup>	16.17 <sup>a</sup>	32.98 <sup>a</sup>	34.23 <sup>a</sup>	36.44 <sup>b</sup>	34.29 <sup>b</sup>
Humidícola	10.19 <sup>b</sup>	11.13 <sup>b</sup>	14.14 <sup>b</sup>	15.62 <sup>a</sup>	22.08 <sup>b</sup>	38.21 <sup>a</sup>	43.32 <sup>a</sup>	51.64 <sup>a</sup>
Caña	9.12 <sup>c</sup>	11.17 <sup>b</sup>	12.11 <sup>b</sup>	14.94 <sup>a</sup>	19.12 <sup>b</sup>	37.01 <sup>a</sup>	41.26 <sup>a</sup>	49.01 <sup>a</sup>
C.V	4.76	11.61	9.53	7.08	31.57	19.84	14.06	11.21

a,b= Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

C.V. Coeficiente de variación.

Estos resultados son congruentes con los reportados por Valenciaga *et al.* (2006), en las primeras horas de incubación, al evaluar el pasto CT-115 a dos edades de corte; sin embargo, al final de la incubación, los resultados de este trabajo resultan inferiores a los reportados por Valenciaga *et al.* (2006), lo cual indica que el tratamiento previo con detergente ácido no mejoró la digestibilidad de la FDA.



**Figura 5. Digestibilidad de fibra detergente ácido (FDA) de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) previamente tratados con detergente ácido**

En el Cuadro 12 se presenta la tasa de digestión de los componentes de la pared celular de los forrajes evaluados, previamente tratados con detergentes neutro y ácido. La tasa de digestión en la FDN y FDA del pasto Humidícola fue la más alta ( $p < 0.05$ ) con relación a los forrajes evaluados, no existiendo diferencias ( $p > 0.05$ ) entre el pasto CT-115 y la caña de azúcar para estas variables.

Los resultados encontrados por Aranda *et al.* (2006) en las tasas de digestión de las paredes celulares en algunas variedades de caña (MEX 83-482, MEX 83-510, 2.42), fueron similares a los encontrados en este trabajo,

considerándose bajos en comparación con otros pastos y leguminosas (Mertens, 1993).

**Cuadro 12. Tasas de digestión de la FDN y FDA de los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y de la Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) previamente tratados con detergentes**

Tratamiento	FDN	FDA
CT115	2.14b	1.71b
Humidícola	5.17a	3.44 <sup>a</sup>
Caña	1.70b	1.67b

FDN= fibra detergente neutro FDA= fibra detergente ácido.

a,b= Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ), C.V. Coeficiente de variación.

En el Cuadro 13 se presentan los parámetros de la digestión de la FDN de los forrajes evaluados. No se observaron diferencias ( $p > 0.05$ ) en la fase lag y en la fracción potencialmente digestible entre los forrajes evaluados. Sin embargo, la extensión de la digestión fue menor ( $p < 0.05$ ) y la fracción indigestible fue mayor ( $p < 0.05$ ) para la caña de azúcar.

**Cuadro 13. Parámetros de la digestión de la fibra detergente neutro los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) previamente tratados con detergente neutro**

Tratamiento	Fase lag	Extensión de la digestión	Fracción indigestible	Fracción potencialment e digestible
Cuba CT-115	0.90a	40.95 <sup>a</sup>	50.03b	52.35a
Humidícola	0.67a	50.25 <sup>a</sup>	47.73b	41.1a
Caña	0.34a	28.45b	71.53 <sup>a</sup>	62.36a

abc= Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Los resultados obtenidos en la fase lag para la digestibilidad de la FDN en forrajes previamente tratados resultó baja en comparación con otros resultados encontrados en la literatura. De esta manera, Delgado *et al.* (2005) reportaron encontró una fase lag de 2.3 para *P. purpureum*; sin embargo, la fracción potencialmente degradable reportada por el mismo autor fue similar a la encontrada en este trabajo.

Para el caso de los parámetros de la digestión de la FDA (Cuadro 14) no se encontraron diferencias ( $p \geq 0.05$ ) en ninguno de los parámetros evaluados, entre los forrajes en estudio.

**Cuadro 14. Parámetros de la digestión de la fibra detergente ácido los forrajes Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) previamente tratados con detergente ácido**

Tratamiento	Fase lag	Extensión de la digestión	Fracción indigestible	Fracción potencialmente digestible
Cuba CT-115	0.71a	52.35 <sup>a</sup>	53.21a	34.61a
Humidícola	0.81a	44.1 <sup>a</sup>	56.21a	22.39a
Caña	0.90a	62.36 <sup>a</sup>	52.86a	26.74a

ab= Medias con distinta literal en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

De manera similar a lo que sucedió con los parámetros de la digestibilidad de la FDN para los forrajes previamente tratados, los parámetros de la digestibilidad de la FDA resultaron bajos en comparación con otros resultados encontrados en la literatura (Delgado *et al.*, 2005), y estos resultados pueden ser explicados por la falta de nutrientes necesarios para que los microorganismos ruminales colonicen la fibra. Además de que en la FDA existen enlaces intramoleculares fuertes que establece la lignina con otros componentes de la pared celular que constituyen una potente barrera físico-química. Esta última limita la degradación anaeróbica de los componentes de la pared por parte de los microorganismos del rumen (Sederoff *et al.*, 2002).

## VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos establecidos en este trabajo y a los resultados encontrados, se concluye que la caña de azúcar es un recurso forrajero con potencial de degradación en sus primeras horas de incubación ruminal debido a los azúcares solubles y de fácil fermentación; sin embargo a medida que transcurre el tiempo de incubación la digestibilidad se ve afectada por la presencia de constituyentes de la pared celular y su alto grado de lignificación. Asimismo, el pasto CT-115 mostró mejores parámetros de digestibilidad con relación al pasto Humidícola.

El tratamiento previo de los forrajes con detergentes neutro y ácido no mejoró los parámetros de digestión de la FDN y FDA, posiblemente por la falta de nutrientes para los microorganismos ruminales, lo cual disminuyó su actividad degradativa.



## VIII. LITERATURA CITADA

AOAC. 1990. Official Methods of Análisis. (12th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C. 1018 p.

Aranda E., P. Ruiz, G. Mendoza, C. Marcof, J. Ramos, A. Elías. 2004. Cambios en la digestión de tres variedades de caña de azúcar y sus fracciones de fibra. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 38(2):137-144.

Bolaños-Aguilar ED. 2006. Las curvas de dilución de la proteína como herramienta de selección en pastos tropicales. XLII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Veracruz, Veracruz. Pp. 198.

Cano, A. L. E. Aranda, G. Mendoza, J. Péres, J. Ramos. Comportamiento de toretos en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar y enzimas fibrolíticas. Tec. Pec. Méx. 41(2):153-164.

Calsamiglia, S. ( 1997 ). Nuevas bases para la utilización de la fibra en la dieta de rumiantes. XIII Curso de Especialización FEDNA. Universidad Autónoma de Barcelona. Madrid, 6 y 7 de noviembre. 3 – 19 pp.

Castañeda, E. A. y V. J. Monrroy. 1984. Métodos de procesamiento de subproductos agrícolas para elevar su valor nutricional. In: Gonzalez, S y M. Cuca (eds.) Utilización de productos Agroindustriales en la alimentación de rumiantes. Colegio de Posgraduados, Montecillos, Edo. De México. p: 6-25.

Church, D. C. 1993. El rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed. Acribia, Zaragoza, España. pp:127-135.

Crespo, G., Herrera, R.S. & Martínez, O. 2003. Principales factores que influyen en la producción y calidad de biomasa de gramíneas. En: II foro Latinoamericano de pastos y forrajes. La Habana, Cuba.

Cruz P, Guillaume P. 1999. Croissance et nutrition minérale de la canne à sucre au cours de repousses sucesives. Cahiers Agricole 8 : 101-107.

Cruz P, Lemaire G. 1996. Diagnosis of the nitrogen status of grass stand. Tropical Grasslands. 30(1): 166

De Dios VOO. 2001. Ecofisiología de los bovinos en sistemas de producción del trópico húmedo. Colección José N. Rovirosa: Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). 376 p.

Delgado, D., Rosalban Y., Cairo, J. 2005. Degradabilidad ruminal in situ de pennisetum purpureum Cuba CT-115 en búfalos de río y Cebú comercial. Rev. Cubana de Ciencia Agric. 39(2):187-192.

Deschamps, F.C. & Alves de Brito, C.J.F. 1998. Quality and participation of several fractions of three elephant grass cultivars (*Pennisetum purpureum*, *Schumacher*). Anais da XXXV Reuniao da SBZ. Botucatu-SP.

Draper, N. and Smith. 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons. New York. 709 p.

Elías, A. 1983. Digestión de pastos y forrajes tropicales. En: Los pastos en cuba, tomo 2, Utilización, Capítulo IV. Ed. EDICA. La Habana, Cuba. 187 – 246 pp.

Enríquez, Q. F. 2001. Los forrajes del trópico húmedo de México: conocimiento actual e investigación futura. En: Memorias Los forrajes en México. Presente y futuro. Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. pp. 1-24.

Enríquez, Q.J.F., Meléndez, N.F. & Bolaños, A.E.D. 1999. Tecnología para la producción y manejos de forrajes tropicales de México. INIFAP – Produce. Libro técnico No.7. División pecuaria. México. 263 p.

FAO. 2003. Estudio FAO investigación y tecnología 8. Biotecnología agrícola para países en desarrollo. Resultado de un foro electrónico. Roma. <[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/004/Y2729S/y2729s00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/004/Y2729S/y2729s00.htm)> /Consultado: 7 de septiembre del 2005/.

Garcés, Y.P. & Canudas, L.E. 2000. Potencial de producción de carne en sistemas de pastoreo para el trópico. En: 2° Simposium internacional sobre bovinos de carne. Veracruz, México.

García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koopen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 4a ed. UNAM. México. 243 p.

García. H. E. R. & Peña, V. B. C. (1995). La pared celular. Primera Edición. Universidad de Chapingo. 15- 50 pp.

García-Trujillo, R. 1980. Utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. Pastos y Forrajes. 3:503.

Garmendia, J. 1998. Suplementación estratégica en la reproducción de vacas de doble propósito. En: Estrategias de alimentación para la ganadería tropical. Centro de transferencia de tecnología en pasto y forraje. La universidad del Zulia

González, G., & Rodríguez, A.A. 2003. Effect of storage method on fermentation characteristics, aerobic stability, and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales. A. Dairy Sci. 86: 926 – 933.

Hernández, G.R. 2002. Libro Botanica on line. Mérida, Venezuela.  
<http://forest.ula.ve/~rubenhg>

Herrera, G.R.S. 2004. Fisiología, calidad y muestreo. En: Pastos tropicales. Contribución a la fisiología, establecimiento, rendimiento de biomasa, producción de semillas y reciclaje de nutrientes. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 306 p.

Herrera, R.S. & Ramos, N. 1990. Evaluación agronómica del king grass. En: King grass. Plantación, establecimiento y manejo en Cuba. Ed. EDICA. Instituto de Ciencia Animal, La Habana. p. 111

In Mila, A., ed. Pastos y forrajes para Colombia. 3ª. ed. Banco Ganadero Bogotá. Pp.85-94.

INEGI. 2004. Regiones ecológico-ganaderas por entidad federativa. <[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)> /Consultado: 8 de septiembre del 2005/.

Juárez HJ, Bolaños AED. 2004b. Producción de materia seca y contenido de proteína en pastos tropicales en condiciones diferentes de fertilidad. Memorias de la XVII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Noviembre 4 y 5. Villahermosa (México): Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias. 139 – 145.

Juárez HJ, Bolaños-Aguilar ED, Vargas VLM, Medina PS. 2006. Contenido de proteína por unidad de materia seca acumulada en diferentes especies de pastos tropicales. pp. 299 – 320. En: Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBR y UNAM (Eds). ISBN-970-43-0068-9.

Klopfenstein, T. J. L., Roth, S. Fernandez. Rivera and M. Lewis 1987. Corn residues in beef production system. J. Anim. Sci. 65:1130.1148.

Ku, V. J. C., Ramirez, A. L., Jimenez, F. G., Alayon, J. A. & Ramirez, R. L. (1999). Arboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. Conferencia electrónica de la FAO sobre “ Agroforestería para la producción animal en América Latina”. Disponible en: <http://www.fao.org/WAICENT/Faoinfo/agricult/AGA/AGAP/FRG/AGROFOR1/ku10.PDF>. 161- 180 pp.

Lehninger, A.L. 1991. Bioquímica. Segunda edición. Ed. Ediciones omega, S. A. Barcelona. 1117 p.

Meléndez, N. F., M. J. A. González y P. J. Pérez. 1980. El pasto estrella africana. Rama de la Ciencia Animal. Colegio Superior de Agricultura Tropical. SARH. H. Cárdenas, Tabasco, México. Boletín No 7. 99 p.

Meléndez, N.F., Gonzáles, M.J.A. & Pérez P.J. 1980. El pasto estrella africana. Boletín No.7. Rama de Ciencia Animal.Colegio Superior de Agricultura tropical. SARH. H. Cárdenas Tabasco. p. 99.

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. R. and J. R. Loftén. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. J. Dairy Sci. 63: 1437-1446.

Nuñez, H.G., Salinas, G. H., Gutierrez, C. J. M., Medina, G. G. & Dovel. R. (2002).Guía de manejo de praderas de gramíneas de clima templado en Mexico. Disponible en: <http://forages.oregonstate.edu/organizations/seed/osc/techpubs/inifap-span.pdf>. 1-22 pp.

Palma, L. D. J y Cisneros J. 1996. Plan de Uso Sustentable de los Suelos de Tabasco. Fundación Produce, Tabasco, A. C. 1: 116 - 119.

Pérez, P. J., R. O. Ramírez y G. A. Hernández. 2001. Valor nutricional de la asociación gramínea-leguminosa y su efecto en la producción de bovinos en pastoreo. En: Memorias del Congreso Los forrajes en México. Presente y futuro. Programa de Ganadería. IREGEP. Montecillo, Edo de México. pp. 88-111.

Pérez, P.J., Alarcón, Z.B., Mendoza, M.G.D., Bárcena, G.R., Hernández, G.A. & Herrera, H.J.G. 2001. Efecto de un banco de proteína de Kutzú en la ganancia de peso de toretes en pastoreo de estrella africana. Tec. Pecu. Mex. 39(1):39-52.

Pérez, R.A., y Cuesta, P. A. 1992. Especies forrajeras para el piedemonte llanero.

Reyes P. A. 2007. Caracterización morfológica y calidad forrajera de 21 genotipos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. 59 p.

Román, P.H. 1995. Situación actual y retos de la ganadería bovina en el trópico. XX Simposium de Ganadería Tropical. Memoria Técnica #2. INIFAP-CIRGOC.

Ruiz, M.E. 1994. Subproductos y residuos en la alimentación de bovinos. En. Memoria del IV curso "Producción e investigación en pastos tropicales". Facultad de Agronomía, Universidad de Zúlia, La Sociedad Venezolana de Pastizales y Forrajes. Capítulo Zuliano y el Banco de Maracaibo. Maracaibo, Venezuela. p. 69-87.



Sederoff, R.R., Ralph, J. & Hatfield, R.D. 2002. Lignins. Current opinion. <[http://www.plbio.kul.dk/plbio/cell wall.htm](http://www.plbio.kul.dk/plbio/cell%20wall.htm)> [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2003].

SAS 2001. User`s Guide: Statistics, version 8 th de. Sas Inst. Inc., Cary, N.C. CD-ROOM.

Steel, R. G. y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. Segunda edición. McGraw Hill, México. 622 p.

Torres-Salado N. E. Aranda, G. Mendoza, D. Hernández, A. Hernández, L. Landois y J. Ramos. 2007. Intake and milk yield of dual-purpose cows supplemented with saccharina elaborated with burnt sugarcane. Cuban J. Agric. Sci. 41(3): 213-216.

Valenciaga, D., Chongo, B. y La O, O. 2001. Caracterización del clon Pennisetum CUBA CT-115. Composición química y degradabilidad ruminal de la materia seca. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 35, No. 4,. 349

Van Soest, P. J., J. Robertson and B. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.

Vanzant, E. S., R. C. Cochran and E. C. Titgemeyer. 1998. Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuff evaluation. J. Anim. Sci. 76: 2717-2729.

Vázquez, B.E. & Torres G.S. 1990. Fisiología vegetal. Tercera reimpresión. Ed. Pueblo y educación. Playa, Ciudad de la Habana, Cuba. 463 p.

Wattiaux, A. M., & Howard, W. T., ( 2001). Alimentos para las vacas lecheras. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin- madison. 21-24 pp.