



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

CAMPUS LOMA BONITA

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

**EVALUACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE TRES VARIEDADES DE
PASTO ELEFANTE *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone EN
EL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

**PRESENTA:
RACIEL ALVAREZ LUNA**

**DIRECTOR:
DR. JOSÉ ANGEL RUEDA BARRIENTOS**

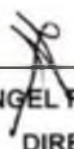
LOMA BONITA, OAXACA; 2017.

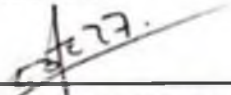



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
CAMPUS LOMA BONITA


LA PRESENTE TESIS TITULADA "EVALUACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE TRES VARIEDADES DE PASTO ELEFANTE *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone EN EL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO" PRESENTADA POR EL C. RACIEL ALVAREZ LUNA, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y ASÍ OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

JURADO EXAMINADOR


DR. JOSÉ ÁNGEL RUEDA BARRIENTOS
DIRECTOR


M.C. JULIAN COTERA RIVERA
REVISOR


M.C. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ
REVISOR


M.C. CARLOS IVÁN MEDEL CONTRERAS
REVISOR

DEDICATORIA

A la memoria de mi pequeña **Alexa Merarí Álvarez Sánchez**. Aunque no tuve la dicha de abrazarle en vida, ella es y siempre será mi mayor bendición, el mejor regalo de la vida.

*“Cuando un ser amado se convierte en un recuerdo,
tu memoria es un valioso tesoro”.*

A mi compañera y amiga, el Amor de mi vida, **Edith Sánchez “Ojitos”**. Tú me has regalado los mejores momentos y contigo he compartido también los peores. Siempre a mi lado, aconsejándome, apoyándome.

A mis padres **Moisés Álvarez** y **Rita Luna** por darme lo más preciado “la vida” y a mis hermanos **Noelia Álvarez** y **Alexander Zúñiga**. Porque en todos ellos he encontrado siempre mi definición de *calor de hogar*.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** porque es él quien me ha concedido llegar a este momento; por transformarme y permitirme alcanzar mis metas; por ayudarme a librar los obstáculos en el camino.

A la **Universidad del Papaloapan**. Gracias por haberme formado. A todas las personas que dentro de mi *alma mater* de manera directa o indirecta fueron parte de mi formación profesional.

Al **Dr. José A. Rueda** por impulsarme a la culminación del trabajo que juntos emprendimos y por sus aportes a la edición de este documento.

A mi Jurado de Tesis: M.C. **Julián Coterá**, M.C. **Cecilio U. Aguilar** y al M.C. **Iván Medel**. Cada uno de ellos agregó valiosos aportes a este trabajo. Gracias.

A mis maestros, quienes forjaron mis conocimientos desde el primer semestre hasta el último. Al M.C. **Nicolás Valenzuela**, al Dr. **Miguel A. Sánchez**, al Dr. **Sergio Ramírez**, a la Biol. **Tania Zúñiga**, al Ing. **Cesar Herrera**, a la M.C. **Carolina Antonio** y al Dr. **Bertín M. Joaquín**.

A mis amigos que con el tiempo se volvieron parte fundamental de mi crecimiento personal: David Zamudio "**Mazoco**", Javier Cruz "el **Ferraz**", María de Jesús Bautista "**Chuy**" y Calipso Cerqueda.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISION DE LITERATURA	4
4.1. Origen de <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone	4
4.2. Utilización de <i>Cenchrus purpureus</i>	4
4.3. Descripción de las variedades evaluadas	5
4.3.1. CT115	5
4.3.2. OM22	6
4.3.3. King grass	7
4.4. Utilización en la ganadería	9
4.5. Rendimiento de forraje en <i>C. purpureus</i>	11
4.6. Fertilización	12
4.7. Composición química	14
4.8. Relación hoja/tallo	16
4.9. Intercepción luminosa	17
4.10. Edad al corte	17
4.11. Degradación ruminal	18

5.	MATERIALES Y METODOS	20
5.1.	Localización	20
5.2.	Preparación del terreno y siembra	21
5.3.	Tratamientos y diseño experimental	21
5.4.	Mediciones.....	22
5.5.	Análisis de datos y modelo estadístico	23
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
6.1.	Variables de crecimiento.....	24
6.1.1.	Altura de planta	26
6.1.2.	Diámetro de tallo	27
6.1.3.	Intercepción luminosa.....	28
6.2.	Rendimiento de forraje a los 155 días	29
6.3.	Relación hoja/tallo	30
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
8.	LITERATURA CITADA.....	33
9.	ANEXO I	39

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Composición química del *Cenchrus purpureus* cultivar CT115 a los 65 días de edad en la Habana, Cuba. **14**
- Cuadro 2.** Altura de planta, diámetro de tallo e interceptación luminosa de los 65 a los 155 días de edad en tres variedades de *Cenchrus purpureus* durante su ciclo de establecimiento en el trópico húmedo mexicano. **24**
- Cuadro 3.** Rendimiento total y por componente morfológico (materia seca) a los 155 días en tres variedades de *Cenchrus purpureus* durante su primer ciclo de producción en el trópico húmedo mexicano. **30**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Datos de precipitación y temperatura durante el periodo experimental.	20
Figura 2. Altura de planta (i), diámetro de tallo (ii) e intercepción luminosa (iii) de los 65 a los 155 días de edad en tres variedades de <i>Cenchrus purpureus</i> durante su ciclo de establecimiento en el trópico húmedo mexicano.....	25

RESUMEN

La investigación se realizó en el Sitio Experimental Papaloapan del INIFAP, en Isla Veracruz, México, a 18° 06' 21" LN y 95° 32' 01" LO y a 65 msnm; el clima del sitio es un Aw₁. El propósito fue evaluar el crecimiento y la producción de forraje en tres variedades (OM22, King grass y CT115) de *Cenchrus purpureus* durante su ciclo de establecimiento en el trópico mexicano. El diseño experimental consistió en cuatro bloques completos. La plantación se realizó el 25 de junio de 2012, en surcos separados a 0.6 m. De los 65 a los 155 días de edad, se midieron mensualmente la altura de planta (cm), el diámetro de tallo (mm) y la interceptación luminosa (%). A los 155 días se midió el rendimiento total y por componente morfológico (ton ha⁻¹ de materia seca) y la relación hoja/tallo. CT115 presentó mayor altura (150 vs 120 y 100 cm) e interceptación luminosa (69 vs 56 y 48 %) que King grass y OM22 a los 65 días; así como menor altura a 155 días (P<0.05). La altura y diámetro de tallo a los 155 días fueron mayores en OM22 que en King grass y CT115 (P<0.05), lo que se asocia a una menor densidad. CT115 presentó mayor rendimiento en hoja a los 155 días (4.67 vs 3.78 ton ha⁻¹) y mayor relación hoja tallo que el OM22 (0.31 vs 0.25) (P<0.05). El rendimiento promedio a los 155 días para las tres variedades fue de 20.6± 1.1 ton ha⁻¹. Se recomienda el uso de CT115 como forraje en pastoreo, dada su precocidad, su mayor relación hoja/tallo y su menor altura a 155 días.

Palabras clave: *Pennisetum purpureum*; establecimiento; rendimiento; crecimiento.

ABSTRACT

The study was conducted at the Papaloapan Experimental Sitio of the Mexican Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) in Isla, Veracruz, México; at 18° 06' 21" LN, 95° 32' 01" LO and 65 msnm; where climate corresponds to an Aw₁. The aim was to assess forage yield and growth for three varieties of *Cenchrus purpureus* during its first growth cycle in the humid tropic of México. Varieties assessed were OM22, CT115 and King grass. The experimental design consisted of four complete randomized blocks. Planting was carried out on June 25th of 2012, by setting two whole tillers horizontally at 0.6 m between rows. Plant height (cm), tiller diameter (mm) and light interception (%) were registered from day 65 through day 155. Overall yield, leaf yield, stem yield, dead material yield (ton ha⁻¹ of dry matter) and leaf to stem ratios were estimated on day 155. CT115 variety showed greater height (120 vs. 120 y 100 cm) and light interception (69 vs. 56 y 48 %) than King grass and OM22 on day 65, but lower height on day 155 (P<0.05). On day 155, both height and stem diameter were higher for OM22 than for King grass and CT115 (P<0.05), which is related to a lower tiller density. CT115 achieved a higher leaf yield (4.67 vs. 3.78 ton ha⁻¹) and leaf/stem ratio than OM22 (0.31 vs. 0.25) on day 155 (P<0.05). The average yield on day 155 for all three varieties was 20.6 ton ha⁻¹ ± 1.1 of dry mater. CT115 is recommended for grazing systems because of its precocity, leaf/stem ratio and its lower height on day 115 after planting.

Key words: *Pennisetum purpureum*, Establishment, Yield, Growth.

1. INTRODUCCIÓN

En climas cálidos subhúmedos del trópico mexicano, la alimentación de los animales durante la seca es un reto fundamental. Mientras que durante las épocas de lluvia y de nortes (julio a febrero) se tiene crecimiento del forraje, en la época seca (marzo a junio) el crecimiento es limitado o nulo. La producción continua de forraje es una de las variables más deseables en la selección de las gramíneas, pues esto permitiría satisfacer la necesidad de forraje para la alimentación del ganado durante todo el año. Considerando que la demanda de nutrientes permanece constante durante el año, la estacionalidad limita la producción de leche y carne durante la época de menor precipitación; por lo que se hace necesaria la práctica de conservación de forrajes.

A pesar de que el ensilaje es la técnica más popular de preservación de forraje, la conservación en pie, ya sea para corte o pastoreo, es una alternativa de menor costo y mayor facilidad de implementación. *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, particularmente la variedad CT115, ha sido propuesta para esta práctica. Algunas ventajas de este pasto son: tiene un alto rendimiento, se adapta a diversos ambientes, presenta buena aceptación por parte del bovino y puede ser cosechado por pastoreo directo (Martínez y Herrera, 2006).

En este estudio se evalúa el crecimiento y producción de forraje en tres variedades de pasto elefante (OM22, King grass y CT115), durante su establecimiento en el trópico húmedo mexicano, como alternativas para conservación de forraje en pie.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el crecimiento y la producción de tres variedades de pasto elefante, *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, (CT115, King grass y OM22) durante su periodo de establecimiento.

2.2. Objetivos específicos

- a) Estimar el crecimiento de los 65 a los 155 días en tres variedades de pasto elefante mediante las variables: altura, diámetro de tallo e intercepción luminosa del dosel.
- b) Determinar la composición morfológica (hoja, tallo y material muerto) y la relación hoja/tallo de los pastos CT115, King grass y OM22 a los 155 días de edad.
- c) Cuantificar el rendimiento a los 155 días después de la plantación en los pastos CT115, King grass y OM22.

3. HIPÓTESIS

- a) La altura, el diámetro de tallo y la intercepción luminosa del dosel pueden diferir entre las variedades de *Cenchrus purpureus* evaluadas, cuando se contrastan a determinada edad.
- b) La composición morfológica a los 155 días del pasto elefante puede presentar variaciones entre variedades. Particularmente, la relación hoja tallo y el rendimiento en hoja se espera que sean mayores en CT115, dado que esta variedad presenta menor longitud media de entrenudos.
- c) Existen diferencias en el rendimiento de forraje (materia seca) a los 155 días después de la plantación entre los pastos CT115, King grass y OM22.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1. Origen de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone

El origen de las variedades de *C. purpureus* ha sido diverso. El pasto Camerún es una variedad pura liberada en Kenya en 1952 (Loch y Ferguson, 1999). El Camerún presenta una gran semejanza genética con Caña Africana, King Grass, CT-169 y Vruckwona (Pereira *et al.*, 2008). En un estudio en el que se explora la similitud entre genotipos de pasto elefante se menciona al Camerún como similar al Vruckwona, clasificándolos dentro de un mismo grupo llamado tipo Camerún y diferenciándolos del tipo Enano y del tipo Napier (Passos *et al.*, 2001). Por otro lado, el King grass dio origen en Cuba al CT115 por cultivo de tejidos y al OM22 por hibridación con una variedad de *Cenchrus americanus*, antes *P. glaucum*, denominada Tifton Late (Martínez *et al.*, 2010).

4.2. Utilización de *Cenchrus purpureus*

Cenchrus purpureus (Schumach.) Morrone, antes *Pennisetum purpureum*, ha ganado la atención de la ciencia debido a su alta producción de biomasa y su creciente potencial de aprovechamiento. Actualmente su uso va desde bancos de forraje (llamados también bancos de biomasa) para la alimentación de ganado (Fortes *et al.*, 2012), bloques de heno utilizados en sustitución del carbón vegetal como insumo principal en la fabricación de papel (Madakadze *et al.*, 2010), hasta la obtención de bioetanol de segunda generación como sustituto de gasolina (Faría *et al.*, 1997).

4.3. Descripción de las variedades evaluadas

4.3.1. CT115

Es una variedad obtenida del King grass a partir del cultivo de tejidos de callos embriogénicos provenientes de conos apicales. La variedad fue obtenida en los laboratorios del Instituto de Ciencia Animal de la Universidad de la Habana, Cuba. Una de las principales razones para su selección fue el hecho de que su uso en pastoreo resulta promisorio, debido a su baja altura y su resistencia al pisoteo, además de tener un rendimiento elevado, calidad nutritiva aceptable, tolerancia a sequía y una alta proporción de hoja (Martínez *et al.*, 1996).

El CT115 se ha usado para la conservación de forraje en pie con fines de corte o pastoreo, pudiendo utilizarse durante la época seca, ya que a los 4 a 6 meses de edad presenta aún una calidad aceptable (Herrera, 1997). Además, posee una elevada capacidad de rebrote que le permite acumular biomasa de buena calidad nutricional. En Cuba, se ha desarrollado una metodología para su explotación de forma racional y sostenible en la ganadería, mediante el sistema de pastoreo propuesto por Martínez (1999), que consiste en los siguientes criterios:

- Sembrar con riego o en lluvia a 1 m entre surcos.
- Intercalar con leguminosas perennes entre surcos.
- Sembrar en julio o agosto y dar 5 o 6 meses de establecimiento para iniciar el primer pastoreo.
- Dar 70 a 80 días de reposo por potrero para realizar un segundo pastoreo entre marzo y mayo.
- Aplicar pastoreo en julio.
- Hacer labores de cultivo según recurso disponible después del pastoreo de julio.

- Iniciar nuevo ciclo a partir de 5 meses de reposo.
- Ejecutar cada pastoreo a fondo hasta que se consuman todas las hojas.
- Ajustar la carga instantánea a la disponibilidad y considerar un 60% de aprovechamiento; así como una asignación de forraje de 14 kg de materia seca por unidad animal.

Valdez *et al.* (2001), mencionan que en el pasto CT115 se conjugan tres características importantes, ya que (1) concentra el forraje a baja altura, (2) puede ser pastoreada y (3) se obtiene un rebrote vigoroso después del pastoreo. Por lo anterior, CT115 puede utilizarse como reserva de alimento para la época seca. Su característica genética de acortamiento del largo del entrenudo a partir de los 50 días de edad le confiere características para ser utilizada en pastoreo. Sin embargo, esta característica no afecta el largo de la vaina o de la hoja, por lo que aumenta considerablemente su relación hoja/tallo. Hasta ahora el Cuba CT115 es la variedad de *Cenchrus purpureus* con mayores posibilidades de utilización bajo pastoreo, con más de 40 % de hoja, una relación hoja/tallo superior a la de todas las variedades Cubanas (OM22, CT169 y King grass).

4.3.2. OM22

Es un híbrido que se obtuvo por el cruzamiento manual del *C. purpureus* Cuba CT169, con *P. glaucum* Tifton Late, donado por Glen W. Burton de la Coastal Plain Experimental Station, en Tifton, Georgia, EUA. El cv. Cuba OM22 se seleccionó y evaluó entre más de 50 individuos F₁ debido a que mantiene su rendimiento y calidad y presenta una alta proporción de hojas. Las hojas son de

color verde intenso, algo corrugadas con nervadura central blanca, más carnosas y gruesas que otros cultivares usados en Cuba (Martínez *et al.*, 1996).

Sus hojas se distinguen por la carencia de vellosidades, algo muy aceptado por el productor. La longitud de la hoja alcanza 1.4 m y el ancho hasta 8 cm. Los tallos son gruesos de 3 a 5 cm en la base, de color verde con entrenudos de 13 a 15 cm, lo que le confiere un aspecto robusto, siendo el último tercio de la planta menos lignificado que otros cultivares. Es muy apetecido por el ganado y con buena fertilización alcanzada un nivel de proteína cruda (PC) entre el 14 y 17%. En Cuba florece de noviembre a marzo, si alcanza el tamaño y edad. Tiene 21 cromosomas ($7x = 21$) (Pereira *et al.*, 2000).

Aunque todas las especies del género alcanzan una mayor altura en el periodo lluvioso que en el periodo seco, el cv. Cuba OM22 tiene la particularidad de ser más alto que el cv. King grass y obtener una altura similar a la del CT-169, alcanzando en el periodo lluvioso, unos 3,7 m a los 180 días (Pereira *et al.*, 2000).

4.3.3. King grass

Esta variedad fue introducida en América del Sur por el Dr. E.R. Long Ford de la Estación Experimental de Tifton, Georgia, Estados Unidos y en 1974 fue extendido a Panamá en la Estación Experimental de Gualaca en Chiriquí, por la compañía de alimentos Nestlé, donde fue clasificada como PI 300-086 y conocida también como caña japonesa (Martínez *et al.*, 1996)

Su introducción en Cuba desde Panamá data de 1974, cuando comenzó su siembra y evaluación en el Instituto de Ciencia Animal. Su cultivo se extendió por algunas regiones de ese país a partir de 1976. Este pasto se convirtió en una de

las principales plantas forrajeras de Cuba. En la década de los años 80 el cv. King grass se utilizó como planta donante en los programas de mejoramiento genético desarrollados en el Instituto de Ciencia Animal Cubano (Martínez *et al.*, 1996).

Herrera (1990), registró que King grass fue el cultivar de *Cenchrus purpureus* con mayor rendimiento de materia seca por año (20 a 28 ton ha⁻¹) en comparación a otras variedades como Napier, Enano o San Carlos.

Antes de los estudios realizados en King grass se creía que era híbrido. No es sino 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 desarrolladas en el Instituto de Ciencia Animal. Monzote *et al.* (1989) determinaron que el número de cromosomas del King grass es $2X= 28$, mientras que el híbrido con *Cenchrus americanus* posee 21 cromosomas (Muldon y Pearson, 1979). Por otro lado, sus características morfológicas y productivas lo diferencian de otras variedades de esta especie. Por lo anterior, Monzote *et al.* (1989) proponen llamarlo *Pennisetum purpureum* cv King grass, actualmente reclasificado como *Cenchrus purpureus* (Chemisquy *et al.*, 2010).

A partir del cultivo de ápices del cv. King grass mediante técnicas de cultivo de tejidos (CT) y regeneración de plántulas *in vitro*, surgieron nuevos cultivares muy diferentes del progenitor. Se seleccionó el cv. Cuba CT115 para pastoreo por su porte bajo y durabilidad y el cv. Cuba CT-169 para corte por su alta talla y rápido crecimiento (Martínez y Herrera, 2006).

Herrera (1990), describe que el King grass posee hojas anchas y largas que alcanzan valores de 3.5 a 105 cm, respectivamente y un grosor de 0.21 cm. Con una coloración que varía desde el verde claro (estado joven) al verde oscuro (estado maduro), posee vellosidades suaves y de longitud media, que pueden llegar hasta 122 pelos por campo de observación; se pueden encontrar 13.1 hojas completamente abiertas y a partir de los 60 días de rebrote comienza la aparición de hojas cloróticas o marchitas (2.4 hojas planta⁻¹). El tallo tiene un diámetro de 1.2 cm, flexible en estadio joven y rígido cuando alcanza su madurez, una distancia entre nudos de 17.2 cm y 10 nudos a lo largo del tallo (Herrera, 1997).

Herrera (1990), señaló que el King grass puede alcanzar hasta 4 m de altura. Su crecimiento diario es de 2.1 cm, mientras que su ahijamiento puede ocurrir desde la tercera semana y aumenta rápidamente hasta los dos meses posteriores a la plantación, para después estabilizarse (Herrera, 1997).

4.4. Utilización en la ganadería

El pasto *Cenchrus purpureus* es el candidato ideal cuando se pretende almacenar en pie el forraje que se acumula durante el periodo lluvioso, para utilizarlo durante la época seca. *Cenchrus purpureus* ha sido utilizado convencionalmente como un forraje de corte, lo que implica para el ganadero una menor rentabilidad en comparación con el pastoreo directo. No obstante, en las investigaciones sobre cultivo de tejidos que se llevaron a cabo en Cuba en la década de los 80, se produjo una variedad con características idóneas para manejo en pastoreo, el clon CT115. Este pasto ofrece además de una

acumulación considerable de biomasa, la posibilidad de que el animal la coseche directamente (Martínez y Herrera, 2006).

Entre los primeros estudios con *Cenchrus purpureus* en pastoreo, se encuentra un trabajo realizado en México en el que se compararon las gramíneas: guinea (*Megathyrsus maximus* (Jacq.) Simon & Jacobs); Elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone); Estrella de Africa (*Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg.); Estrella de Santo Domingo (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) y pastizal nativo (*Paspalum* spp. L. y *Axonopus* spp. P. Beauv) (Fernández-Baca *et al.*, 1986). En dicho estudio, el pasto elefante permitió una producción de leche (por año y hectárea) superior al resto de los pastos estudiados, con excepción del pasto estrella de África. No obstante, el ciclo fisiológico del pasto elefante permite utilizarlo con un tiempo mucho mayor de reposo y con una calidad aun aceptable, para ayudar a cubrir el déficit de alimento en la época seca; además de que puede ser consumido por los bovinos mediante pastoreo. En ese estudio, todos los pastos se fertilizaron con fósforo y nitrógeno a razón de 60 y 160 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Fernández-Baca *et al.*, 1986).

Martínez (2001) reporta resultados satisfactorios con el empleo del CT115 en un sistema rotacional. Desde el punto de vista nutritivo, esta tecnología aventaja al suministro de caña y King grass molidos, porque las hojas seleccionadas por lo animales en CT115 son de mayor valor nutritivo. El autor menciona que la principal ventaja consiste en que no hay que cortar, moler y acarrear el forraje

hasta donde están los animales dada la facilidad de pastoreo que le confiere su bajo porte.

Un aspecto importante en la explotación de *Cenchrus purpureus* como banco de biomasa es su efecto de almacenamiento de carbono en el suelo. Un estudio realizado en lecherías del Instituto de Ciencia Animal, en el Municipio de San José de las Lajas (Mayabeque, Cuba) ha mostrado la efectividad del uso de la tecnología de bancos de biomasa de CT115 desde el año de 1999 (Lok *et al.*, 2013). En este estudio, el carbono acumulado en el suelo aumentó entre dos años consecutivos. La concentración de carbono lograda en el horizonte 0-30 cm en tres años de evaluación estuvo entre 38 y 40 ton ha⁻¹, valores similares al promedio para la región tropical, que fluctúa entre 35 y 40 ton ha⁻¹ (FAO, 2008).

4.5. Rendimiento de forraje en *C. purpureus*

Todo rendimiento mencionado en este documento está expresado en materia seca, de igual forma se maneja siempre la misma unidad para facilitar la comparación entre estudios diferentes (ton ha⁻¹). En un estudio llevado a cabo en Yucatán se compara el rendimiento de forraje entre los cultivares CT115, OM22 y King grass (Ramos *et al.*, 2012). Los autores reportan que OM22 tuvo mayor producción que King y este a su vez mayor que el CT115 (rendimiento de forraje en materia seca igual a 157, 135 y 92 ton ha⁻¹, respectivamente). Por su parte Araya y Boschini (2005) reportan para King grass y Taiwán, rendimientos de 7.3 y 5.9 ton ha⁻¹ a los 70 días, así como de 25 y 22 ton ha⁻¹ a los 140 días para las mismas variedades.

En otro estudio realizado en Nuevo León con CT115 se evaluó el rendimiento en hoja y tallo en respuesta a la fecha de plantación (en materia seca). Los autores refieren que la producción de hoja fue mayor para la plantación temprana (3.3 vs 1.9 ton ha⁻¹), mientras que la producción de tallo fue mayor para la plantación tardía (2 vs 1.66 ton ha⁻¹) (Nava *et al.*, 2013).

En un estudio realizado en la Universidad de Costa Rica se reporta que en el pasto elefante, a medida que avanza la edad y se reduce la relación hoja/tallo, aumenta tanto el rendimiento en hoja como el de tallo. No obstante, el valor nutricional de la hoja se reduce drásticamente. Acorde con el mismo estudio, la senescencia afecta más rápidamente a la hoja que al tallo debido a que su cubierta es más sensible, lo que acelera la pérdida de agua. Mientras que los tallos se lignifican en su cubierta exterior y ello les permite retener la humedad (Chacón y Vargas, 2009). En contraparte, una defoliación muy temprana produciría en poco tiempo el agotamiento de las reservas que facultan el rebrote de la planta, provocarían la reducción de tejido fotosintéticamente activo y una disminución en desarrollo y vigor de tallos y raíces (Clavero *et al.*, 2000).

4.6. Fertilización

La fertilización nitrogenada aumenta tanto el rendimiento (Vázquez *et al.*, 2009) como el contenido de proteína (Márquez *et al.*, 2007) en el pasto elefante. La aplicación de nitrógeno en dosis de 300 kg ha⁻¹ aumenta la producción de biomasa en un 65% en *Cenchrus purpureus* (Vázquez *et al.*, 2009). En tanto que el contenido de proteína aumenta en 0.17 % por cada 100 kg de nitrógeno

agregados. Los valores que se registraron fueron 7.1, 7.6 y 8.1 % de proteína al aplicar 91, 343 y 686 kg ha⁻¹ de nitrógeno (Márquez *et al.*, 2007). Sin embargo, el contenido de proteína se redujo en 0.18 % por día entre los 49 y los 63 días de edad, con contenidos de 8.8 % de proteína a los 49 y 6.3 % a los 63 días (Márquez *et al.*, 2007).

En un estudio realizado en Yucatán con CT115, OM22 y King grass, se evaluó el efecto de la fertilización con urea y efluente porcino equivalentes a 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno. De acuerdo con ese trabajo, la fuente de nitrógeno no modifica el rendimiento. En el referido estudio OM22 presentó mayor rendimiento que el King grass tanto con el uso de urea (155 vs 131 ton ha⁻¹) como con el efluente (160 vs 140 ton ha⁻¹) (Ramos *et al.*, 2012). Una producción de 35 ton ha⁻¹ de biomasa fue encontrada cuando se aplicó la fórmula 200-60-00 kg ha⁻¹; que en tal estudio correspondió a un aumento del 21 % con respecto al tratamiento no fertilizado (29 ton ha⁻¹) (Ramos *et al.*, 2015).

En un estudio realizado en Venezuela, se evaluaron tres niveles de fertilización en pasto elefante y se encontró un rendimiento de proteína de 1.9, 2.8 y 3.6 ton ha⁻¹ año⁻¹ al aplicar estiércol bovino (equivalente a 91 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno), 343 y 686 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno. Los rendimientos fueron de 41, 28 y 38 ton ha⁻¹ año⁻¹ para Taiwán A-146, pasto Morado y Maralfalfa, en el mismo orden (Márquez *et al.*, 2007).

Existe una tendencia creciente en la producción de materia seca a medida que se incrementan los niveles de fertilización con nitrógeno. Según Faría *et al.* (1997) se registran aumentos 13.8, 18.4, 22.9 y 24.8 ton ha⁻¹ al comparar niveles

de nitrógeno de 150, 300 y 450 kg ha⁻¹ año⁻¹ con el tratamiento no fertilizado, en pasto *C. purpureus* cv. Mott. En ese mismo estudio la hoja, el tallo y el material muerto muestran incrementos de 94, 85 y 84%, respectivamente, al comparar la fertilización de 450 vs 0.0 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

4.7. Composición química

Se ha postulado que los forrajes tropicales tienen un bajo contenido de proteína, lo que limitaría tanto la disponibilidad de nitrógeno a nivel del rumen como el balance de aminoácidos necesarios para mantenimiento y producción (Chacón y Vargas, 2009). Para el pasto Cuba CT115 se han reportado contenidos de 14% de proteína en la hoja y de 7% en el tallo (Valenciaga *et al.*, 2001). En el Cuadro 1 se muestra el contenido de nutrientes del pasto Cuba CT115 a los 65 días de edad.

El contenido de proteína de los pastos es menor en la fracción tallo que en la hoja; pero en ambos componentes este se reduce conforme avanza la edad (Chacón y Vargas, 2009; Ramírez *et al.*, 2008; Araya y Boschini, 2005).

Cuadro 1. Composición química del *Cenchrus purpureus* cultivar CT115 a los 65 días de edad en la Habana, Cuba.

Indicador	Hojas	Tallos	Planta completa
PB	14.2	7.0	11.3
FDN	67.3	68.9	68.2
FDA	40.7	38.8	39.4
Lignina	3.8	4.2	3.9
Celulosa	32.2	35.7	32.8
Hemicelulosa	26.6	30.1	28.8

FUENTE: Valenciaga *et al.*, 2001

El contenido de proteína bruta se reduce de 11.9 a 7.8% en la hoja y de 4.8 a 3.6% en el tallo entre los 15 y 90 días durante el ciclo de establecimiento; así como de 10.3 a 7.4 y de 4 a 3.4% en un ciclo posterior, entre las mismas edades (Fortes *et al.*, 2012).

El pasto pierde calidad nutricional a mayor edad tanto por la reducción del contenido de proteína en la planta completa como por el aumento en la proporción de tallo (Ramírez *et al.*, 2008). En una evaluación a los 70 días de edad, el pasto King grass presentó contenidos de proteína de 14.8, 10.0 y 12.4% en hoja, tallo y planta completa, respectivamente; mientras que a los 140 días presentó contenidos de 10.5, 4.0 y 5.4 % para los mismos casos (Araya y Boschini, 2005). Es notorio que una mayor relación hoja tallo a los 70 días repercute en un mayor contenido de proteína en la planta completa.

En un estudio en Costa Rica se evaluó la calidad del *Cenchrus purpureus* cv. King grass a tres edades de rebrote, con una dosis de fertilización de 115.5 kg ha⁻¹. En dicho estudio se reportan contenidos de proteína de 9.6, 8.7 y 8.4% a los 60, 75 y 90 días, respectivamente (Chacón y Vargas 2009). Estos contenidos están por debajo de lo reportado por Araya y Boschini (2005) para edades similares. Los autores proponen que esta disminución en la concentración de proteína se puede atribuir a una reducción de la actividad metabólica de la planta; dado la síntesis de compuestos proteicos se reduce conforme la planta envejece, tal cual lo propone un estudio previo (Ramírez *et al.*, 2008).

4.8. Relación hoja/tallo

La relación hoja/tallo es importante al considerar que la hoja es el componente de mayor calidad nutricional y es el que mayormente selecciona el animal en pastoreo. Sin embargo, tanto la proporción de hoja como su calidad disminuyen conforme aumenta la edad de la planta (Chacón y Vargas 2009).

La relación hoja/tallo disminuye de 1.34 a 1.31 de los 60 a 90 días debido a la madurez del forraje, no obstante la diferencia no es significativa (Chacón y Vargas 2009). En otro estudio, la relación hoja/tallo resultó de 0.65, 0.89, 0.93, 1.0 y 2.2 a los 70 días y de 0.33, 0.44, 0.36, 0.28 y 1.3 a los 140 días, para las variedades Gigante, Taiwán, Camerún, King grass y Enano, respectivamente (Araya y Boschini, 2005). Lo que en promedio significa una proporción ligeramente mayor de hoja que de tallo a los 70 días, mientras que a los 140 días el tallo duplica el rendimiento en hoja (relación de 1.1 a los 70 y 0.54 a los 140 días). Resultados similares son reportados en Yucatán; donde la relación hoja/tallo disminuyó al aumentar la edad de corte en pasto morado. Valores de 1.24, 0.86, 0.48 y 0.39 fueron obtenidos para los 45, 75, 105 y 120 días, respectivamente. (Madera *et al.*, 2013).

La fertilización nitrogenada no tiene efecto sobre el número de hojas por tallo en el cv. Mott, pero incrementa tanto la tasa de expansión de la hoja como su tamaño, induciendo una mayor área fotosintética. Por otro lado, la fertilización no cambia la relación hoja/tallo en ese cultivar, que fue en promedio de 1.75 (Faría *et al.*, 1997). La alta relación hoja tallo de este cultivar, le confiere potencial para explotación en pastoreo.

4.9. Intercepción luminosa

La cantidad de luz realmente interceptada por el dosel tiene mayor importancia para la producción de forrajes que la cantidad de luz disponible. La intercepción luminosa no sólo depende del índice de área foliar (IAF), sino de las disposición angular de las hojas y de la estructura de dosel (Parsons *et al.*, 1988).

Los forrajes tropicales tienen mayor capacidad de aprovechar la radiación solar en función a la disposición de las hojas. Lo anterior potencializa la acumulación de forraje. La planta alcanza su máxima producción cuando el área foliar se maximiza, permitiendo a la vez alcanzar la máxima intercepción lumínica (Hernández y Guenni, 2008).

En un estudio realizado en Brasil para evaluar la intercepción de luz lograda con diferentes dosis de fertilización, se encontró que la intercepción aumenta en función del área foliar, independientemente de la dosis nitrógeno o potasio. Por lo que los autores concluyeron que la fertilización no interfiere en la captación de radiación solar (Andrade *et al.*, 2005).

4.10. Edad al corte

La edad es un factor importante en la variación en los componentes estructurales de los pastos. Sin embargo, el corte a edades tempranas provoca efectos negativos en la planta, ya que la remoción continua del área foliar reduce el contenido de reservas en las partes bajas de los tallos y raíces, y con ello se afecta el vigor de rebrote (Pirela, 2005). Una alta frecuencia está asociada a la reducción en el rendimiento de forraje. Para *Cenchrus purpureus* se ha

documentado un rendimiento de 0.48, 2.22, 6.50, 14.80 o 22.80 ton ha⁻¹ cuando se corta con una frecuencia de 14, 28, 42, 56 o 70 días, respectivamente (González *et al.*, 2011).

La estrategia para determinar la edad de aprovechamiento consiste primeramente en evitar la receta clásica de manejar intervalos fijos con tal de cuidar la persistencia y no castigar el rendimiento. En congruencia con lo expuesto, las edades extremadamente tempranas (como 45 días) o tardías (por ejemplo 120 días) suelen afectar el rendimiento anual o poner en peligro la persistencia. Por ejemplo, durante el periodo seco los cortes deben efectuarse después de 90 días de edad, mientras que en el periodo lluvioso el corte a 60 días es aceptable (Martínez y Herrera, 2006).

En Yucatán al evaluar los resultados obtenidos con pasto morado a los 75 y 90 días, se reporta una alta producción; sin embargo, la relación hoja/tallo una disminuyó de 0.86 a 0.55. Desde el punto de vista forrajero, sería poco prudente hacer el corte después de los 75 días (Madera *et al.*, 2013).

4.11. Degradación ruminal

En un estudio realizado en Cuba para evaluar la degradabilidad ruminal *in vivo* de la materia seca a los 65 días de rebrote, la degradación ruminal efectiva de la materia seca resultó superior para la hoja que para el tallo (59.7 vs 38.2%) (Valenciega *et al.*, 2001), lo que resulta obvio dado el menor grado de lignificación en la hoja. Estos niveles de degradación garantizan un aporte importante de energía fermentable a los microorganismos ruminales.

Al evaluar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto *Cenchrus purpureus* cv. King grass a tres edades de rebrote, se encontró que la digestibilidad se reduce conforme aumenta la edad del rebrote, con valores de 59, 56 y 52 % a los 60, 75 y 90 días, respectivamente (Chacón y Vargas, 2009). Valenciega *et al.*, (2009) en su trabajo con *Cenchrus purpureus* cultivar CT115, corrobora la marcada influencia de la edad en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, encontrándose una disminución de 67.9 a 59.3% de digestibilidad entre los 28 y 140 días de edad.

La correlación negativa entre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la edad, se explica en función al aumento en el contenido de pared celular a medida que avanza la edad del rebrote. Una alta formación de enlaces covalentes entre la lignina y los carbohidratos estructurales limita la biodisponibilidad de la fibra (Capanema *et al.*, 2004).

5. MATERIALES Y METODOS

5.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el Sitio Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Villa Isla, Veracruz, a 18° 06' 21" LN, 95° 32' 01" LO y 65 msnm. El clima de la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano, correspondiendo con un Aw₁ (García, 2004). La precipitación anual es de 1,000 mm, de la cual el 85% ocurre de junio a noviembre, y la temperatura media mensual es de 25.7 °C. De acuerdo con un análisis llevado a cabo en el *Campus* Cotaxtla del INIFAP, el suelo es un acrisol ortíco con textura migajón arenosa y bajo contenido de materia orgánica (3.4 g kg⁻¹), con un pH ácido (3.5), bajos niveles de N, Ca, Mg y Cu (2.1, 74, 48 y 0.2 mg kg⁻¹, respectivamente), pero niveles adecuados de Fe, Zn, Mn y P (57, 1.6, 4.4 y 5 mg kg⁻¹, respectivamente).

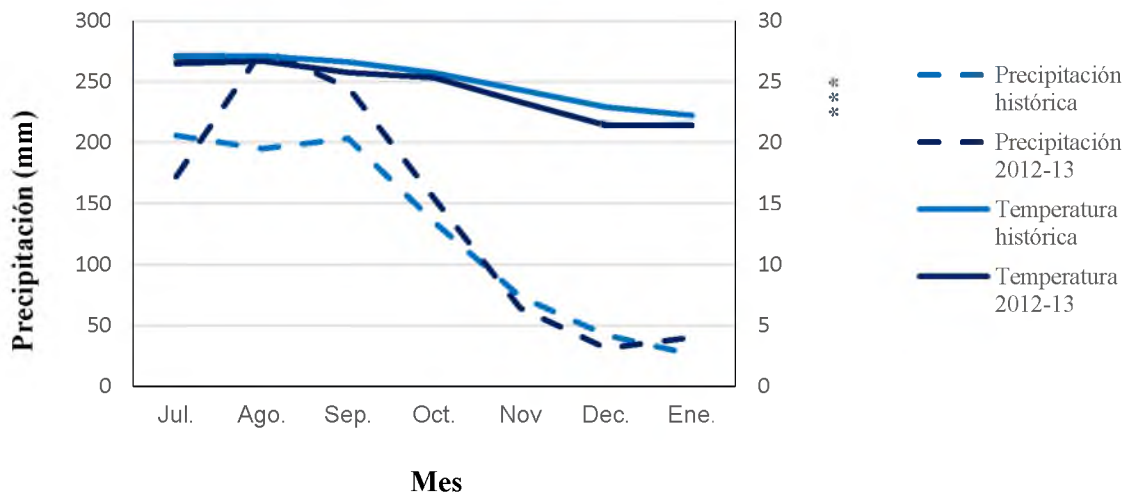


Figura 1. Datos de precipitación y temperatura durante el periodo experimental.

5.2. Preparación del terreno y siembra

La preparación del terreno consistió en un pase de rastra de discos a 20 cm de profundidad para remover maleza y aflojar el terreno. El surcado se realizó manualmente utilizando un azadón. La siembra se realizó el 25 junio del 2012 colocando dos plantas completas a 'punta y cola' a una profundidad de 5 cm. Después los tallos se cortaron en segmentos de 2 a 3 entrenudos y se cubrieron con una capa de 5 cm de suelo, evitando comprimir la tierra para facilitar el desarrollo de las yemas.

5.3. Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental consistió en cuatro bloques completos al azar y tres variedades (CT115, King grass y OM22). El bloqueo se dispuso en cuatro cuadrantes desde el centro del terreno de acuerdo con una ligera pendiente hacia el Este y hacia el Norte, dado que dicha pendiente infringe cambios en la distribución de la humedad y la fertilidad del suelo. La unidad experimental fue de 6 surcos de 8 m, separados a 0.6 m. Hubo una separación de 2 m entre parcelas. La parcela útil estuvo representada por los 4 surcos centrales en 6 m de longitud, lo que corresponde a 24 m lineales. La fertilización se ajustó a una sola dosis a los 45 días de edad con 60 y 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno y fósforo, usando 130.5 kg de fosfato di-amónico (NH₄)₂HPO₄ y 35.4 kg de urea CO(NH₂)₂. El cultivo dependió por entero de la lluvia de temporal durante el establecimiento.

5.4. Mediciones

Para la estimación del crecimiento, las mediciones se llevaron a cabo a los 65, 95, 125 y 155 días después de la plantación. Las variables medidas durante la etapa de crecimiento son: altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm) e interceptación luminosa (%). Para medir la altura de la planta y el diámetro del tallo se tomaron cinco plantas al azar en cada unidad experimental a manera de sub-repeticiones y luego la altura se tomó con un tubo de PVC graduado a 5 m, hasta el dobléz de la penúltima hoja. El diámetro del tallo se midió con un vernier a 25 cm sobre el nivel del suelo, en el centro de un entrenudo. La interceptación luminosa se tomó con un radiómetro lineal en tres posiciones de la parcela. Las lecturas de interceptación luminosa se hicieron al nivel de suelo aproximadamente a la 12:00 h (con la finalidad de estimar la incidencia de los rayos solares en posición lo más perpendicular posible al radiómetro). Para ello se asume que la luz incidente sobre el radiómetro es la que escapa a la interceptación por parte del cultivo y por lo tanto la sombra proyectada sobre la regla corresponde a la radiación interceptada por el forraje.

Las cinco sub-repeticiones obtenidas para altura de planta, diámetro de tallo e interceptación luminosa en cada parcela se promedian para obtener un único dato por parcela o unidad experimental.

Al día 155 se cortó una muestra de 6 m lineales, luego se tomó una sub-muestra de la misma y se separó en hoja, tallo y material muerto. Las muestras se colocaron en bolsas de papel y se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C por 96 h. El tallo se fraccionó en segmentos de 5 cm para un mejor secado,

dado su grosor. Después del secado se obtuvo el peso seco por componente morfológico (hoja, tallo y material muerto). En función al peso de la muestra total y a la proporción de materia seca en esta, se estima el rendimiento de materia seca por unidad de superficie (ton ha^{-1}).

5.5. Análisis de datos y modelo estadístico

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM en el software SAS 9.4 (SAS, 2016). Posteriormente las medias de cada variedad se contrastaron por medio de una prueba de Tukey con significancia de 5 %.

El modelo estadístico se ajustó al diseño experimental de campo, por lo que consistió en un modelo en 4 bloques completos al azar con 3 tratamientos (variedades CT115, King grass y OM22), tal como se expresa a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : Valor de la medición en la variedad i y en el bloque j .

μ : Media general de la variable.

τ_i : Efecto atribuido a la i -ésima variedad, donde $i = 1, 2$ y 3 .

β_j : Efecto atribuido al j -ésimo bloque, donde $j = 1, 2, 3$ y 4 .

ε_{ij} : Efecto atribuido a cada medición en la variedad i y bloque j .

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables de crecimiento

Los datos de seguimiento mensual de las variables altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm) e intercepción luminosa (%) entre los 65 y los 155 días de edad, para las tres variedades evaluadas de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, son presentados en el Cuadro 2. Para facilitar el análisis visual del crecimiento, la misma información es presentada en la Figura 2. No se reflejaron diferencias entre variedades en la altura de planta a los 95 o 125 días; como tampoco aparecieron diferencias en la intercepción luminosa a partir de los 95 días ($P>0.05$).

Cuadro 2. Altura de planta, diámetro de tallo e intercepción luminosa de los 65 a los 155 días de edad en tres variedades de *Cenchrus purpureus* durante su ciclo de establecimiento en el trópico húmedo mexicano.

Variable	Variedad	Edad (días)			
		65	95	125	155
Altura (cm)	CT115	150 ^a	220	260	290 ^b
	KING	120 ^b	217	276	330 ^b
	OM22	100 ^b	198	300	445 ^a
	Error estándar	7	7	15	10
Diámetro de tallo (mm)	CT115	12.3	13.2 ^b	12.7 ^b	13.4 ^b
	KING	12.1	14.7 ^b	13.3 ^b	13.6 ^b
	OM22	11.9	19.4 ^a	17.4 ^a	17.9 ^a
	Error estándar	4	4	5	4
Intercepción Luminosa (%)	CT115	69 ^a	83	91	91
	KING	56 ^b	83	91	89
	OM22	48 ^c	85	88	90
	Error estándar	3.1	2.2	2.0	2.7

^{a,b}: Medias en la misma columna con diferente literal son diferentes ($P<0.05$).

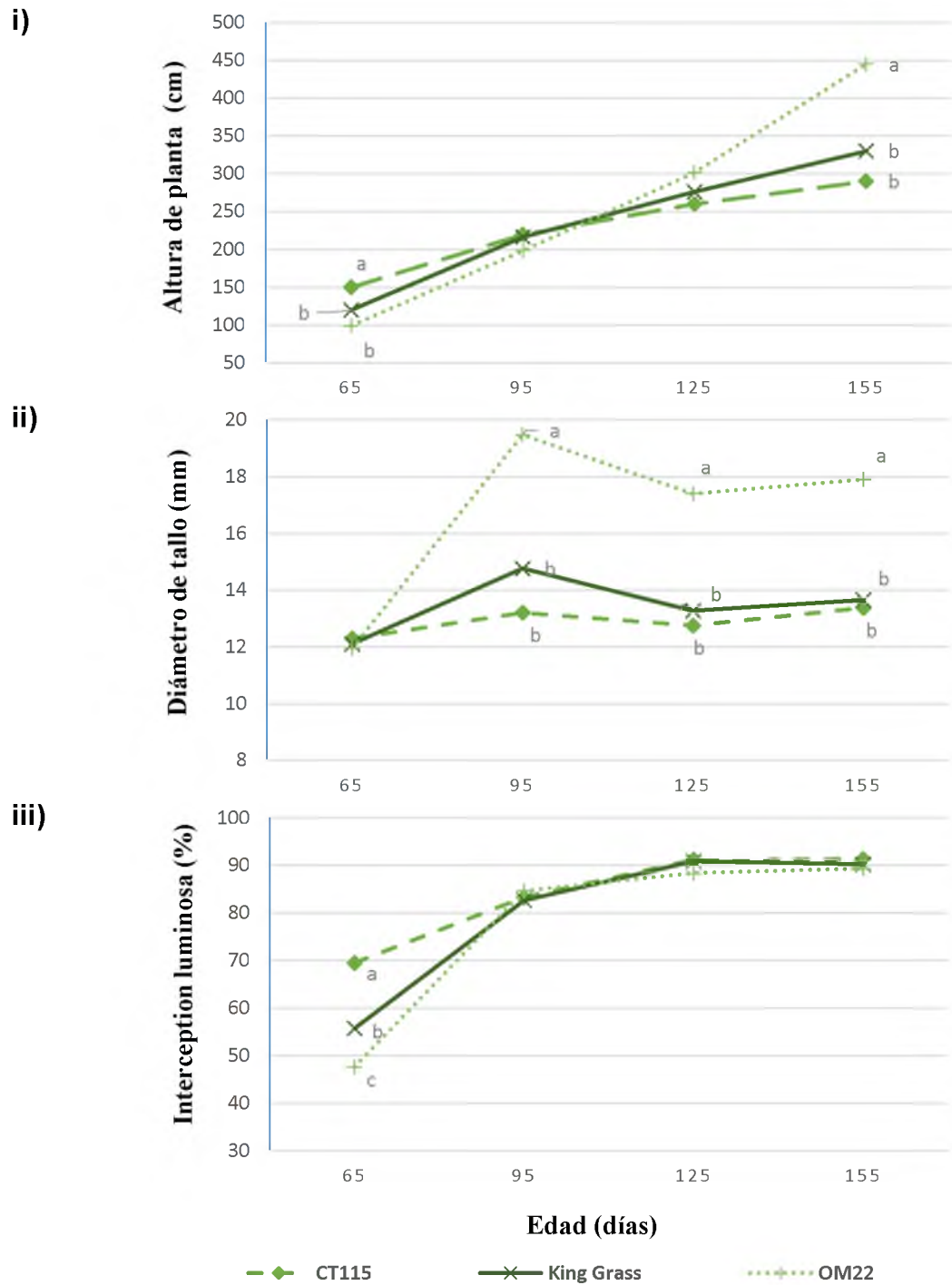


Figura 2. Altura de planta (i), diámetro de tallo (ii) e intercepción luminosa (iii) de los 65 a los 155 días de edad en tres variedades de *Cenchrus purpureus* durante su ciclo de establecimiento en el trópico húmedo mexicano.

Marcadores con diferente literal dentro de la misma edad implican diferencias entre variedades

6.1.1. Altura de planta

La altura de cada variedad de los 65 a los 155 días se presenta en la Figura 2 (i). En este trabajo, la altura de OM22 y CT115 mostró una tendencia contraria a los 65 días, respecto a los 155 días de edad. El cultivar CT115 presentó mayor altura que la variedad OM22 a los 65 días de edad; mientras que al día 155 OM22 tuvo mayor altura que CT115. La razón de que la que la variedad y la edad interactúen para la variable altura entre OM22 y CT115 entre los 65 y 155 días, es debida a la longitud de los entrenudos superiores en ambas. La variedad CT115 registra una longitud progresivamente menor en sus entrenudos después de los 70 días de edad (que es la característica por la que se seleccionó originalmente); mientras que OM22 tiende a florecer precozmente, según nuestras propias observaciones, lo cual implica que sus entrenudos superiores son alargados y delgados (lo que es típico de una gramínea en reproducción).

La altura a los 155 días osciló entre 290 y 445 cm en el presente trabajo; así mismo, esta fue monótonamente creciente al verificar el cambio entre cualquier par de fechas sucesivas de corte. A pesar de la obviedad de la asociación positiva entre el cambio de altura y la edad, un estudio realizado en Yucatán con pasto morado (*P. purpureum*) reporta una altura muy similar a los 90, 105 y 120 días de edad; correspondiendo a 188, 201 y 204 cm, respectivamente (Madera *et al.*, 2013).

6.1.2. Diámetro de tallo

El diámetro de tallo registrado mensualmente entre los 65 y 155 días se presenta en la Figura 2 (ii). El diámetro de tallo de las variedades CT115 osciló entre 12 y 14.5 mm entre los 95 y 155 días; mientras que OM22 presentó un tallo mayor a 17 mm (Cuadro 2 & Figura 2 ii). La variación en el diámetro de tallo refleja los estados de madurez de este: Por ejemplo, el tallo medido durante los primeros 30 días reflejaría la dimensión transversal del paquete de hojas que envuelven al culmo aun en formación. En una investigación realizada en Ecuador se encontró un diámetro de tallos de 4.4, 8.1 y 14.5 mm a los 80, 90 y 110 días de edad, respectivamente, para el cultivar Maralfalfa (Guamanquispe, 2012). El diámetro de tallos a los 110 días es similar al obtenido en este trabajo a los 95 días para las variedades King grass y CT115.

En particular, OM22 desarrolla un tallo más grueso que las variedades King grass y CT115 de los 95 a los 155. Tal vez un mayor grosor de tallo y una mayor altura a los 155 días estén relacionadas con una menor densidad de población, la que sucede en respuesta a la presencia en esta variedad de un mayor largo del entrenudo. El mayor largo de entrenudo tiene una relación directa con la densidad en el ciclo de establecimiento debido a que la plantación se hace colocando tallos completos horizontalmente sobre el surco; donde, al tener entrenudos más largos posee un menor número de yemas axilares para nacimiento de plantas. Con respecto a los cultivares CT115 y King grass no hubo diferencias para a ninguna de las tres edades evaluadas.

En Cuba, al medir el diámetro de tallo en el cuarto entrenudo basal en las variedades OM22 y King grass en dos cortes sucesivos a cada 90 días de edad, se registraron 25 y 12 mm para el primer corte, y 23 y 16 mm para el segundo corte en OM22 y King grass, respectivamente. No obstante, no se registraron diferencias estadísticas entre cortes ni variedades (Miranda *et al.*, 2012). El grosor de tallo registrado en ese trabajo supera a todos los aquí reportados; uno de los factores que explican esta discrepancia es la forma de medición del diámetro y la posición en que se mide. En el caso de este trabajo el diámetro se registró como la dimensión transversal menor al girar el vernier sobre el mismo punto, dado que el tallo de *C. purpureus* es ligeramente elíptico.

6.1.3. Intercepción luminosa

La intercepción luminosa alcanzada por el dosel es presentada en la Figura 2 (iii). La intercepción luminosa (en %), al igual que la altura de planta, resultaron mayores para CT115 que para OM22 al día 65. A esta edad, la mayor intercepción luminosa en CT115 coincide con una mayor altura de planta. Más a mayores edades la intercepción luminosa no difiere entre variedades, aun cuando el OM22 alcanza una altura 110 cm por encima de King grass y 150 cm más que el CT115. De acuerdo con esto, CT115 presenta mayor precocidad durante el ciclo de establecimiento.

En Veracruz, México, se ha reportado una intercepción luminosa de 63, 88, 93 y 96 % para el cultivar Maralfalfa a los 61, 90, 121 y 150 días de edad (Calzada- Marín *et al.*, 2014); resultados que aunque similares a los nuestros respecto a que el pasto no intercepta toda la luz disponible, difieren en la

intercepción final lograda. La diferencia al respecto radica esencialmente en una mayor densidad de siembra en el estudio referido.

6.2. Rendimiento de forraje a los 155 días

Por convención, todo rendimiento mencionado en este documento es expresado en materia seca; las unidades se ajustan a ton ha^{-1} para facilitar la comparación con estudios previos. El rendimiento total de forraje y el rendimiento por componente morfológico a los 155 días (en ton ha^{-1} de materia seca), así como la relación hoja/tallo, se muestran en el Cuadro 2. Tanto el rendimiento total como el rendimiento en tallo a los 155 días fueron mayores en las variedades CT115 y OM22 que en King grass. De hecho, la diferencia en el rendimiento total fue de 4.7 ton ha^{-1} y la diferencia en el rendimiento de tallo fue de 3.2 ton ha^{-1} . De acuerdo con esto, el 70% de la ventaja en el rendimiento total en OM22 y CT115 se debe a que presentan un mayor rendimiento de tallo que el King grass. No obstante, el rendimiento en hoja fue superior para el cv. CT115 y en consecuencia este cultivar mostró mayor relación hoja/tallo en comparación con el OM22.

En el presente estudio CT115 y OM22 presentaron mayor rendimiento de forraje que King grass durante el establecimiento. En contraste, Ramos *et al.* (2012) reportan que OM22 tuvo mayor producción que King grass y CT115 bajo condiciones de riego y alta fertilización (157 , 135 y 92 ton ha^{-1} respectivamente; al parecer en materia verde, dado que no lo especifica el estudio).

Cuadro 3. Rendimiento total y por componente morfológico (materia seca) a los 155 días en tres variedades de *Cenchrus purpureus* durante su primer ciclo de producción en el trópico húmedo mexicano.

Variedad	Rendimiento (ton ha ⁻¹)				Relación hoja/tallo
	Total	Hoja	Tallo	Material muerto	
CT115	22.7 ^a	4.67 ^a	15.2 ^a	2.8 ^a	0.31 ^a
King grass	18.0 ^b	3.34 ^b	11.8 ^b	2.8 ^a	0.28 ^{ab}
OM22	22.7 ^a	3.78 ^b	15.0 ^a	2.3 ^b	0.25 ^b
Media	20.6	3.9	14	2.7	0.28
EE	1.1	0.3	0.7	0.2	0.1
R ²	0.85	0.85	0.9	0.79	0.8

^{a,b} Medias en la misma columna con diferente literal son diferentes (P<0.05). EE: Error estándar.

Por otra parte, Araya y Boschini (2005) reportan para King grass y Taiwán, un rendimiento de 7.3 y 5.9 ton ha⁻¹ a los 70 días, así como de 25 y 22 ton ha⁻¹ a los 140 días. En un estudio llevado a cabo en el mismo sitio experimental donde se realizó nuestro experimento, se encontraron rendimientos de 35 ton ha⁻¹ a los 151 días de edad para el cultivar Maralfalfa (Calzada-Marin *et al.*, 2014). Los resultados de los dos estudios mencionados en este párrafo son similares a los encontrados en nuestra investigación.

6.3. Relación hoja/tallo

El cultivar CT115 mostro mayor relación hoja/tallo a los 155 días; este resultado soporta la información ya revisada en la literatura. La alta relación hoja/tallo y la baja altura de este cultivar, asociada al acortamiento de los entrenudos superiores, le confieren potencial de utilización en pastoreo. Una

mayor relación hoja/tallo representa una mayor calidad nutricional, dado que la hoja contiene mayor contenido de proteína y carbohidratos solubles. La suma de las mencionadas ventajas le convierte en un candidato ideal para los sistemas de pastoreo o corte en la zona de estudio.

El rendimiento en hoja y la relación hoja/tallo encontrados en este trabajo son bajos; no obstante, son congruentes con la edad del cultivo. Datos similares son encontrados para el cultivar Maralfalfa a los 151 días en un estudio previo realizado en el mismo sitio experimental donde se llevó a cabo el presente estudio (Calzada-Marín *et al.*, 2014); en tal estudio se reportó una relación de 0.3 a los 151 días. Por otro lado, en Costa Rica se registraron valores de 0.33, 0.44, 0.36, 0.28 y 1.3 a los 140 días para las variedades Gigante, Taiwán, Camerún, King grass y Enano, respectivamente (Araya y Boschini, 2005). La relación hoja/tallo encontrada para King grass en la presente investigación coincide exactamente con la relación hoja/tallo encontrada para la misma variedad en el mencionado trabajo. En otro estudio se reporta una disminución de 1.34 a 1.31 en la relación hoja/tallo de los 60 a 90 días de edad (Chacón y Vargas, 2009).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mientras CT115 muestra una mayor precocidad al principio del periodo de establecimiento, en virtud de su mayor altura e intercepción luminosa, OM22 es una variedad de ciclo más corto, pues presenta floración al día 155, así como una mayor altura en respuesta a la floración misma y un mayor diámetro de tallo desde el día 95.

CT115 presentó mayor rendimiento en hoja que King grass y OM22; y mayor relación hoja/tallo que King grass. Mientras que King grass mostró menor rendimiento de tallo que las otras dos, asociado a un menor rendimiento de forraje que estas.

Las variedades de origen Cubano, CT115 y OM22, presentaron mayor rendimiento a los 155 días que la variedad King grass durante el ciclo de establecimiento en el trópico húmedo mexicano.

Con base en un mayor rendimiento de hoja, un rendimiento mayor al del King grass, y una mayor relación hoja/tallo, se propone a la variedad CT115 como la alternativa más viable para manejarla en pastoreo, de entre las tres variedades evaluadas. Un mayor rendimiento de hoja y una mayor relación hoja tallo significarán a la par una mayor concentración de nutrientes, de acuerdo con estudios previos. Esta conclusión viene a reafirmar la importancia de *Cenchrus purpureus* CT115 en la producción animal, como se ha propuesto en la literatura.

8. LITERATURA CITADA

- Andrade, A.C., Fonseca, D.M., Lopes, R. dos S., Nascimento Júnior, D., Cecon, P.R., Queiroz, D.S., Pereira, D.H., Reis, S.T., 2005. Análise de crescimento do capim-elefante “Napier” adubado e irrigado. *Ciência e Agrotecnologia* 29, 415–423. doi:10.1590/S1413-70542005000200020
- Araya, M.M., Boschini, F.C., 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta central de Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 16, 37–43.
- Calzada-Marin, J.M., Enriquez-Quiroz, J.F., Hernandez-Garay, A., Ortega-Jimenez, E., Mendoza-Pedroza, S.I., 2014. Analisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 5, 247–260.
- Capanema, E.A., Balakshin, M.Y., Kadla, J.F., 2004. A Comprehensive Approach for Quantitative Lignin Characterization by NMR Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 52, 1850–1860.
- Chacón, A., Vargas, F., 2009. Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv . King grass a tres edades de rebrote. *Agron. Mesoam.* 20, 399–408.
- Chemisquy, M.A., Giussani, L.M., Scataglini, M.A., Kellogg, E.A., Morrone, O., 2010. Phylogenetic studies favour the unification of *Pennisetum*, *Cenchrus* and *Odontelytrum* (*Poaceae*): A combined nuclear, plastid and morphological analysis, and nomenclatural combinations in *Cenchrus*. *Ann. Bot.* 106, 107–130.
- Clavero, T., Caraballo, L., Gonzalez, R., 2000. Respuesta del pasto elefante enano *Pennisetum purpureum* cv Mott . al pastoreo . Produccion de biomasa y características de crecimiento. *Rev. Fac. Agron.* 17, 71–77.
- FAO, 2008. Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas (LADA, por sus siglas en inglés). *Informe del Programa de Naciones Unidas para el Medio*

Ambiente (PNUMA) e Información Mundial del Suelo (ISRIC).

- Faría, J.R., González, B., Faría, M.J., 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre el rendimiento total y distribución en hoja, tallo y material muerto de la materia seca del pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv. Mott). *Rev. Fac. Agron.* 14, 417–425.
- Fernández-Baca, S., Rafael de Lucia, S., Lara, L.C., 1986. Producción de leche y carne con pastos tropicales. *Rev. Mund. Zootec.* 58, 23–35.
- Fortes, D., Herrera, R.S., García, M., Cruz, A.M., Romero, A., 2012. Composición química de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 46, 321–329.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Universidad Nacional Autónoma de México.*
- González, I., Betancourt, M., Fuenmayor, A., Lugo, M., 2011. Producción y composición química de forrajes de dos especies de pasto Elefante (*Pennisetum* sp.) en el Noroccidente de Venezuela. *Zootec. Trop.* 29, 103–112.
- Guamanquispe, B.M.E., 2012. Evaluación de la productividad del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp), mediante dos tipos de multiplicación asexual y dos abonos orgánicos en Cunchibamba, *Universidad Estatal de Bolívar*, Tesis . Ecuador, pp. 1–166.
- Hernández, M., Guenni, O., 2008. Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por *Samanea saman* (Jacq). *Zootec. Trop.* 26, 439–453.
- Herrera, R., 1997. El cultivo de tejidos in vitro aplicado a los pastos en Cuba. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 31, 113–118.
- Herrera, R.S., 1990. Introducción y características botánicas del King grass, in: *King Grass, Plantación, Establecimiento y Manejo en Cuba.* Cuba, pp. 1–10.
- Loch, D.S., Ferguson, J.E., 1999. Tropical and subtropical forage seed

- production: an overview, in: Loch, D.S., Ferguson, J.E. (Ed.), *Forage Seed Production. Tropical and Subtropical Species*, CABI, Wallingford, pp. 1–40.
- Lok, S., Fraga, S., Noda, A., 2013. Bancos de biomasa con *Pennisetum purpureum* cv. CT-115. Su efecto en el almacenamiento de carbono en el suelo. *Rev. Cuba. Cienc. Agrícola* 47, 301–304.
- Madakadze, I.C., Masamvu, T.M., Radiotis, T., Li, J., Smith, D.L., 2010. Evaluation of pulp and paper making characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *African J. Environ. Sci. Technol.* 4, 465–470.
- Madera, N.B., Ortíz, B., Bacab, H.M., Magaña, H., 2013. Influencia de la edad de corte del pasto morado. *Rev. Investig. y Difus. Cient. Agropecu.* 17, 41–52.
- Márquez, F., Sánchez, J., Urbano, D., 2007. Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). 1. Rendimiento y contenido de proteína. *Zootec. Trop.* 25, 253–259.
- Martínez, R.O., 2001. Banco de biomasa para la sostenibilidad de la ganadería tropical. in: *Estrategias de alimentación para el ganado bovino en el trópico*. FIRA (Ed.), Banco de Mexico. Mexico, p. 125.
- Martínez, R.O., 1999. Estrategias de alimentación para ganado bovino en el trópico. Memoria del curso de Tantakín, *Centro de Desarrollo Tecnológico, México*.
- Martínez, R.O., Herrera, R.S., 2006. Empleo del Cuba CT-115 para solucionar el deficit de alimentos durante la época seca, in: *Pennisetum purpureum para la Ganadería Tropical*. pp. 221–242.
- Martínez, R.O., Herrera, R.S., Cruz, R., Torres, V., 1996. Cultivo de tejidos y fitotecnia de las mutaciones en pastos tropicales. *Pennisetum purpureum*: Otro ejemplo para la obtención de nuevos clones. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 30, 1–11.

- Martínez, R.O., Tuero, R., Torres, V., Herrera, R.S., 2010. Modelos de acumulación de biomasa y calidad en las variedades de hierba elefante , Cuba CT-169 , OM – 22 y king grass durante la estación lluviosa en el occidente de Cuba. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 44, 189–193.
- Miranda, L.M., Ayala, Y.J.R., Diez, N.J., 2012. Evaluación agroproductiva del cuba OM-22 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en un suelo pardo grisáceo ócrico en el período poco lluvioso en las tunas. *Obs. la Econ. Latinoam.* 127, 1–13.
- Monzote, M., Carballo, H., Martínez, R.O., Cruz, R., Herrera, R.S., 1989. Una nota acerca del número de cromosomas y las características morfológicas, productivas y bioquímicas del King grass, Boletín del *Instituto de Ciencia Animal*, La Habana, Cuba.
- Muldon, D., Pearson, C., 1979. The hybrid between *Pennisetum americanum* and *Pennisetum purpureum*. *Herb. Abs.* 49.
- Nava, J. J., Gutiérrez, E., Herrera, R.S., Zavala, F., Olivares, E., Treviño, J.E., Bernal, H., Valdés, C.G.S., 2013. Rendimiento y composición química del pasto CT-115 (*Pennisetum purpureum*) establecido a dos densidades y en dos fechas de siembra en Marín , Nuevo León , México. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 47, 419–424.
- Parsons, A.J., Johnson, I.R., Harvey, A., 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass Forage Sci.* 43, 49–59.
- Passos, L.E., Vidigal, M.C., Verneque, R.S., 2001. Initial biomass production and soluble carbohydrate partitioning of contrasting elephantgrass genotypes. *XIX International Grasslands Congress* 12–14.
- Pereira, A.V., Paula, F.R., Passos, L.P., Freitas, V.P., R, V., Barra, R.B., Silva, P.E., 2000. Variação da qualidade de folhas em cultivares de capim-elefante

- (*Pennisetum purpureum*) e híbridos de capim-elefante x milho (P. purpureum x P. glaucum), em função da idade da planta. *Ciências e Agrotecnología* 24, 490–499.
- Pereira, A. Vander, Machado, M.A., Azevedo, A.L.S., Do Nascimento, C.S., Campos, A.L., Léo, F.J.D.S., 2008. Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 1216–1221.
- Pirela, M.F., 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales. *Manual Ganadero de Doble Propósito*.
- Ramírez, J.L., Verdecia, D., Leonard, I., 2008. Rendimiento y caracterización química del *Pennisetum* Cuba CT 169 en un suelo pluvisol. *Rev. Electron. Veterinaria* 9, 1–10.
- Ramos, T., Canul, S.J., Duarte, V.F., 2012. Producción de tres variedades de *Pennisetum purpureum* fertilizadas con dos diferentes fuentes nitrogenadas en Yucatán, México. *Bióciencias* 2, 60–68.
- Ramos, T., O, S., Victoria, G., Arturo, C., Sandoval, G., José, J., 2015. Temporada, fertilización y rendimiento de variedades de *Pennisetum purpureum*. *Agrociencia* 49, 837–844.
- SAS. Institute Inc. 2017. SAS/STAT® 9.3 User's guide https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63962/HTML/default/viewer.htm#statug_glm_sect008.htm
- Valdez, G., Alvarez, J.L.J., Rodríguez, V., Martínez, O., Orta, S., A Molina, 2001. Alimentación, in: *Sociedad Cubana de Criadores de Ganado de Carne Y Doble Propósito ACPA, SOCCA*.
- Valenciega, D., Chongo, B., Herrera, R., Torres, V., Oramas, A., Herrera, M., 2009. Efecto de la edad de rebrote en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de *Pennisetum purpureum* cv. CUBA-CT 115. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 43,

81–84.

Valenciega, D., Chongo, B., la O, O., 2001. Caracterización del clon *Pennisetum Cuba* CT-115: composición química y degradabilidad ruminal de la materia seca. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 35, 349–354.

Vázquez, N.J.N., Solano, V.J.J., Reyes, V.R., Aguirre, F.V., Bahena, G.M.E., Oliver, G.R., Granjeno, C.A.E., Orihuela, T.A., Flores, P.F.I., 2009. Efecto de enmiendas orgánicas y fertilizante químico en la producción de pasto Taiwán *Pennisetum purpureum* Schumach. *Investig. Agropecu.* 6, 205–218.

9. ANEXO

Proyección de la cantidad de animales a mantenerse en base a la utilización de pasto Elefante

La cantidad de alimento que consume un animal (en este caso pasto) está directamente relacionada con su comportamiento productivo. Martínez (1999) propone que al programar la asignación de forraje, la carga instantánea se debe ajustar a la disponibilidad. Además, se debe considerar un 60% de aprovechamiento y una asignación de 14 kg de forraje por unidad animal, en base seca.

En Costa Rica se evaluaron las variedades King grass y Taiwán a los 88 días, encontrando un rendimiento de 9.0 y 9.2 ton ha⁻¹, respectivamente (Araya y Bochini, 2005). Para el sitio donde se realizó el presente trabajo experimental el pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.), ha reportado un rendimiento de 10 ton ha⁻¹ a los 77 días de edad (Calzada Marín, 2014).

La proyección de utilización toma como base los parámetros mencionados en el párrafo anterior, ya que en la evaluación realizada en esta tesis se cuenta solo con el rendimiento a los 155 días. La elección de la edad de cosecha por pastoreo responde a que la literatura marca los 70 días como una edad apropiada para aprovechamiento (Chacón y Vargas, 2009).

Se considera que la variedad CT115 es una de las mejores alternativas para pastoreo, dado que todas las hojas verdes y la parte superior de los tallos son

consumidos en un evento de pastoreo; mientras que el rechazo (40 a 50 %) consiste en tallos gruesos y hojas secas (Martínez, 1999).

Se considera que es factible hacer alrededor de cuatro cosechas al año, bajo un esquema de producción continua de forraje y con corte o pastoreo a cada 77 días. Así, se tendrían 308 días considerados para el cálculo de la cantidad de animales o unidades animal que es posible mantener por unidad de superficie.

La proyección considera únicamente la cantidad de animales que podrían ser mantenidos por hectárea durante esos 308 días con base en la producción teóricamente lograda en 308 días de crecimiento. El sistema de alimentación, la carga instantánea y la rotación de potreros serían tema de un caso práctico con superficie y número de cabezas conocido. En el Cuadro A1 se propone una carga instantánea para *C. purpureus* de acuerdo con los datos de Calzada-Marín (2014).

Cuadro A1. Ajuste de carga animal por hectárea a los 77 días en el pasto Maralfalfa en el trópico húmedo mexicano.

Edad	Variedad	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Carga instantánea (UA ha ⁻¹)	Carga animal (UA año ⁻¹)
77	Maralfalfa	10,000	367.6	1.0

Calzada-Marín, 2014

Asignación de forraje. Se considera una asignación de materia seca del 6% del peso vivo del animal. Tal asignación equivale al doble de las necesidades de forraje del animal, que según la literatura corresponden a un 3% del peso vivo. La asignación propuesta considera tanto el consumo como el rechazo.

Aplicando este principio tenemos que con la producción de forraje registrada a los 155 días se tiene una carga animal instantánea de 835, 662 y 835; así como una carga animal de 2.3, 1.8 y 2.3 UA año⁻¹ (Cuadro A2) para las variedades CT115, King grass y OM22, respectivamente. El resultado parece poco atractivo a primera vista; pero esto se debe a que se trata de un forraje maduro y a que la cosecha 155 días implica un ciclo de crecimiento largo, con más tallo que hoja. No obstante, el pasto se dejó crecer hasta 155 días para lograr un buen establecimiento y para evaluar su crecimiento. De igual manera, se proyectó la utilización de forraje con base en los datos de Calzada- Marín (2014) para el mismo sitio experimental y con una asignación de forraje de 27.2 kg UA⁻¹ (materia seca).

Se pretende aplicar ciclos cortos de corte o pastoreo para maximizar la cosecha de forraje por unidad de área, ya que se tendría un menor desperdicio por pisoteo y deyecciones del animal.

Cuadro A2. Ajuste de carga animal por hectárea a los 155 días en tres variedades de *Cenchrus purpureus* durante su primer ciclo de producción en el trópico húmedo mexicano.

Variedad	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Carga instantánea (UA ha ⁻¹)	Carga animal (UA año ⁻¹)
CT115	22,700	835	2.3
King grass	18,000	662	1.8
OM22	22,700	835	2.3