

UNIVERSIDAD DE MATANZAS "CAMILO CIENFUEGOS"  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PASTOS Y FORRAJES "INDIO HATUEY"

# Evaluación agronómica de nuevas variedades *Pennisetum purpureum* en condiciones de sequía el Valle del Cauto

**Autor:** *Ing. Dalibia Díaz Fonseca*

**Tutor:** *Dr.C. Jorge V. Ray Ramírez*

**Cotutor:** *Dr.C. Rafael Herrera García*

*Tesis en opción al Título Académico  
de Master en Pastos y Forrajes*

*Matanzas  
2007*

## DEDICATORIA

*A la memoria de mi abuela Blanca Pérez Aguilar*

La estrella que ilumina mi camino.  
Quien con su ejemplo supo forjar los buenos valores  
en mi persona. Por su apoyo incondicional  
en todos los momentos  
más importantes de mi vida.

Además, desde siempre fue la persona  
que más se interesó por mi superación  
y deseó que alcanzara el más alto nivel posible.

A mi hija, nieta, sobrino, hermana, mamá y papá  
que por el infinito amor que me brindan  
son la inspiración de mi vida.

A mi padrastro y cuñado,  
que por el sincero amor  
que me ofrecen forman parte importante de mi vida.

Con todo mi amor,

*Dalibia Díaz*

## AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Dr. Jorge Ray Ramírez, por todo el esfuerzo y apoyo brindado en mi desempeño, tanto como estudiante y como investigadora, en todo el desarrollo de la investigación y del documento científico, recibiendo de él sus sabias sugerencias.

A los trabajadores, especialistas y técnicos de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Granma: Ramón Arias, Roberto Espinosa, José Tejeda, Ricardo (Ricardito), Edilberto, Alfredo Martí, Fidel Echevarria, Ana Irma Reyes (Mima), Ana Maria Argote, José Pérez (Cheni), Reynerio (Neyo), de quienes recibí con entusiasmo y responsabilidad el apoyo en los trabajos de muestreo, y en especial al técnico Edelio Fonseca Fonseca, quien puso amor y consagración en todo el desarrollo de los experimentos y manejo de las bases de datos.

A los investigadores, especialista y técnicos de la Dirección de Investigaciones Agrícolas del Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov" que me apoyaron en las agotadoras mediciones del área foliar: Juan Verdecia, Fernando Celeiro y Ramón Santiesteban.

A los especialistas y técnicos de la Dirección de Investigaciones Pecuarias del Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", de quienes recibí el apoyo decisivo en los trabajos de muestreo, determinación del área foliar y análisis de laboratorio: Juan Guerra, Mario Miranda, Carmen Naranjo, Magalys Cutiño, Olga Ricardo, Ricardo Ramírez, Mariela González, y en especial al técnico Lorenzo Luis Estrada Comas, por ofrecer su valiosa contribución en los muestreos y procesamiento de datos primarios.

A los compañeros de las áreas de Inversiones, de Recursos Humanos y a la Secretaria Yusi del Nivel Central del CITMA, de quienes recibí su generoso apoyo en el servicio de informática.

A los investigadores, especialistas, técnicos y trabajadores del Departamento de Pastos, Laboratorio de Química Analítica, de Servicios, y de la Biblioteca del Instituto de Ciencia Animal por sus amables atenciones, y en especial a mi cotutor Dr. Rafael Herrera García, por guiarme con sus brillantes conocimientos en este tema, quien obtuvo por cultivo de tejidos las variedades evaluadas en este trabajo, así como al Dr. Gustavo Febles por su generosidad y sus valiosos aportes en los temas a él consultados.

A los investigadores que formaron el claustro de profesores de la Maestría de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", por haberme brindado la oportunidad de recibir sus sabios conocimientos en este campo, y por todos los aportes a mi formación profesional. A los especialistas, técnicos, investigadores y trabajadores de las áreas de Posgrado, del Laboratorio, de la Biblioteca, de Servicios, del Cuerpo de Seguridad, de la Subdirección de Investigación Científica y Dirección General de esta prestigiosa Institución, por sus generosas atenciones.

A mi hija, mi mamá, mi hermana y mi yerno, a quienes también ocupé y trabajaron con amor en la preparación de la información primaria para su procesamiento.

A mi Dios todo poderoso que en los momentos más difíciles de mi vida personal y profesional siempre me da aliento y fuerzas para seguir adelante.

***A todos Muchas Gracias.***

## RESUMEN

En una zona de intensa sequía estacional se desarrolló en un diseño de bloques al azar, la evaluación agronómica de 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* obtenidas por cultivo de tejidos con resistencia a la sequía a partir del CT-115, la cual se usó como Control. Las nuevas variedades fueron: CT-600, CT-601, CT-602, CT-603, CT-604, CT-605, CT-606, CT-607, CT-608, CT-609. El esquema experimental se desarrolló en dos fases, una de establecimiento y otra de corte, con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de las nuevas variedades en condiciones de sequía. En la fase de establecimiento, la mayor capacidad de brotación se alcanzó en las variedades CT-603 y CT-608 que superaron a los 29 días el 60%. En el corte de establecimiento no se encontraron diferencias en el rendimiento de MS; sin embargo, varió la estructura de la biomasa, con una depresión del rendimiento de MS de hojas en CT-606. En la fase de corte, las variedades CT-603, CT-608 y Control mostraron la mayor velocidad de crecimiento en seca. La variedad CT-608 manifestó un comportamiento promisorio en el rendimiento de biomasa total y hojas, y las CT-604 y CT-606 sufrieron una fuerte depresión. Solo variaron con la variedad la FB y digestibilidad en hojas y tallos, mientras que la PB y Ca variaron con la época, favorables a la lluvia. Las CT-604 y CT-606 tuvieron mejor comportamiento en la FB y digestibilidad de la MS. Con los resultados de ambas fases se realizó un análisis multivariado para determinar las variables de peso en el comportamiento agronómico y la contribución relativa a la tipificación de las variedades. Las variables de mayor contribución a la variabilidad total en ambas épocas del año fueron el rendimiento, la TCA y el área foliar. La tipificación de variedades en ambas épocas del año descarta a la CT-606, CT-604 y CT-602 por sus bajas producciones de biomasa. Se recomienda la introducción de las variedades CT-600, 601, 603, 605, 607, 608 y 609 en las áreas comerciales de producción de biomasa.

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....   | 3  |
| 1. La producción de pastos en Cuba.....   | 3  |
| El clima.....   | 6  |
| Las precipitaciones .....   | 7  |
| Algunos elementos de sequía. Sequía agrícola.....   | 7  |
| La temperatura.....   | 8  |
| Radiación solar .....   | 9  |
| Humedad del suelo .....   | 10 |
| Calidad del pasto .....   | 11 |
| Características del <i>Pennisetum purpureum</i> King grass.....   | 17 |
| Características edafoclimáticas del Valle del Cauto .....   | 21 |
| Los suelos dedicados a la producción de pastos en el Valle del Cauto.....   | 22 |
| La fertilidad de los suelos y el reciclaje de nutrientes.....   | 23 |
| Programa de mejoramiento del <i>Pennisetum purpureum</i> .....  | 26 |
| Manejo.....   | 28 |
| Siembra y establecimiento.....  | 28 |
| Fertilización y riego .....   | 29 |
| Producción animal .....   | 30 |
| Resumen comparativo con su progenitor king grass.....   | 31 |
| Características del <i>Pennisetum purpureum</i> Cuba CT-169 .....   | 32 |
| CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES .....  | 34 |
| CAPÍTULO 3. PARTE EXPERIMENTAL.....   | 36 |
| EXPERIMENTO 1. Evaluación de 10 nuevas variedades de <i>Pennisetum purpureum</i> durante el<br>período de establecimiento en un suelo Fluvisol en el Valle del Cauto .....                  | 36 |
| Resultados y discusión .....  | 37 |
| EXPERIMENTO 2. Determinación de la curva de crecimiento y composición química de 10 nuevas<br>variedades de <i>Pennisetum purpureum</i> en un suelo Fluvisol en el Valle del<br>Cauto ..... | 43 |
| Materiales y métodos.....   | 44 |
| Resultados y discusión .....  | 46 |
| ANÁLISIS MULTIVARIADO DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LAS VARIEDADES ..  | 60 |
| Materiales y Métodos.....   | 60 |
| Resultados y Discusión.....   | 62 |
| CONCLUSIONES .....  | 68 |
| RECOMENDACIONES.....  | 69 |
| CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA.....   | 70 |
| ANEXOS .....  | 82 |

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales factores limitantes para la producción animal en los trópicos de América Latina es la escasa disponibilidad de las lluvias y la pobre calidad de los forrajes. Este nivel nutricional insuficiente es una razón de la baja productividad de la ganadería tropical, sobre todo en áreas de suelo de baja fertilidad natural y con sequías estacionales (Clavero *et al.*, 1998).

La introducción de pastos y forrajes se considera una de las más antiguas formas de mejoramiento genético de los cultivos, pero además actualmente esta vía permite que aquellos países que no poseen una infraestructura adecuada para el mejoramiento genético, puedan incorporar variedades más productivas a su estructura comercial.

Se sabe que para el éxito de un sistema pecuario sostenido es necesario el conocimiento de las cualidades de los nuevos cultivares introducidos con características deseables para el desarrollo de pastizales con un elevado potencial forrajero.

En Cuba se ha mantenido el programa de introducción de nuevas especies y variedades de mayor rendimiento y calidad. Sin embargo, el éxito no ha sido completo debido a su corta vida útil de explotación (3-5 años), motivado entre otras causas, por la utilización de variedades no adaptadas a las disímiles condiciones edafoclimáticas que caracterizan la ganadería (León *et al.*, 2000). Por otra parte, se han realizado y se realizan grandes esfuerzos en la obtención de variedades de alta producción de biomasa que se adapten a estas variadas condiciones que imperan en Cuba. Los resultados más relevantes están en el campo de las investigaciones relacionadas con la obtención, por cultivo de tejidos, de variedades de *Pennisetum purpureum* a partir del king grass existente en Cuba como progenitor, y de otras nuevas variedades ya obtenidas y que se pretende mejorar su respuesta a determinados ambientes.

Actualmente, dado el cambio climático y otras prácticas de manejo inadecuadas, se ha requerido considerar los ambientes salinos y de sequía, los cuales se han hecho importantes no solo en Cuba sino en gran parte del área tropical.

Las condiciones climáticas que imperan en el Valle del Cauto, Cuba, describen un comportamiento crítico en los últimos cinco años, al cerrarse las isoyetas hasta valores entre 600 y 700 mm (Benítez *et al.*, 2001). Dicha particularidad de esta zona climática, la incluye entre los ecosistemas ganaderos de clima seco estacional, lo que se constituye en un ambiente propicio para el estudio de nuevos cultivares de pastos.

De hecho, la búsqueda de nuevas variedades que manifiestan determinada respuesta en la producción de biomasa en condiciones de intensa sequía, constituye un imperativo para la ciencia de los pastos en el trópico y, en especial, en Cuba.

## **Hipótesis de trabajo**

Nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* mantenidas en similares condiciones de establecimiento y manejo agrotécnico pueden expresar diferencias en su adaptación y resistencia, en términos de rendimiento y calidad de la biomasa, en un ecosistema ganadero de intensa sequía estacional en el Valle del Cauto.

Para la comprobación de la hipótesis de trabajo se proyectaron los siguientes objetivos

### **Objetivo general**

- Evaluar los principales indicadores del comportamiento agronómico de 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* en condiciones de sequía en el Valle del Cauto, a fin de recomendar las que resulten promisorias para la explotación comercial.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el comportamiento de algunos indicadores que determinan la capacidad de establecimiento de 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* en un suelo Fluvisol en el Valle del Cauto.
2. Determinar la curva de crecimiento de las variedades en cada época del año, el comportamiento de algunas variables morfológicas, fisiológicas y el rendimiento estructural según la época del año en condiciones de corte en un suelo Fluvisol en el Valle del Cauto.
3. Determinar algunos indicadores de la composición química de las variedades según la época del año en condiciones de corte.
4. Determinar las variables de mayor peso en el comportamiento agronómico y su contribución relativa a la tipificación de las variedades promisorias para condiciones de sequía.

## **CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1. La producción de pastos en Cuba**

Los pastos y los forrajes han ocupado un lugar cimero a nivel mundial como base de la alimentación del ganado y constituyen el cultivo más extendido en la agricultura cubana (Valdés y Planas, 1999; Molina *et al.*, 2000) y contrario a otros cultivos que se explotan en condiciones homogéneas y con prácticas agro y fitotécnicas muy similares, estas plantas por su condición de cultivo permanente tienen que enfrentarse a una infinita diversidad de condiciones que les impone el medio, la economía y el hombre (Paretas, 1990), las cuales determinan una alta variabilidad en su comportamiento individual. De acuerdo con este último, las condiciones de suelo y clima que imperan en la explotación resultan decisivas y cuando son adversas pueden limitar el crecimiento y desarrollo de los pastizales, el que depende del grado de adaptación que presenten las especies y variedades en uso a los cambios bruscos que ocurren dentro y entre zonas ganaderas. Es por ello que en una ganadería basada en pastos y forrajes, el ecosistema de pastos resulta el elemento más importante porque en el se integran todos los factores a los cuales se enfrentan estos cultivos en el complejo interactivo suelo-planta-animal-hombre.

En Cuba, y especialmente en la región Oriental, la producción de pasto está influenciada por las condiciones climáticas existentes y principalmente por la distribución anual de las precipitaciones que, unida a otros factores como la temperatura y la radiación solar, hacen que los rendimientos de lo pastos no sean estables durante todo el año.

La desigualdad en la distribución anual de las precipitaciones hace que la mayor producción de pastos ocurra en el período lluvioso, que se extiende de mayo a octubre y en el que cae el 80% de la precipitación promedio anual (1 300 mm) a nivel nacional, además de presentarse altas temperaturas y radiaciones solares, lo cual favorece el crecimiento de las plantas. En la época de seca, que abarca de noviembre a abril, cae el 20% de las precipitaciones anuales y la producción de pasto se reduce drásticamente (Hernández, 1996).

La media de producción de los pastos en Cuba en algunas especies es más baja que la informada en otras zonas tropicales, lo que puede ser debido a las características específicas del clima que presenta un promedio anual de 1 368 mm en las precipitaciones, diferenciadas en dos épocas de 6 meses cada una, la lluviosa, donde cae el 80% del total anual con temperaturas que oscilan entre 26,3 y 27°C y la poco lluviosa, donde caen el 20% de las precipitaciones anuales como promedio con temperaturas medias que varían en un rango de 22,5 a 25,5°C. En esta época las temperaturas más bajas se producen en los meses de diciembre, enero y febrero, cuando se puede afectar con más intensidad el crecimiento de las plantas (García-Trujillo, 1978).

Dada esta circunstancia, la distribución anual en Cuba de la producción de los pastos está supeditada, fundamentalmente, a la curva anual que siguen las precipitaciones, lográndose los picos de mayor producción entre los meses de mayo, junio y julio.

Lamela (1992) planteó que la productividad de los pastizales está muy relacionada con la variedad de pasto que se utilice, el nivel de fertilización, el uso o no de riego y el manejo a que sean sometidos. La fertilidad del suelo determina la magnitud de las respuestas que se puedan obtener. Los fertilizantes incrementan notablemente la producción de los pastos, al igual que el uso del riego cuando se dispone de este recurso.

Por otro lado, si se observa cómo se distribuyen los rendimientos de materia seca, se demuestra que la capacidad de carga depende de la época del año. En términos generales, la carga que se debe emplear en el período lluvioso es aquella que permita que los animales cubran sus requerimientos casi en su totalidad con el pasto; mientras que en el período poco lluvioso es necesario cubrir una parte de estos con otra fuente de alimento, para así suplir el déficit de pasto que se produce en esta época.

El potencial de producción de las gramíneas forrajeras y pratenses tropicales mejoradas, cuando se manejan en óptimas condiciones, sobrepasa significativamente al de las especies de climas templados (Iturbide, 1984). Este comportamiento obedece, básicamente, a su insignificante fotorespiración, alta tasa de fijación de  $\text{CO}_2$ , gran eficiencia en el aprovechamiento de la energía solar y consecuentemente, a su alta tasa fotosintética. Esto es característico de la vía  $\text{C}_4$  que siguen las gramíneas tropicales en la fotosíntesis y que las distingue de los pastos templados y las leguminosas tropicales que se rigen por la vía  $\text{C}_3$  con una menor eficiencia fotosintética (Whiteman, 1975).

Se ha planteado que el máximo potencial de producción de los pastos en Cuba varía entre 17 y 23 t  $\text{MS ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ; sin embargo, cuando se han aplicado niveles de fertilizante nitrogenado entre 350-400  $\text{kg N ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  el nivel de producción ha oscilado entre 27 y 34 t  $\text{MS ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ . El rendimiento de las leguminosas es más bajo y se sitúa entre 3 y 13 t  $\text{MS ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  en dependencia de la especie o variedad (García-Trujillo, 1995).

De esta manera, según datos informados por este mismo autor para las condiciones de Cuba, tomando como base una necesidad anual de 5 t  $\text{MS vaca}^{-1}$ ; cuando no se aplica ni riego ni fertilizante en la época de lluvias la cantidad posible de animales a alimentar es menor de 2,5 vacas  $\text{ha}^{-1}$  y en la época de seca no es mayor de 1 vacas  $\text{ha}^{-1}$  encontrándose por lo general alrededor de 0,5 vacas  $\text{ha}^{-1}$ . Cuando se aplica riego en seca, pero no se fertiliza con nitrógeno, la producción de pasto se eleva ligeramente pero la carga no puede sobrepasar a 2,5 vacas  $\text{ha}^{-1}$ , aunque se garantiza un mínimo de pasto durante toda la seca. En la época lluviosa con fertilización nitrogenada se pueden lograr producciones de pasto suficientes para alimentar entre 3 y 5 vacas  $\text{ha}^{-1}$ ; mientras que en la época poco lluviosa aplicando la fertirrigación se puede elevar la carga en 2 ó 3 vacas  $\text{ha}^{-1}$ .

Estos rendimientos todavía no han sido superados en el país aún cuando se ha trabajado con otras especies mejoradas. En las condiciones actuales esto se ha agravado por la falta de recursos para mejorar la productividad y la calidad de los pastizales, que no parece ser posible por los métodos tradicionalmente usados, al menos a corto y mediano plazo. Es por ello que ahora alcanzan mayor importancia los estudios para aplicar los principios de los sistemas silvopastoriles y la agricultura orgánica que tal vez puedan resolver estos problemas con un uso mas racional y equilibrado de los recursos naturales que se integran íntimamente en la relación obligada que existe entre el suelo, las plantas y los animales (García-Trujillo, 1992; Hernández y Simón, 1994).

En los ecosistemas de pastizales naturales, las especies nativas o naturalizadas tienen características y propiedades que les permite adaptarse a las condiciones desfavorables que comúnmente se presentan en el medio ambiente, no obstante, se ha demostrado la incapacidad que tienen muchas de estas especies para cubrir los requerimientos de nutrimentos que demandan los animales para lograr una producción alta y eficiente, en ese caso, la introducción de especies surge como una necesidad de reemplazar ecotipos de bajo valor nutritivo y productividad (Guillot *et al.*, 2002). Pero todas las especies no tienen el mismo nivel de exigencia sobre los recursos ni el mismo grado de tolerancia a los agentes dañinos que pueden surgir espontáneamente en el medio ambiente, por lo que la valoración de los factores que influyen en la adaptación del pasto y en la cadena establecimiento-producción-utilización-mantenimiento, así como sus posibles interacciones, tiene una importancia vital para hacer racional y estable la explotación de las áreas que se dedican a este cultivo.

Altieri (1997) expresó que los pastos tropicales son un recurso natural que manejados y explotados inteligentemente pueden constituir una opción para la producción animal sostenible. Dentro de los recursos alimentarios de la ganadería cubana, los pastos y forrajes constituyen la base fundamental para la alimentación de la masa ganadera, pero en los últimos años se ha limitado sobre todo su producción, debido a que todo el país ha sido afectado por la distribución de las precipitaciones factor este muy importante por su influencia en la disponibilidad de las diferentes especies de pastos durante el período poco lluvioso.

La búsqueda de soluciones a los problemas existentes en la explotación ganadera basada en pastos, no solo debe ser de interés en relación con la variedad de factores externos que influyen en la productividad y persistencia de las especies en el medio en que viven, sino el de lograr un nivel adecuado de adaptación de nuevas y mejores especies que las existentes en los ecosistemas de alto impacto (Paretas, 1990).

La dificultad para llevar a cabo un uso sostenible de los pastizales aumenta a medida que se explotan los pastizales con menor productividad primaria (Behnke *et al.*, 2000). Estos pastizales están situados frecuentemente en áreas con menor abundancia o con peor distribución inter e intranual de las

precipitaciones. Pueden sufrir procesos degradativos por la combinación de sobre pastoreo con otras "perturbaciones" frecuentes en estos medios como la sequía y el fuego.

Los ecosistemas son los motores de la producción del mundo. Cada uno representa una solución al reto de la vida y enseña lecciones de eficiencia y supervivencia en la competencia de las especies por la luz solar, el agua, los nutrientes y el espacio (López, 2002).

La definición de ecosistema de pastos expresada por científicos cubanos guarda estrecha relación y similitud con los conceptos descritos anteriormente. Paretas (1990) definió el ecosistema como el resultado de una combinación equilibrada de todos los factores que intervienen en el complejo suelo-planta-animal-hombre. En él inciden todos los factores que afectan la producción, utilización y permanencia del pasto y se diferencian de otros ecosistemas, bien por el suelo o el clima donde se explotan. Por los insumos que se destinan al suelo o al animal, bien por el propósito con que se explotan, bien por el tipo de especies forrajeras y también por la forma en que el hombre los maneja, lo que determina que los pastos, tengan que enfrentar en su ciclo de producción un gran número de factores, los cuales exigen una gran plasticidad de adaptación de las especies y variedades para poderlos superar.

Es por ello que en las condiciones actuales en que se desarrolla la ganadería vacuna requiere de la implementación de un adecuado programa de trabajo, para lograr un mayor ascenso en la base alimentaria, así como en el desarrollo integral del país.

La producción de los pastos está limitada por los bajos nutrientes de los suelos, el potencial genético de las plantas y las condiciones climáticas. Pérez Infante (1981) agrupó los factores que afectan la producción animal a partir de los pastos, en directos e indirectos. Los directos están relacionados con la disponibilidad y calidad del pasto, estado productivo y fisiológico del animal. En los indirectos señaló aquellos factores principalmente relacionados con el manejo y que, de alguna forma u otra, influyen también sobre los primeros, como son la carga animal, fertilización, intervalo de rotación, especie de pasto, sistema de pastoreo y clima.

En este acápite trataremos particularmente al clima, por su estrecha relación con los resultados de cualquier sistema de producción basado en los pastos, que se manifiesta en su influencia en el resto de los factores mencionados, los que abordaremos en esta sección.

## **El clima**

El clima constituye un importante factor ecológico que debe considerarse en cualquier sistema de explotación animal, sobre todo si está basado en el uso directo e intensivo de los pastos. Hay suficientes evidencias de que la influencia del clima es determinante en cada región por las fluctuaciones estacionales que causan las precipitaciones, temperaturas, y humedad en los rendimientos y calidad de los pastos (Jerez *et al.*, 1987).

## **Las precipitaciones**

El factor climático más variables en el área tropical es la precipitación y su distribución a lo largo del año, lo cual incide marcadamente sobre la producción anual y estacional de fitomasa forrajera. Sin embargo, cualquier análisis del efecto de la disponibilidad de humedad sobre el crecimiento de los pastos, no debe aislarse del tipo de suelo y del potencial genético de las plantas, pues entre estas últimas hay gran variabilidad respecto a su tolerancia al estrés de sequía (Baruch y Fisher, 1991).

Cuando se produce un déficit progresivo de la humedad en el suelo que ocasione un estado de marchitez temporal o permanente, se aprecian efectos negativos sobre el proceso fotosintético de las plantas (Bade *et al.*, 1986).

El crecimiento y producción de los pastos en muchos casos muestran un comportamiento estacional, siendo una de las causas la distribución desigual de las lluvias a través del año (Paretas, 1990), donde durante el período poco lluvioso ocurre el 20% del total anual de las precipitaciones. Esto condiciona que durante esta época, sin riego la producción de pastos sea alrededor de 20% del total del año.

La cantidad y distribución de las lluvias tienen gran influencia en la curva de crecimiento anual de los pastos, debido a su estrecha relación con los factores bioquímicos y fisiológicos que regulan este proceso biológico de gran complejidad (Sanderson *et al.*, 1997).

## **Algunos elementos de sequía. Sequía agrícola**

La sequía agrícola se presenta cuando el agua con la que se cuenta, ya sea por precipitación o por almacenamiento en el suelo o en los diferentes cuerpos de agua, no es suficiente para que los cultivos puedan crecer y desarrollarse de manera adecuada. Según lo anterior este tipo de sequía une varias características de las sequías meteorológica e hidrológica y se evidencia en impactos a la agricultura. La sequía agrícola tiene lugar cuando hay periodos de baja precipitación, evapotranspiración actual y potencial altas, déficit de agua en el suelo, reducción del nivel de agua en los ríos y acuíferos, entre otros. La demanda de agua por parte de la planta depende de las condiciones climáticas que prevalecen, de las características biológicas de la planta, de la etapa de crecimiento en la que se encuentre, y de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Una buena definición de sequía agrícola debe tener en cuenta la susceptibilidad variable del cultivo durante las diferentes etapas del desarrollo que incluye desde la germinación hasta la madurez.

La sequía agrícola y su severidad dependen en buena proporción de las actividades humanas. Este tipo de sequía se manifiesta justo después o en el transcurso de una sequía meteorológica y es previa a la sequía hidrológica. Sus impactos se limitan al estado de los cultivos y no tienen en cuenta ninguna otra consecuencia que pueda originar una sequía.

Las definiciones conceptuales, formuladas en términos generales, ayudan a entender el concepto de sequía. Por ejemplo, una definición conceptual es: "la sequía es el periodo de déficit de agua que da como resultado un daño extensivo a los cultivos, evidenciado en una menor producción". Otra es la ocurrencia de más de tres meses consecutivos del periodo de lluvias con menos del 80% del valor medio mensual o un valor anual menor del 70% del valor medio anual.

Un error que se presenta al referirse al concepto de sequía es que se suele confundirlo con el concepto de aridez. Por esta razón es importante hacer claridad en que la aridez se refiere a la "característica que define a un clima concreto, el estado permanente de bajas precipitaciones de algunas áreas de la Tierra (un desierto es una zona árida porque normalmente no llueve). En cambio una sequía es un estado temporal de bajas precipitaciones fuera de lo que se considera normal para una zona determinada (Anon, 2004).

### **La temperatura**

No todas las especies de pastos tienen el mismo valor óptimo de temperatura para el cumplimiento de sus funciones vitales. En las gramíneas tropicales este valor está alrededor de los 27-35°C, y en las leguminosas entre 25 y 30°C, con una alta sensibilidad a las temperaturas que se registren entre los 15-20°C (Pezo, 1997), cuando la humedad no es un factor limitante, cuyos efectos negativos en el crecimiento ocurren entre los 0 y 15°C y en algunas especies a los 20°C, lo cual está determinado por la baja conversión de azúcares en los tejidos de las plantas, debido a la disminución de los procesos de biosíntesis y por un déficit energético producido por una reducción en la tasa respiratoria. Por otra parte, un incremento de la temperatura por encima de un 25,0%, de la temperatura óptima, aumenta bruscamente la respiración de las plantas, a la vez que disminuye la fotosíntesis, por lo que la disponibilidad de carbohidratos sintetizados para el crecimiento de la planta se reduce, acelerando la tasa de maduración, lo que resulta en un notable incremento de la fracción fibrosa (Pezo, 1993).

Crespo *et al.* (2000b), han señalado que las altas temperaturas aumentan la evaporación del agua del suelo y la actividad de los organismos termófilos, incrementando la destrucción de la materia orgánica, proceso que ligado a una baja humedad del suelo y altas temperaturas de este, limitan la vida del suelo, su estructura y la obtención de nutrientes por la planta, pues el proceso de absorción también se reduce o detiene a altas temperaturas del suelo. La temperatura es el elemento primario que influye sobre el desarrollo de las gramíneas. Los cultivares se clasifican como de madurez temprana o tardía en base a sus requerimientos térmicos para cumplir ciertas etapas del desarrollo. El tiempo térmico es una medida de la temperatura acumulada por encima de un mínimo y por debajo de un máximo adecuados para el desarrollo. Las unidades de tiempo térmico son los grados-días. La floración es generalmente usada como el evento del desarrollo que caracteriza los cultivares como temprano s o tardíos (Pezo, 1997).

Los cultivares de zonas tropicales altas parecen tener una base menor y/u óptimas temperaturas para el desarrollo que cultivares adaptados a zonas tropicales bajas. El rendimiento es seriamente afectado por la cantidad de radiación que el cultivo acumula por unidad de tiempo térmico. Una gramínea tropical por lo general rinde menos que su homólogo de la zona templada porque las temperaturas en los trópicos son más altas y completa su ciclo vital en menos tiempo. Por la misma razón, los cultivares tempranos rinden menos que los tardíos. Cuando el rendimiento se expresa en base diaria, los rendimientos de los cultivares temprano s son iguales o algunas veces mayores que aquellos de los cultivares tardíos y tienden a tener un índice de cosecha más alto (García *et al.*, 1993).

García-Trujillo y García-López (1990) sostienen que la temperatura es el factor climático más importante en nuestras condiciones, por su doble acción sobre el pasto y los animales. Los efectos detrimentales sobre la tasa de crecimiento de los pastos se presentan cuando ocurren temperaturas superiores al óptimo para la actividad fotosintética de las gramíneas (35°C) y de las leguminosas (28-29°C) de clima cálido (Pezo *et al.*, 1992).

Con el incremento de la temperatura por encima de los valores antes citados, se reduce la actividad fotosintética, aumenta la demanda respiratoria y por consiguiente el crecimiento se deprime (Bade *et al.*, 1986).

Por otro lado, las altas temperaturas del trópico tienen implicaciones importantes en la calidad nutritiva de los pastos, ya que éstos aceleran la tasa de maduración de la fitomasa comestible, lo que resulta en incrementos notables en el contenido de las fracciones fibrosas, en la lignificación de las paredes celulares (Pezo, 1997), y en la consiguiente declinación de la digestibilidad (Wilson, 1984). Por el contrario, cuando las temperaturas son inferiores a 20°C los procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento y producción de materia seca son afectados (Whitheman *et al.*, 1984). Ello explica los bajos rendimientos de los pastizales en los meses más frías del año (Jerez *et al.*, 1987; Ayala *et al.*, 1989; Senra *et al.*, 1989). La época del año, caracterizada por las variaciones estacionales de los elementos climáticos, influye junto a otros factores de manera directa sobre la tasa de crecimiento de los pastos y por consiguiente en la época de seca el rendimiento de los pastos será menor que en la época lluviosa, apreciándose efectos similares sobre la producción de leche (Pezo, 1997).

Los procesos bioquímicos y fisiológicos básicos relacionados con la síntesis, transporte y degradación de sustancias en los pastos están influenciados por la temperatura, por su relación con la cinética de las reacciones y el mantenimiento de la integridad de las membranas que componen a los tejidos de los pastos (Herrera, 2003a).

### **Radiación solar**

Las gramíneas tropicales tienen una elevada tasa de crecimiento, lo que se debe a la gran respuesta de estas a los niveles de radiación solar por su gran eficiencia fotosintética; de ahí que cultivos que se

desarrollen en las regiones de alta radiación solar, tengan un alto potencial de producción de semillas (Matías y Ritt, 1988).

Para que un cultivo use eficientemente la radiación solar, gran parte de ésta debe ser absorbida por los tejidos fotosintéticos. Las hojas, principales órganos responsables de la fotosíntesis e intercepción de luz, se desarrollan en el embrión de las semillas y en los tejidos meristemáticos de los tallos. Algunos cultivos perennes mantienen, en climas tropicales y subtropicales, una cobertura de suelo aproximadamente completa (área de suelo sombreada por las hojas), pero en regiones templadas las bajas temperaturas invernales reducen la cobertura. Los cultivos eficientes tienden a invertir la mayor parte de su crecimiento temprano en expandir su área foliar, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de la radiación solar (Gardner *et al.*, 2000).

La comunidad de cultivo intercepta la luz solar directa y difusa. Las hojas superiores reciben ambos tipos de radiación, mientras que las hojas inferiores reciben una porción pequeña de radiación directa. La radiación difusa llega a ser más significativa debido a la radiación transmitida a través de las hojas y reflejada desde las plantas y la superficie del suelo.

Paretas y Riveros (1990) plantean que la fotosíntesis foliar es más eficiente (dióxido de carbono fijado por unidad de radiación) a bajos niveles de radiación. Algunas hojas individuales están saturadas por la radiación bajo iluminación solar directa. Las especies  $C_4$  usualmente no alcanzan la saturación de radiación en luz solar directa, lo cual significa que ellos usan altos niveles de radiación más eficientemente que las especies  $C_3$ . Estos últimos usan más eficientemente la radiación a bajos niveles de radiación solar directa (Pentón, 2000).

El rendimiento es la acumulación de materia seca en el tiempo. La producción final de biomasa de un cultivo resultará de la eficiencia con que este haya utilizado la radiación solar y el tiempo durante el cual esta eficiencia se haya mantenido (Gardner *et al.*, 2000).

## **Humedad del suelo**

Hernández (2002) plantea que el suelo tiene una fuerte influencia en el crecimiento y productividad de los pastos, pues el mismo proporciona la humedad, nutrientes, oxígeno y temperatura necesaria para su óptimo desarrollo, donde el grado de fertilidad y productividad de los suelos determinan en gran medida el crecimiento y rendimiento de materia seca de los pastos.

En un informe de la FAO (2000) se señaló como principales factores limitantes de los suelos los siguientes: la acidez, la alcalinidad, la salinidad, la baja capacidad de intercambio de cationes (CIC), la fijación del fósforo y las propiedades de dilatación y contracción presentes en períodos muy húmedos o muy secos. Dentro de ellos se hace mucho énfasis en la acidez y la alcalinidad por ser factores estrechamente ligados a la CIC y a la fijación del fósforo, afectando la presencia de los cationes y demás nutrimentos en el complejo de absorción del suelo, lo que al mismo tiempo provoca

desequilibrio en el suelo y por lo tanto se afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Rowell, 1994).

Sin embargo, una estructura grumosa del suelo, permite una mayor retención del agua en el mismo, una mayor capacidad de cambio catiónico y, por tanto, la posibilidad de brindarle mayor cantidad de nutrientes a la planta y buena aeración del suelo, con lo que la raíz puede disponer del oxígeno necesario para su respiración. Además, se benefician los organismos aeróbicos del suelo y se reducen las pérdidas de nitrógeno al favorecerse el proceso de nitrificación (Primavesi, 1990 y Crespo *et al.*, 2000a).

Una estructura compacta del suelo limita el desarrollo de la raíz, confinándola a un espacio pequeño de este. Este efecto elimina la vía que tienen las plantas tropicales de crecer en suelos con baja capacidad de cambio catiónico, que es su capacidad para explorar una gran cantidad de suelos, a través de un sistema radicular profuso. En los suelos tropicales, por tal motivo, los desequilibrios entre nutrientes son más limitantes en el crecimiento de las plantas que en su concentración (García *et al.*, 1993).

Los elementos minerales presentes en el suelo se hallan en diferentes proporciones y formas químicas, ya sea en compuestos orgánicos o sales minerales. Por ello, es que existen múltiples compuestos químicos implicados en los procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento y producción de materia seca de los pastos (Crespo *et al.*, 2000b), de los cuales se demostró en Cuba que el nitrógeno, fósforo y potasio son los más limitantes en los suelos (Crespo *et al.*, 1998).

### **Calidad del pasto**

Las sequías estacionales de los trópicos semi-húmedos, secos y áridos, ejercen efectos detrimentales sobre el rendimiento y la calidad nutritiva de los forrajes, que se manifiestan en marcadas disminuciones en el contenido de proteína bruta y de algunos elementos minerales, en aumentos de las fracciones fibrosas y reducciones de la digestibilidad y el consumo (Pezo *et al.*, 1992). En contraste, el déficit de agua moderado y de corta duración, puede retardar la tasa de maduración y consecuentemente, reducir la declinación de la calidad nutritiva atribuida a la edad de rebrote (Wilson, 1984).

Cuando se produce un déficit de humedad en el suelo se afecta el proceso fotosintético de las plantas (Bade *et al.*, 1986) y son muchos los ejemplos que demuestran que con ello no solo se afecta el rendimiento, sino también su calidad. En Cuba, como se ha dicho, la curva de producción de los pastos muestra un comportamiento estacional, y los valores de rendimiento en el período poco lluvioso son alrededor de 20% del total del año, con la peculiaridad de que en esta época predomina su calidad (Martín, 1998).

Los recursos para la alimentación de los rumiantes, son clasificados en fibrosos (pastos nativos, pastos cultivados, residuos agrícolas fibrosos, entre otros.) y no fibrosos (harinas de origen vegetal o animal y nitrógeno no proteico (Escobar, 1993). Los recursos fibrosos son relativamente abundantes y de acuerdo a la clasificación nutritiva convencional, son de media o pobre calidad. A este nivel de tipificación, el objetivo general debe ser mejorar la calidad de los recursos fibrosos. Es evidente que esto es difícil de alcanzar a mediano y corto plazo, lo cual obliga a considerar armónicamente los progresos deseables y posibles para esta clase de recurso alimentario. En este contexto, se debe consolidar la introducción y explotación de las leguminosas en sistemas silvopastoriles o bancos de proteína para asegurar un adecuado suplemento proteico además de los efectos beneficiosos de estas plantas para el ecosistema y para la economía de la ganadería (Molina *et al.*, 2000).

Es necesario precisar cuales son los factores determinantes del valor nutritivo de los recursos fibrosos: factores ecológicos (clima y suelo), la estructura de las pasturas y pautas de manejo son determinantes de la calidad de los forrajes, así como de sus variaciones estacionales. Durante el período de lluvias, la disponibilidad es alta y la calidad es media; en contraste durante el período seco, los dos atributos son severamente deteriorados.

Una mayor productividad por animal crea la necesidad de una mayor suplementación alimentaria donde se puede considerar la opción del desarrollo de cultivos integrados a los sistemas de producción animal (Escobar, 1993), lo cual ofrece la posibilidad de solucionar la dificultad que representan los alimentos energéticos y de alto contenido de proteínas para la estabilidad de los sistemas de producción animal más productivos y para un uso más eficiente de los recursos forrajeros abundantes.

Los factores climáticos (precipitaciones, temperatura y radiación solar) son los que más afectan la producción y calidad de los pastos (Paretas, 1993). En la época de máxima precipitación (mayo-octubre) se crean las condiciones climáticas idóneas para el crecimiento y desarrollo de los pastos; concentrándose el 70 - 80% de los rendimientos anuales en estos seis meses del año. En esta época los pastos maduran y se "pasan" con facilidad, perdiendo calidad lo que reduce el consumo animal sino son administrados eficientemente.

Una de las vías para desarrollar una base alimentaria con pastos y forrajes de mayor calidad y rendimiento, se logra cuando incluimos las leguminosas, las cuales aportan más proteína y reducen el nivel de fibra de la ración (Padilla y Ruíz, 2006). Asimismo, el uso de estas plantas pueden garantizar un equilibrio de nutrimentos para alcanzar una eficiencia adecuada de los pastizales (Senra, 2002).

Por otro lado, Chacón (1998) plantea que las leguminosas incrementan el valor nutritivo y alimenticio de las pasturas asociadas. En este sentido se informan resultados medios de algunos indicadores de calidad de las gramíneas y leguminosas tropicales más utilizadas como pastos en la ganadería (tabla 1).

Tabla 1. Diferencias entre el valor nutritivo de gramíneas y leguminosas tropicales.

| Indicadores        | Gramíneas | Leguminosas |
|--------------------|-----------|-------------|
| Digestibilidad (%) | 58,9      | 67,4        |
| Proteína bruta (%) | 10,80     | 21,0        |
| Calcio (%)         | 0,58      | 1,88        |
| Fósforo (%)        | 0,24      | 0,38        |

Para lograr una salida científico-técnica que permita solucionar los problemas del desarrollo ganadero a base de pastos, Herrera (1983) consideró el estudio de la calidad de los pastos como un aspecto que adquiere cada día mayor vitalidad y vigencia. En este sentido realizó una revisión de un extenso número de trabajos desarrollados por diversos investigadores a nivel mundial, en la que resume los principales factores que afectan la calidad del pasto, entre los cuales cita y discute los siguientes: especies y variedades utilizadas; el tipo de suelo; el clima; la fertilización; la edad de la planta; los componentes morfológicos y el manejo (carga, altura de corte, el riego).

Se refirió además a lo sensible y susceptible que resulta la calidad en los pastos y la importancia que puede tener para el desarrollo de una ganadería científica el conocimiento de esa susceptibilidad y su posible cuantificación, en el que el dominio de los factores mencionados podría aportar criterios importantes para introducir y seleccionar nuevas especies, recomendar manejos adecuados que incluyan una utilización racional y eficiente del riego, la fertilización y se contaría con información suficiente para corregir o atenuar la influencia negativa que pueden ejercer sobre la calidad de este alimento.

Los pastos tropicales a pesar de tener un potencial productivo mayor que los de áreas templadas, no cubren los requerimientos totales de las vacas para producir altos volúmenes de leche. Se puede concluir, según criterio de Wei *et al.* (1997), que esta diferencia es debida en gran medida a la desventaja que tienen los pastos tropicales en cuanto a la digestibilidad de la MS, la cual es 13% menor que la que presentan los pastos templados y puede afectarse aún más cuando alcanzan estadios de madurez avanzada. Considerando sus propias conclusiones que mostraron una alta correlación entre la digestibilidad de la materia seca y la temperatura, afirma la existencia de una interacción entre el contenido de fibra cruda y las tasas de transpiración de las plantas, Hernández *et al.* (2000) sostienen que las diferencias entre los pastos templados y los tropicales podrían deberse en cierta forma, a la influencia de algunos factores climáticos. Para esta afirmación se apoyan en los resultados encontrados cuando ambos grupos de especies crecen en las mismas condiciones ambientales, donde han mostrado iguales valores de digestibilidad.

Para estos autores es evidente que las diferencias climáticas son la causante fundamental de las individualidades nutritivas de cada grupo, por encima de cualquier efecto del nivel de fertilización, del estado de desarrollo y hasta de las diferencias genéticas entre los pastos tropicales y templados.

Por su parte, Van Soest *et al.* (1978) afirmaron que la temperatura, dentro de los factores climáticos en las condiciones ambientales en que crecen los pastos, es determinante en la composición química de las plantas, lo que provoca variaciones del valor nutritivo. Esto puede estar dado por la pérdida de hojas y el incremento de la lignificación que se produce al aumentar la intensidad calórica ambiental. Existen algunas evidencias del efecto (aunque de carácter secundario) de la intensidad de la luz en la digestibilidad de los pastos. Se ha podido observar que el incremento de la intensidad lumínica tiende a aumentar el contenido de carbohidratos solubles y la digestibilidad de las gramíneas a través de la acumulación de productos de la fotosíntesis, los cuales, al incrementarse la temperatura se convierten en carbohidratos estructurales disminuyendo la digestibilidad considerablemente (Gutteridge y Shelton, 1994).

La posibilidad de que las diferencias de la digestibilidad en pastos templados y tropicales esté vinculada a las diferencias bioquímicas en las vías  $C_3$  y  $C_4$  que siguen los mismos en la fotosíntesis, criterio que se apoya en las evidencias de que tales diferencias están estrechamente ligadas con su fisiología (Canudas, 1985). Este autor plantea que los pastos tropicales posee una anatomía especializada en las hojas denominada "anatomía de Kranz" que se caracteriza por un arreglo radial de células de parénquima especializadas, formando una estructura (vaina del haz) que rodean a cada haz vascular. Esta estructura no se encuentra en las gramíneas templadas ni en las leguminosas templadas y tropicales.

En otros trabajos se ha podido observar que las células de la vaina del haz varían en tamaño dependiendo de la especie, no tienen espacios de aire entre las células y la pared celular exterior está fuertemente suberizada, lo que hace que las hojas sean resistentes al rompimiento mecánico (Norton, 1982). Además, las células del mesófilo, que tienen una pared celular más delgada y por tanto tienen mayor digestibilidad, están en menos proporción en los pastos tropicales que en los templados; estas células presentan la característica de estar más densamente compactadas en los pastos tropicales que en los templados y los espacios de aire entre células representan solamente de 3-12 % del volumen de la hoja, contra 10-35% en los pastos templados, lo que pone en desventaja también la parte más digestible (mesófilo) de los pastos tropicales en relación con los pastos templados (Fernández *et al.*, 2001).

En consecuencia, las células de las plantas tropicales son menos accesibles a la degradación microbial en el rumen, lo que puede explicar, en parte, por qué con los pastos tropicales se observan un mayor tiempo de rumiación y retención (Thornton y Minson, 1973) que provoca un menor consumo voluntario de MS con respecto a los de zonas templadas. Se ha demostrado por varios investigadores que la limitación fundamental que tienen los pastos tropicales para la producción de leche es el bajo consumo de energía que logran hacer las vacas que los pastan lo cual es producido por la baja digestibilidad que presentan.

No obstante, no se puede descartar el efecto de otros nutrimentos. A pesar de que el consumo voluntario se afecta cuando la PB está por debajo del 7%, hay evidencias de que la eficiencia en la producción de leche a base de pasto disminuye cuando el nivel de este componente baja del 11% (Rableta *et al.*, 2006).

Otros elementos minerales como el azufre, el calcio, el fósforo, el zinc, sodio, molibdeno, cobre y cobalto que frecuentemente son deficitarios en los pastos tropicales (García-Trujillo, 1983) pueden influenciar en el consumo, aunque estos se garantizan con pastos jóvenes y bien manejados para que los animales seleccionen las partes más nutritivas.

Mucho se ha publicado acerca del crecimiento de los pastos y, sobre todo, del efecto de la disponibilidad de humedad en la respuesta biológica de las plantas, la cual depende mucho de su potencial genético, que como se sabe, es muy variable visto por su tolerancia al estrés hídrico (Baruch y Fisher, 1991).

La época del año, caracterizada por las variaciones estacionales de los elementos climáticos, influye junto a otros factores de manera directa sobre la tasa de crecimiento de los pastos (Acuña *et al.*, 1983) y, por consiguiente, en la época de seca el rendimiento de los pastos será menor que en la época lluviosa. Sin embargo, el efecto de las precipitaciones sobre el crecimiento y productividad de los pastos depende de muchos factores que están asociados al ambiente, el suelo y la especie pratense (Del Pozo, 1992). Tal afirmación la argumentó Keulen (1987) al señalar que el crecimiento de los vegetales es una función de la humedad disponible en el suelo y que ésta, a su vez, varía con el nivel y distribución de las precipitaciones, con la bioestructura y relieve del suelo, con la intensidad de radiación, la temperatura y el área cubierta por la vegetación.

La cantidad de precipitación, y especialmente su distribución estacional, constituye uno de los factores climáticos que más limitan la productividad y utilización de las pasturas en el trópico. La gran importancia del agua deriva de su efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que actúa como constituyente y solvente responsable de la turgencia celular (Faría-Mármol, 1994).

La fotosíntesis, la transpiración y la fotorrespiración de las plantas se encuentran íntimamente relacionadas con la radiación solar. De esta manera, las plantas C<sub>4</sub> presentan una mayor tasa fotosintética y de crecimiento a medida que se incrementa la radiación solar (Pezo, 1997), mientras que las que utilizan la vía del ácido fosfoglicérico (C<sub>3</sub>), cuando son sometidas a altas intensidades de radiación solar afectan su tasa de asimilación neta debido a una disminución en la difusión del CO<sub>2</sub> a través de los estomas, producto de un incremento en la evapotranspiración y, por consiguiente, del cierre de los estomas (Keulen, 1987).

La biomasa total a cosechar de los cultivos resulta de la acumulación neta del dióxido de carbono asimilado durante todo el ciclo de crecimiento. Debido a que la asimilación del dióxido de carbono resulta de la absorción de energía solar (radiación) y dado a que esta última está distribuida

uniformemente sobre una superficie, los factores primarios que afectan la biomasa total son la radiación solar absorbida y la eficiencia de utilización de esa energía para la fijación del dióxido de carbono (MInchin y Torpe, 1996 y Gardner *et al.*, 2000).

Farrar y Jun (1998) plantean que a medida que el área foliar se desarrolla, la radiación interceptada por las hojas se incrementa. Inicialmente el área foliar aumenta a una tasa exponencial, pero ésta al comienzo es pequeña y la radiación interceptada no es significativa por varias semanas. En floración el desarrollo del área foliar finaliza, siendo el objetivo de las prácticas culturales maximizar la fotosíntesis del cultivo interceptando prácticamente toda la radiación solar incidente.

El crecimiento temprano de plantas individuales, con poca competencia planta-planta, es exponencial y es descrito por la tasa de crecimiento relativo, lo cual se basa en la tasa de incremento de materia seca total de las plantas o del cultivo. A medida que el área foliar se desarrolla y hay sombreado de las hojas inferiores, las descripciones del crecimiento del cultivo están basados en el área foliar o la superficie del suelo antes que sobre plantas individuales (Sala *et al.*, 1988).

Paretas y Rivero (1990) señalaron que la duración del área foliar está muy relacionada con el rendimiento, debido a que la intercepción de la radiación solar durante un largo período de tiempo generalmente significa mayor producción de materia seca. Las grandes diferencias en la biomasa total producida son, frecuentemente el resultado de la duración de la fotosíntesis como de la tasa fotosintética.

Aunque la duración del área foliar es una medida eficiente para predecir el rendimiento, la misma solo es una estimación de la utilización de la luz en el tiempo. Mediciones reales de radiación y de intercepción de radiación integrados en el tiempo pueden relacionarse mejor con el rendimiento que la duración del área foliar.

Durante los últimos 50 años se han hecho grandes esfuerzos para evaluar la biomasa y la productividad de pastizales naturales (Redmann, 1992). Los métodos tradicionales de estimación de la biomasa a través del corte, secado y pesado de material vegetal son muy precisos, a pesar de que pueden acumular ciertos errores pero representa un gran costo en términos de tiempo y recursos. Paralelamente diversos autores han puesto énfasis en la importancia de encontrar buenos estimadores de la biomasa aérea a través de métodos indirectos o de doble muestreo (Sala y Austin, 2000). Estos permiten estimar la biomasa mediante el uso de regresiones a partir de variables cuantitativas.

En ecosistemas de pastizales naturales se han utilizado métodos similares para predecir la biomasa de especies de plantas individuales (Guevara *et al.*, 2002) y de comunidades de pastizales, teniendo en cuenta variables de medida como la altura de las plantas, su forma y el espacio ocupado por la biomasa.

A escala regional, la altitud (Acosta *et al.*, 1989) y el tipo de sustrato (Menghi *et al.*, 1989) son importantes factores modelando la fisionomía y la composición de especies del pastizal. A escala local la estructura del pastizal es controlada por la intensidad de uso ganadero y por características edáficas y topográficas (Cingolani *et al.*, 2003).

Los parches sujetos a una moderada o alta intensidad de pastoreo poseen baja biomasa y máxima diversidad de especie, principalmente dicotiledóneas, mientras que parches sujetos a baja o nula intensidad de pastoreo muestran una mayor acumulación de biomasa y una máxima diversidad de especies, principalmente de pastos (Pucheta *et al.*, 1998). En gradientes topográfico-edáfico se observa una disminución de la diversidad de especies en posiciones topográficas más bajas, donde la disponibilidad de humedad en el suelo es mayor (Cingolani *et al.*, 2003).

Dado que la variabilidad espacial en la disposición de la biomasa regula directamente o indirectamente la riqueza local de las especies, las acciones tendientes a incrementar la biomasa pueden producir un efecto negativo sobre la riqueza de especies a escala de micrositio (Nai-Bregaglio *et al.*, 2002).

### **Características del *Pennisetum purpureum* King grass**

Los *Pennisetum* han sido señalados como una de las especies de mayor potencial de producción de biomasa en el trópico. Varios cultivares de *Pennisetum* se han utilizados en Cuba desde hace varias décadas, entre ellos el Napier, Candelaria y el King grass (Roche y Hernández, 1993).

Reino: Vegetal.

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida.

Orden: Poales.

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Paniceae.

Género: *Pennisetum*.

Especie: *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum thyphoide* (Catasús, 1997). Este cruzamiento dio origen al cv King grass.

Nombres comunes: Caña de azúcar forrajera, caña de uva, caña japonesa, pasto panamá, *Pennisetum* híbrido (Mejía, 1984).

Existe una controversia en cuanto a la taxonomía de éste, considerado por algunos investigadores como *Saccharum sinensis*, mientras que otros aseguran que se trata de un híbrido de *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides* y esto también puede estar relacionado con el origen del material inicial que se ha estado difundiendo principalmente desde Panamá (Tergas, 1984). En otros estudios

realizados sobre *Pennisetum purpureum*, se expresa que esta es una planta perenne de crecimiento erecto y de porte alto, su tallo puede alcanzar de 13 a 15 mm de diámetro con abundantes yemas basales, hojas lanceoladas anchas y largas. Presenta inflorescencia en forma de espiga y florece desde diciembre a febrero, es de tipo amacollado perenne que llega a crecer hasta de dos a tres m de altura y puede ser utilizado en pastoreo y bajo corte.

La literatura nacional informó que el king grass era un híbrido y no es hasta mediados de la década del 80 que surge la necesidad de establecer la veracidad sobre la naturaleza del king grass, debido a los estudios realizados en este pasto, mediante el cultivo de tejidos y otras técnicas mutagénicas desarrolladas en el Instituto de Ciencia Animal. Monzote *et al.* (1989) determinaron que el número de cromosomas del king grass era  $2n=28$ , mientras que el híbrido posee 21 cromosomas. En el género *Pennisetum*, la especie *P. purpureum* es la que presenta 28 cromosomas, lo que concuerda con lo señalado por Pinzón y González (1978).

Monzote *et al.* (1989) también estudiaron las isoenzimas alfa y beta esterasas como un factor que pudiera ayudar a esclarecer la naturaleza del king grass, comparada con el *P. typhoides* ( $2n=2x=14$ ) y el híbrido. Los resultados evidenciaron que cada parental posee su patrón isoenzimático y el híbrido presenta bandas de ambos. De ser el king grass un híbrido, presentaría al menos 1 banda característica de *P. typhoides*, lo cual no ocurre. Los resultados obtenidos indican que el king grass que existe en Cuba no es un híbrido entre *P. purpureum* y *P. typhoides* y que debe pertenecer a la especie *P. purpureum*.

Por otro lado, sus características morfológicas y productivas lo diferencian de otras variedades cultivadas de esta especie. Por lo tanto, Monzote *et al.* (1989) propusieron llamarlo *Pennisetum purpureum* cv. king grass.

El king grass es una gramínea forrajera con vocación de corte adaptada a condiciones tropicales y hasta alturas de 1 000 a 1 500 msnm, con un rango amplio de distribución de lluvias y de fertilidad de suelos, incluyendo suelos ácidos de baja fertilidad natural (Tergas, 1984).

Paretas (1990) plantea que todos los *Pennisetum purpureum* se adaptan a un amplio rango de suelos (latosólicos, no calcarios y momtmorilloníticos), se desarrolla en suelos con pH entre ligeramente ácidos y neutros con buen drenaje y poco erosionados, requiere altas temperaturas y precipitaciones anuales no menores de 1 000 mm. En Cuba, el king grass (*Pennisetum purpureum*) es todavía una de las especies forrajeras más extendida por su buen comportamiento en los diferentes ecosistemas.

La especie es perenne y de crecimiento erecto, y puede alcanzar hasta 3 m de altura. El tallo es similar al de la caña de azúcar, puede alcanzar de 3 a 5 cm de diámetro. Las hojas son anchas y largas con vellosidades suaves y no muy largas, verde claro cuando son jóvenes y verde oscuro cuando están maduras (Herrera, 1990). El king grass ha tenido acogida en tierras altas y bajas, con suelos pobres y moderadamente ácidos, y con períodos secos prolongados (Hernández *et al.*, 1989).

La semilla botánica de king grass tiene de 10 a 15% de germinación, aunque se prefiere propagarlo vegetativamente por estacas. Las estacas deben proceder de tallos de 90 a 120 días de edad (Sarroca *et al.*, 1981). Se recomienda usar cañas enteras que luego se cortan en pedazos en el mismo surco para ser tapados mecánicamente con una capa de 10 a 15 cm de suelo (Cordoví *et al.*, 1980). El distanciamiento apropiado es de 1 a 1,5 m entre surcos. El primer corte se realiza entre 4 y 6 meses.

El king grass puede producir hasta 26,3 t de materia seca (MS) con cortes cada 75 días sin fertilizar, y hasta 37,7 t de MS fertilizado con 200 kg.ha<sup>-1</sup> de N (Pinzón y González, 1978). En Cuba se han obtenido rendimientos de 47,3 a 52,8 t MS.ha<sup>-1</sup> con cortes cada 60 días a una altura de 10 a 25 cm del suelo (Cordoví *et al.*, 1980). Si el crecimiento del pasto no es interrumpido por bajas temperaturas y si el N y el agua no son limitantes, se obtienen altas producciones cortando el pasto a una altura de 0 a 15 cm del suelo cada 45 a 60 días (Mendoza y Stanley, 1987).

En los estudios de la composición química, y los informes así lo demuestran (Cáceres y González, 2000), se ha encontrado que la calidad nutritiva del king grass es variable. De la revisión efectuada al respecto, se puede resumir que el contenido promedio de proteína cruda es de 8,3%, variando entre 4,7 y 5,3% en los tallos, y de 8,8 y 9,5% en las hojas (Hernández *et al.*, 1989). Con estos valores se puede asumir que es una gramínea de gran potencial forrajero dado sus rendimientos en biomasa y, por ende, en nutrientes.

Los suelos dedicados a la producción de pastos son muy diversos y se diferencian por las variadas condiciones de fertilidad y factores limitantes que presentan para el desarrollo y explotación de los mismos.

Paretas (1990) publicó los resultados del programa de regionalización que define las mejores relaciones de adaptación de los pastos y forrajes en los suelos de Cuba, lo que constituye una herramienta de trabajo para la agrotecnia y el manejo de los pastos en los ecosistemas ganaderos.

En la literatura científica se señala la notable influencia del suelo en el crecimiento y productividad de los pastos, ya que el mismo proporciona la humedad, nutrientes, oxígeno y temperatura necesarios para su óptimo desarrollo, lo cual varía con el tipo y la capacidad agroproductiva del mismo.

En este sentido, en los resultados de Paretas (1990) acerca del comportamiento de los pastos en los distintos suelos ganaderos, se recomienda una clasificación subjetiva en la que se indica que los géneros *Panicum* y *Cynodon* son los más adaptados a la gran variabilidad de estos suelos, mientras que en *Chloris* y *Brachiaria* la manifestación de sus respectivos potenciales de producción de fitomasa está limitada a suelos más específicos.

No obstante, esta clasificación general, la manifestación del potencial forrajero de cada especie varía en dependencia de las condiciones edafoclimáticas y de manejo donde se desarrolle.

Los suelos destinados a la ganadería en Cuba son extremadamente heterogéneos y, en la mayoría de los casos, con más de una eficiencia que limita su productividad, estas características imponen la necesidad de hacer una selección minuciosa y casuística de las especies y variedades que sean capaces de adaptarse, producir y mantenerse bajo estas condiciones y acorde a los sistemas agrotécnicos y de manejo que imponen las normas.

La adaptabilidad y estabilidad son características importantes en las plantas cuando se requiere establecer una estructura de pastos para cada región en particular. Este aspecto debe ser tomado en consideración para la creación de la estructura de los pastizal es en Cuba, sobre todo para las regiones denominadas como zonas problemas (suelos bajos, salinos, ácidos, etc.) donde se necesitan cultivares con adaptación específica (Seguí, 2002).

A pesar de que Cuba es un país más o menos uniforme, desde el punto de vista climático se han observado amplias variaciones en el comportamiento de los pastos a través de los ensayos regionales.

La evolución y adaptación de las plantas están estrechamente relacionadas con los numerosos factores del hábitat de forma individual o de conjunto (Wilsis, 1990). Según Seguí (1996) esto está dado por la incidencia de los factores ambientales y los efectos de la selección natural de los grupos de plantas que se interrelacionan dentro del medio que ocupan, determinando respuestas diferenciales de las especies y variedades, así mismo los factores climáticos, edáficos y bióticos son los elementos que influyen con mayor intensidad en la distribución, adaptación, producción y grado de utilización de las plantas cultivadas, aunque el nivel de exigencia de cada cultivo en particular tiende a limitar la influencia de los mismos.

Paretas (1993) plantea que los pastos están definidos como la base alimentaria de los bovinos en Cuba, tomando del suelo y el clima los elementos para vivir y a su vez son la fuente de vida de los animales. Por ello es muy importante poseer un germoplasma en cantidad y calidad que se adapte adecuadamente a los diferentes agrosistemas existentes y a los requerimientos y potencial de los animales.

El comportamiento relativo de los genotipos en los diferentes ambientes, ha sido objeto de estudio en varias ocasiones (Estévez y Álvarez, 1987). Por ello se plantea que el potencial productivo y reproductivo de los pastos y los forrajes dependen de la capacidad individual de las especies y variedades, así como de las labores agrotécnicas, fitotécnicas y de manejo a las cuales son sometidas y sobre todo de las condiciones climáticas y edáficas donde estas se desarrollan.

En cuanto al suelo, Paretas y Funes (1988) han señalado la marcada heterogeneidad existente tanto entre grupos de suelos como entre los tipos existentes y entre las características que los definen, los cuales en muchos casos, presentan más de una deficiencia que limita su productividad. Tales

diferencias también fueron señaladas por Hernández *et al.* (1996) a partir de las afectaciones porcentuales que cada limitante representa en los suelos ganaderos cubanos.

Todo ello impone la necesidad de hacer una selección minuciosa y casuística de las especies de manera que sean capaces de adaptarse, producir y mantenerse bajo esas condiciones, acorde a los sistemas de explotación creados y desarrollados en las empresas productoras (Seguí, 1996).

También se indica que la adaptabilidad puede ser general o específica, dependiendo la misma de las características genéticas particulares de las plantas. Un cultivo es adaptado, cuando puede expresar todo su potencial genético en diferentes condiciones ambientales, mientras que cuando solo expresa un potencial para ambientes determinados su adaptabilidad es específica (Seguí, 1996). La adaptabilidad y la estabilidad son características importantes en las plantas cuando se quiere establecer una estructura de pastos para cada región. Las especies de adaptabilidad específica son muy importantes para regiones con determinados problemas (suelos bajos, salinos, ácidos, infértiles u otros).

### **Características edafoclimáticas del Valle del Cauto**

Las condiciones climáticas particulares que imperan en el Valle del Cauto describen comportamiento muy variado de las precipitaciones en este ecosistema ganadero. En un período mayor de 20 años se mantienen aun valores anuales superiores a los 1 000 mm; sin embargo, los valores decrecen notablemente cuando el análisis se hace en un período inferior, y llegan a ser críticos en los últimos cinco años al cerrarse las isoyetas (Anexo 1) hasta valores promedios entre 600 y 700 mm (Benítez *et al.*, 2001). Dicha particularidad de esta zona climática, en la cual se concentra el grueso de la ganadería de la región oriental cubana, la lleva a considerarla entre los ecosistemas ganaderos de clima seco estacional.

El clima del Valle del Cauto ha sido clasificado como tropical relativamente húmedo (Barranco y Díaz, 1989), siendo el tipo más extendido en las llanuras de Cuba, excepto las costas del Valle de Guantánamo y Santiago de Cuba, con una temperatura media anual de 26°C. La temperatura mínima promedio alcanza los 19,7°C y la máxima los 33°C. La humedad relativa es de un 77% y las lluvias varían entre 900 y 1 200 mm anuales. Los vientos predominantes son del este-noroeste y del norte-noreste, con velocidades promedios de 11 km.hora<sup>-1</sup> (Rosell *et al.*, 2003).

Según la correlación que tiene lugar entre el clima y la vegetación (bioclima), también ha recibido la denominación de clima zenital de lluvias de verano con dos períodos secos (un largo período seco de invierno y uno corto de verano (Barranco *et al.*, 1990).

El clima está caracterizado por presentar dos estaciones bien definidas, una lluviosa y otra poco lluviosa con similares tiempos de duración (años), se corresponden con los registros históricos de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Granma, para cuyo territorio, las isoyetas de las

precipitaciones están dentro de los siguientes valores: 600-800 mm en el período lluvioso (Izquierdo, 1989); 200-300 mm en el período seco (Trusov *et al.*, 1989) y 1 000-1 200 mm en el período anual (Gagua *et al.*, 1989).

### **Los suelos dedicados a la producción de pastos en el Valle del Cauto**

Según la nueva clasificación genética (Hernández *et al.*, 1999), en el territorio granmense del Valle del Cauto se encuentran nueve tipos de suelos diferentes (tabla 2) excluyendo la zona montañosa y la parte cenagosa, donde se encuentran otros tipos de suelos no clasificados para este análisis por no ser base de la ganadería vacuna.

Por otra parte, el Valle del Cauto se caracteriza por el predominio de los suelos vertisoles, seguidos de los fluvisoles.

El primero con relieve llano y textura arcillosa, que contribuyen a que su drenaje tanto superficial como interno sea deficiente, factor limitante que afecta el 100% de las áreas dedicadas a la ganadería (Benítez *et al.*, 1997). Esta situación provoca encharcamiento en la época de lluvia, mientras que en el período seco se agrieta con facilidad formando grandes bloques prismáticos, que dificulta la absorción de nutrientes por parte de las raíces, limitando el crecimiento de las especies y variedades de pastos.

Los suelos fluvisoles se sustentan sobre materiales transportados carbonatados o no, su contenido de materia orgánica varía desde medianamente humificados (2,0-4,0%) hasta poco humificados (<2,0%), su textura es muy variable desde un Loam arcilloso, una arcilla ligera, hasta un Loam arenoso, lo que induce variación en sus propiedades físicas y químicas. La profundidad efectiva tiene rangos de variación desde profundos (91-150 cm) hasta poco profundos (25-50 cm). En algunos contornos de suelo se pone de manifiesto el proceso de salinización con un área afectada de 8,6% de la que ocupa este subtipo. Presenta un drenaje general bueno y la topografía es llana, generalmente su fertilidad natural es baja, pero son muy productivos cuando se trabajan correctamente.

En sentido general, cerca del 100% de los suelos dedicados a la producción de pastos en la región presenta mal drenaje, el 70% de ellos está afectado por la salinidad y el 40% del área es inundable.

En la tabla 3 se presenta la superficie ocupada por los suelos identificados hasta subtipo en la nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999), donde resalta la importancia del tipo Vertisol, con alrededor del 44% del área diferenciada, seguidos de los Fluvisoles, con el 22,4% y a continuación los tipos Fersialíticos, Pardos, Arenosol y Halomórficos en menor cuantía.

Por su distribución en el paisaje, se ubican en las partes más altas que bordean el Valle del Cauto los tipos Pardos y Fersialíticos; en las partes intermedias los tipos Vertisoles y los Fluvisoles; paralelos a las corrientes fluviales y en las partes más bajas los correspondientes a los tipos Vertisoles y la

Ciénaga. El tipo Arenosol ocupa zonas relativamente altas, con una influencia geológica particular dentro del territorio. El tipo Halomórfico se presenta indiferentemente en zonas de acumulación de sales en el suelo.

Tabla 2. Clasificación genética de los suelos dedicados a la producción de pastos en el Valle del Cauto.

| Subtipo | Denominación anterior                        | Clasificación genética (nueva versión según Hernández <i>et al.</i> , 1999) |
|---------|--|---|
| VIII A  | Fersialítico Pardo rojizo típico             | Fersialítico Pardo rojizo   |
| IXA     | Pardo sin Carbonato típico                   | Pardo Gléyico   |
| XA      | Pardo con Carbonato típico                   | Pardo Gleysoso vértico  |
| XVA     | Gley Oscuro plástico típico                  | Vertisol Crómico  |
| XVI K   | Oscuro Plástico gleyzoso negro grisáceo      | Vertisol Crómico  |
| XVII A  | Oscuro Plástico no gleyzoso típico           | Vertisol Pélico   |
| XVII K  | Oscuro Plástico no gleyzoso negro grisáceo   | Vertisol Pélico   |
| XVII M  | Oscuro Plástico no gleyzoso gris amarillento | Vertisol Pélico   |
| XVII N  | Oscuro Plástico no gleyzoso pardo oscuro     | Vertisol Pélico   |
| XXIV    | Solonchak                                    | Halomórfico salino  |
| XXVI S  | Aluvial poco diferenciado                    | Fluvisol diferenciado   |
| XXVIT   | Aluvial diferenciado                         | Fluvisol diferenciado   |
| XXVIIF  | Arenosos cuarcítico gleyzoso                 | Arenosol gléyico  |

Tabla 3. Superficie de los suelos dedicados a la producción de los pastos en el Valle del Cauto.

| Clasificación genética          | Superficie en ha |
|---------------------------------|------------------|
| Vertisol Pélico                 | 188 720          |
| Vertisol Crómico                | 27 300           |
| Fluvisol diferenciado           | 96 710           |
| Fersialítico Pardo rojizo       | 54 030           |
| Pardo Gleysoso vértico          | 40 810           |
| Pardo Gléyico                   | 22 400           |
| Arenosol gléyico                | 580              |
| Halomórfico salino              | 340              |
| Total clasificado               | 430 890          |
| Suelos con afectaciones salinas | 161 330          |
| Área montañosa                  | 189 160          |
| Ciénaga costera                 | 42 270           |

### La fertilidad de los suelos y el reciclaje de nutrientes

Se ha señalado por varios autores que muchos de los factores que limitan la producción de las pasturas tropicales, están relacionados con limitaciones de los suelos (Till, 1981; Paretas, 1990; Botero, 1993; Pezo, 1997). En áreas de ganadería, y específicamente en zonas tropicales se

presentan agudos problemas de deterioro de la relación suelo-pastizal, con pérdidas de la fertilidad de los suelos, erosión, salinidad y baja persistencia del pasto.

El incremento de la fertilidad del suelo es el resultado de la aplicación racional de los principios de manejo de los componentes del sistema de producción y el conocimiento de las potencialidades de los recursos disponibles en el ecosistema ganadero (Paretas, 1990; Senra, 1992).

Con la aplicación de los fertilizantes nitrogenados se han obtenido altas respuestas en la producción de biomasa de pasto, generalmente lineales al incremento de las tasas de fertilización. Lazenby (1981) plantea efecto en el incremento de los rendimientos hasta  $800 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ . En este sentido, Paretas (1990) informó que el efecto sobre los rendimientos en áreas de pastoreo para suelos rojos de Cuba es hasta  $240 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ , para condiciones de secano, debido al reciclaje de nitrógeno por la vía del estiércol y orina.

En la década del 90, motivado por problemas específicos en el país, se comenzó la aplicación en las áreas de ganadería de tecnologías que utilizan bajos insumos. Como parte de esta estrategia se introdujo el sistema de Pastoreo Racional Voisin (PRV). La aplicación de esta técnica de pastoreo, implica utilizar en el pastizal un alto número de cuartones y una alta intensidad de pastoreo, lo que permite un incremento notable de la carga global en el sistema y un aporte considerable de excretas y orina, que contribuye a incrementar paulatinamente la fertilidad del suelo y el rendimiento de los pastos (Hernández y Milera, 1996).

Un aspecto fundamental en la aplicación del método es garantizar el tiempo de reposo al pastizal, que le permita a las plantas almacenar en sus raíces las reservas necesarias para realizar un rebrote vigoroso.

Por su parte, los fertilizantes orgánicos mejoran las propiedades físico-químicas del suelo, debido al aporte de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y microelementos (Altieri, 1996). Cuando la superficie pastoril es sometida a un sistema de manejo intensivo, donde se aplican las Leyes del Pastoreo Racional, se incrementa marcadamente la fauna presente en la hojarasca, así como la biota edáfica, principalmente las poblaciones de coleópteros y oligoquetos, lo cual beneficia la fertilidad del suelo por los aportes que realizan dichos organismos al descomponer e incorporar la materia orgánica al mismo (Sánchez *et al.*, 1996).

Las excreciones de los animales mejoran la estructura del suelo, aportan elementos minerales y orgánicos y modifican la vida de la microflora y la microfauna, favoreciendo el desarrollo de la biota edáfica (Primavesi, 1990; Arteaga *et al.*, 1996). Las excretas y el estiércol incorporado al suelo, normalmente incrementan los contenidos de la materia orgánica del suelo, lo que mejora el pH e incrementa la capacidad de intercambio catiónico (Hernández *et al.*, 1989; Primavesi, 1990). En cambio, la orina incrementa el pH del suelo superficial, dado la mineralización del nitrógeno orgánico

que se cumple a partir de que la urea contenida en la orina es rápidamente hidrolizada y llevada a forma de amonio, seguida por la nitrificación y posterior lavado de nitrato (Black, 1992).

Los niveles de retorno de macroelementos vía excreta son equivalentes a aplicaciones de 100-150; 10-20 y 75-125 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente (Pezo e Ibrahim, 1998). Esta deposición de N en las excretas ocurre a tasas mayores a las requeridas para el crecimiento de los pastos; sin embargo, ocurren grandes pérdidas vía volatilización, lavado y denitrificación (Thomas *et al.*, 1990), las cuales han sido calculadas hasta en un 70-75% del N excretado (CIAT, 1990).

La cantidad y la disponibilidad de nutrientes retornados al pastizal por las heces y la orina está influida por el número de excreciones diarias, su tamaño, peso y volumen, así como por la superficie del suelo que ellas ocupan. Teóricamente, a mayor carga animal ocurrirá una mayor eficiencia en el reciclaje de los nutrientes (Crespo *et al.*, 2000b). Según estos autores, los vacunos adultos defecan entre 11-13 veces con un peso de 1.7 a 2 kg cada bosta y miccionan de 8-10 veces con un volumen promedio de 2 litros por micción diariamente. A medida que la densidad de pastoreo aumenta, la distribución de las excretas tiende a ser más uniforme, lo que producirá una disminución de las pérdidas de nutrientes y un reciclaje más eficiente dentro del sistema.

El ciclo de nutrientes en el ecosistema de pastizal se define como la absorción, utilización, liberación y reutilización de los nutrientes dentro del sistema complejo de las relaciones entre el suelo, el pasto y el animal (Till, 1981). Los procesos que se integran en este sistema, son de índole física, química y biológica y en buena medida interactúan y dan lugar a acumulaciones o "pools" de nutrientes y a flujos.

En los pastizales tropicales, con cierta frecuencia el suministro de nitrógeno es inadecuado, ya que tienen un alto potencial de fotosíntesis y crecimiento, creando una gran demanda de nitrógeno. En segundo orden se ha comprobado un pobre suministro de nitrógeno por parte del suelo en condiciones de alta humedad (Till, 1981). Con razones, el nitrógeno se ha señalado como el nutriente más limitante de la productividad de los suelos tropicales (CIAT, 1990; Paretas, 1990; Cadish *et al.*, 1994). De ahí la importancia de favorecer los procesos que garantizan su reciclado en el ecosistema suelo-planta-animal.

En relación con el nitrógeno, existen dos procesos importantes que son la mineralización y la inmovilización. Los pastizales tienen altas poblaciones de microorganismos que están estimulados por el suministro de materia orgánica vía planta y animal y es allí donde ocurre la mineralización de esta materia orgánica. El nitrógeno se mineraliza para ser tomado por las plantas como iones amonio. El proceso inverso es la inmovilización, en que el nitrógeno retorna a su forma orgánica no aprovechable directamente por el pasto. Con frecuencia estos dos procesos se mantienen en equilibrio (Argel, 1996).

El ciclo del nitrógeno se cumple a partir de que solo una pequeña fracción del N absorbido por la planta es retenida por el animal. El resto es excretado y una parte de cierta consideración es tomada por la planta, mientras que la otra se incorpora al suelo. Se ha comprobado que incluso pequeñas cantidades de nitrógeno mineralizado pueden llenar los requerimientos para el crecimiento del pasto (Lazenby, 1981), lo cual varía con la especie.

Una vía de aporte de N al suelo la constituye la lluvia caída, que según Crespo *et al.* (1998) puede llegar a ser de 1 kg N.ha<sup>-1</sup> por cada 52,2 mm de lluvia caída en las condiciones de Cuba. Sin embargo, existe información sobre las pérdidas por lixiviación y denitrificación del nitrógeno que se incorpora por la lluvias (Peña *et al.*, 1989) y parte de éste se pierde por volatilización, registrándose valores de hasta 0,3 kg de N.ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Till, 1981).

La utilización de leguminosas, ya sean puras o asociadas a las gramíneas, es otra vía importante de adición de nitrógeno al ciclo del pastizal y que puede reportar por la vía de la fijación simbiótica, aportes considerables. Estos aportes varían en relación con el género de leguminosas, condiciones agroquímicas del suelo y del manejo en corte, pastoreo o como cultivo agrícola de otra índole (Tang, 1990; Paretas, 1994).

Se han informado valores anuales de 90 kg de N.ha<sup>-1</sup> fijados por la especie *Calopogonium mucunoides* (Miller y Van der List, 1977) y de 108 kg N.ha<sup>-1</sup> en *Centrosema pubescen* (Argel, 1996), con tasas de transferencia del N de las leguminosas a las gramíneas que oscilan entre 10 y 39% del nitrógeno fijado.

Desde el punto de vista del balance de nitrógeno dentro del ecosistema de pastizal, el saldo generalmente es positivo cuando se emplea nitrógeno como fertilizante químico, pues las entradas al sistema productivo son mayores que las extracciones, a pesar de que ocurren pérdidas del nitrógeno por volatilización, lixiviación y denitrificación (Gadzia, 1996).

En experimentos de balance de nitrógeno en granjas lecheras, cuando se aplicó nitrógeno como fertilizante los resultados fueron positivos en términos de la producción animal y de la nutrición del suelo y la planta, aunque se señalaron riesgos elevados de contaminación con nitratos (Van Hom *et al.*, 1994).

En áreas tropicales las producciones sostenibles obtenidas con el uso de nitrógeno por la vía de inclusión de leguminosas en las gramíneas han contribuido con aumentos de las ganancias de peso vivo desde 24 hasta 93 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Shaw y Mannelje, 1970) y en 1 a 2 kg de leche por vaca por día como incremento (Valdés, 1994; Iglesias *et al.*, 1997); sin embargo, en estas condiciones el balance de nitrógeno que se produce en el sistema generalmente es negativo, dado por las entradas insuficientes de este nutriente (Jordán *et al.*, 1995).

### **Programa de mejoramiento del *Pennisetum purpureum***

En el mundo, y sobre todo en los países tropicales, se ha trabajado y se trabaja intensamente en la obtención de nuevas variedades de pastos por diferentes vías, entre las que predomina la

biotecnológica. Estos esfuerzos han estado dirigidos a alcanzar cultivares con potenciales productivos, valor nutritivo, adaptación y resistencia al ambiente que superen a las variedades locales e incidan positivamente en la producción ganadera.

En Cuba, a pesar de que las condiciones edafoclimáticas son favorables para el cultivo de los pastizales, no se cuenta con una gran diversidad de gramíneas indígenas o naturalizadas que resulten importantes para la explotación ganadera, existiendo solo algunos géneros excepcionales que responden a esos fines. El intercambio con centros extranjeros especializados ha sido una vía fundamental para lograr la introducción de gramíneas y leguminosas con alto potencial productivo y de aceptable calidad.

Así, el empleo de variedades mejoradas que presenten un mayor potencial de producción que las especies de pastos naturales, es una opción para favorecer la alimentación de los animales y la capacidad de carga en los ecosistemas ganaderos. Para el éxito de un sistema pecuario sostenible es necesario el conocimiento de las cualidades de los nuevos cultivares con características deseables para el desarrollo de pastizales con un elevado potencial forrajero, por lo que se realizaron investigaciones sobre algunas variedades introducidas de magníficas condiciones forrajeras de alta calidad como los *Pennisetum purpureum* Taiwan A-144, A-146, A-148 y el CRAAG-265, publicadas en el Programa Nacional para la introducción de Pastos en Cuba, por Machado (1983). León *et al.* (2000) informaron las bondades del CRA-265 en condiciones de secano, en los que se determinó la edad de cosecha, otros parámetros agronómicos y el valor nutritivo.

En materia de mejoramiento genético, se ha trabajado en Cuba en la obtención de variedades de gramíneas forrajeras de alta producción de biomasa. Entre las vías disponibles, Herrera y Martínez (2006) citan las biotecnológicas (cultivo de tejidos, de células, de protoplastos e ingeniería genética), radiaciones ionizantes provenientes de diferentes fuentes (mutágenos físicos), sustancias químicas (mutágenos químicos) y la combinación de ellas. Estas técnicas permiten, en menor tiempo, obtener y seleccionar plantas con las características deseadas, comparado con las vías de la genética clásica, siendo el cultivo de tejidos una de las técnicas más utilizadas en Cuba.

Como resultado de los primeros estudios del mejoramiento del *Pennisetum purpureum* en Cuba, se han generado diferentes clones, algunos de los cuales han manifestado la estabilidad genética necesaria para ser considerados como variedades, tal son los casos, entre otras, del Cuba CT-115 y Cuba CT-169, las cuales se consideran entre las más destacadas para el pastoreo, la primera, y para el corte, la segunda.

El CT-115, como es conocido entre los ganaderos, es una planta forrajera obtenida a partir del king grass en los laboratorios del Instituto de Ciencia Animal de La Habana por el método de cultivo de tejidos, entre cuyas características se destacan, según Martínez *et al.* (1994):

- Mayor número de hijos/plantón

- Mayor contenido de azúcares
- Porte bajo al disminuir progresivamente el tamaño de los entrenudos
- Mayor relación hoja/tallo al acortarse los nudos
- Muy poco florecimiento
- Buena respuesta al pastoreo

Su escasa floración permite dejarlo en el campo 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 (Martínez, 1996).

Si se utiliza como reserva hay que dejarlo en el campo desde junio-agosto hasta diciembre-enero. El pastoreo frecuente se podría hacer, pero así no se cumpliría el objetivo principal de la misma que es almacenar comida para la seca. Similar a todos los *Pennisetum*, el Cuba CT-115 crece acumulando biomasa hasta los 5-6 meses, pero lo hace a una altura considerablemente menor que otros (1,40 m) (Rerrera, 2005). Si se deja en pie, después de 6 meses ya no acumula más biomasa. Experiencias de varios años en el ICA, han indicado que si se suma 6 cortes en un año, a dos meses cada uno, la suma de todos los cortes no superaría las 90 t de forraje/ha/año. Sin embargo, en dos cortes en el año (de 6 meses cada uno) el total del forraje puede ser a las 200 t.ha<sup>-1</sup>.

### **Manejo**

Para manejar una lechería con la tecnología del CT-115 hay que cumplir dos premisas:

- a) Tener el 30% del área sembrada de CT-115.
- b) Tener un mínimo de divisiones o acuartonamiento.

Independientemente del tamaño de la unidad, se recomienda como óptimo tener más de 20 parcelas en el área de CT-115 (30%) y más de 20 parcelas en el resto del área (70%). Por esta razón, el tamaño de las parcelas será diferente en función del área. La fecha de inicio del pastoreo se debe ajustar a las condiciones climáticas de cada región.

### **Siembra y establecimiento**

Para la siembra el suelo debe prepararse con la mejor calidad posible para controlar la invasión de especies indeseables, es aconsejable su siembra a principios de mayo, coincidiendo con el comienzo de la estación lluviosa, aunque puede sembrarse en cualquier época del año existiendo las condiciones de humedad adecuadas, la distancia de siembra aconsejable para un buen sellaje es de 75 cm entre esquejes y de 1 metro entre surcos. Según Machado (1988), la mejor parte para un buen establecimiento parece ser la central seguida de la caña entera. Las yemas situadas en la parte central de la planta están más aptas para la germinación por estar en un estado de desarrollo intermedio que favorece el ahijamiento, alcanzando una mayor altura y rendimiento; la germinación no ocurre simultáneamente durante los primeros días, sino que ocurre de forma gradual y aún

después de los 28 días ésta continúa, estableciéndose la planta en 4 meses. Durante esta etapa se puede realizar un control de malezas con azadón en los entresurcos del cultivo, ya bien establecida la planta es muy competitiva con las malezas. Los rendimientos de materia seca pueden alcanzar valores de hasta  $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  en su primer año con un buen comportamiento en la etapa poco lluviosa.

Después de la siembra del CT-115 se debe descansar un mínimo de 120 días para iniciar el pastoreo. Si se siembra muy temprano (mayo-junio) podrá estar muy alto en noviembre, por lo que se recomienda un pastoreo rápido y poco intenso en julio o parte de agosto para evitar demasiado desarrollo.

El ciclo anual de pastoreo contempla la utilización alterna de las dos áreas (30% de CT-115 y 70% de otras gramíneas).

En el primer pastoreo, el animal se enfrenta a un alto volumen de biomasa que ofrece alimento suficiente para mantener 100 vacas durante tres días en una hectárea ( $300 \text{ vacas.d}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ ), por lo que la rotación puede durar 60 días. Terminados los cuartones de CT-115 se pasa al resto del área. Por su tamaño, un cuartón de 2 ha soporta al menos 100 vacas durante dos días ( $100 \text{ vacas.d}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ ). Por lo que la rotación termina 40 días después, ya que para esa fecha el primer cuartón pastado de CT-115 tiene 95 días de reposo. Este puede soportar, al menos, 100 vacas en dos días ( $200 \text{ vacas.d}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ ) por 10 que con 20 cuartones estarán 40 días. Posteriormente se realizará una segunda rotación de 30 días en el resto del área y una tercera rotación de 20 días en el área de CT-115. Cuando esa última termine habrán transcurrido ( $60 + 40 + 40 + 30 + 20$ ) 190 días y en la mayoría de los casos habrá concluido el período seco (Herrera, 1981).

Con las lluvias se inicia una cuarta rotación en el 70% del área, para iniciar en julio la cuarta y última rotación del año en el área de CT-115. De esta forma, volverá a descansar unos 140 días antes de que se inicie el nuevo ciclo.

Un aspecto relevante de esta nueva tecnología es la capacidad del CT-115 para rebrotar y subsistir en el período seco.

En el tiempo de reposo durante el período lluvioso, este pasto no sólo almacena reservas aéreas en forma de biomasa convertible, es importante también la reserva de agua y carbohidratos solubles. Esto, unido a la profundidad de sus raíces, hace que el área de CT-115 pueda ser pastada tres y hasta cuatro veces durante el período seco y pueda sostener más de  $600 \text{ vacas.d}^{-1}.\text{ha}^{-1}$  en todo el período.

### **Fertilización y riego**

A pesar de la rusticidad de la especie la respuesta de la fertilización es muy positiva especialmente al final de la estación lluviosa, ya que se considera que esta gramínea por sus altas producciones de follaje extrae gran cantidad de nutrientes principalmente nitrógeno y potasio y en menor proporción

fósforo. En Cuba la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno, hasta 400 kg.ha<sup>-1</sup> favoreció el crecimiento de las plantas hacia los 45-60 días de edad lo que se manifestó en un mayor rendimiento por corte sin embargo no hubo un efecto positivo del nitrógeno sobre el porcentaje de hojas a una misma edad aunque éste disminuyó con la edad del forraje (Vargas, 1983).

Esta gramínea responde favorablemente a la aplicación de riego especialmente en la época de sequía, el riego durante esta época evita una disminución drástica en la producción de forraje y en el valor nutritivo de la planta, así mismo la aplicación de riego permite disminuir el tiempo entre cortes y aumenta el número de cosechas al año (Vargas, 1983).

Aunque esta gramínea ha mostrado cierta resistencia al pisoteo, el aprovechamiento económico óptimo se logra cuando se corta para suministrarla picada al ganado como forraje verde. Se puede cosechar con frecuencia si se fertiliza y riega ya que los ahijamientos (tallos inferiores y raíces) producen numerosas cosechas de retoño, en zonas cálidas el primer corte se puede realizar entre los 4 y 6 meses después de la cosecha y los siguientes entre 45 y 50 días (si se cuenta con suficiente humedad) cuando las plantas alcanzan de 1 a 1,5 m de altura lo que permite obtener un forraje tierno y de calidad satisfactoria, según sean las características bioclimáticas vigentes de cada región y las condiciones de manejo, se puede obtener después del corte de establecimiento de 4 a 7 cortes al año y en la época de sequía que la producción disminuye los períodos de recuperación se incrementan de 60 a 90 días dependiendo de la posibilidad de aplicar el riego (CIAT, 2004).

### **Producción animal**

Debido a la calidad moderada del pasto la producción de carne o leche del ganado alimentado exclusivamente con él es baja por lo que es necesario suministrar suplementos energéticos y proteicos con frecuencia se suministra melaza y urea, en ocasiones mezcladas con gallinaza y en el kudzú (*Pueraria phaseoloides*) o la leucaena (*Leucaena leucocephala*) en algunos casos a través de los bancos de proteínas y en otros con las mezclas en el campo (Guzmán, 1988). En Cuba se han obtenido producciones de leche de 4.42 kg.día<sup>-1</sup> en vacas 3/4 Holstein y 1/4 Cebú estabuladas y alimentadas con ensilajes de king grass, paja de caña y miel-urea pero suplementadas con sal común y bloque nutricional (Pedraza *et al.*, 1998).

Con el CT-115, Carrasco *et al.* (2000) obtuvieron producciones de leche de 5-6 kg.vaca<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup> utilizando vacas de la raza Siboney utilizando este pasto como dieta básica en pastoreo entre los meses de enero y febrero y sugirieron continuar estudios de sistemas de pastizales con la inclusión del CT-115 como vía para potenciar su productividad, especialmente en el período poco lluvioso.

En estudios realizados en el ecosistema norte de Holguín, donde el régimen de lluvia es diferente al del resto de la provincia, se debe plantar, de manera que coincida la culminación de los 5 meses de establecimiento con la época de menores precipitaciones. En la tabla 4 se presentan valores de

rendimiento de algunos cultivares en la provincia de Holguín. En ninguno de los casos superó el 30% la producción en el período seco, dado fundamentalmente por el alto déficit de precipitaciones que caracteriza a esa zona.

Tabla 4. Comportamiento como forraje de diferentes cultivares del género *Pennisetum* en la zona norte de la provincia de Holguín.

| Cultivares   | Seca | Lluvia | Anual | Rendimiento período seco (%) |
|--------------|------|--------|-------|------------------------------|
| King grass   | 6,11 | 18,79  | 24,90 | 25                           |
| Cuba CT-73   | 6,37 | 18,76  | 25,13 | 25                           |
| Cuba CT-115  | 6,56 | 16,73  | 23,29 | 28                           |
| CRAAG-265    | 5,68 | 14,19  | 19,97 | 29                           |
| Taiwán A-144 | 6,68 | 19,06  | 25,74 | 26                           |
| ES $\bar{X}$ | 0,39 | 0,36   | 0,45  | -                            |
| CV%          | 14,2 | 4,5    | 4,21  | -                            |

Fuente: Oquendo (2002)

La composición química del CT-115, si bien es cierto que en condiciones de pastoreo es superior debido a la selección de las hojas que realiza el animal, cuando se analizó como forraje, en ninguno de los casos difirió significativamente con otras plantas que fueron evaluadas.

Oquendo (2002) plantea que no se debe sustituir a este, sino más bien complementarlo, aprovechando su mejor comportamiento relativo en seca, sugiriéndose que su inclusión en la estructura varietal (de utilizarse con ese propósito) no exceda el 20% de las áreas de forrajes existentes, ya que por sus características, no debe ser usado fundamentalmente como forrajero, sino para el pastoreo como reserva de alimento para la seca.

### Susceptibilidad a plagas y enfermedades

En general esta gramínea no es afectada por plagas y enfermedades de importancia económica aunque sí se reporta susceptible al tizón (*Ustilago scitamina*) de importancia en sudeste de Asia y Sudáfrica; los síntomas se manifiestan por la emergencia del centro de las hojas de unos órganos parecidos a un látigo (Gohl, 1991).

### Resumen comparativo con su progenitor king grass

Cuando se compara con el king grass, la pérdida de rendimiento en 5 cortes por año es de 20%, mientras que ésta disminuye 10% cuando se efectúan 4 cortes. Sin embargo, con esta última frecuencia aventaja al king grass en una unidad porcentual de proteína y en 3-4 unidades de digestibilidad.

Esta variedad es apropiada para almacenar forraje en pie con altos rendimientos con 2 ó 3 cortes al año y una calidad aceptable debido a su elevada proporción de hojas. A los 6 meses de edad y en condiciones de secano su altura es casi 1 m inferior a la del king grass, pero con una alta densidad de material verde. En esta edad, su proporción de hojas supera el 35% y alcanza rendimientos superiores a las 40 t MS. ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup>. El tallo es blando y con menor resistencia al corte que el king grass. En la Tabla 5 aparecen las principales diferencias con el king grass.

Debido a las características de bajo porte, alto contenido de hojas, elevada capacidad de rebrote, alta acumulación de biomasa con buena calidad, este clon tiene la posibilidad de ser utilizado como banco de biomasa para ser pastoreado durante la estación seca y propició el desarrollo de una tecnología que será descrita con posterioridad.

Tabla 5. Algunas diferencias del CUBA CT-115 comparado con el king grass.

| Indicadores                                     | Unidades porcentuales |
|---|-----------------------|
| Mayor proporción de hojas                       | 8-10                  |
| Mayor proteína bruta                            | 0,8-1,0               |
| Mayor digestibilidad                            | 3-4                   |
| Menor rendimiento                               | 10                    |
| Mayor rendimiento de hojas                      | 10                    |
| Menor nitrato en el tallo                       | 0,5                   |
| Acumula más carbohidrato s solubles en el tallo | 0,4                   |
| Menor altura, en cm                             | 55                    |

En resumen, la característica más sobresaliente del CUBA CT-115 es el acortamiento del entrenudo que se produce después de los 45 días de rebrote, por lo que prácticamente no florece y su estructura cambia con la edad. Este acortamiento no afecta la producción de hojas y en muy poca extensión sus dimensiones, incluyendo las vainas. Por ello aumenta considerablemente la proporción de hojas y la calidad del material cosechado. Es una planta que ha sido ampliamente utilizada en la producción animal, debido a su alta producción de biomasa en la época seca. (Herrera y Ramos, 2006). No obstante, presenta el inconveniente de que en etapas avanzadas de su desarrollo disminuye su digestibilidad debido al proceso de lignificación. Este fenómeno trae como consecuencia la menor utilización, por parte del animal, de la celulosa presente en la pared celular. De acuerdo con los recientes avances de la biotecnología vegetal, el incremento de la digestibilidad puede abordarse a través de la manipulación genética de la biosíntesis de lignina (Spangenberg, 2001).

### **Características del *Pennisetum purpureum* Cuba CT-169**

El CUBA CT-169 se caracteriza por tener hojas muy largas y anchas, lo que le confiere mayor calidad al material al aumentar la proporción de hojas con relación al tallo. Comparado con el king grass, en áreas del Instituto de Ciencia Animal, disminuyó 10% su rendimiento para niveles productivos superiores a 40 t MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en cuatro cortes al año. En otras localidades con niveles productivos más bajos los rendimientos han sido similares. En áreas forrajeras del Instituto de Ciencia Animal se

han obtenido rendimientos netos de 127 t.ha<sup>-1</sup> en el primer año de explotación cuando se sembró a 90 cm y con previa aplicación de materia orgánica. Además, estas siembras se caracterizaron por su alta germinación y viabilidad al emplear semillas de 3-5 meses. Este somaclón inicia su floración en la segunda quincena de noviembre, por lo que se considera de floración tardía. En la tabla 6 se resumen algunas de las ventajas del CUBA CT-169 comparado con el king grass.

Tabla 6. Ventajas del CUBA CT-169 comparado con el king grass.

| Indicadores                                   | Unidades porcentuales |
|---|-----------------------|
| Mayor tenor de proteína bruta                 | 0,9-1,0               |
| Mayor digestibilidad                          | 2-3                   |
| Mayor proporción de hojas                     | 8-12                  |
| Mayor contenido de cenizas en hojas           | 1,0                   |
| Mayor tenor de carbohidratos solubles en agua | 0,3-0,4               |
| Menor cantidad de nitratos en tallos          | 0,7                   |
| Hojas más largas, cm                          | 8-10                  |
| Hojas más anchas, cm                          | 0,5-0,7               |
| Tallos más gruesos, cm                        | 0,1-0,3               |

El CUBA CT-169 se recomienda para la producción de forraje de mejor calidad. Cuando se corta cada 90 días tiene calidad similar al king grass con 5 cortes al año, por lo que si al productor no le interesa la calidad puede tener mayor rendimiento disminuyendo en 0,5-1 veces la frecuencia de corte.

En la actualidad es importante considerar que los suelos dedicados a la ganadería cubana sufren un proceso de salinización, el cual se une a los intensos y prolongados períodos de sequía que limitan la producción animal, al disminuir los rendimientos de los pastos y, de acuerdo con la intensidad de estos fenómenos, se produce la alta despoblación de los pastos y aparecen especies que no son de utilidad para la ganadería.

Lo anterior se avala en el estudio sobre la sequía en el período 1931-1990 realizado por un equipo multidisciplinario en Cuba (Anon, 2000). Los resultados evidenciaron que la frecuencia con años con déficit en las precipitaciones se duplicó en el treinteno 1961-1990 comparado con la etapa 1931-1960, lo que redujo el período de retorno de este fenómeno perjudicial de 5 a 2,5 años, con aumento simultáneo de su persistencia y la frecuencia de años con déficit severo aumentó de 1 a 4 veces cada 25 años. En los ecosistemas específicos situados en el Valle del Cauto en Cuba, como se muestra en el citado Anexo 1 de esta revisión, esta situación se agrava.

Al tener en cuenta estos antecedentes, Herrera *et al.* (2003) al emplear el cultivo *in vitro* de meristemo apical del CUBA CT-115, estudiaron la posibilidad de obtener plantas resistentes a la sequía y a la salinidad.

La evaluación inicial indicó que hubo diferencias en el peso seco de las plantas a favor de las nuevas variedades, aunque algunas no difirieron del progenitor (CUBA CT-115). En la actualidad se conducen las investigaciones para evaluar en condiciones de campo estas nuevas variedades, por lo que aun no se dispone de la información suficiente para arribar a conclusiones.

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov" de Granma, ecosistema representativo del Valle de Cauto. El suelo del área experimental es de tipo Fluvisol según la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999). En el área de estudio, la temperatura media del aire oscila entre 24,2°C en época de seca hasta 27,7°C en lluvia, con valores máximos de 28,6°C y 32,8°C, respectivamente. Las precipitaciones fluctúan entre 630 y 1 025 mm anuales (tablas 7 y 8), con períodos de intensa sequía en la época de seca (noviembre-abril) que representan el 7; 7,7 y 31,3% del total anual en 2004, 2005 y 2006, respectivamente.

Los experimentos se realizaron en condiciones de secano y no se utilizó fertilización en ninguno de los casos.

Tabla 7. Comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio.

| Período         | Precipitación (mm) |       |         |
|-----------------|--------------------|-------|---------|
|                 | 2004               | 2005  | 2006    |
| Enero           | -                  | -     | 30      |
| Febrero         | -                  | -     | 29,5    |
| Marzo           | 12                 | -     | -       |
| Abril           | 32,5               | 57    | 169     |
| Mayo            | 165                | 147,5 | 123     |
| Junio           | 131                | 76    | 146     |
| Julio           | 205                | 38    | 110     |
| Agosto          | 16                 | 142   | 77      |
| Septiembre      | 26                 | 138   | 158     |
| Octubre         | 45                 | 198,5 | 90      |
| Noviembre       | -                  | -     | 92      |
| Diciembre       | -                  | 5     | -       |
| Total anual     | 632,5              | 802   | 1 024,5 |
| Época de lluvia | 588                | 740   | 704     |
| Época de seca   | 44,5               | 62,0  | 320,5   |

Tabla 8. Comportamiento de la temperatura y humedad relativa en la zona de estudio.

| Indicadores                | 2004 | 2005 | 2006 |
|----------------------------|------|------|------|
| Temperatura máxima (°C)    | 32,3 | 31,7 | 31,8 |
| Temperatura media (°C)     | 25,8 | 25,9 | 25,7 |
| Temperatura mínima (°C)    | 21,1 | 21,4 | 21,0 |
| Humedad relativa media (%) | 75   | 77   | 77   |

Las características químicas del suelo del área de estudio, determinadas según las técnicas de la AOAC (1995) se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Composición química del suelo en el área experimental.

| pH  |                  | mg/100 g de suelo             |                  | % Materia<br>orgánica | % Sales<br>solubles<br>totales |
|-----|------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------------|
| KCl | H <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |                       |                                |
| 4,7 | 6,3              | 2,2                           | 7,3              | 2,10                  | 0,0439                         |

## CAPÍTULO 3. PARTE EXPERIMENTAL

### EXPERIMENTO 1. Evaluación de 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* durante el período de establecimiento en un suelo Fluvisol en el Valle del Cauto

La introducción de especies de pastos surge como una necesidad de reemplazar ecotipos de bajo valor nutritivo y productividad (Guillot *et al.*, 2002). Sin embargo, en la explotación racional y estable de las áreas que se dedican al cultivo de los pastos se impone lograr un nivel adecuado de adaptación de nuevas y mejores especies que las que actualmente predominan en los ecosistemas ganaderos, considerando que no todas tienen el mismo nivel de exigencia sobre los recursos ni el mismo grado de tolerancia a los agentes adversos que impone el ambiente.

En correspondencia con lo anterior, se han encaminado en Cuba esfuerzos en la obtención de nuevas variedades de *Pennisetum* con resistencia a condiciones de sequía (Herrera *et al.*, 2003), y en la actualidad resulta de vital importancia la valoración y estudio de los factores que influyen en su adaptación y en los procesos de establecimiento, producción, utilización y mantenimiento.

El objetivo del presente experimento fue evaluar el comportamiento de algunos indicadores que determinan la capacidad de establecimiento de 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* en un suelo Fluvisol en el Valle del Cauto.

*Tratamiento y diseño.* Se evaluaron 11 tratamientos en parcelas de 4 x 5 m distribuidos en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* (CT-600, CT-601, CT-602, CT-603, CT-604, CT-605, CT-606, CT-607, CT-608, CT-609) obtenidas en el Instituto de Ciencia Animal por cultivo de tejidos con resistencia a la sequía, a partir de la variedad CT-115, la cual se utilizó además como testigo (CT-800).

*Procedimiento.* La fecha de plantación de las variedades fue el 25 de septiembre de 2004 y la duración estuvo en función de la respuesta de las variedades al arribo del corte de establecimiento. Se empleó una distancia de plantación de 1 m entre surcos con una densidad de 2 t.ha<sup>-1</sup> de semilla agámica. Se controló el número de yemas plantadas por parcela y mediante la observación se controló: el proceso de brotación. En el momento de la plantación se aplicó un riego localizado en los surcos para lograr un nivel adecuado de humedad y asegurar el establecimiento. Se muestran algunas fotos de las nuevas variedades en el Anexo 2.

*Mediciones en la planta.* Tomando nueve plantas por réplica, se midió a las 8, 16 semanas y en el corte de establecimiento las variables: altura de la planta, considerada desde la base hasta el cono apical; el grosor del tallo en el cuarto entrenudo; el número total de hojas verdes/planta; el largo de las hojas desde la base hasta el ápice; el ancho de las hojas en la parte media de las mismas; el número de hijos que surgen a partir de la macolla; el número de ramificaciones, contando las yemas o brotes laterales de los tallos.

El momento del corte de establecimiento se determinó a partir de observaciones fenológicas que indicaron el inicio de la madurez de las plantas, como el decline de hojas superiores, la proporción de material muerto y de floración, basado en que son variedades no estudiadas con anterioridad. Para determinar el rendimiento de masa verde se cortó a una altura de 10 cm, se pesó el volumen total de cada parcela y se despreció el efecto de borde (50 cm). Para determinar la relación hoja-tallo-material muerto se escogió una muestra de 200 g de masa verde y se determinó la materia seca a cada componente.

*Mediciones en el suelo:* Se determinó por gravimetría la humedad del suelo a las 8, 12, 16, 20 y 22 semanas de plantadas las variedades, para lo cual se seleccionaron, entre las calles, cinco puntos representativos en el área experimental. En cada punto se tomaron dos muestras, la primera entre 0-20 cm y la segunda entre 20-40 cm de profundidad. Los valores se muestran en la tabla 10.

*Análisis estadístico.* Para el análisis estadístico se utilizó el paquete STATISTICA versión 6.1 (StatSoft, 2003). Se realizaron análisis de varianza en los que se controlaron los efectos de variedad y semana de edad en las mediciones de la planta. Para la comparación de medias se empleó la prueba de Newman-Keuls (2003).

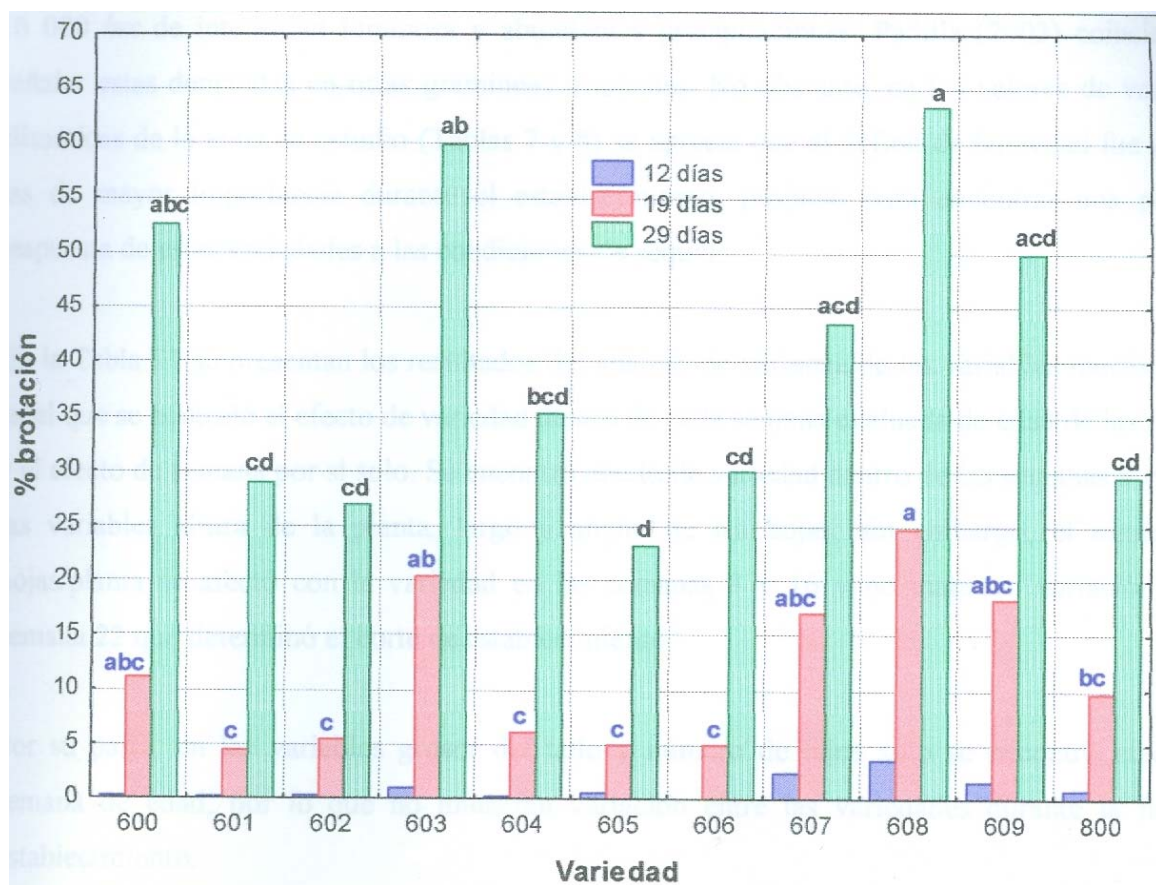
Tabla 10. Humedad del suelo (%) en las parcelas experimentales.

| Semana        | Profundidad (cm) |       | Media   | ES± |
|---------------|------------------|-------|---------|-----|
|               | 0-20             | 20-40 | General |     |
| 8             | 13,3             | 13,1  | 13,2    | 0.5 |
| 12            | 11,3             | 11,9  | 11,6    |     |
| 16            | 10,3             | 9,9   | 10,1    |     |
| 20            | 9,0              | 9,1   | 9,1     |     |
| 22            | 14,3             | 15,6  | 14,9    |     |
| Media general | 11,7             | 11,9  |         |     |
| ES±           | 0,3              |       |         |     |

## Resultados y discusión

Los resultados del proceso de brotación se muestran en la figura 1, los datos se transformaron según  $\sqrt{x}$  (Torres, 1981). Durante los primeros 12 días de plantadas, no se encontraron diferencias significativas entre las variedades, aunque se encontró una tendencia a mostrar incrementos de este indicador en las variedades CT-608, CT-607, CT-609, CT-800 y CT-603, en ese orden; respuesta que se mantuvo, pero con diferencias significativas a los 19 días, momento en que se sumó la variedad CT-600. La mayor capacidad de brotación se alcanzó en las variedades CT-603 y CT-608 que superaron a los 29 días de plantadas el 60%, seguidas por CT-600 y CT-609 con más de 50%, y luego CT-607 con 44%. El resto de las variedades, incluyendo el control, se caracterizó por manifestar un proceso de brotación más lento, con valores entre 20 y 40% hasta ese período. Estos

resultados coinciden con las características del king grass y del CT-115 cuya germinación no ocurre simultáneamente durante los primeros días sino que transcurre de forma gradual y continúa aún después de los 28 días (Machado, 1988; Herrera, 2005). Sin embargo, el hecho de haber brotado entre el 30 y 65% de las yemas plantadas a los 29 días le confiere capacidad de establecimiento a las nuevas variedades bajo condiciones de estrés hídrico, si se considera que en estos períodos la humedad del suelo no superó el 13,2%, inferior al coeficiente de marchitez sugerido para este tipo de suelo por Klimes *et al.* (1980). Estos efectos de la temperatura, la luz y el estrés hídrico también fueron informados por Da Silva (2000) en los procesos de germinación de semillas de *Leucaena leucocephala*.



Letras diferentes dentro de cada edad indican diferencias para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 1. Variación del porcentaje de brotación de las variedades.

Es preciso considerar que estos resultados, dada las condiciones en que se desarrolló el experimento (sin riego y sin fertilizante) y la época de plantación (finales de la lluvia), estuvieron determinados por la fertilidad natural del suelo y los factores climáticos durante el establecimiento, que como se expresa en la tabla 9, la materia orgánica no alcanzó 2,5% y el fósforo asimilable 2,5 mg/100 g de

suelo. Sobre esto, se ha informado que, en sentido general, las variedades de *Pennisetum purpureum* son muy sensibles a la baja fertilidad (Pizarro, 2001), y existen evidencias en Cuba de que presenta mal comportamiento en suelos pobres y con mal drenaje (Gerardo *et al.*, 1982).

Por otra parte, se conoce que durante el período de seca en Cuba, que coincide con la etapa media y final en esta prueba de establecimiento, se produce un descenso de las temperaturas y de la intensidad luminosa y, por lo general, no se alcanzan los valores más favorables para el establecimiento de estas gramíneas que utilizan el sendero  $C_4$  de fijación de  $CO_2$  en la fotosíntesis y que, según Sarroca *et al.* (1981), en king grass fluctúan entre 30 y 40°C, de 15 a 16 000 lux de intensidad luminosa y abundantes precipitaciones. Padilla (2003) coincidió en señalar estas demandas en otras gramíneas tropicales. No obstante, en los valores de variables climáticas de la zona de estudio (tablas 7 y 8) se aprecia que el déficit de humedad fue una de las de mayor importancia durante el establecimiento, propicio para encontrar una primera respuesta de estas variedades a las condiciones de sequía.

En la tabla 11 se presentan los resultados del análisis de varianza de las variables morfológicas en el que se controló el efecto de variedad dentro de cada semana evaluada de edad de las plantas, y el efecto de semana por sí solo. Se encontró efecto de variedad dentro de las semanas 8 y 22 en las variables altura de la planta, largo y ancho de las hojas; sin embargo, el número de hojas/planta se afectó con la variedad en las semanas 8 y 16 y no mantuvo variación en la semana 22 que determinó el corte de establecimiento.

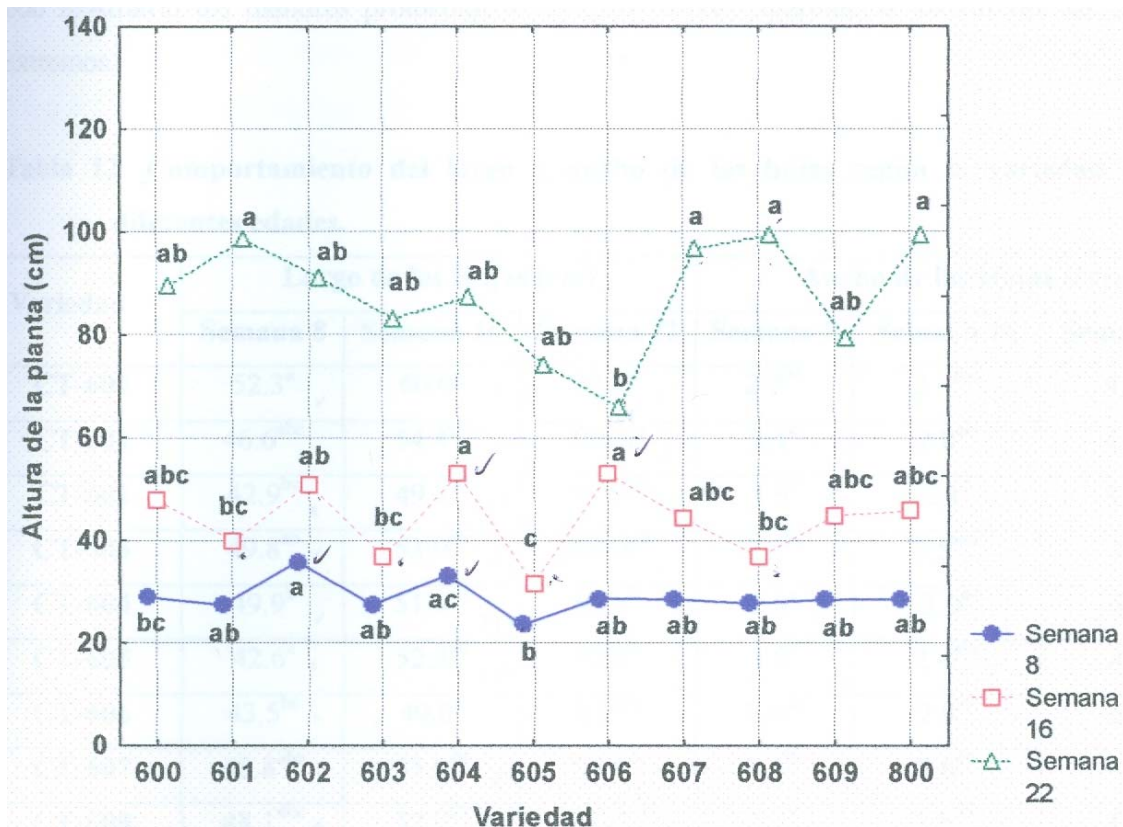
Por su parte, en las variables grosor del tallo y número de hijos solo se encontró efecto de semana de edad, por lo que no muestran variación entre las variedades durante la fase de establecimiento.

Tabla 11. Resultados del análisis de varianza de las variables morfológicas.

| Variables                  | Cuadrados medios de los efectos |           |           |            |
|----------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|------------|
|                            | Variedad                        |           |           | Semana     |
|                            | Semana 8                        | Semana 16 | Semana 22 |            |
| Altura de la planta        | 114,9*                          | 1299,6*   | 636,5*    | 180 175,8* |
| No. de hojas verdes/planta | 10,18*                          | 47,52*    | 203,5     | 841,1*     |
| Largo de las hojas         | 125,6*                          | 169,1     | 496,3*    | 87 016,3*  |
| Ancho de las hojas         | 0,887*                          | 0,681*    | 6,620*    | 224,4*     |
| Grosor del tallo           | 0,046                           | 0,045     | 6,884     | 44,21*     |
| No. de hijos               | 1,555                           | 2,130     | 2,063     | 81,11 *    |
| No. de ramificaciones      | 0,694                           | 3,840     | 1,449     | 51,03*     |

En el análisis de la altura de las plantas según la variedad en las diferentes semanas evaluadas (fig. 2) se distingue a las variedades de mayor y menor porte durante este primer ciclo productivo. A las 8 semanas de edad, alcanzaron la mayor altura las variedades CT-602 y CT-604 que superaron significativamente ( $P < 0,05$ ) a la CT-605; el resto, incluyendo al control, mantuvo valores intermedios,

sin diferencias significativas con estos dos grupos de variedades. Este comportamiento de las variedades CT-602 y CT-604 puede estar relacionado con mayores niveles de crecimiento en esta etapa inicial, pues ambas tuvieron un proceso lento de brotación al no haber superado el 40% a los 29 días de plantadas. Las variedades CT-606 y CT-604, mostraron superioridad a las 16 semanas de edad con la CT-605, CT-601, CT-603 y CT-608. La CT-602 superó igualmente a la CT-605 y se mantuvo como el resto sin diferencias con las demás.



Letras diferentes dentro de cada edad indican diferencias para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 2. Variación del porcentaje de brotación de las variedades.

A las 22 semanas de edad, momento del corte de establecimiento, la variedad CT-606 se caracterizó por ser la de menor altura, superada ( $P < 0,05$ ) por las variedades control, CT-608, CT-607 y CT-601. El resto mantuvo valores intermedios, estadísticamente similares entre todas.

Ayala (1990), en king grass plantado al inicio del período lluvioso sobre suelo Ferralítico en Cuba, encontró alturas superiores a 45 cm a las 8 semanas y a 55 cm a las 12 semanas. Aun cuando está demostrado que el king grass es una variedad de porte alto (Herrera, 1990), esta alta superioridad corrobora el efecto de las condiciones ambientales (clima y suelo) en el establecimiento de estas variedades de alta producción de biomasa.

El comportamiento del largo y ancho de las hojas aparece en la tabla 12. En el largo de las hojas se encontraron los mayores promedios a las 8 semanas en las variedades CT-600, CT-603, CT-604 y CT-609, aunque sin diferencias significativas con el control. Las CT-605, CT-602 y CT-606 mostraron los menores promedios y el resto valores intermedios sin diferencias con los extremos.

Tabla 12. Comportamiento del largo y ancho de las hojas según la variedad en las diferentes edades.

| Variedad | Largo de las hojas (cm) |                    |                     | Ancho de las hojas (cm) |                    |                   |
|----------|-------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
|          | Semana 8                | Semana 16          | Semana 22           | Semana 8                | Semana 16          | Semana 22         |
| CT-600   | 52,3 <sup>a</sup>       | 60,0 <sup>a</sup>  | 99,1 <sup>ab</sup>  | 2,2 <sup>bc</sup>       | 2,6 <sup>abc</sup> | 4,3 <sup>bc</sup> |
| CT-601   | 46,6 <sup>abc</sup>     | 54,4 <sup>ab</sup> | 106,7 <sup>a</sup>  | 2,1 <sup>c</sup>        | 2,8 <sup>ab</sup>  | 4,5 <sup>bc</sup> |
| CT-602   | 42,9 <sup>bc</sup>      | 49,7 <sup>ab</sup> | 97,6 <sup>ab</sup>  | 1,9 <sup>c</sup>        | 2,1 <sup>c</sup>   | 4,5 <sup>bc</sup> |
| CT-603   | 49,8 <sup>ab</sup>      | 53,9 <sup>ab</sup> | 104,3 <sup>ab</sup> | 2,2 <sup>bc</sup>       | 2,5 <sup>abc</sup> | 4,0 <sup>c</sup>  |
| CT-604   | 49,9 <sup>a</sup>       | 51,0 <sup>ab</sup> | 93,8 <sup>b</sup>   | 2,8 <sup>a</sup>        | 3,0 <sup>a</sup>   | 6,0 <sup>a</sup>  |
| CT-605   | 42,6 <sup>c</sup>       | 52,2 <sup>ab</sup> | 93,8 <sup>b</sup>   | 1,9 <sup>c</sup>        | 2,4 <sup>abc</sup> | 4,7 <sup>b</sup>  |
| CT-606   | 43,5 <sup>bc</sup>      | 49,0 <sup>b</sup>  | 81,5 <sup>c</sup>   | 2,6 <sup>ab</sup>       | 2,8 <sup>ab</sup>  | 6,2 <sup>a</sup>  |
| CT-607   | 48,8 <sup>abc</sup>     | 55,9 <sup>ab</sup> | 94,6 <sup>b</sup>   | 2,3 <sup>bc</sup>       | 2,6 <sup>ab</sup>  | 4,3 <sup>bc</sup> |
| CT-608   | 48,1 <sup>abc</sup>     | 52,0 <sup>ab</sup> | 100,7 <sup>ab</sup> | 2,0 <sup>c</sup>        | 2,5 <sup>abc</sup> | 4,3 <sup>bc</sup> |
| CT-609   | 49,9 <sup>ab</sup>      | 53,6 <sup>ab</sup> | 94,1 <sup>b</sup>   | 2,0 <sup>c</sup>        | 2,4 <sup>bc</sup>  | 4,8 <sup>b</sup>  |
| CT-800   | 48,5 <sup>abc</sup>     | 60,0 <sup>a</sup>  | 98,5 <sup>ab</sup>  | 2,1 <sup>c</sup>        | 2,7 <sup>ab</sup>  | 4,1 <sup>bc</sup> |
| ES±      | 0,06*                   | 0,08*              | 0,07*               | 0,003*                  | 0,003*             | 0,004*            |

Letras diferentes por columnas indican diferencias para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

\* $P < 0,05$

En la semana 16 mantuvieron los promedios más altos las CT-600, CT-601 y CT-603, junto con el control y la CT-607. El menor promedio correspondió a CT-606 y el resto con valores intermedios sin diferencias significativas con ninguna de las variedades. En el corte de establecimiento (semana 22), las variedades CT-601, CT-603 y CT-608 alcanzaron más de 100 cm de largo de las hojas, sin diferencias significativa con las variedades control, CT-600 y CT-602. La variedad CT-606 fue superada ( $P < 0,05$ ) por todas las variedades, con un promedio de 81,5 cm

En el ancho de las hojas se distinguieron con los mayores promedios durante todo el período de establecimiento las variedades CT-604 y CT-606, logrando ser significativamente superiores ( $P < 0,05$ ) al resto de las variedades en el corte de establecimiento (semana 22), con promedios de 6,0 y 6,2 cm, respectivamente. El menor promedio correspondió a la CT-603 con 4,0 cm, inferior ( $P < 0,05$ ) a la CT-605 y CT-608, y sin diferencias con el resto que fueron estadísticamente similares.

En otra variedad de *Pennisetum purpureum* obtenida en Cuba, la CT-44, Herrera y Martínez (2006) encontraron en época de seca valores del largo y ancho de las hojas muy inferiores a los alcanzados en las variedades evaluadas.

Los valores informados por Herrera (1990) para el king grass en Cuba, son similares en el largo de las hojas a los alcanzados en las variedades de promedio más altos (CT-601, CT-603 y CT-608) e inferiores a todas las variedades en el ancho de las hojas.

El comportamiento de las variables que solo mostraron variación con la edad se presenta en la tabla 13. Todas se incrementaron ( $P < 0,05$ ) conforme aumentó la edad de las plantas, variando desde 10,1 a 15,4 el número de hojas verdes/planta, de 0,8 a 1,9 cm el grosor del tallo, de 2,7 a 3,8 el número de hijos y de 10,5 a 11,6 el número de ramificaciones. En *Pennisetum purpureum* Cuba CT-44, Herrera y Martínez (2006) mostraron valores de grosor del tallo en ambas épocas del año, inferiores a los obtenidos en las variedades estudiadas a las edades de 16 y 22 semanas.

El incremento con la edad del número de ramificaciones en todas las variedades es un criterio importante para considerar a la semana 22 como la fase final del establecimiento, si se considera que esta germinación de sus yemas en el campo pudiera estar indicando el envejecimiento de los tallos, según sugirió Ayala (1990).

Tabla 13. Variación de algunas variables morfológicas según la edad de las plantas.

| Edad<br>(en semanas) | Variables                        |                             |                    |                             |
|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
|                      | Número de hojas<br>verdes/planta | Grosor<br>del tallo<br>(cm) | Número<br>de hijos | Número de<br>ramificaciones |
| 8                    | 10,1 <sup>b</sup>                | 0,8 <sup>b</sup>            | 2,7 <sup>c</sup>   | 10,5 <sup>b</sup>           |
| 16                   | 11,7 <sup>b</sup>                | 0,9 <sup>b</sup>            | 3,3 <sup>b</sup>   | 10,6 <sup>b</sup>           |
| 22                   | 15,4 <sup>a</sup>                | 1,9 <sup>a</sup>            | 3,8 <sup>a</sup>   | 11,6 <sup>a</sup>           |
| ES±                  | 0,02*                            | 0,004*                      | 0,003*             | 0,003*                      |

Letras diferentes por columnas indican diferencias para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (StatSoft, 2003)

\* $P < 0,05$

Como se muestra en la comparación de los resultados expuestos en las dos tablas anteriores con la literatura existente, la superioridad de los valores puede estar determinada por el vigor que se produce en la germinación de las gramíneas durante la etapa de establecimiento (Herrera y Ramos, 2006), el cual, al parecer, se manifiesta aun cuando, por los efectos de la sequía, los niveles de humedad del suelo son bajos.

En la tabla 14 se presenta la respuesta de las variedades en el corte de establecimiento. Se encontraron diferencias ( $P < 0,05$ ) en la altura de las plantas y en el crecimiento medio, favorables a las variedades control, CT-608, CT-601 y CT-607, las que superaron a la CT-606. El resto no tuvo diferencias con ninguna. El rendimiento de MS no varió con la variedad ( $P > 0,05$ ); sin embargo, variaron los indicadores de estructura de la biomasa. En la relación hoja/tallo, solo superó al control y a la CT-602 la variedad CT-604, el resto mantuvo valores intermedios que no se diferenciaron con ninguna de las variedades. En cambio, en el rendimiento de MS de hojas, las variedades CT-605 y CT-607 fueron superiores a la CT-606, sin encontrarse diferencias en el resto de las comparaciones. De hecho, en la etapa de establecimiento se comprueba que la variedad CT-606 presenta bajos

niveles de crecimiento y rendimiento en condiciones de sequía, con un comportamiento bastante estable del resto de las variedades en este período.

Tabla 14. Comportamiento de las variables agronómicas en el corte de establecimiento (22 semanas) de las variedades.

| Variedad | Altura al corte (cm) | Crecimiento medio (cm,día <sup>-1</sup> ) | Rendimiento (t MS,ha <sup>-1</sup> ) | Relación hoja/tallo | Rendimiento de hojas (t MS,ha <sup>-1</sup> ) |
|----------|----------------------|---|--------------------------------------|---------------------|---|
| CT-600   | 89,7 <sup>ab</sup>   | 0,58 <sup>ab</sup>                        | 9,0                                  | 1,9 <sup>ab</sup>   | 5,9 <sup>ab</sup>                             |
| CT-601   | 98,6 <sup>a</sup>    | 0,64 <sup>a</sup>                         | 9,5                                  | 1,8 <sup>ab</sup>   | 6,2 <sup>ab</sup>                             |
| CT-602   | 91,2 <sup>ab</sup>   | 0,59 <sup>ab</sup>                        | 9,0                                  | 1,5 <sup>b</sup>    | 5,3 <sup>ab</sup>                             |
| CT-603   | 83,3 <sup>ab</sup>   | 0,54 <sup>ab</sup>                        | 9,2                                  | 1,8 <sup>ab</sup>   | 6,0 <sup>ab</sup>                             |
| CT-604   | 87,2 <sup>ab</sup>   | 0,57 <sup>ab</sup>                        | 8,5                                  | 2,1 <sup>a</sup>    | 5,7 <sup>ab</sup>                             |
| CT-605   | 74,2 <sup>ab</sup>   | 0,48 <sup>ab</sup>                        | 10,9                                 | 2,0 <sup>ab</sup>   | 7,2 <sup>a</sup>                              |
| CT-606   | 62,3 <sup>b</sup>    | 0,37 <sup>b</sup>                         | 3,7                                  | 1,8 <sup>ab</sup>   | 2,2 <sup>b</sup>                              |
| CT-607   | 96,8 <sup>a</sup>    | 0,63 <sup>a</sup>                         | 10,5                                 | 1,8 <sup>ab</sup>   | 6,7 <sup>a</sup>                              |
| CT-608   | 99,4 <sup>a</sup>    | 0,65 <sup>a</sup>                         | 8,0                                  | 1,9 <sup>ab</sup>   | 5,1 <sup>ab</sup>                             |
| CT-609   | 79,6 <sup>ab</sup>   | 0,52 <sup>ab</sup>                        | 7,7                                  | 1,7 <sup>b</sup>    | 4,8 <sup>ab</sup>                             |
| CT-800   | 99,4 <sup>a</sup>    | 0,65 <sup>a</sup>                         | 8,0                                  | 1,5 <sup>b</sup>    | 4,7 <sup>ab</sup>                             |
| ES±      | 0,5 <sup>*</sup>     | 0,05 <sup>*</sup>                         | 0,1                                  | 0,01 <sup>*</sup>   | 0,06 <sup>*</sup>                             |

Letras diferentes en las columnas indican diferencias para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (StatSoft, 2003)

\* $P < 0,05$

Estos valores de rendimiento encontrados en el corte de establecimiento, determinados por las condiciones en que se desarrolló el estudio, con fecha de plantación en septiembre, están en correspondencia con los valores de 7,3 a 8,8 t MS.ha<sup>-1</sup> informados por Padilla y Ayala (2006) en el primer corte del *Pennisetum purpureum* plantado en agosto.

## EXPERIMENTO 2. Determinación de la curva de crecimiento y composición química de 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* en un suelo Fluvisol en el Valle del Cauto

Cualquier análisis del efecto de la disponibilidad de la humedad sobre el crecimiento de los pastos, no debe aislarse del tipo de suelo y del potencial genético de las plantas, pues entre estos últimos hay gran variabilidad respecto a su tolerancia al estrés de la sequía (Baruch y Fisher, 1991).

Los sistemas pecuarios sostenibles en base a la utilización de pastos mejorados de alta producción de biomasa pueden constituir una alternativa viable para los productores ganaderos. Sin embargo, para el éxito de estos sistemas es necesario conocer y controlar el efecto que sobre la disponibilidad de materia seca y la calidad nutritiva de los pastos ejerce la sequía, pues se conoce que estas especies, sobre todo las del género *Pennisetum*, sufren deterioros importantes de estos indicadores ante prolongados períodos de seca y ausencia de fertilizantes (Herrera, 2004).

Los trabajos desarrollados en Cuba por Herrera *et al.* (2003) en la obtención de variedades de *Pennisetum* con determinada resistencia a condiciones de sequía, con el propósito de atenuar los efectos antes mencionados, requieren aún de estudios que concluyan su caracterización desde el punto de vista agronómico y su valor nutritivo para ser introducidas con éxito en la práctica productiva.

El objetivo del presente experimento fue determinar la curva de crecimiento de las variedades en cada época del año, el comportamiento de algunas variables morfológicas, fisiológicas, rendimiento estructural y de la composición química según la época del año en condiciones de corte en un suelo Fluvisol en el Valle del Cauto.

### **Materiales y métodos**

*Tratamiento y diseño.* Se evaluaron 11 tratamientos en parcelas de 4 x 5 m distribuidas en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en 10 nuevas variedades de *Pennisetum purpureum*: CT-600, CT-601, CT-602, CT-603, CT-604, CT-605, CT-606, CT-607, CT-608, CT-609 y se utilizó como testigo el CT-115 (CT -800).

*Procedimiento.* El experimento tuvo una duración de un año y medios (18 meses) y se realizó en las parcelas experimentales utilizadas en la fase de establecimiento (Experimento 1), para completar su evaluación agronómica en ambas épocas del año; la de lluvia, considerada de mayo a octubre, y la de seca, de noviembre a abril. Se aplicó un corte de uniformidad y se comenzaron las mediciones a los 14 días después del mismo.

*Mediciones en la planta.* Se tomaron nueve plantas por réplica y se midió con frecuencia quincenal la altura, considerada desde la base hasta el cono apical, para determinar la velocidad de crecimiento de las variedades. En cada corte, en las plantas seleccionadas de cada réplica, se midió el grosor del tallo en el cuarto entrenudo; el número total de hojas verdes; el largo de las hojas desde la base hasta el ápice; el ancho de las hojas en la parte media de las mismas; el número de hijos que surgen a partir de la macolla; el número de ramificaciones, contando las yemas o brotes laterales de los tallos.

Para determinar el rendimiento de masa verde (MV) y materia seca (MS) se realizaron los cortes con frecuencia variable, a partir del inicio de la madurez y el finalizar de la llamada de crecimiento, lo cual se definió con observaciones fenológicas de decline de hojas superiores, la proporción de material muerto y de floración, basado en que son variedades no estudiadas con anterioridad. Para el rendimiento de MV se realizó el corte a una altura de 10 cm, se pesó el volumen total de cada parcela y se despreció el efecto de borde (50 cm). Para determinar la relación hoja-tallo-material muerto se escogió una muestra de 200 g de masa verde y se determinó la materia seca a cada componente.

Al momento de los cortes se determinaron las variables fisiológicas área foliar, con la utilización de un planímetro digital marca DELTA T-Device, para lo cual se tomaron dos plantas por réplica; y las tasas

de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR) a partir de la variación de la altura de las plantas, mediante los procedimientos descritos por De Armas *et al.* (1988):

$$\text{TCA} = \frac{\text{Diferencia de altura}}{\text{Diferencia de tiempo}} \quad (\text{cm/día})$$

$$\text{TCR} = \frac{\text{Diferencia de altura}}{\text{Diferencia de tiempo}} \times \frac{1}{\text{Altura final}} \quad (\text{cm/cm/día})$$

*Composición química de las plantas.* Las determinaciones de la composición química se hicieron según las técnicas de la AOAC (1995), para lo cual se tomó una muestra de 200 g por réplica en cada corte.

Tabla 15. Humedad del suelo (%) en las parcelas experimentales.

| Semana          | Profundidad (cm) |       | Media<br>general | ES± |
|-----------------|------------------|-------|------------------|-----|
|                 | 0-20             | 20-40 |                  |     |
| EPOCA DE LLUVIA |                  |       |                  |     |
| 2               | 23,5             | 20,4  | 21,9             | 1,6 |
| 3               | 16,3             | 15,7  | 16,0             | 1,1 |
| 4               | 21,4             | 19,2  | 20,3             | 1,6 |
| 5               | 17,3             | 17,3  | 17,3             | 1,1 |
| 6               | 17,2             | 21,4  | 19,3             | 1,6 |
| 7               | 26,0             | 24,2  | 25,1             | 1,1 |
| 8               | 24,2             | 22,6  | 23,4             | 1,6 |
| 9               | 19,2             | 21,0  | 20,1             | 1,1 |
| 10              | 22,6             | 22,8  | 22,7             | 1,6 |
| 11              | 21,0             | 21,2  | 21,1             | 1,1 |
| 12              | 21,4             | 22,2  | 21,8             | 1,6 |
| 13              | 16,9             | 19,3  | 18,1             | 1,1 |
| 14              | 19,4             | 20,6  | 20,0             | 1,6 |
| 15              | 19,8             | 21,2  | 20,5             | 1,1 |
| 16              | 21,1             | 21,3  | 21,2             | 1,6 |
| 17              | 18,3             | 18,5  | 18,4             | 1,1 |
| 18              | 23,4             | 22,2  | 22,8             | 1,6 |
| 19              | 17,4             | 17,6  | 17,5             | 1,1 |
| 20              | 22,2             | 21,9  | 22,0             | 1,6 |
| Media           | 20,4             | 20,5  | 20,1             | 1,1 |
| ES±             | 0,5              | 0,5   |                  |     |
| EPOCA DE SECA   |                  |       |                  |     |
| 2               | 12,5             | 11,7  | 12,1             | 1,0 |
| 4               | 13,7             | 15,6  | 14,6             | 1,0 |
| 6               | 11,6             | 13,6  | 12,6             | 1,0 |
| 8               | 13,8             | 14,7  | 14,3             | 1,0 |
| 10              | 12,0             | 12,5  | 12,3             | 1,0 |
| 12              | 14,4             | 16,1  | 15,3             | 1,4 |
| Media           | 13,0             | 14,0  | 13,4             | 0,5 |
| ES±             | 0,6              | 0,6   |                  |     |

*Mediciones en el suelo.* Se determinó la humedad del suelo por gravimetría, siguiendo el mismo procedimiento empleado en el experimento anterior. Los resultados se muestran en la tabla 15.

*Análisis estadístico.* Para el análisis estadístico se utilizó el paquete STATISTICA versión 6.1 (StatSoft, 2003). Se realizaron análisis de varianza con arreglo factorial, pues así se controlaron los efectos de variedad, época de corte y su interacción en las variables morfológicas, agronómicas, fisiológicas y de la composición química. Para la comparación de medias se empleó la prueba de Newman-Keuls (StatSoft, 2003). Para determinar la curva de crecimiento de las variedades en cada época del año, se hicieron regresiones entre la altura y edad de la planta.

## Resultados y discusión

En las figuras 3 y 3a se presentan las curvas de crecimiento de las variedades durante las épocas de lluvia y seca. En todos los casos, el mejor ajuste se correspondió con el modelo de Gompertz, descrito por Geisser (1980) basado en un crecimiento exponencial. Fernández (1999) encontró ajustes de tipo exponencial y cúbico en el crecimiento de tres especies del género *Brachiaria* en las condiciones del valle del Cauto.

Las curvas obtenidas describen la forma sigmoideal del crecimiento de los pastos informada por Voisin (1963), en las cuales se aprecia que durante la lluvia alcanzan la mayor velocidad de crecimiento las variedades CT-601, CT-603 y CT-608, con valores ajustados de 160 cm a los 90 días de edad, seguidas por la Control, CT-609, CT-605 y CT-600 con alrededor de 140 cm a esa edad. La menor velocidad en esta época correspondió a las variedades CT-604 y CT-606, que alcanzaron valores ajustados de 110 y 90 cm a los 90 días.

Durante la época de seca, las variedades de más rápido crecimiento fueron la Control, CT-608 y CT-603, las que alcanzaron 140, 132 y 130 cm, respectivamente, como promedios ajustados a los 150 días. Con un valor ajustado de alrededor de 120 cm a los 150 días se comportaron la CT-600, CT-601, CT-607 y CT-609. Resultaron de más pobre crecimiento, también en esta época, las variedades CT-606 y CT-604. Por otra parte, las que alcanzaron la menor diferencia entre ambas épocas fueron las variedades control y CT-603.

No existen informes con anterioridad que describan la curva de crecimiento de estas variedades de *Pennisetum purpureum* estudiadas, incluyendo al control.

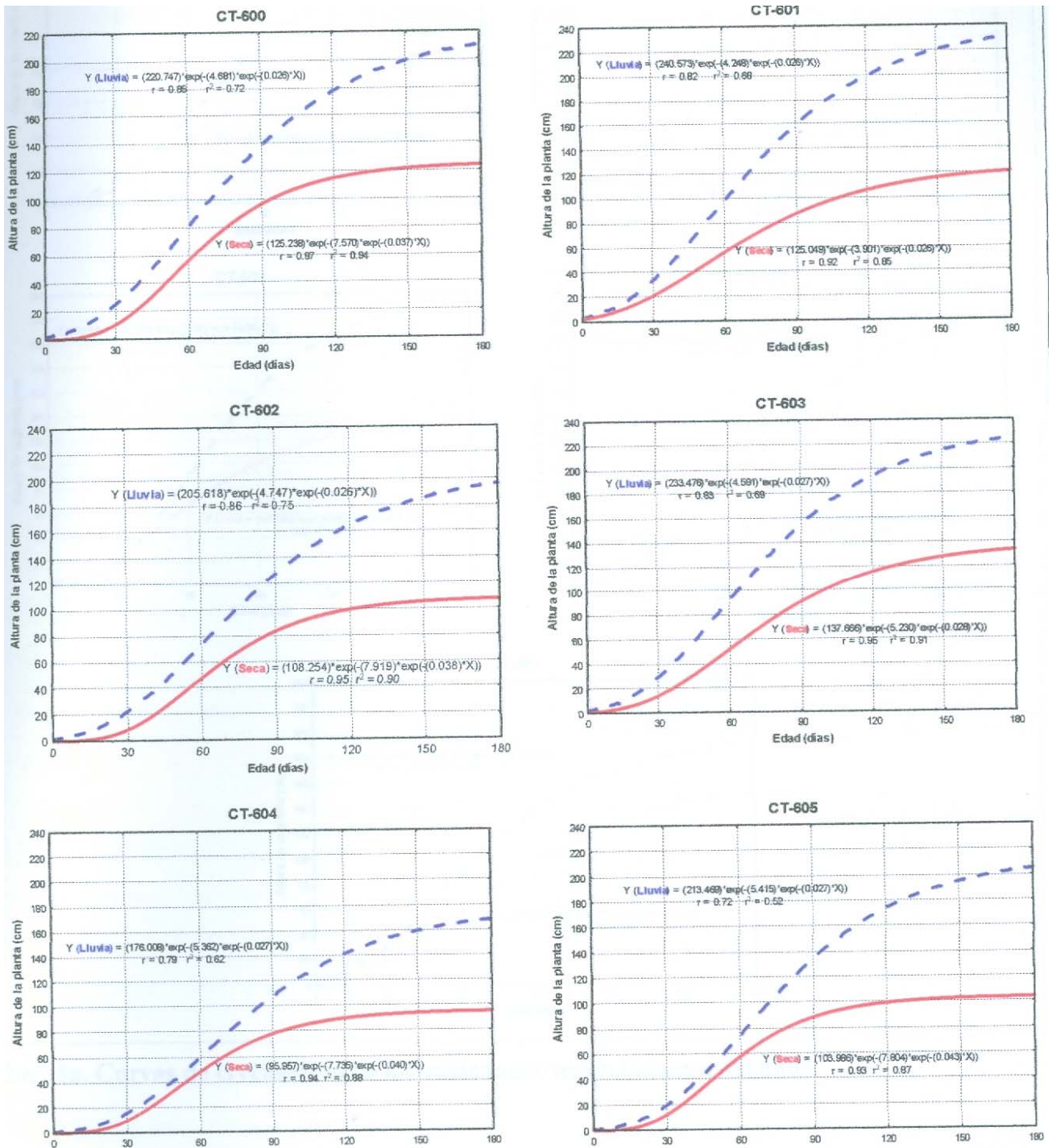


Fig. 3. Curvas de crecimiento de las variedades según la época del año.

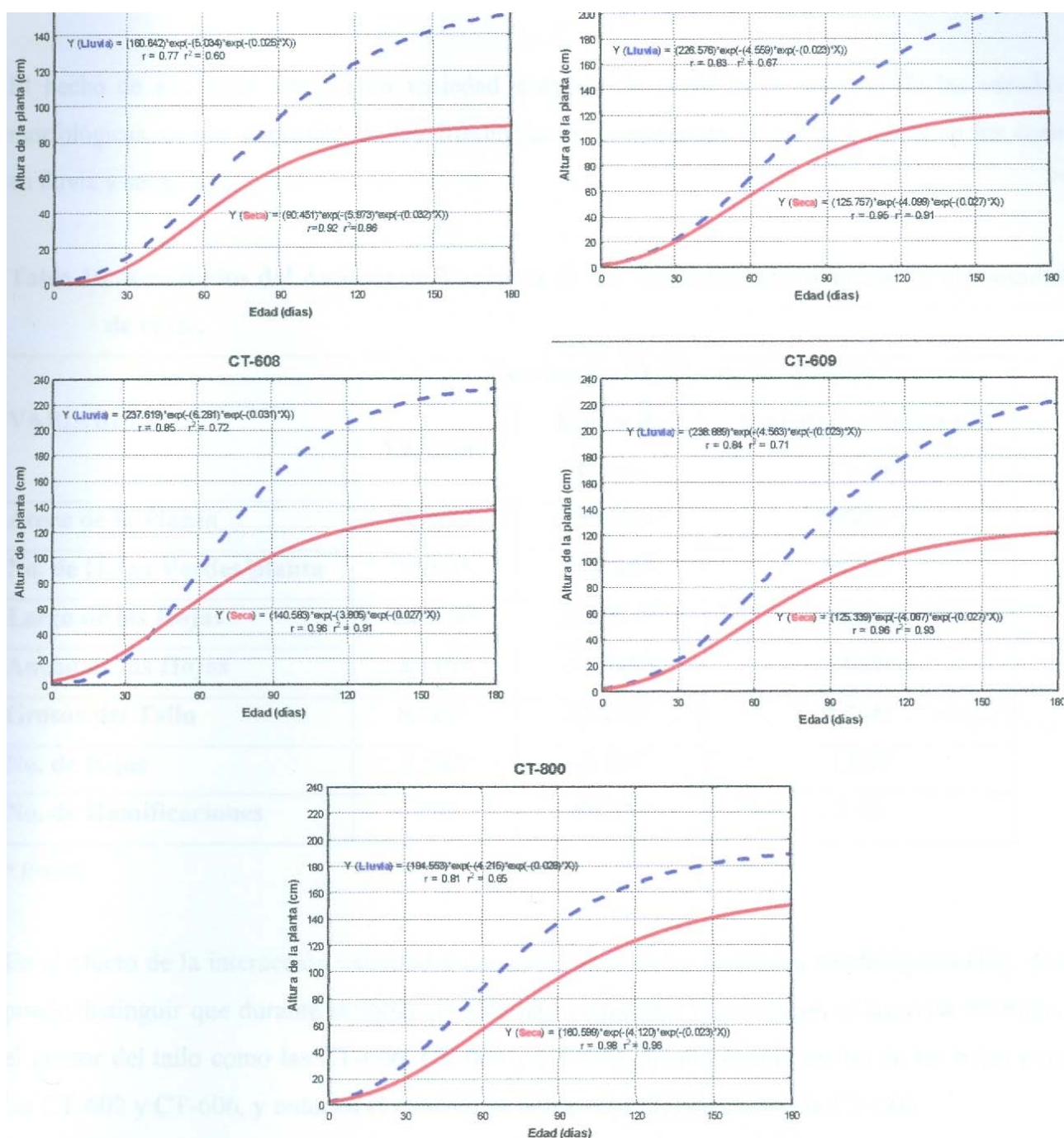


Fig. 3a. Curvas de crecimiento de las variedades según la época del año.

En los análisis de varianza realizados a las variables morfológicas en el momento del corte (tabla 16) se encontraron efectos significativos ( $P < 0,05$ ) de la variedad, la época de corte y su interacción en las variables altura de la planta, número de hojas verdes/planta, largo y ancho de las hojas y grosor del tallo. No se encontró efecto de ninguno de los factores estudiados en el número de hijos, y el número de ramificaciones se afectó solo con la época de corte.

El hecho de encontrar interacción variedad x época de corte en la mayoría de las variables morfológicas, es una expresión de las diferencias en la respuesta de las variedades en los cortes en lluvia y seca.

Tabla 16. Resultados del análisis de varianza de las variables morfológicas en el momento de corte.

| Variables                  | Cuadrados medios de los efectos |                |                           |
|----------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|
|                            | Variedad                        | Época de corte | Variedad x época de corte |
| Atura de la planta         | 4 278,8*                        | 659 858,9*     | 3 656,2*                  |
| No. de hojas verdes/planta | 15,60*                          | 929,60*        | 10,77*                    |
| Largo de las hojas         | 1 470,8*                        | 24 656,4*      | 588,1 *                   |
| Ancho de las hojas         | 3,116*                          | 54,518*        | 2,962*                    |
| Grosor del tallo           | 0,282*                          | 12,295*        | 0,574*                    |
| No. de hijos               | 2,982                           | 3,129          | 1,897                     |
| No. de ramificaciones      | 5,92                            | 50,32*         | 3,45                      |

En el efecto de la interacción variedad x época de corte en las variables morfológicas (fig. 4) se puede distinguir que durante la época de seca hay variedades que reducen el largo de las hojas y el grosor del tallo como las CT-606, CT-604 y CT-602, disminuyen el ancho de las hojas como las CT-602 y CT-606, y reducen el número de hojas verdes/planta como la CT-606.

Este comportamiento, según Herrera y Martínez (2006), lo asumen aquellas variedades que adoptan una estructura de defensa contra el período seco, lo que pudiera influir en la menor pérdida de agua por transpiración. En lluvia; sin embargo, incrementan los valores, los que llegan a ser comparables al control, y en algunos casos lo superan como sucedió en el grosor del tallo y en el ancho de las hojas de las CT-604 y CT-606, las cuales se destacaron nuevamente en esta última variable, aunque con valores más bajos que los alcanzados durante el establecimiento, los cuales estuvieron determinados, sin dudas, por el vigor que se produce en esta primera etapa posterior a la plantación. Este criterio se confirma con el comportamiento promedio que mantuvieron en esta etapa de cortes, con valores de 4,4 y 4,0 cm, respectivamente, contra 6,0 y 6,2 cm en el primer corte (establecimiento). En la tabla 17 aparece el promedio del número de hijos de las variedades, que alcanzó un valor de 3.2, característico de las variedades de *Pennisetum purpureum* (Herrera, 1990), y el número de ramificaciones según la época de corte, el cual fue superior en seca, con una media semejante a la alcanzada en el corte de establecimiento, caracterizando, de hecho, a estas variedades.

Los resultados del análisis de varianza de las variables agronómicas y fisiológicas se presentan en la tabla 18. Se encontró que los rendimientos de MS total y de hojas y la TCA se afectaron con la variedad y la época de corte; el porcentaje de hojas verdes, la relación hoja/tallo y el área foliar con la interacción variedad x época de corte, mientras que la TCR solo se afectó con la época de corte.

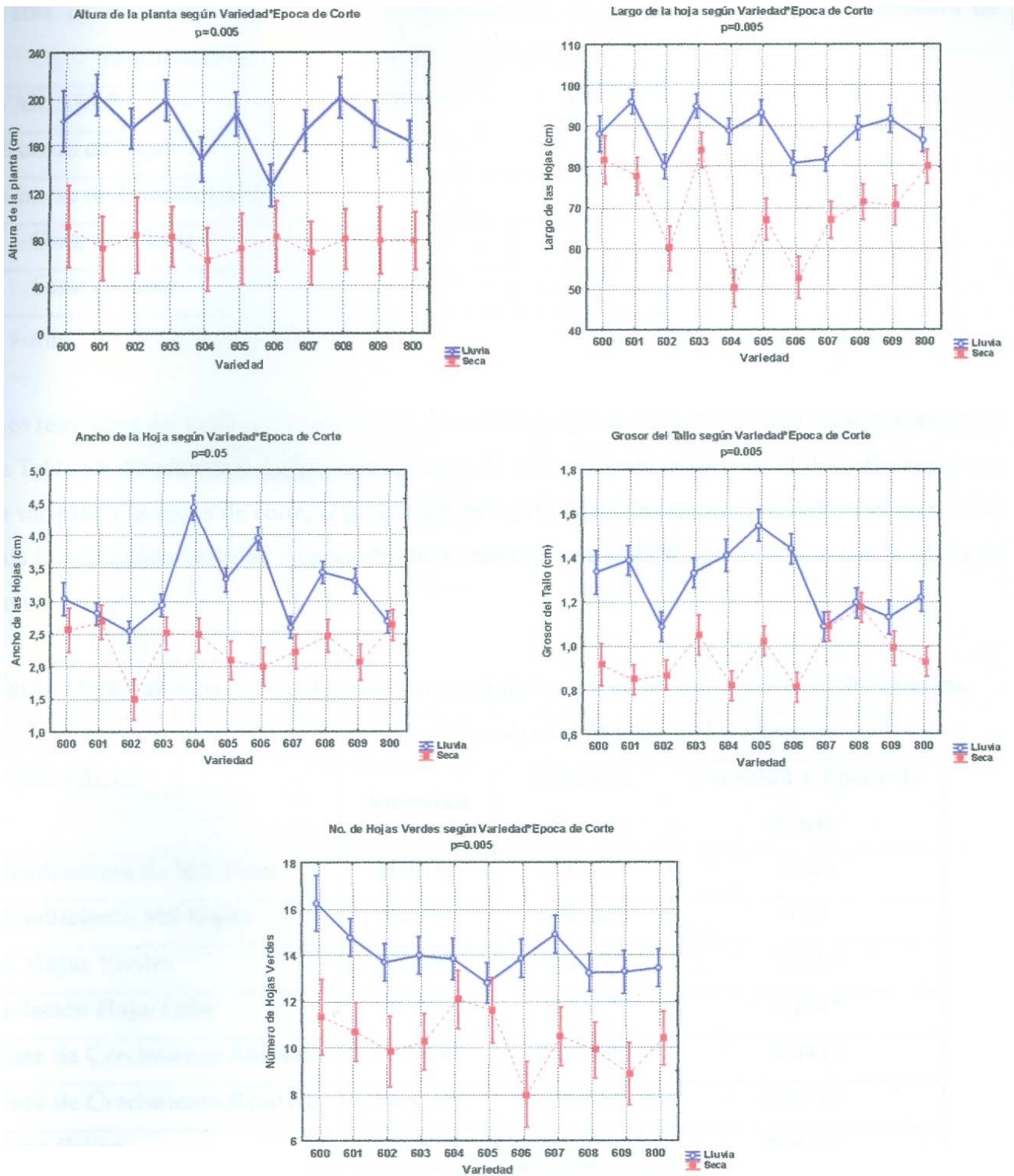


Fig. 4. Comportamiento de las variables morfológicas según la variedad y la época del año.

Tabla 17. Promedio del número de hijos y efecto de la época de corte en el número de ramificaciones de las variedades evaluadas.

| Variable                 | Media | ES±   |
|--------------------------|-------|-------|
| Número de hijos          | 3,2   | 0,4   |
| Número de ramificaciones |       |       |
| Corte en lluvia          | 11,0  | 0,01* |
| Corte en seca            | 11,9  |       |

\*P<0,05

Tabla 18. Resultados del análisis de varianza de las variables agronómicas y fisiológicas.

| Variables                    | Cuadrados medios de los efectos |                        |                           |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|
|                              | Variedad                        | Época de corte         | Variedad x época de corte |
| Rendimiento de MS total      | 100,18*                         | 3598,97*               | 31,86                     |
| Rendimiento MS hojas         | 20,94*                          | 603,52*                | 4,23                      |
| % Hojas verdes               | 77,86*                          | 562,89*                | 70,59*                    |
| Relación hoja/tallo          | 0,103                           | 0,565*                 | 0,194*                    |
| Tasa de crecimiento absoluto | 0,2644*                         | 20,9264*               | 0,0812                    |
| Tasa de crecimiento relativo | $2,5 \times 10^{-7}$            | $821,0 \times 10^{-7}$ | $3,0 \times 10^{-7}$      |
| Área foliar                  | 7 038,5*                        | 1 387 769,0*           | 8 085,6*                  |

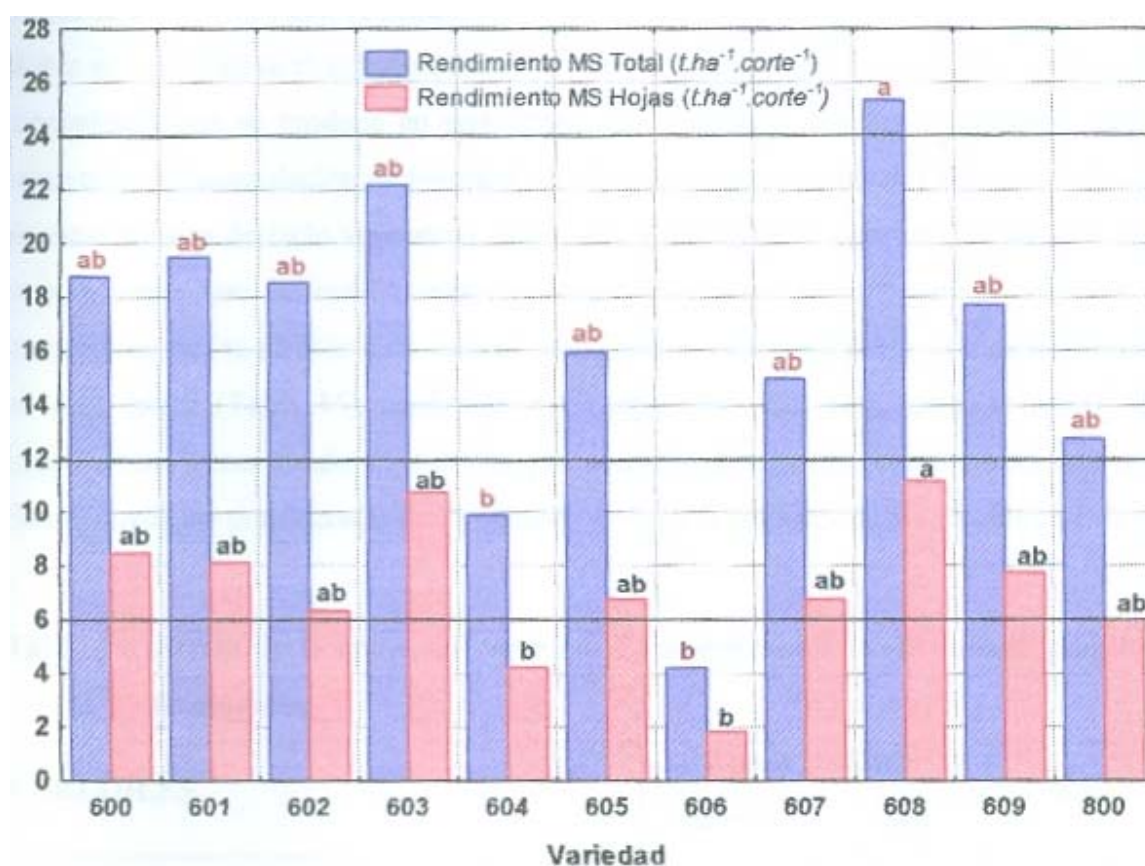
\*P<0,05

En el rendimiento de MS total y MS de hojas (fig. 5) se encontraron las mismas diferencias estadísticas entre variedades. Ninguna variedad tuvo diferencias significativas con el control; sin embargo, la variedad CT-608 tuvo un comportamiento promisorio al superar 25 t MS ha<sup>-1</sup>.corte<sup>-1</sup> y 11 t MS.ha<sup>-1</sup>.corte<sup>-1</sup> de hojas, contra 12,8 t MS.ha<sup>-1</sup>.corte<sup>-1</sup> y 6 t MS.ha<sup>-1</sup>.corte<sup>-1</sup> de hojas en el control. Las variedades CT-606 y CT-604 alcanzaron los menores promedios de rendimientos, aunque solo fueron superadas estadísticamente (P<0,05) por la CT-608, con el resto no tuvieron diferencias. La variedad CT-603 mantuvo valores muy cercano a lo promisorio de la CT-608, con 22,2 t MS.ha<sup>-1</sup>.corte<sup>-1</sup> y 10,8 t MS ha<sup>-1</sup>.corte<sup>-1</sup> de hojas.

Los valores alcanzados en el rendimiento de MS total de estas variedades, con excepción de la CT-606 y la CT-604, son comparables, y en algunos casos superiores, a los obtenidos en el segundo corte en lluvia con nuevos clones logrados a partir del cono apical del king grass, según informaron Martínez *et al.* (1996). Así, estos autores encontraron promedios de 15,5 en CT-44, 15,7 en CT-115, 16,2 en CT-169 y 16,1 t MS.ha<sup>-1</sup> en king grass, comparables con los promedios generales de las variedades CT-605, CT-607 y control; así como valores de 19 en CT-14, 20 en CT-16 y 21 t MS.ha<sup>-1</sup> en CT-74, semejantes a los promedios de la CT-600, CT-601, CT-602, CT-603 y CT -609.

El efecto de la época de corte en el intervalo de corte, rendimiento y tasas de crecimiento se muestran en la tabla 19. El criterio utilizado para el corte en este estudio, basado en observaciones fenológicas que se relacionan con la madurez de las plantas, determinó que se encontraran

diferencias en el intervalo de corte entre las épocas, con un valor superior en lluvia. Varios autores han señalado que no es aconsejable realizar los cortes con frecuencia fija, sino variables de acuerdo con la estación climática (Martínez *et al.*, 1994; Herrera y Ramos, 2006). Sobre esto, prevalece el criterio de usar un menor intervalo en lluvia dada la mayor velocidad de crecimiento que se produce en esta época. Sin embargo, cuando se utiliza el argumento de aprovechar la acumulación de biomasa mientras se mantengan niveles favorables de crecimiento en estas plantas de ciclo vegetativo largo, puede alargarse el intervalo en lluvia y reducirse en seca, siempre que las condiciones climáticas imperantes en esta última, consigan detener el crecimiento de las plantas. Los valores de las precipitaciones (tabla 7) y de humedad del suelo en esta época (tabla 15) confirman este argumento. Por otra parte, el mayor número de ramificaciones encontrado en todas las plantaciones durante los cortes en seca con relación a la lluvia, puede ser considerado como señal de arribo a la madurez de las plantas en esta época.



a,b Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 5. Rendimiento de MS total y de hojas según la variedad.

Tabla 19. Efecto de la época de corte en el comportamiento de variables agronómicas y fisiológicas.

| Variables  | Época de corte         |                        | ES±                       |
|--|------------------------|------------------------|---------------------------|
|  | Lluvia                 | Seca                   |                           |
| Intervalo de corte (días)  | 144,0                  | 120,0                  | 0,12*                     |
| Rendimiento de MS total (t.ha <sup>-1</sup> .corte <sup>-1</sup> )     | 24,1                   | 8,6                    | 0,07*                     |
| Rendimiento MS hojas (t.ha <sup>-1</sup> .corte <sup>-1</sup> )        | 10,2                   | 4,1                    | 0,03*                     |
| Tasa de crecimiento absoluto (cm.día <sup>-1</sup> )                   | 1,33                   | 0,64                   | 0,002*                    |
| Tasa de crecimiento relativo (cm.cm <sup>-1</sup> .día <sup>-1</sup> ) | 7,4 x 10 <sup>-3</sup> | 8,8 x 10 <sup>-3</sup> | 8,24 x 10 <sup>-6</sup> * |

\*P<0,05

El rendimiento de MS total fue significativamente superior en lluvia con relación a la seca. El promedio de la seca en estas variedades es superior a las 6,2 t MS.ha<sup>-1</sup> informadas por Hernández *et al.* (1981) en king grass y a 7,9 t MS.ha<sup>-1</sup> señaladas por Martínez *et al.* (1996) en CT-115. Estos últimos también encontraron rendimientos superiores durante la seca en los clones CT-14, CT-16, CT-44, CT-74, CT-169 y king grass, los cuales excedieron las 10 t MS.ha<sup>-1</sup>.

En esta comparación es preciso considerar dos aspectos importantes: el origen de las variedades y las condiciones ambientales. Las aquí estudiadas se obtuvieron a partir del CT-115, que es de porte bajo. Las descritas por Martínez *et al.* (1996), a partir del king grass, que es de porte y rendimiento altos. Por otra parte, las condiciones de suelo y clima de la región occidental de Cuba son más favorables que las que predominan en la zona de estudio, con una intensa sequía estacional. Esto último determinó a su vez, que el promedio alcanzado en seca representara el 26,3% del total de ambas épocas y 35,7% de la lluvia, comparables con los resultados en king grass publicados por Hernández *et al.* (1981) y Machado *et al.* (1983), e inferiores a lo informado por Martínez *et al.* (1996) en CT-115.

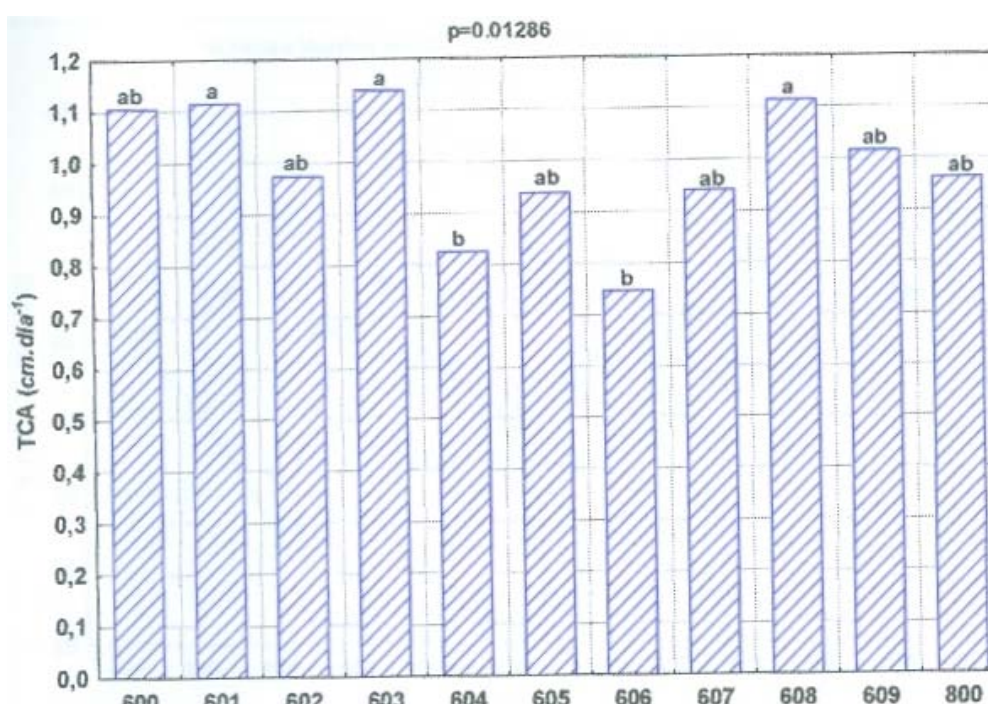
En lo relacionado con el rendimiento de MS de hojas, superior en lluvia, es importante considerar que en ambas épocas representó cerca del 50% del rendimiento de biomasa total, lo cual caracteriza, en sentido general, a las variedades procedentes del mejoramiento del *Pennisetum purpureum* (Herrera y Martínez, 2006).

Del análisis del indicador de rendimiento, puede decirse, en resumen, que las claras diferencias encontradas entre variedades y el comportamiento típico de las mismas en lluvia y seca, al compararlo con otras variedades de *Pennisetum purpureum*, demuestran una expresión de resistencia a las condiciones de sequía por parte de aquellas variedades que, como se discutió, manifestaron los mejores promedios.

La TCA de las variedades fue, como promedio, superior (P<0,05) en lluvia, con un valor que representa más del doble de lo alcanzado en seca (1,33 vs. 0,64); sin embargo, la TCR resultó más alta en la seca, indicando mayor eficiencia del crecimiento en esta época. Esto no coincide con los resultados de otros autores que han encontrado mayor crecimiento relativo en lluvia (Fernández,

1999), lo cual pudo deberse, como se verá más adelante, a la mayor proporción de hojas verdes observada en las variedades durante la seca que, como se sabe, favorece la actividad fotosintética, la asimilación diaria de  $\text{CO}_2$  y, con ello, la eficiencia del crecimiento (Herrera, 2003a).

En el comportamiento de la TCA por variedades (fig. 6) se encontraron las mayores tasas en las variedades CT-603, CT-601 y CT-608, con valores superiores a  $1,1 \text{ cm.día}^{-1}$ , las que fueron significativamente más altas ( $P < 0,05$ ) que lo alcanzado en las CT-606 ( $0,75$ ) y CT-604 ( $0,83 \text{ cm.día}^{-1}$ ). El resto de las variedades, incluyendo el control, mantuvieron valores intermedios sin diferencias estadísticas con ninguna. Sobre esto, Herrera (1999) informó que el king grass crece como promedio en Cuba  $1,07 \text{ cm.día}^{-1}$ .

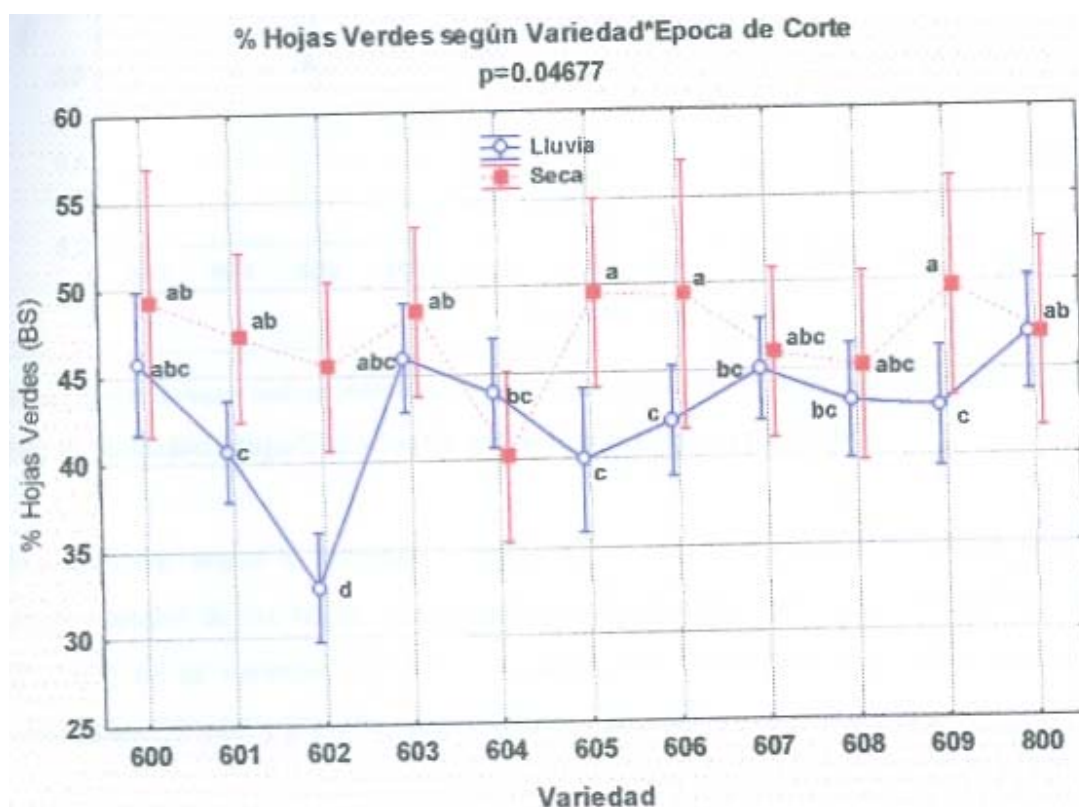


a,b Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 6. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de las variedades.

La proporción de hojas verdes aparece en la figura 7. Como se muestra, predominó la mayor cantidad en los cortes de la época de seca (entre 45 y 50%) con relación a la lluvia (entre 40 y 47%) y solo se alejaron del comportamiento medio la variedad CT-604 que tuvo menor proporción en seca que en lluvia, significativamente inferior ( $P < 0,05$ ), y la CT-602 que no superó 35% en lluvia, promedio inferior al resto de los valores de la seca. Esta mayor proporción de hojas en seca es característica de las gramíneas tropicales, en las que se produce durante la lluvia la mayor elongación de los tallos que desfavorece esta relación (Machado y Menéndez, 1979). Herrera y Martínez (2006) encontraron valores inferiores en el contenido de hojas en king grass, CT-16 y CT-44. Sin embargo, Machado y

Machado (1988) encontraron valores entre 59 y 62% en 8 variedades de *Pennisetum purpureum* en Matanzas, y Roche y Hernández (1993) coincidieron en encontrar mayor porcentaje de hojas en seca (59-72%) con relación a la lluvia (48-55%) en 11 somaclones de *Pennisetum purpureum*, aunque esos altos valores estuvieron influidos por las condiciones de riego y fertilización aplicadas en ese estudio.



a,b Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

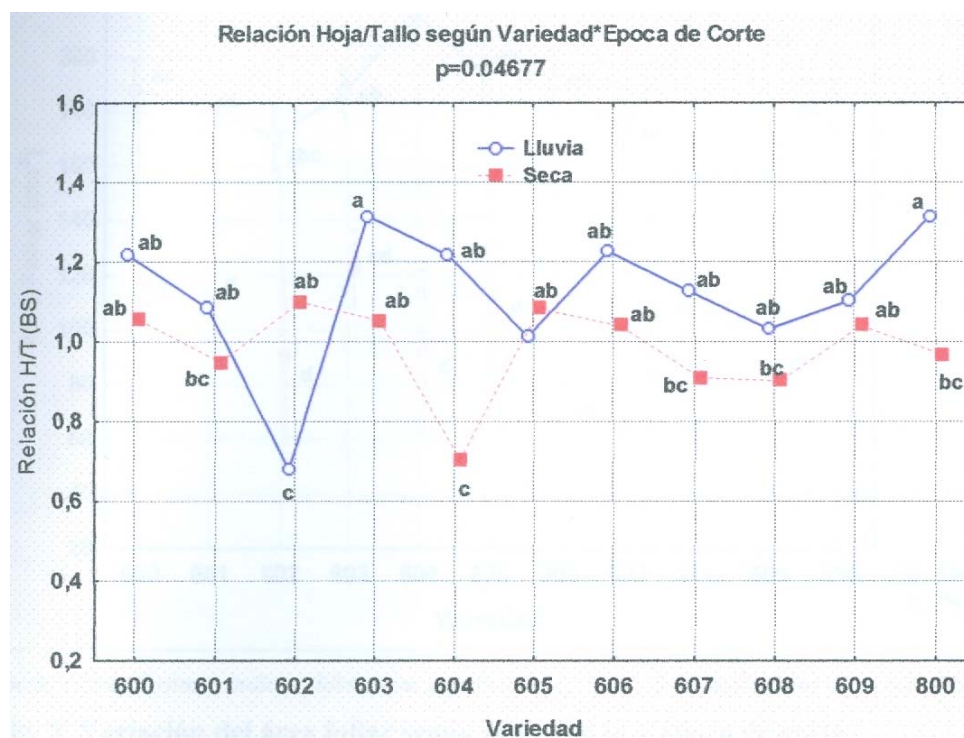
Fig. 7. Contenido de hojas verdes según la variedad y época de corte.

En la relación hoja/tallo (fig. 8), las variedades control y CT-603 mostraron los valores más altos durante la lluvia (1,32) y fueron superiores ( $P < 0,05$ ) a la CT-602 en esa misma época y a la CT-604 en seca. El resto tuvo un comportamiento intermedio, con valores más favorables en lluvia.

El área foliar según la variedad y época de corte (fig. 9) siguió la misma tendencia que en el largo y ancho de las hojas, una reducción significativa en la seca, la cual se hizo más notable ( $P < 0,05$ ) en la variedad CT-606. En lluvia, los promedios más altos correspondieron a las variedades CT-603 y CT-608, determinando estos extremos la interacción.

La mayor velocidad de crecimiento encontrada en las curvas ajustadas para cada variedad durante la época de lluvia, así como la superior tasa de crecimiento absoluta alcanzada en esta época, pueden estar explicando, conjuntamente con las características de las hojas, las diferencias del área foliar

favorables a la época de lluvia, y más significativa en las variedades CT-604 y CT-608. Lo planteado por Gardner *et al.* (2000) acerca de que cuando las plantas son eficientes tienden a invertir la mayor parte de su crecimiento temprano en expandir su área foliar, corrobora este criterio.



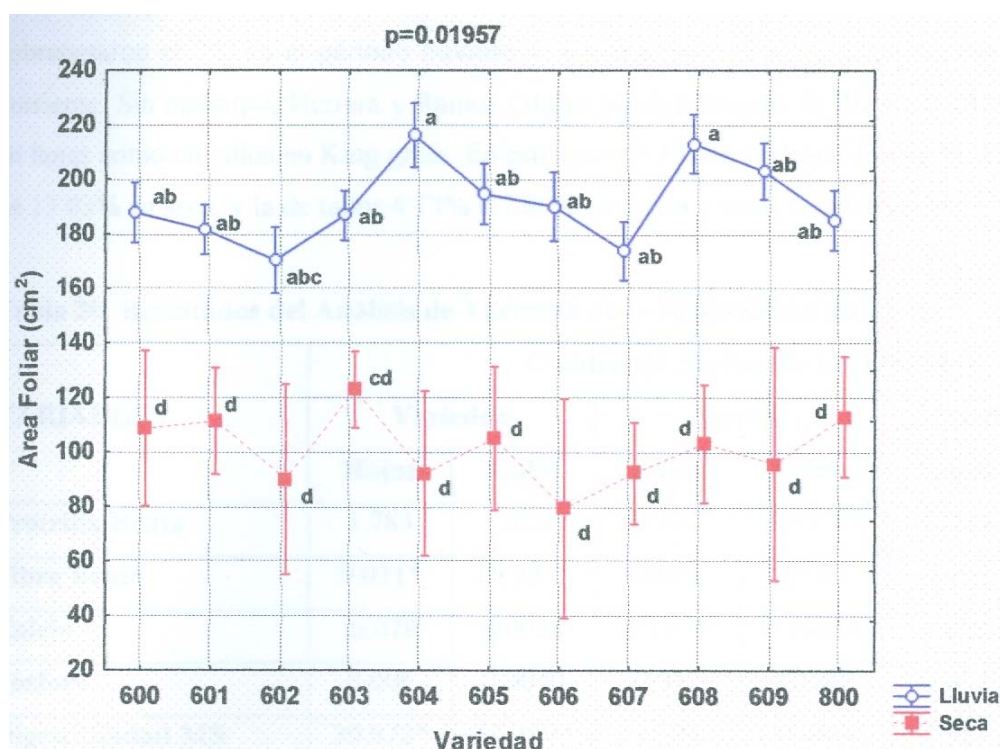
a,b,c,d,e,f Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 8. Relación hoja/tallo según la variedad y época de corte.

Los análisis de varianza de los indicadores de la composición química (tabla 20) mostraron efecto de variedad solo en la fibra bruta y la digestibilidad de hojas y tallos, mientras que la época solo afectó a la proteína bruta y el calcio de las hojas y tallos. El fósforo, la lignina y la celulosa no se afectaron con ninguno de los factores estudiados y no se encontró interacción variedad x época en ningún indicador. Estos resultados indican, de antemano, poca variabilidad de estos indicadores en las variedades estudiadas.

La proteína bruta fue superior en época de lluvia tanto en hojas como en tallos (tabla 21), siendo el calcio superior en seca con relación a la lluvia en ambas partes de la planta. Sobre esto, son muy variados los hallazgos que aparecen publicados y están más determinados por las condiciones en que se explotan las variedades que por características intrínsecas de las mismas. Por su parte, Herrera y Martínez (2006) coincidieron al informar un ligero incremento de la PB superior en lluvia con relación a la seca en king grass y CT-16, y los valores son inferiores a los obtenidos en este trabajo para las hojas en ambas épocas del año. Con anterioridad, Santana *et al.* (1985) encontraron valores

relativamente bajos en el contenido de PB en variedades de *Pennisetum purpureum*, las cuales, con excepción de Taiwán-144 y el CRAAG-265, no sobrepasaron el 7% en el período lluvioso y, en seca, solo el king grass superó el 6% en este nutriente. Sin embargo, Herrera y Ramos (2006) señalan niveles de PB superiores en seca tanto en hojas como en tallos en king grass. En este caso, la PB de las hojas fue de 11,25% en lluvia y de 13,03% en seca, y la de tallos 4,13% y 7,86% en lluvia y seca, respectivamente.



a,b,c,d,e,f Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 9. Variación del área foliar según la variedad y época de corte.

Tabla 20. Resultados del análisis de varianza de la composición química.

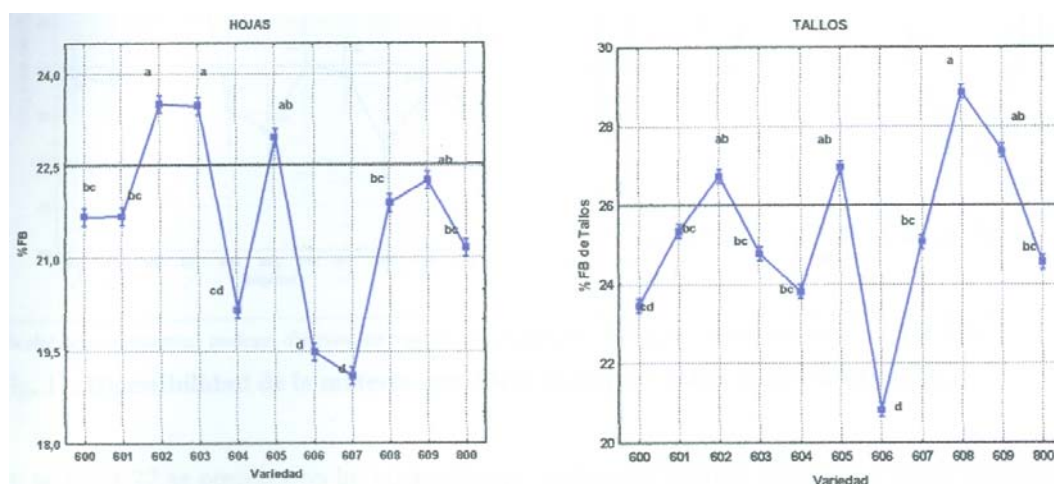
| Variables         | Cuadrados medios de los efectos |         |         |          |                  |        |
|-------------------|---------------------------------|---------|---------|----------|------------------|--------|
|                   | Variedad                        |         | Época   |          | Variedad x época |        |
|                   | Hojas                           | Tallos  | Hojas   | Tallos   | Hojas            | Tallos |
| Proteína bruta    | 1,783                           | ,822    | 20,427* | 20,021 * | 0,723            | 0,124  |
| Fibra bruta       | 9,021 *                         | 19,243* | 0,001   | 0,01     | 0,009            | 0,001  |
| Calcio            | ,0078                           | 0,0038  | 4,397*  | 0,1846*  | 0,063            | 0,0062 |
| Fósforo           | 0,008                           | 0,0040  | 0,012   | 0,0102   | 0,003            | 0,0033 |
| Digestibilidad MS | 30,972*                         | 17,269* | 1,924   | 0,001    | 1,924            | 0,01   |
| Lignina           | 0,831                           | 2,923   | 34,575  | 23,216   | 1,719            | 2,970  |
| Celulosa          | 8,261                           | 27,648  | 0,420   | 45,016   | 7,114            | 3,356  |

\* $P < 0,05$

Tabla 21. Contenidos de proteína bruta y calcio de las hojas verdes y los tallos de las variedades según la época del año.

| Variables         | Hojas  |      |       | Tallos |      |        |
|-------------------|--------|------|-------|--------|------|--------|
|                   | Lluvia | Seca | ES±   | Lluvia | Seca | ES±    |
| Proteína bruta, % | 7,6    | 6,3  | 0,04* | 4,1    | 2,7  | 0,02*  |
| Calcio, %         | 0,59   | 1,23 | 0,02* | 0,41   | 0,54 | 0,004* |

El contenido de fibra bruta en hojas y tallos según la variedad (fig. 10) indicó valores bajos en comparación con lo señalado en la literatura para variedades de *Pennisetum purpureum*. Las variedades CT-606 y CT-604 se caracterizaron por presentar los menores valores de FB tanto en hojas como en tallos, coincidiendo además con esta característica la CT-607 en hojas y la CT-600 en tallos. Los tenores más altos de FB en hojas correspondieron a la CT-602, CT-603 y CT-605 y oscilaron entre 23 y 23,5%, mientras que en tallos fueron para CT-602, CT-605, CT-608 CT-609, los que oscilaron entre 27 y 29%. Herrera y Ramos (2006) en king grass señalaron valores entre 39 y 43,4% en hojas y entre 47 y 49,8% en tallos.

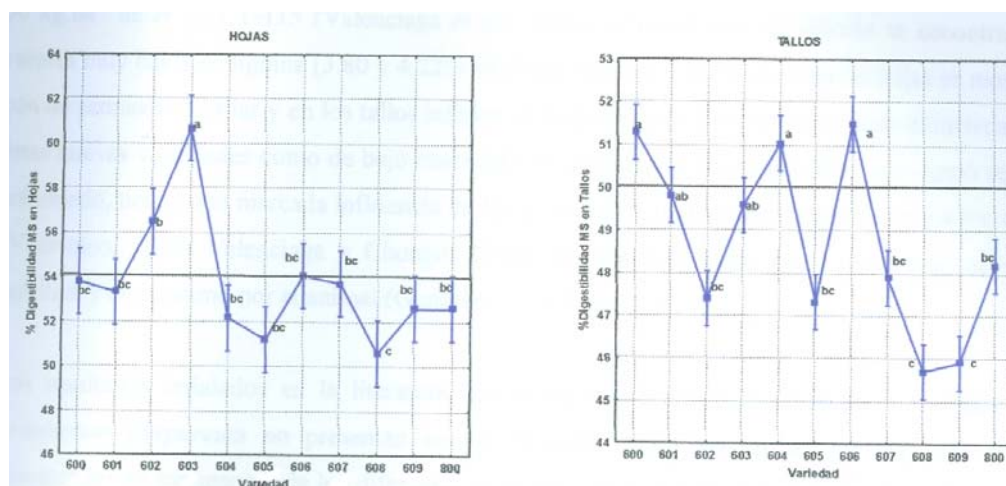


a,b,c,d,e,f Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 10. Contenido de fibra bruta (FB) en hojas y tallos según la variedad.

La digestibilidad de las hojas (fig. 11) superó en todos los casos 50%, encontrándose en las más destacadas valores de 60,6% en la CT-603 y de 56,5% en la CT-602, con diferencias entre ellas. Aun cuando estas variedades estuvieron entre las de mayor contenido de FB, cabe considerar que esos contenidos no deben limitar, por su proporción tan baja, el coeficiente de digestibilidad de estas variedades. El resto de las variedades, sin diferencias significativas entre sí, mostró valores inferiores ( $P < 0,05$ ) a la CT-603, y la CT-602 logró superar a CT-608. En el caso de los tallos, las variedades de menores digestibilidades coincidieron con las de mayor contenido de FB. Las CT-608 y CT-609, de

peor comportamiento (45,7 y 45,9%), fueron inferiores ( $P<0,05$ ) a las CT-600, CT-604 y CT-606 (51,4; 51,0 y 51,6%), de mejor comportamiento en este indicador. Herrera y Ramos (2006) informaron en king grass digestibilidades de 58 a 70% en hojas y de 52,7 a 63,8% en tallos.



a,b,c,d,e,f Letras distintas indican diferencias significativas para  $P<0,05$  según Newman-Keuls (2003)

Fig. 11. Digestibilidad de la materia seca en hojas y tallos según la variedad. En la tabla 22 se presentaron los contenidos promedios de fósforo, lignina y celulosa en hojas y tallos. El fósforo varió de 0,21% en hojas a 0,26% en tallos, la lignina 7,77% en hojas y 9,55% en tallos, y la celulosa 31,60% en hojas y 41,89% en tallos.

Tabla 22. Contenido promedio de fósforo, lignina y celulosa en hojas y tallos de las variedades.

| Variables   | Hojas |          | Tallos |          |
|-------------|-------|----------|--------|----------|
|             | Media | DS $\pm$ | Media  | DS $\pm$ |
| Fósforo, %  | 0,21  | 0,06     | 0,26   | 0,09     |
| Lignina, %  | 7,77  | 1,70     | 9,55   | 1,98     |
| Celulosa, % | 31,60 | 2,70     | 41,89  | 4,11     |

Los valores de lignina en hojas están en el rango de lo señalado por Herrera y Ramos (2006) en hojas de mutantes de king grass en lluvia y seca; sin embargo, en los tallos, el rango de las mutantes en ambas épocas del año fue superior al encontrado en estas variedades. La celulosa por su parte, coincidió con lo que informó Herrera (2003b) para el king grass. Cuando se emplearon 50 kg.ha<sup>-1</sup> de N en CT-115 (Valenciaga *et al.*, 2001), a los 65 días de rebrote se encontraron valores muy bajos de lignina (3,80 y 4,22% en hojas y tallos) y la celulosa en las hojas se mostró con un promedio similar y en los tallos inferior al de las variedades evaluadas. Esto caracteriza a estas nuevas variedades como de bajo contenido de carbohidratos estructurales, que como se ha informado, tienen una marcada influencia en los procesos de digestión microbiana de los forrajes (Vadiveloo, 2000; Valenciaga y

Chongo, 2004), favoreciendo estos bajos tenores su calidad nutritiva y el consumo por el animal (González, 2006).

Los resultados señalados en la literatura acerca del contenido mineral de las variedades de *Pennisetum purpureum* no presentan mucha variación entre las mismas, y las diferencias encontradas en los tenores de los diferentes elementos se atribuyen mayormente al empleo o no de fertilización y a las edades de corte. Los valores aquí encontrados de Ca y P son inferiores a los informados por Machado (1995) en variedades de *Pennisetum purpureum* con riego y fertilización.

Después de haber realizado los análisis correspondientes a cada fase (establecimiento y corte), se realizó un análisis multivariado, para integrar ambos estudios realizados con anterioridad, para ello se aplicó un Análisis de Componentes Principales y un Análisis de Cluster. Estos resultados se muestran a continuación.

### **ANALISIS MULTIVARIADO DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LAS VARIEDADES**

Con los análisis univariados se determinó la influencia de los tratamientos, las variedades, en la magnitud de expresión de las diferentes variables del comportamiento agronómico, y su interacción con un factor de conocida influencia en el desarrollo y producción de biomasa de las gramíneas en el trópico, la época del año. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ray (2000) quien al estudiar estos mismos parámetros encontró que la época del año determinó la producción de biomasa del CT-115. Sin embargo, los análisis multivariados permitieron distinguir el peso de cada variable medida en la varianza total de este comportamiento de los individuos objeto de estudio, así como su agrupamiento y selección según el grado de semejanza en la respuesta a las condiciones evaluadas.

*El objetivo de este análisis fue determinar las variables de mayor peso en el comportamiento agronómico y su contribución relativa a la tipificación de las variedades promisorias para condiciones de sequía.*

### **Materiales y Métodos**

A partir de los resultados obtenidos en las fases de establecimiento y de corte, se conformaron dos bases de datos; una primera que correspondió a la fase de establecimiento, con 11 variables y 11 casos representados por las variedades estudiadas, y una segunda base de datos de la fase de corte, en la cual se utilizaron 22 variables: 6 morfológicas, 3 agronómicas, 3 fisiológicas y 10 bromatológicas o de composición química, y 22 casos que se correspondieron con las 11 variedades replicadas en las épocas de lluvia y de seca.

Variables utilizadas en el análisis de la fase de establecimiento:

- % Brotación a los 29 días

- Rendimiento MS total
- Rendimiento MS hojas
- Altura al corte
- No. hojas/planta
- Largo de la hoja
- No. de hijos
- No. de ramificaciones
- Crecimiento medio

Variables utilizadas en el análisis de la fase de corte:

- 1) Morfológicas
  - Altura al corte
  - No. hojas/planta
  - Largo de la hoja
  - Ancho de la hoja
  - Grosor del tallo
  - No. de ramificaciones
- 2) Agronómicas
  - Rendimiento MS/corte
  - Rendimiento MS hojas/corte
  - Relación hoja/tallo
- 3) Fisiológicas
  - TCA
  - TCR
  - Área foliar
- 4) Bromatológicas
  - PB en hojas y tallos
  - FB en hojas y tallos
  - Digestibilidad en hojas y tallos
  - Lignina en hojas y tallos
  - Celulosa en hojas y tallos

A los datos de la fase de establecimiento se les aplicó un Análisis Factorial de Componentes Principales para determinar las variables de mayor peso en la varianza total y, con ellas, se realizó un Análisis de Cluster para el agrupamiento de las variedades según el grado de semejanza en la respuesta a las condiciones en que se evaluaron. Para el caso de la información referida a la fase de

corte, se procedió a la discriminación de variables mediante la aplicación sucesiva de varios Análisis Factoriales de Componentes Principales hasta llegar a conformar una matriz de 22 casos y 10 variables, luego se aplicaron Análisis Factoriales de Componentes Principales y de Cluster para las 11 variedades en lluvia (11 x 10) y para las 11 variedades en seca (11 x 10). En todos los Análisis Factoriales de Componentes Principales, la matriz fue rotada por el método de Varimax normalizado. En los Análisis de Cluster se utilizó la distancia euclidiana y el método de Ward para el agrupamiento de los casos. Se utilizó el paquete STATISTICA versión 6.1 (2003).

## Resultados y Discusión

En el análisis factorial de componentes principales realizado al comportamiento de las variedades durante la fase de establecimiento (tabla 23) se extrajeron tres componentes que explicaron el 72,24% de la varianza total.

Tabla 23. Resultados del análisis factorial de componentes principales en la fase de establecimiento de las variedades.

| Variable                | CP 1   | CP 2   | CP 3  |
|-------------------------|--------|--------|-------|
| % Brotación 29 días     | -0,18  | 0,75*  | -0,03 |
| Rendimiento MS total    | 0,95*  | 0,06   | 0,06  |
| Rendimiento MS hojas    | 0,90*  | 0,03   | 0,13  |
| Altura al corte         | 0,51   | 0,59   | -0,11 |
| No. hojas verdes/planta | 0,11   | 0,04   | 0,83* |
| Largo de la hoja        | 0,20   | 0,86*  | 0,21  |
| Ancho de la hoja        | -0,45  | -0,02  | 0,84* |
| Grosor del tallo        | 0,32   | 0,28   | 0,62  |
| No. de hijos            | -0,92* | -0,01  | 0,31  |
| No. de ramificaciones   | -0,04  | -0,88* | 0,11  |
| Crecimiento medio       | -0,10  | -0,18  | 0,47  |
| Valor propio            | 3,59   | 2,41   | 1,94  |
| Varianza explicada, %   | 32,61  | 21,93  | 17,69 |
| Varianza acumulada, %   | 32,61  | 54,55  | 72,24 |

En la componente principal (CP) 1 resultaron variables de peso el rendimiento de MS total y de hojas y el número de hijos, presentando este último una correlación negativa, lo cual se explica a partir de que se conoce que el ahijamiento es un proceso que aumenta bruscamente en los primeros dos meses de la plantación y luego se estabiliza hasta el momento del corte (Herrera, 1990), por lo que su relación con el rendimiento no es directamente proporcional.

La CP 2 se caracterizó por correlacionar las variables porcentaje de brotación a los 29 días, largo de la hoja y el número de ramificaciones que presentó un valor negativo, lo cual se corresponde con lo observado en la evaluación agronómica de las variedades para este indicador, que se mostró como criterio de madurez de las plantas, proceso que deprime algunas variables como el largo de la hoja.

El número de hojas verdes/planta y el ancho de la hoja se correlacionaron positivamente como las variables de mayor peso en la CP 3.

Los resultados de este análisis permitieron definir estas 5 variables de mayor contribución a la variabilidad total durante la fase de establecimiento de las variedades, con las cuales se procedió al agrupamiento de las mismas mediante el análisis de Cluster. Los resultados se presentan en la figura 12. Con la aplicación de un umbral de selección significativamente bajo (<30% de la distancia euclidiana) se distingue la formación de dos grupos de variedades. En el primero se agruparon, junto al control (CT-800), las variedades CT-601, CT-602, CT-604, CT-605 y CT-606; y en el segundo, las CT-600, CT-603, CT-607, CT-608 y CT-609.

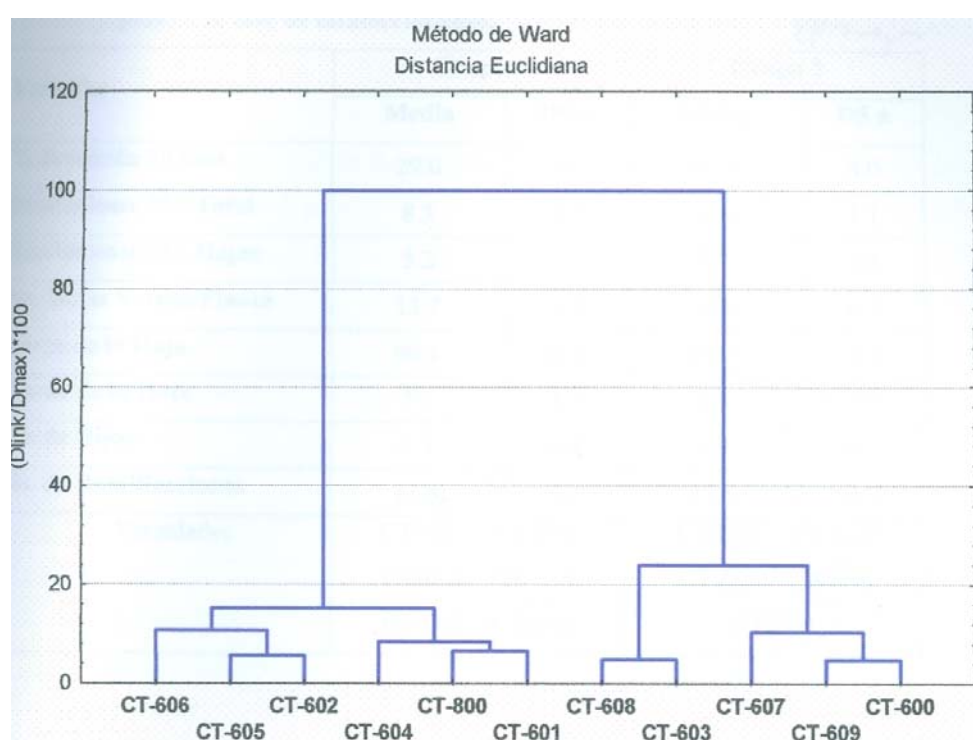


Fig. 12. Dendrograma de agrupamiento de las variedades según las variables de mayor peso durante la fase de establecimiento.

El comportamiento promedio de las variedades en cada una de las variables definidas de mayor peso en la variabilidad total (tabla 24) durante esta fase, permite determinar que se usó como criterio fundamental de agrupamiento la velocidad de brotación y el número de hojas verdes/planta, lo que reafirma su importancia para alcanzar un adecuado proceso de establecimiento, sobre todo, si se toma en cuenta que las fase media y final del establecimiento se produjeron durante la época de seca. El mayor número de hojas asegura mayor actividad fotosintética y, con ello, el alcance de la mejor respuesta biológica de las plantas. En este caso, el grupo 2 presentó los mejores resultados, demostrando superioridad de estas variedades con el control.

Tabla 24. Tipificación de las variedades según comportamiento medio de las variables de peso en la fase de establecimiento.

| Variables               | Grupo 1 |        | Grupo 2 |        |
|-------------------------|---------|--------|---------|--------|
|                         | Media   | DS±    | Media   | DS±    |
| % brotación 29 días     | 29,0    | 4,0    | 53,9    | 8,0    |
| Rendimiento MS total    | 8,3     | 2,5    | 8,9     | 1,1    |
| Rendimiento MS hojas    | 5,2     | 1,7    | 5,7     | 0,8    |
| No. hojas verdes/planta | 13,2    | 1,2    | 18,6    | 6,3    |
| Largo de la hoja        | 96,1    | 8,4    | 100,3   | 3,7    |
| Ancho de la hoja        | 5,1     | 1,0    | 4,4     | 0,4    |
| No. de hijos            | 1,5     | 0,4    | 1,9     | 0,3    |
| No. de ramificaciones   | 11,8    | 0,3    | 11,5    | 0,3    |
| Variedades              | CT-800  | CT-601 | CT-601  | CT-603 |
|                         | CT-602  | CT-604 | CT-607  | CT-608 |
|                         | CT-605  | CT-606 |         | CT-609 |

En la fase de corte (tabla 25), los análisis factoriales de componentes principales realizados a cada época, arrojaron como resultados que con la extracción de dos componentes en cada una se explican el 71,04 y el 76,63% de la variabilidad total en lluvia y seca, respectivamente.

En el análisis para la época de lluvia, en la CP 1, la altura al corte y el largo de la hoja se relacionaron con el rendimiento de MS total y de hojas y con la TCA, los cuales presentaron una correlación alta y positiva. En la CP 2, con un coeficiente negativo, se relacionaron el ancho de la hoja, grosor del tallo y el área foliar. Mostraron poca importancia relativa en esta época, el número de hojas verdes/planta y el número de ramificaciones.

Para la época de seca, en la CP 1 se relacionaron con el rendimiento de MS total y de hojas, el largo de la hoja, la TCA, el área foliar y, con un coeficiente negativo, el número de ramificaciones, coincidiendo esto último con los resultados de los análisis univariados tanto en la fase de establecimiento como de corte. La CP 2 relacionó negativamente la altura de corte con el número de hojas verdes/planta y el ancho de la hoja. Sobre esto se ha demostrado que con el incremento de la altura, que se produce generalmente en las plantas de más edad, se decrece el número de hojas verdes y se produce una depresión en el ancho de la hoja (Herrera y Martínez, 2006).

En una caracterización ecofisiológica del CT-115 en una zona del valle del Cauto, Igarza (2007) encontró 60% de explicación de la varianza total en dos componentes, y se relacionaron en una primera componente el rendimiento con la temperatura en forma positiva y con variables bromatológicas en forma negativa, resultando relacionadas negativamente las cenizas con la humedad relativa y la relación solar en una segunda componente. Esta importancia del rendimiento en una sola variedad está dada por la variación que se produce entre las épocas del año (Blanco y Roche, 1990; Ray, 2000).

Tabla 25. Resultados del análisis factorial de componentes principales durante las épocas de corte lluvia y seca.

| Variable                   | Lluvia |        | Seca   |        |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                            | CP1    | CP2    | CP1    | CP2    |
|                            | 0,97*  | 0,07   | 0,51   | -0,68* |
| Altura al corte            | 0,03   | 0,29   | 0,07   | 0,86*  |
| No. hojas verdes/planta    | 0,73*  | -0,59  | 0,87*  | 0,14   |
| Largo de la hoja           | -0,44  | -0,80* | 0,49   | 0,69*  |
| Ancho de la hoja           | -0,18  | -0,79* | 0,66   | -0,02  |
| Grosor del tallo           | 0,33   | 0,42   | -0,83* | -0,53  |
| No. de ramificaciones      | 0,88*  | 0,40   | 0,89*  | 0,02   |
| Rendimiento MS/corte       | 0,92*  | 0,26   | 0,92*  | 0,02   |
| Rendimiento MS hojas/corte | 0,97*  | 0,14   | 0,90*  | -0,03  |
| TCA                        | 0,07   | -0,79* | 0,82*  | 0,42   |
| Área Foliar                | 4,79   | 2,31   | 5,76   | 1,90   |
| Valor propio               | 47,93  | 23,11  | 57,62  | 19,02  |
| Varianza explicada, %      | 47,93  | 71,04  | 57,62  | 76,63  |
| Varianza acumulada, %      |        |        |        |        |

En esta investigación, las variables bromatológicas o de composición química resultaron discriminadas por tener escasa contribución a la variabilidad total del comportamiento de las variedades; sin embargo, se corrobora la importancia del rendimiento total y estructural como expresión de respuesta adaptativa de las variedades a las condiciones de intensa sequía estacional imperantes en la zona de estudio.

En los análisis de Cluster (fig. 13), a partir del 40% de la distancia euclidiana, se forman tres grupos en cada época de corte, al parecer, denotando la existencia de uno con variedades de comportamiento promisorio, uno intermedio y otro de pobre comportamiento.

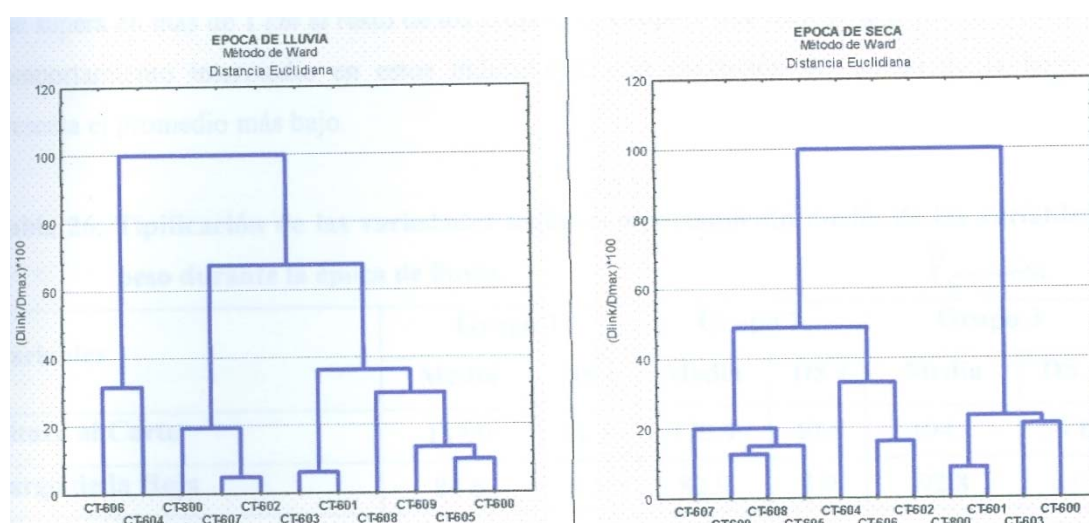


Fig. 13. Dendrograma de agrupamiento de las variedades según las variables de mayor peso durante las épocas de corte lluvia y seca.

En la época de lluvia, el grupo 1 se formó con las variedades CT-604 y CT-606; el grupo 2 con las CT-800, CT-602 y CT-607 y el grupo 3 con las cinco restantes estudiadas. Por su parte, en la seca el grupo 1 lo formaron cuatro variedades (CT-605, CT-607, CT-608 y CT-609), el grupo 2 con tres variedades (CT-602, CT-604 y CT-606) y el grupo 3 con cuatro, en las que se incluye el control (CT-600, CT-601, CT-603 y CT-800).

La suposición hecha anteriormente acerca de la formación de los grupos en ambas épocas, se confirma con el análisis de la tipificación de las variedades para la época de lluvia.

En la tipificación para la época de lluvia (tabla 26), de las 8 variables de peso usadas en el análisis de Cluster, se aprecia que la altura al corte, el ancho de la hija, el rendimiento total y de hojas y la TCA pudieron ser consideradas como razón de agrupamiento. Las variedades del Grupo 3 muestran, con excepción del ancho de la hoja, la mayor expresión de estas variables, lo cual puede considerarse como un comportamiento promisorio, a partir de que en éste no se incluye la variedad control. El grupo 1, formado por las CT-604 y CT-606, se caracteriza por ser de menor porte y de más baja tasa de crecimiento, lo que determina menores rendimientos de biomasa. Otra característica peculiar de estas dos variedades de este grupo es el ancho de la hoja, que supera en más de 1 cm al resto de los grupos. El grupo 2 que incluye al control, presenta un comportamiento intermedio en estos indicadores, con excepción del ancho de la hoja que presenta el promedio más bajo.

Tabla 26. Tipificación de las variedades según comportamiento medio de las variables de peso durante la época de lluvia.

| Variables                  | Grupo 1 |        | Grupo 2 |        | Grupo 3 |        |
|----------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                            | Media   | DS±    | Media   | DS±    | Media   | DS±    |
| Altura al corte            | 137,0   | 51,5   | 170,9   | 40,6   | 194,1   | 54,8   |
| Largo de la hoja           | 84,6    | 6,5    | 82,9    | 8,0    | 92,8    | 7,0    |
| Ancho de la hoja           | 4,2     | 0,6    | 2,6     | 0,4    | 3,1     | 0,5    |
| Grosor del tallo           | 1,4     | 0,02   | 1,1     | 0,1    | 1,3     | 0,1    |
| Rendimiento MS/corte       | 11,8    | 6,6    | 25,4    | 5,5    | 27,6    | 2,9    |
| Rendimiento MS hojas/corte | 5,1     | 2,9    | 10,3    | 1,0    | 11,8    | 1,5    |
| TCA                        | 1,0     | 0,1    | 1,3     | 0,1    | 1,5     | 0,1    |
| Área foliar                | 203,4   | 18,5   | 176,6   | 7,8    | 194,7   | 11,7   |
| Variedades                 | CT-604  | CT-606 | CT-602  | CT-607 | CT-600  | CT-601 |
|                            | ~       |        | CT-800  |        | CT-603  | CT-605 |
|                            |         |        |         |        | CT-608  | CT-609 |

Para la época de seca se usaron 9 variables en el análisis de agrupamiento de las variedades, pues, como se presentó en la tabla 25, el grosor del tallo no mostró importancia. En el análisis de la tipificación (tabla 27), entre las variables que pudieron haber definido el agrupamiento se encuentran el rendimiento de MS total y de hojas y el largo de la hoja. A diferencia de los resultados de la época de lluvia, en que se formó un grupo promisorio, en la seca aparecen dos grupos con mucha similitud

en las variables de rendimiento (grupos 1 y 3) Y uno con mayor promedio del largo de la hoja, el grupo 3 que incluye al control. El grupo 2 reunió a las variedades de peor comportamiento, en el cual coinciden nuevamente la CT-604 y CT-606 que habían mostrado inferioridad en la época de lluvia, con lo cual se descartan sus posibilidades como productoras de biomasa en condiciones de sequía.

Tabla 27. Tipificación de las variedades según comportamiento medio de las variables de peso durante la época de seca.

| Variables                  | Grupo 1 |        | Grupo 2 |        | Grupo 3 |        |
|----------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                            | Media   | DS±    | Media   | DS±    | Media   | DS±    |
| Altura al corte            | 75,6    | 17,6   | 75,6    | 20,8   | 80,6    | 15,8   |
| No. hojas verdes/planta    | 10,2    | 1,7    | 10,2    | 2,3    | 10,6    | 1,2    |
| Largo de la hoja           | 69,2    | 6,8    | 53,8    | 13,0   | 80,9    | 7,4    |
| Ancho de la hoja           | 2,2     | 0,4    | 2,1     | 0,5    | 2,6     | 0,3    |
| No. de ramificaciones      | 11,9    | 1,9    | 12,6    | 3,0    | 11,3    | 1,1    |
| Rendimiento MS/corte       | 10,5    | 6,8    | 3,6     | 2,4    | 10,5    | 4,7    |
| Rendimiento MS hojas/corte | 4,9     | 3,0    | 1,5     | 1,0    | 5,2     | 2,5    |
| TCA                        | 0,6     | 0,1    | 0,6     | 0,05   | 0,7     | 0,1    |
| Área foliar                | 99,3    | 6,0    | 87,4    | 6,9    | 114,2   | 6,2    |
| Variedades                 | CT-605  | CT-607 | CT-602  | CT-604 | CT-600  | CT-601 |
|                            | CT-608  | CT-609 | CT-606  |        | CT-603  | CT-800 |

Es de significar que en ambas épocas del año, coinciden entre las variables de mayor peso, el rendimiento de MS total y de hojas, la tasa de crecimiento absoluto y el área foliar, y aunque alguna de ellas no parezca haber sido utilizada como criterio de agrupamiento, deben ser consideradas de importancia en la expresión de la respuesta biológica de estos genotipos en las condiciones de sequía evaluadas.

## CONCLUSIONES

1. Las nuevas variedades evaluadas de *Pennisetum purpureum* manifestaron capacidad de establecimiento en condiciones de intensa sequía estacional, con diferencias en la velocidad de brotación y en todo el proceso favorables a CT-600, CT-603, CT-607, CT-608 y CT-609.
2. Las curvas de crecimiento de las variedades mostraron ajustes de tipo exponenciales en ambas épocas del año, con coeficientes de correlación superiores a 0,60.
3. Las variedades manifestaron diferencias en la velocidad de crecimiento en las diferentes épocas del año, y se caracterizaron por presentar los mayores valores ajustados, las variedades CT-608 y CT-603 durante todo el año, y la variedad control solo durante la época de seca.
4. Las nuevas variedades arribaron a los períodos de corte, con diferencias favorables en el largo y ancho de las hojas y grosor del tallo para las CT-604 y CT-606, que se caracterizaron por ser de menor porte.
5. El número de ramificaciones es un indicador a tomar en consideración en el manejo de estas variedades tanto en la fase de establecimiento como de corte, por su importancia relativa en la madurez de las plantas en la época de seca.
6. En las condiciones de intensa sequía estacional, la variedad CT-608 mostró un comportamiento promisorio en el rendimiento por ha por corte de materia seca total y de hojas, y el resto manifestó una respuesta intermedia, con excepción de las variedades CT-604 y CT-606 que mostraron una fuerte depresión en estos indicadores.
7. En la composición química de las hojas y tallos no se encontró diferencias entre las variedades en la proteína bruta, minerales y carbohidratos estructurales, y hubo un comportamiento favorable a las variedades CT -604 y CT -606 para la fibra bruta y la digestibilidad de la materia seca en ambas partes de la planta.
8. El comportamiento agronómico de las nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* está fuertemente marcado por la época del año, y las variables agronómicas: rendimiento de materia seca total y de hojas, y las fisiológicas: tasa de crecimiento absoluto y área foliar, coinciden entre las de mayor contribución a la variabilidad total en ambas épocas del año.
9. En el análisis del comportamiento agronómico de las nuevas variedades de *Pennisetum purpureum* en condiciones de sequía, se descartan las variedades CT-606, CT-604 y CT-602, las cuales, con características morfológicas y químicas favorables en las hojas, no cumplen la condición de alta producción de biomasa.

## **RECOMENDACIONES**

1. Introducir en las áreas comerciales de producción de biomasa forrajera, las variedades CT-600, CT-601, CT-603, CT-605, CT-607, CT-608 y CT-609.
2. Realizar ensayos para evaluar el potencial de rendimiento de las variedades recomendadas de *Pennisetum purpureum* en condiciones favorables de nutrición.
3. Evaluar el comportamiento de las variedades recomendadas de *Pennisetum purpureum* para ecosistemas de intensa sequía estacional en condiciones de pastoreo.
4. Considerar a las variedades CT-604 y CT-606 para sistemas de bajas demandas de biomasa por sus pobres rendimientos de MS, pero caracterizadas por tener hojas anchas, reducidos contenidos de FB y considerables valores de digestibilidad de la MS en hojas y tallos.

## **CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA**

1. AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup>. Ed. Assoc. Off. Agric. Chem. Washington, D. C. USA
2. Acosta, A.; Cabido, M.; Díaz, S. y Menghi, M. 1989. Local and regional variability in gravitic grasslands in the mountains of central Argentina. ***Berichte Geobotanica***. 55:39
3. Acuña, H.; Soto, P. y Melín, A. 1983. Estimación del crecimiento de praderas de secano en la región del Bio-Bio. En: Compendios IX Reunión de ALPA Santiago de Chile, Chile
4. Altieri, M.A. 1996. El "Estado del Arte" de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina. En: Agroecología y Agricultura Sostenible. 1. Bases históricas y teóricas. CLADES/CEAS-ISCAH. La Habana, Cuba. 121 p.
5. Altieri, M.A. 1997. El agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. En: Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES. 3ra. ed.
6. Anon. 2000. Programa Nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en la República de Cuba. CITMA. La Habana. CD-ROM
7. Anon. 2004. Convención de las Naciones Unidas contra la Desertificación en países afectados por sequía grave y desertificación.
8. Argel, P.A. 1996. Contribución de las leguminosas forrajeras tropicales a la producción animal en sistemas semi-intensivos de pastoreo. Primer Foro Internacional de Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales. Veracruz, México. p. 3
9. Arteaga, O.; Muñoz, P.; Fernández, J.M. y Martínez, María del C. 1996. Fertilidad del suelo y manejo del PRV en condiciones premontañas de la región Escambray. En: X Seminario Científico de Pastos y Forrajes. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 55. Research and Development 7:25
10. Ayala, J.R.; Sistachs, M. y Herrera, R.S. 1989. Methodology to determine planting time in king grass (*Pennisetum* sp.) using historical climate indices. Proceedings XVI International Grassland Congress. Nice, France
11. Ayala, J.R. 1990. Plantación y establecimiento. En: King grass. Plantación, establecimiento y manejo en Cuba. Ed. EDICA, Instituto de Ciencia Animal. La Habana. p. 43
12. Bade, D.H.; Conrad, B.D. y Holt, E.L. 1986. Temperature and water stress effects on growth of tropical grasses. ***Herbage Abstracts***. 56:978
13. Barranco, Grisel.; Paretas, J.J. y Suárez, J.J. 1990. Características generales y regionales del clima de Cuba. En: Ecosistemas y regionalización de los pastos en Cuba. Ed. Universidad de La Habana, Cuba. 178 p.

14. Barranco, Grisell y Díaz L.R. 1989. Clima. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Inst. Geogr. ACC; ICGC, MINFAR Nac. España. VI. 1. 2
15. Baruch, Z. y Fisher, M.T. 1991. Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de posturas. En: Lascano, C.E. y Spain, J.M. (eds.). Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de investigación. 6ta. Reunión Comité Asesor RIEPT-CIAT. Cali, Colombia. p. 103
16. Behnke, R.H. Jr; Scoones, I. y Kerven, C. (eds). 2000. Range ecology at disequilibrium. Overseas Development Institute and others institutions. London, UK
17. Benítez, D.; Ray, J.; Fernández, J.L.; Benítez-Ramos, D. y Gómez, I. 1997. Adecuación del diseño del sistema de pastoreo racional a las condiciones edafoclimáticas de la provincia de Granma. En: Informe Final de Investigación, PNCT. Dpto de Zootecnia, IIA "Jorge Dimitrov". Granma, Cuba
18. Benítez, D.; Ramírez, A.; Díaz, M.; Pérez, D. y Guerra, J. 2001. Perfeccionamiento de la producción de leche en los sectores priorizados de los consejos populares del Plan Turquino Manatí. En: Informe Final de Proyecto, PNCT. Dpto de Zootecnia, IIA "Jorge Dimitrov". Granma, Cuba
19. Black, A.S. 1992. Soil acidification in urine- and urea- affected soil. **Aust. J. Soil Res.** 30:989
20. Blanco, F. y Roche, R. 1990. Relaciones entre el clima y el rendimiento de tres pastos rastreros bajo la influencia de la fertilización nitrogenada. Pastos y Forrajes. 13:47
21. Botero, R. 1993. Papel de los árboles y arbustos forrajeros en el mejoramiento de los suelos de laderas en los trópicos. **Rev. Ind. Agr., Colombia.** p. 7
22. Cáceres, O. y González, E. 2000. Metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales. **Pastos y Forrajes.** 23:87
23. Cadish, G.; Schunke, R.M. y Giller, K.E. 1994. Nitrogen cycling in apure grass-legume mixture on a red latosol in Brazil. **Tropical grasslands.** 28:43
24. Canudas, L.E. 1985. Producción de leche bajo condiciones de pastoreo en el trópico. IV Simposium sobre ganadería tropical y forrajes tropicales. Veracruz, México. SARR. p. 61
25. Carrasco, E. *et al.* 2000. Comparación entre el pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*) y el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en la producción de leche bobina. **Revista cubana de Ciencias agrícolas.** 34(1):115
26. Catasús, L. 1997. Manual de Agrostología. Editorial Academia. 98 p.
27. Chacón, E. 1998. La investigación con leguminosas arbustivas y árboles forrajeros en Venezuela. Enfoques metodológicos. Memorias III Taller Intern. Silvopastoril. EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. p. 2

28. CIAT. 1990. Relación suelo-planta y reciclaje de nutrientes. En: Programa de pastos tropicales. Informe anual 1989. Doc. de Trabajo No. 69. p. 11.2-11.13
29. CIAT. 2004. Annual Report 200. Project IP-5. Tropical grasses and legumes: Optimizing genetic diversity for multipurpose use. p. 24
30. Cingolani, A.M.; Cabido, M.; Revison, D. y Solís Neffa, V. 2003. Combined effects of environment and grazing on vegetation structure in Argentine gramine grasslands. **J. Vegetation Sci.** 14:223
31. Clavero, T.; Caraballo, L. y González, R. 1998. Respuesta del pasto elefante enano al pastoreo. Valor nutritivo. **Revista de la Facultad de Agronomía.** 11(4):355
32. Cordoví, E., Herrera, J. y Sarroca, J. 1980. Producción y utilización del king grass en suelos pardos tropicales. **Pastos y Forrajes.** 3:41
33. Crespo, G.; Castillo, E. y Rodríguez, Idalmis. 1998. Estudio del reciclado de N-P-K en dos sistemas de producción de vacuno de carne en pastoreo. En: Memorias III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 234
34. Crespo, G., Rodríguez, I. y Martínez, R.O. 2000a. Balance de N-P-K en sistemas de producción de leche con pastizales de *C. nlemfuensis* y banco de biomasa de *P. purpureum* clon CT-115. **Rev. cubana Cienc. agríc.** 34:167
35. Crespo, G.; Rodríguez, I.; Torres, V.; Ortiz, I. y Cabrera, G. 2000b. Contribución al conocimiento del reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-planta-animal en Cuba. EDICA. p. 72
36. Da Silva, A.P. 2000. Influencia da temperature, luz e estresses osmótico e salino na germinacáu de sementes de *Leucaena leucocephala*. **Pasturas tropicales.** 22:47
37. De Armas, V.R., Ortega, D.E., Ródes, G.R. 1988. Fisiología vegetal. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 325 p.
38. Del Pozo, P.P. 1992. Introducción al estudio del modelado de la dinámica de crecimiento del pasto estrella (*C. nlemfuensis*). Tesis en opción al título de Especialista en Nutrición y Manejo de Rumiantes. ICA-ISCAH. La Habana, Cuba
39. Escobar, A. 1993. Novedades en los sistemas de alimentación del ganado destinado a la producción de leche en América Latina y el Caribe. **ACPA.** 12(1):5
40. Estévez, Ana y Álvarez, Mirian. 1987. Uso de la interacción genotipo ambiente y Cluster análisis para la clasificación de ambientes en papa (*Solanum tuberosum* Lin). **Cultivos tropicales.** 8(2)23
41. FAO. 2000. Manual de prácticas integradoras de manejo y conservación de suelos. Roma. p. 220.

42. Faría-Mármol, T. 1994. Consideraciones para la selección y manejo de especies tolerantes a la sequía. **Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)**. 11(2):164
43. Farrar, J.F. y Jun, S. 1998. Allometry, acclimation and alchemy? In: Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences
44. Fernández, J.L. 1999. Determinación de la productividad de tres especies del género *Brachiaria* en vertisuelo del Valle del Cauto. Tesis en opción al título de Máster en Nutrición Animal. Universidad de Granma. Cuba.
45. Fernández, J.L.; Benítez, D.E.; Gómez, I.; Cordoví, E. y Leonard, I. 2001. Dinámica de crecimiento del pasto *Brachiaria radicans* cv. Tanner en las condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto en la provincia de Granma. **Revista cubana Ciencias agrícolas**. 35.4
46. Gadzia, K.L. 1996. Holistic resource management. Bases and principles for the tropics. 1er Foro Internacional de Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales. México. p. 12
47. González, R. 2006. Valor nutritivo. Cap. VIII. En: *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. (Eds. R.S. Herrera, G.J. Febles, G.J. Crespo). EDICA. La Habana, Cuba. p. 179
48. Gagua, G.; Zarembo, S. y Izquierdo, A. 1989. Clima (precipitación mm media anual de 41 años período 1931 a 1972). Atlas Nacional de Cuba. Inst. Geogr. ACC; ICGC, MINF AR; Inst. Geogr. Nac. España VI.3.1
49. García, R.; Jordán, H.; Crespo, G. y Reyes, J. 1993. Manejo de los pastizales en el trópico. Bases y perspectivas. Conferencia. En: Trópico 93. Universidad de Colima. México. 19 p.
50. García-Trujillo, R. 1978. Disponibilidad de pastos en Cuba para la producción de leche. Boletín de Reseñas. Pastos y Forrajes. CIDA, MINAGRI. La Habana, Cuba. 50 p.
51. García-Trujillo, R. 1983. Potencial y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche. En: Los pastos en Cuba. Tomo II. Utilización. EDICA. La Habana, Cuba. p. 248
52. García-Trujillo, R. 1992. Agricultura orgánica. Una vía actual de producir alimentos sanos a bajo costo y preservar la naturaleza. En: Pastoreo orgánico y utilización de forraje en la alimentación de rumiantes en el trópico. Universidad de Colima. México. p. 1
53. García Trujillo, R. 1995. El papel de los animales en los sistemas agrícolas. Sem. Cient. Intern. XXX Aniv. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 44
54. García-Trujillo, R. y García-López, R. 1990. Mecanismos que desencadenan la producción de leche. En: Bases para la producción de leche. 1. Lactancia y Reproducción. EDICA. La Habana, Cuba. p. 21
55. Gardner, F.P.; Brent Pearce, R. y Mitchel, R.L. 2000. Carbon fixation by crop canopies In: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. p. 31
56. Geisser, S. 1980. Growth: curve analysis. In: P.R. Krishnaiah (ed.). Handbook of statistics. Vol. 1. Amsterdam, North Holland. p. 89

57. Gerardo, J. 1998. Papel de la introducción en el mejoramiento de los pastos en Cuba. Conferencia. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. (Mimeo)
58. Gerardo, J.; Rodríguez, R. y Solano, J.C. 1982. Evaluación zonal de pastos introducidos en Cuba. IX. Condiciones de secano, San Cristóbal. **Pastos y Forrajes**. 5:129
59. Gohl, B. 1991. Tropical feeds ver. Software development by Oxford Computers Journals. FAD. 66 p.
60. Guevara, J.C.; Gonnet, J.M. y Estévez, O. 2002. Biomass estimation for native perennial grasses in the plain of Mendoza, Argentina. 1. **Arid Envir**. 50:613
61. Guillot, J.; Vigil, María del Carmen y Acuña, Bárbara. 2002. Hierba buffel: una solución para la ganadería de la franja costera sur de Guantánamo. **ACPA**. 21(3):14
62. Gutteridge, R.C. y Shelton, H.M. 1994. Agroforestería para el ecodesarrollo. VI Curso Internacional de Entrenamiento. Centro de Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Vol. II. p. 201
63. Guzmán, P.J. 1988. Pastos y forrajes de Venezuela. 2da. ed. Caracas, Venezuela. SRL. 448 p.
64. Hernández, A. *et al.* 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. AGRINFOR. Ciudad de La Habana, Cuba. 64 p.
65. Hernández, Marta. 2002. Los suelos ganaderos en Cuba. Curso Fundamentos de la producción de pastos. Programa de maestría en Pastos y Forrajes. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Matanzas. Cuba
66. Hernández, Consuelo; Arteaga, O. y Muñoz, P. 1989. Efecto de la aplicación de estiércol vacuno sobre suelo Pardo Grisáceo. **Cienc. y Téc. Agric., Serie Suelos y Agroq.** p. 53
67. Hernández, D.; Carballo, Mirta y Reyes, F. 2000. Reflexiones sobre el uso de los pastos en la producción sostenible de leche y carne de res en el trópico. **Pastos y Forrajes**. 23: 269
68. Hernández, I. y Simón, L. 1994. Razones para emplear plantas perennes leñosas en la ganadería vacuna. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 44
69. Hernández, I.; Lascaiba, T. y Rolo, R. 1996. Efecto de diferentes proporciones de semillas en la siembra asociada del *Teramnus labialis*. **Pastos y Forrajes**. 18:43
70. Hernández, Marta y Milera, Milagros. 1996. Efecto de un manejo rotacional flexible en la fertilidad del suelo. **Pastos y Forrajes**. 19:171
71. Hernández, R.; Machado, R. y Gómez, A. 1981. Evaluación zonal de pastos tropicales
72. Hernández, R.; Hernández, N. y Gómez, A. 1989. Evaluación zonal de pastos tropicales introducidos en Cuba. Pastos y forrajes. La Habana, Cuba
73. Herrera, I. 1981. Evaluación zonal de los pastos en Las Tunas. **ACPA**. 4(5):69
74. Herrera, R.S. 1983. La calidad de los pastos En: Los pastos en Cuba. ICA. p. 59

75. Herrera, R.S. 1990. Introducción y características botánicas En: King grass. Plantación, establecimiento y manejo en Cuba. EDICA. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 1
76. Herrera, R.S. 2003a. La fisiología vegetal y los pastos. Conferencia (postgrado). ICA. La Habana. Cuba
77. Herrera, R.S. 2003b. Principios básicos de fisiología, métodos de muestreo y la calidad de los pastos. En: Fisiología, establecimiento y producción de biomasa de pastos, forrajes y otras especies para la ganadería tropical. Instituto de Ciencia Animal-Centro de Desarrollo Tecnológico La Noria. México. p. 27
78. Herrera, R.S. 2004. Fotosíntesis: En Pastos tropicales, contribución a la fisiología, establecimiento, rendimiento de biomasa, producción de biomasa, producción de semillas y reciclaje de nutrientes. EDICA. ICA. La Habana. p. 37
79. Herrera, R.S. 2005. Mejoramiento de *Pennisetum purpureum* en Cuba. Memorias I Congreso Internacional de Producción Animal. II Fórum Latinoamericano de Pastos y Forrajes. Ciudad de La Habana. Cuba
80. Herrera, R.S.; Chaple Zucell, Cruz, Ana M.; Romero, Aída y García M. 2003. Obtención de plántulas de *Pennisetum purpureum*, resistentes a la sequía y a la salinidad. Nota técnica. **Revista cubana de Ciencia agrícolas**. 37(2):210
81. Herrera, R.S. y Martínez, R.O. 2006. Mejoramiento genético por vías no clásicas. Cap. II. En: *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. (Eds. R.S. Herrera, G.J. Febles y G.J. Crespo). EDICA. La Habana, Cuba. p. 15
82. Herrera, R.S. y Ramos, N. 2006. Factores que influyen en la producción de biomasa y la calidad. Cap. V. En: *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. (Eds. R.S. Herrera, G.J. Febles y G.J. Crespo). EDICA. La Habana, Cuba. p. 79
83. Humphreys, L.R. y Riveros, F. 1986. Seed production of tropical pastures. FAO. Rome. 203 p.
84. Igarza, A. 2007. Caracterización ecofisiológica de *Pennisetum* Cuba CT-115 bajos las condiciones edafoclimáticas de una zona del Valle del Cauto. Tesis en opción al título de Máster en Nutrición Animal. Universidad de Granma. Cuba
85. Iglesias, J.M.; Simón, L.; Milera, Milagros y Lamela, L. 1997. Sistemas de producción bovina a base de pastos y forrajes. **Pastos y Forrajes**. 20:73
86. Iturbide, A.M. 1984. Producción de leche con pastos tropicales. En: Aspectos en la utilización y producción de forrajes en el trópico. (Eds. Andrés, R. y Novoa, B.) CATIE. p. 83
87. Izquierdo, A. 1989. Clima (precipitación mm media del período lluvioso desde 1964 a 1983). Atlas Nacional de Cuba. Inst. Geogr. ACC; ICGC, MINFAR; Inst. Geogr. Nac. España

88. Jérez, Irma; Rivero, J.L. y Pérez, Isabel. 1987. Evaluación de tres gramíneas tropicales. IV. Efecto de la carga en la producción de materia seca y algunos indicadores de calidad. **Rev. cubana Cienc. agríc.** 21
89. Jordán, H.; Reyes, J.; Valdés, G.; Milera, Milagros; Ruíz, R. y Guevara, R. 1995. Mesa redonda sobre los principales resultados de investigaciones en PRV en el país. En: Resúmenes del Evento XXX Aniversario de la muerte de A. Voisin. ICA-ISCAH. La Habana, Cuba
90. Keulen, H. 1987. Forecasting and estimating effects of weather on yield. In: Plant growth modelling for resource management. Current Models and Methods. University of Illinois. Boca Ratón, Florida, USA. p. 105
91. Klimes, A.; Suárez, O.; Mesa, A. y Pena, J. 1980. Suelos de Cuba. Editorial Orbe. La Habana. p. 28
92. Lamela, L. 1992. Sistemas de producción de leche. En: Producción e investigación en pastos tropicales. (Ed. T. Clavero). Universidad del Zulia. Venezuela. p. 151
93. Lazenby, A. 1981. Relaciones del nitrógeno en los ecosistemas de pastizales. XIV Congreso Mundial de Pastos. EUA. p. 27 (trad.)
94. León, J., Ibarra, Gisela y Iglesias, O. 2000. *Pennisetum purpureum* cv. CRA-265 en condiciones de secano, parámetros agronómicos y valor nutritivo. **Revista de Producción Animal**. Vol. 2 (septiembre/julio)
95. López, C.M. 2002. Introducción al medio ambiente En: Tabloide Universidad para todos. Editora ACC. 31 p.
96. Machado, R. 1983. Programa Nacional para la Introducción de Pastos En: Introducción y mejoramiento de pastos. Ed. Centro Univ. Matanzas, Cuba. 338 p.
97. Machado, R. 1985. Comparación de cultivares forrajeros. II. Efecto de la frecuencia de corte y la variedad sobre la composición química. **Pastos y Forrajes**. 8:191
98. Machado, R. 1988. Introducción y mejoramiento de pastos. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 385
99. Machado, R. y Menéndez, J. 1979. Descripción de gramíneas y leguminosas. En: Los Pastos en Cuba. Tomo I. Producción. La Habana. p. 103
100. Machado, R. y Machado, H. 1988. Estimación de la adaptabilidad y estabilidad de variedades de *Pennisetum purpureum* en diferentes condiciones ambientales. **Pastos y Forrajes**. 11:213
101. Machado, R.; Cáceres, O. y Miret, R. 1983. *Pennisetum purpureum* cvs. Taiwan A-144, A-146, A-148 y 801-4. **Pastos y Forrajes**. 6:43
102. Martín, P.C. 1998. Valor nutritivo de los pastos tropicales. **Rev. cubana Cienc. agríc.** 32:1
103. Martínez, R.O. 1999. Estrategias de alimentación para ganado bovino en el trópico. Memorias del Curso en Tantakin, Centro de Desarrollo Tecnológico, México

104. Martínez, R.O.; Herrera, R.S.; Cruz, R. y Torres, V. 1994. Cultivo de tejido y fitotecnia de las mutaciones de los pastos tropicales. *Pennisetum purpureum* ejemplo para la obtención de nuevos clones. **Rev. cubana de Ciencias agrícolas**. 30:1
105. Matías, C. y Ritt, S. 1988. Influencia de dos zonas edafoclimáticas diferentes en el potencial de producción de semilla de cinco cultivares de guinea (*Panicum maximum* Jacq.). **Pastos y Forrajes**. 11:143
106. Mejía, M.M. 1984. Nombre científico y vulgar de especies forrajeras tropicales. CIAT. Cali, Colombia. 75 p.
107. Mendoza, E.P. y Stanley, C.S. 1987. Producción y utilización de king grass y otros pennisetums para la producción de carne y leche. Departamento de Agronomía, Universidad de Florida. Gainesville, Florida
108. Menghi, M.; Cabido, M.; Peco, B. y Pineda, F.D. 1989. Grassland heterogeneity in relation to lithology and geomorphology in the Córdoba Mountains, Argentina. **Vegetation**. 84:133
109. Miller, C.P. y Van der List, J.T. 1977. Yield, nitrogen uptake, and liveweight gains from irrigated grass-legume pasture on a Queensland tropical highland. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 17:949
110. Minchin, P.E.H. y Thorpe, M.R. 1996. What determines carbon partitioning between competing sinks? **Journal of Experimental Botany**. 47:1293
111. Molina, A.; Valdés, G. y Castillo, E. 2000. Alternativas tecnológicas para la producción de leche y carne en las actuales condiciones de Cuba. **ACPA**. 19(1):39
112. Monzote, M.; Carballo, H.; Martínez, R.O.; Cruz, R. y Herrera, R.S. 1989. Una nota acerca del número de cromosomas y las características morfológicas, productivas y bioquímicas del king grass. Boletín Técnico. Serie Pastos 5. Instituto de Ciencia Animal, La Habana
113. Nai-Bregaglio, M.; Pucheta, E. y Cabido, M. 2002. El efecto del pastoreo sobre la diversidad florística y estructural en pastizal es de montaña de Argentina. **Rev. Chil. Hist. Nat.** 75:613
114. Norton, B.W. 1982. Differences between species in forage quality. In: Nutritional limits to animal production from pastures. CAB. Proc. of an Int. Symp. Haiker J.B. (ed.). St. Lucia, Queensland, Australia. p. 89
115. Oquendo, G. 2002. Fomento y explotación de pastos y forrajes. MINAG. Cuba. p. 320
116. Padilla, C. 2003. Siembra y establecimiento de pastizales de gramíneas tropicales. II Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes, La Habana, Cuba. CR-ROM
117. Padilla, C. y Ayala, J.R. 2006. Plantación y establecimiento. Cap. III. En: *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. Ed. R.S. Herrera, G.J. Febles, G.J. Crespo. Ed. EDICA, Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 39

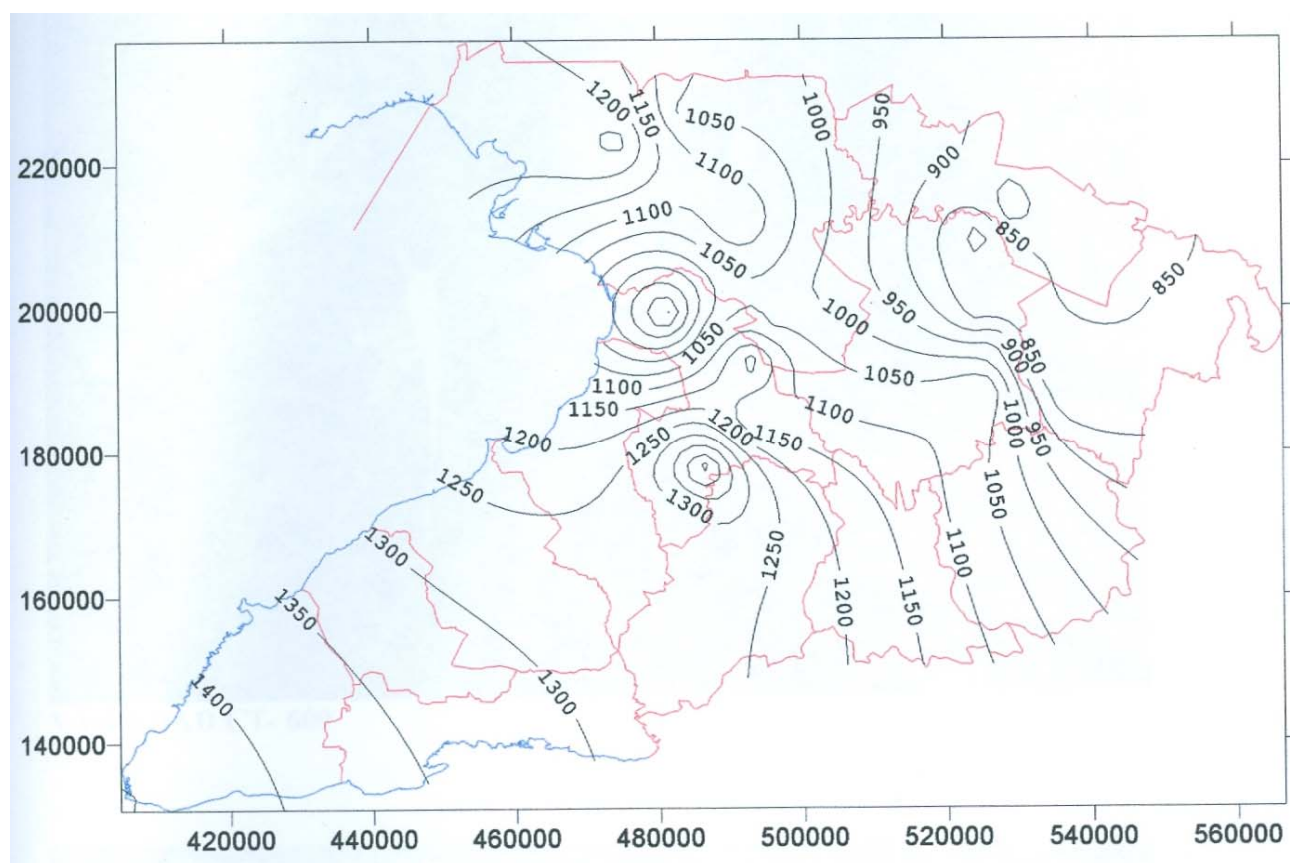
118. Padilla, C. y Ruíz, T.E. 2006. Intercalamiento de cultivos temporales en el momento de la plantación. Cap. IV. En: *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. Ed. R.S. Herrera, G.J. Febles, G.J. Crespo. Ed. EDICA, Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 63
119. Paretas, J.J. 1990. Ecosistemas y regionalización de los pastos en Cuba. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. MINAGRI. 178 p.
120. Paretas, J.J. 1993. Producción bovina en Cuba. **ACPA**. 12(1):13
121. Paretas, J.J. 1994. *Centrosema*. Potencial y uso. Conferencia central. I Taller Nacional sobre *Centrosema*. EEPF "Las Tunas". p. 10
122. Paretas, J.J. y Funes, F. 1988. Caracterización de áreas dedicadas a la ganadería vacuna y regionalización de pastos. En: Fomento y explotación de los pastos tropicales. Compendio de conferencias EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 91
123. Paretas, J.J. y Rivero, R. 1990. Metodología para la regionalización de gramíneas. En Ecosistemas y regionalización de pastos en Cuba. (Ed. J.J. Paretas). Inst. Inv. de Pastos y Forrajes. MINAG. La Habana. Cuba. p. 133
124. Pedraza, R.M. *et al.* 1998. Notas sobre la influencia de dietas de cogollo de caña de azúcar y follaje de (*Gliricidia sepium*) en la producción y calidad de la leche de vacas 5/8 Holstein x 3/8 Cebú. **Revista cubana de Ciencia agríc.** 32:147
125. Pentón, Gertrudis. 2000. Tolerancia del *Panicum maximum* cv. Likoni a la sombra en condiciones controladas. **Pastos y Forrajes**. 23(1):79
126. Pérez Infante, F. 1981. Algunos factores que afectan la producción de leche de vacas lecheras en pastoreo. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Univ. Agraria de La Habana, ICA. Cuba
127. Pezo, D. 1993. Interacción suelo-planta-animal en sistemas de producción animal basados en el uso de pasturas: Algunas experiencias en el trópico húmedo. En: T. Clavero (ed.). IV Jornada de Producción e Investigación en Pastos Tropicales. Maracaibo, Venezuela. p. 113
128. Pezo, D. 1997. Producción y utilización de pastos tropicales para la producción de leche. En Clavero, T. (ed.). Estrategias de alimentación para la ganadería tropical. Centro de Transferencia de Tecnología en Pastos y Forrajes, Univ. del Zulia. Maracaibo, Venezuela. p. 53
129. Pezo, D; Romero, F. y Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. En: Fernández-Boca, S. (ed.). Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. FAO. Santiago. Chile. p. 47
130. Pezo, D. y Ibrahim, M.A. 1998. Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal. No. 2. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 258 p.

131. Pinzon, B.R. y González, J. 1978. Evaluación del pasto elefante Panamá bajo diferentes intervalos de cortes y dosis de fertilización con N. **Cienc. Agropecuarias** (Panamá) 1:29
132. Pizarro, E. 2001. Grasses and legumes for tropical zones. VII Seminario de manejo y utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción animal. p. 15
133. Primavesi, Ana. 1990. Manejo ecológico do solo. A agricultura em regioes tropicais. Edic. Livraria Novel. Sao Paulo, Brasil. p. 549
134. Pucheta, E.; Cabido, M.; Díaz, S. y Funes, G. 1998. Floristic composition, biomasa, and aboveground net plant production in grozed and protected sites in mountain grassland of central Argentina. **Acta Oecológica**. 19:97
135. Ray, J.V. 2000. Sistema de pastoreo racional para la producción de leche con bajos insumos en un suelo Vertisol. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Agraria de La Habana, Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba
136. Redmann, R.E. 1992. Primary productivity. In: Coupland, Rt (ads). Natural Grasslands: Introduction and Western Hemisphere. Elsevier. New York. p. 75
137. Robleto, L.A.; Guerrero, A.D. y Fariñas, T. 2006. Comparación de dos niveles de urea en bloques de melaza sobre la ganancia de peso en borregos criollos. Disponible en: [www.cipv.org.co/lrrd4/1/nic/htm](http://www.cipv.org.co/lrrd4/1/nic/htm)
138. Roche, R. y Hernández, J. 1993. Estudio comparativo de somaclones de king grass (*Pennisetum purpureum*) con riego: **Pastos y Forrajes**. 16(2):135
139. Rosell, P.A.; Lemes, Blanca N.; Jiménez, A.; Peña, S. y Milán C. 2003. Diagnóstico urbano-ambiental. Ciudad de Bayamo. Ed. OPPM. Bayamo. Granma, Cuba. p. 134
140. Rowell, H.L. 1994. Soil Science: Methods and applications. London. Longman. 350 p.
141. Sala, O.E.; Biondini, M.E. y Lauenroth, W.K. 1988. Bias in estimates of primary production: an analytical solution. **Ecological Modelling**. 44:43
142. Sala, O.E. y Austin, A. T. 2000. Methods of estimating aboneground net primary productivity. In ·Sala, O. E: Jockson. R. B: Mooney, H. A and Howarth, R. H. (eds). Methods in Ecosystem Science. Springer. New York. p. 31
143. Sánchez, Saray; Milera, Milagros; Alonso, O. y Suárez, J. 1996. Evaluación de la biota del suelo en un sistema de manejo rotacional racional intensivo. En: X Seminario Científico de Pastos y Forrajes. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 18
144. Sanderson, M.A; Stair, D.W. y Hussey, M.A. 1997. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. **Advances in Agronomy**. 59: 171
145. Santana, H.; Cáceres, O. y Rivero, L. 1985. Calidad y valor nutritivo de cinco gramíneas tropicales forrajeras. **Pastos y Forrajes**. 8:435

146. Sarroca, J.; Herrera, J. y Concepción, O. 1981. Estudio agronómico del king grass. **Cienc. Téc. Agric. Pastos y Forrajes**. 4:97
147. Seguí, Esperanza. 2002. Introducción y regionalización de las variedades forrajeras. Curso Fundamentos de la producción de pastos. Programa de Maestría en Pastos y Forrajes. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Matanzas. Cuba
148. Senra, A. 2002. Manejo del pasto y la recuperación lechera. **ACPA**. 21(3):31
149. Senra, A. 1992. Producción de leche en los sistemas que se aplican en Cuba. **Rev. cubana Cienc. agric.** 26:227
150. Senra, A.F.; Ugarte, J.; Diallo, A.M. y Galindo, Juana. 1989. Hábito de pastoreo de vacas Holstein durante la época de seca en diferente número de cuartones de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) fertilizado. **Rev. cubana Cienc. agric.** 23:241
151. Shaw, N.H. y t'Mannetje, L.T. 1970. Studies on a spear grass pasture in central coastal Queensland. The effect of fertilizer, stocking rate and oversowing with *Stylosanthes humilis* on beef production and botanical composition. **Trop. grassld.** 4:43
152. Spangerberg, G. 2001. Transgénesis and Genomics in molecular breeding of forage plants. Proc. XIX Int. Grassland Congress, Brazil
153. StatSoft, Inc. 2003. STATISTICA for Windows. Release 6.1. User's guide. Tulsa, Oklahoma. USA
154. Vadiveloo, J. 2000. Cellulose degradation of whole rice straw. **J. Animal and Feed Sci.** 9:157
155. Tang, M. 1990. Fijación biológica del di nitrógeno en *Centrosema pubescens*. **Pastos y Forrajes**. 13:1
156. Tergas, L.F. 1984. El potencial del king grass como gramínea forrajera seleccionada para América tropical. Programa de Pastos Tropicales. CIAT. Cali, Colombia
157. Thomas, R.J.; Logan, K.A.B.; Ironside, A.D. y Bolton, J.R. 1990. The effect of grazing with and without excretal returns on the accumulation of nitrogen by ryegrass in a continuously grazed upland sward. **Grass For. Sci.** 45:65
158. Thornton, R.F. y Minson, D.J. 1973. The relationship between apparent retention time in the rumen, voluntary intake, and apparent digestibility of legume and grass diets in sheep. **Aust. J. Agric. Res.** 24:889
159. Till, A.R. 1981. Cycling of plant nutrients in pastures. In: Morley, F.H.W. (ed.). Grazing animals. Elsevier Publications. Amsterdam, Netherlands. p. 33
160. Trusov, I.J.; Díaz, L.R. y Izquierdo, A. 1989. Clima (precipitación mm media del período seco desde 1931-1972). Atlas Nacional de Cuba. Inst. Geog. ACC. Inst. Geog. Nac. España. VI.3.2.
161. Valdés, L.R. 1994. Producción de leche y carne con Centrosema. I Taller Nacional de Centrosema. IIPF-SOCUP-MINAG. Tunas. p. 10

162. Valdés, G. y Planas, Teresa. 1999. Ganadería de cría y alimentación. **ACPA**. 18(1):47
163. Valenciaga, Daiky; Chongo, Bertha y La O, O. 2001. Caracterización del clon CUBA CT-115. Composición química y degradabilidad ruminal de la materia seca. **Rev. cubana Cienc. agríc.** 35(4):349
164. Valenciaga, Daiky y Chongo, Bertha. 2004. La pared celular. Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. **Rev. cubana Cienc. agríc.** 38(4):343
165. Van Hom, H.H., Wilkie, A.C., Powers, W.J. y Nordstedt, R.A. 1994. Components of dairy manure. **J. Dairy. Sci.** 77:2008
166. Van Soest, P.J., Mertens, D.R. y Deinum, B. 1978. Pre-harvest factors influencing quality of conserved forage. **J. Anim. Sci.** 47:712
167. Vargas, B.R. 1983. Valor nutritivo del king grass entre 35 y 63 días de edad. Bogotá, Colombia. **Carta ganadera**. 20(8):44
168. Voisin, A. 1963. Productividad de la hierba. Editorial Tecnos S.A. Madrid. 449 p.
169. Wei, L.C.; Loeppert, R.H. y Ocumpaugh, W.R. 1997. Fe-deficiency stress response in Fe-deficiency resistant and susceptible subterranean clover: Importance of included H<sup>+</sup> release. **J. Exp. Botany**. 48:239
170. Whiteman, P.C.; Maing, S.D. y Bornes, P.B. 1984. Effect of temperature and day length on dry matter yield and flowering of two accessions of *Cassia rotundifolia*. **Tropical grasslands**. 18:174
171. Whiteman, P.C. 1975. Forages plants physiology. In: Management of improved tropical pastures. Refresher course. University of Queensland. St. Lucia. Australia. Edit. Aust. Inst. of Agric. Sci. 175 p.
172. Wilsis, C.P. 1990. Cultivos: Aclimatación, distribución. Ed. Revolucionaria. Instituto del Libro. La Habana. p. 29
173. Wilson, J.R. 1984. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: Hocker, J.B. (ed). Nutritional limits to animal production from pastures. CAB, Farmhand Royal, UK. p. 133

## ANEXOS



Anexo 1. Mapa de isoyetas de precipitación en la provincia de Granma (mm anuales).

Anexo 2. Ilustraciones de las nuevas variedades (tomadas en el mes de febrero)



Variedad CT-609



Variedad CT-800

Anexo 2. Continuación.



Variedad CT-607