



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

---

CAMPUS LOMA BONITA

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA DENSIDAD DE  
*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone DURANTE TRES  
AÑOS EN EL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN ZOOTECNIA

PRESENTA:

JUAN JOSÉ CASTRO GARCÍA

DIRECTOR:

DR. JOSÉ ANGEL RUEDA BARRIENTOS

LOMA BONITA, OAXACA; 2017.



**UNIVERSIDAD DEL PAPAŁOAPAN  
CAMPUS LOMA BONITA**

LA PRESENTE TESIS TITULADA "EVALUACI3N DEL RENDIMIENTO Y LA DENSIDAD DE *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone DURANTE TRES AÑOS EN EL TR3PICO H3MEDO MEXICANO" PRESENTADA POR EL C. JUAN JOS3 CASTRO GARCÍA, 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. JOS3 ANGEŁ RUEDA BARRIENTOS  
DIRECTOR**

---

**M.C. NICOLÁS VAL3NZUELA JIM3NEZ  
REVISOR**

---

**DR. SERGIO RAMIREZ ORDOÑES  
REVISOR**

---

**M.C. CARLOS IVAN MEDEL CONTRERAS  
REVISOR**

## DEDICATORIA

**A mi familia** como un testimonio de gratitud y eterno reconocimiento por el apoyo que siempre me han brindado para terminar mi carrera profesional, siendo para mí la mejor de las herencias. Con admiración y respeto.

**A mis padres**, que con tanto sacrificio contribuyeron a mi más grande sueño. A mi madre **Esperanza García M.**, el ser más maravilloso del mundo, gracias por sus incesantes bendiciones a mi partida y retorno, siempre con los brazos abiertos; por el apoyo incondicional, por su cariño y comprensión en la cuna y en la vida. A mi padre **José Castro S.**, un hombre grande y maravilloso que siempre he admirado. Por el tiempo que les robe, muchas gracias.

**A mi esposa e hijo**, con mucho cariño, **Graciela García M.** y **José Anders** porque su presencia es y seguirá siendo el motivo que impulsa a lograr mis metas. Por su comprensión y tolerancia, gracias.

**A mis abuelos**, gracias por el apoyo y sus consejos llenos de experiencia. Javier (+) y Alberta, con cariño.

**A mis hermanos**, Mercedes, Raúl, Ericel, por el apoyo que me brindaron durante mi carrera, la confianza que me tuvieron aun en momentos difíciles. En especial a Albano, quien para mí es como mi padre pues fue la pieza principal para que yo lograra este objetivo, como un testimonio de infinito aprecio y eterno agradecimiento por el apoyo moral y económico que siempre me brindó.

**A mis tíos**, Elvira y Federico como un pequeño testimonio por el gran apoyo que me brindaron durante este tiempo, gracias.

## AGRADECIMIENTOS

**A la Universidad del Papaloapan** *Campus* Loma Bonita, por haberme abierto sus puertas y darme la oportunidad de formarme en ella.

**Al Dr. José A. Rueda**, por dedicar su valioso tiempo en orientarme en la culminación de este modesto ejercicio del método científico.

**A mis revisores**, M.C. **Carlos Iván Medel** Contreras, M.C. **Nicolás Valenzuela** Jiménez y Dr. **Sergio Ramírez Ordoñez**, por sus aportaciones a la escritura este trabajo.

**A todos mis maestros**, ya que de una alguna manera me ayudaron a terminar mis estudios, gracias por sus conocimientos y consejos.

**A mis primos**, Irene, Nancy, Brenda, Elia, Evis, Iván, Verónica y a su esposo Pablo Maldonado, quienes también formaron parte de este logro, nunca me dejaron de alentar, me brindaron su confianza, imaginándome grande siendo pequeño, les agradezco su labor y su infinita dedicación.

**A mis sobrinos**, Litzy, Karlita, Javiercito, Bryan, quienes alegran mis días y me inundan de cariño.

**A mis amigos:** Jovani, Adán, Sergio, Jorge, Luis, José L., Nicolás, Miranda, Jesús, Diana, Andrés, Iván y Fanny; con quienes compartí experiencias extraordinarias. Les deseo suerte y éxito.

## 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. HIPOTESIS.....	3
4. REVISION DE LITERATURA.....	4
4.1. Historia sobre <i>Cenchrus purpureus</i> .....	4
4.2. Clasificación taxonómica de <i>Cenchrus purpureus</i> .....	4
4.3. Origen y distribución.....	4
4.4. Introducción y dispersión de <i>Cenchrus purpureus</i> en América.....	5
4.5. Descripción botánica.....	5
4.6. Características de la inflorescencia.....	6
4.7. Descripción agronómica.....	7
4.8. Necesidades climáticas.....	8
4.9. Requerimientos edáficos.....	8
4.10. Métodos de siembra.....	8
4.11. Rendimiento de forraje.....	9
4.12. Densidad y rendimiento.....	11
4.13. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento.....	12
4.14. Composición química y calidad nutricional.....	13
4.15. Usos actuales de <i>C. purpureus</i> .....	16
4.16. Usos de <i>C. purpureus</i> en la ganadería.....	16
5. MATERIALES Y METODOS.....	18
5.1. Localización.....	18

5.2.	Condiciones ambientales .....	18
5.3.	Condiciones edáficas .....	19
5.4.	Variedades evaluadas .....	19
5.5.	Plantación .....	19
5.6.	Periodo experimental .....	20
5.7.	Fertilización .....	20
5.8.	Cosecha .....	21
5.9.	Variables evaluadas .....	21
5.10.	Análisis de datos .....	22
6.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>23</b>
6.1.	Rendimiento de forraje .....	23
6.1.1.	Rendimiento por variedad .....	25
6.1.2.	Rendimiento por año .....	26
6.1.3.	Interacción año por variedad .....	28
6.2.	Densidad de tallos .....	30
6.2.1.	Diferencias en densidad entre años 2013 y 2014 .....	30
6.2.2.	Diferencias entre variedades .....	31
6.2.3.	Interacción año por variedad .....	32
6.2.4.	Asociación entre el rendimiento y la densidad .....	32
7.	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
8.	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>35</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Rendimiento de forraje (materia seca) en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, a 185 días durante la estación húmeda de tres años. **23**
- Cuadro 2.** Densidad de tallos aéreos y basales en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* a 185 días durante los años 2013 y 2014. **31**

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitación y temperatura durante el periodo experimental en comparación con datos históricos de las mismas variables. **18**
- Figura 2.** Rendimiento de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* a 185 días y durante la estación húmeda de tres años. **29**

## RESUMEN

El experimento se llevó a cabo en el Sitio Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas Pecuarias (INIFAP) en ciudad Isla, Ver; a 18°06' LN, 95°32' LO y a 65 msnm. El objetivo fue estimar y comparar el rendimiento y la densidad a los 185 días en ocho variedades de *C. purpureus* durante la estación húmeda de los años 2013 y 2014. Las variedades evaluadas fueron Camerún, OM22, King grass, Vruckwona, CT115, Taiwán, Caña Africana y Roxo. Para estimar el rendimiento se cortó y pesó una muestra de 2 m en un surco central y se extrajo una sub-muestra de 2 plantas, la sub-muestra se dividió en hoja, tallo y material muerto y se secó a 65° por 96 h. La densidad se midió como tallos por metro lineal y se transformó a tallos por metro cuadrado. Datos de rendimiento del año 2012 fueron retomados de un estudio previo. Se registraron diferencias en el rendimiento entre los años 2012, 2013 y 2014 (21.1, 38.6 y 32.2 ton ha<sup>-1</sup>; P<0.05). Taiwán presentó mayor rendimiento que OM22, CT115 y Roxo; más no difirió de King grass, Caña Africana, Vruckwona y Camerún (P<0.05). Roxo mostró menor rendimiento que King grass, Caña Africana, Vruckwona y Taiwán (P<0.05). Una mayor densidad de tallos, tanto aéreos como basales, se registró para 2013 en comparación con 2014 (P<0.01). Durante el año 2013 se registró la mayor densidad y el mayor rendimiento. Además se encontró una correlación de 0.25 entre el rendimiento y la densidad de tallos basales para los años 2013 y 2014 (R<sup>2</sup>=0.5; P<0.05).

**Palabras clave:** Densidad de tallos, Rendimiento, OM22, *Pennisetum purpureum*.

## ABSTRACT

The experiment was conducted at the Sitio Experimental Papaloapan of the Mexican Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP, from its Spanish acronym) in Isla City, Veracruz, México. The site is located at 18°06' LN, 95°32' LO and 65 masl. The aim was to assess yield and population density at 185 days in eight varieties of *C. purpureus* grass during the humid seasons of the years 2013 and 2014. The assessed varieties were Cameroon, OM22, King grass, Vruckwona, CT115, Taiwan, African Cane and Roxo. Total yield and dry yield by morphological fraction were estimated by taking a fresh sample from 2 m in a central row. A 2-plants sub-sample was dragged from fresh sample, sub-sample was split by morphological fraction and it was dried at 65° for 96 h. Density was measured by counting every tiller in one linear meter of a central row and then it was expressed as the number of tillers per square meter. Yield data for the year 2012 was included from a previous study in order to broad the discussion. Yield differed among years 2012, 2013 y 2014 (21.1, 38.6 y 32.2 ton ha<sup>-1</sup>; P<0.05). Taiwan showed higher yield than OM22, CT115 and Roxo, but did not differ from African Cane, Vruckwona, King grass or Cameroon (P<0.05). Roxo had lower yield than King grass, African Cane, Vruckwona and Taiwan (P<0.05). Both aerial and basal tiller densities were higher for 2013 than those recorded 2014 (P<0.01), concurring with the year of the highest yield. A correlation coefficient of 0.25 between yield and density of basal tillers was recorded during the years 2013 and 2014 (R<sup>2</sup>=0.5; P<0.05).

**Key words:** Tiller density, Yield, OM22, *Pennisetum purpureum*.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción animal del trópico húmedo dependen de la disponibilidad de forraje. No obstante, la oferta de este recurso se reduce drásticamente durante la época seca. En consecuencia, la producción de leche y carne es limitada, lo que eleva el precio de estos productos.

La alta demanda de forraje para la producción pecuaria incita a la búsqueda de nuevas especies y variedades forrajeras como alternativas para mantener la producción deseada, particularmente en la época de menor precipitación.

El pasto elefante, *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, presenta un gran potencial de producción forrajera durante todo el año, por lo que su utilización podría ayudar a cubrir la mayor parte de las necesidades nutricionales de los rumiantes de manera permanente indistintamente de la época, mitigando así el problema de la estacionalidad en la producción de forraje (Martínez y Herrera, 2006). Según Calzada-Marín *et al.* (2014), sólo durante la estación húmeda se obtienen 27 ton ha<sup>-1</sup> para el caso del cv. Maralfalfa en Isla, Veracruz, México.

En el presente trabajo se evaluará la producción de forraje de ocho variedades de *Cenchrus purpureus*: Camerún, Vruckwona, Taiwán, Caña Africana, Roxo, CT115, OM22 y King grass, a los 185 días en el trópico húmedo mexicano para la estación húmeda de los años 2012, 2013 y 2014. Este trabajo pretende generar información que permita recomendar a los ganaderos de locales una alternativa más en la estrategia de alimentación del ganado, lo cual presentaría ventajas importantes en la estación seca.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Estimar y comparar el rendimiento a los 185 días en ocho variedades de pasto elefante, *Cenchrus purpureus*, durante la estación húmeda de los años 2012, 2013 y 2014; así como la densidad de tallos para los años 2013 y 2014. El rendimiento del año 2012 se discute con base en un estudio previo.

### 2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar y comparar el rendimiento a 185 días en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* durante la estación húmeda de los años 2012 a 2014.
- b) Determinar y comparar la densidad a los 185 días en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* durante la estación húmeda de los años 2013 y 2014.

### 3. HIPOTESIS

- a) Se espera que se expresen diferencias en el rendimiento a los 185 días entre los años 2012, 2013 y 2014, en virtud de que el estudio contrasta el año de establecimiento (2012) con dos años en producción (2013 y 2014). Además, se asume que se expresarán diferencias en rendimiento entre variedades debido a que las variedades presentan diversidad tanto en su hábito de crecimiento como en su morfología.
- b) Se espera que se reflejen diferencias en la densidad de *Cenchrus purpureus* a los 185 días entre variedades y entre años (2013 y 2014). Además de las razones expresadas en 3 (a), la variación entre años es consecuencia de las diferencias en precipitación, humedad relativa y temperatura, entre años.

## 4. REVISION DE LITERATURA

### 4.1. Historia sobre *Cenchrus purpureus*

Desde su descubrimiento en 1908 (Kennedy, 1919), *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone ha llamado la atención debido a su altura y a su rápido crecimiento. Esto le ha ganado nombres como Vruckwona “la estrella más brillante”, pasto Elefante y pasto Gigante o King grass, entre otros; nombres que bien podrían ser sinónimos de la misma variedad adoptados en regiones diferentes. En México, una de las variedades más conocidas es llamada Maralfalfa. Este nombre alude a “la reina de las plantas forrajeras” (alfalfa) e intenta conjeturar que *Cenchrus purpureus* podría significar para zonas de baja altitud y alta precipitación lo que la leguminosa ha significado para la ganadería de climas templados.

### 4.2. Clasificación taxonómica de *Cenchrus purpureus*

El pasto elefante, pasto Napier, pasto King grass o Merker (sinónimos) pertenece al reino *Plantae*, división *Tracheophyta*, clase *Magnoliopsida*, orden *Poales*, familia *Poaceae*, género *Cenchrus*, especie *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. Fue conocido hasta 2010 como *Pennisetum purpureum* Schumach. O *Pennisetum polystachyon* (ITIS, 2017).

### 4.3. Origen y distribución

Su zona de origen abarca todo el centro y sur de Africa, desde Guinea y Sierra Leona en el Noroeste, hasta Zimbawe y Malawi en el Sureste. Actualmente se ha naturalizado en buena parte de Oceanía (Australia, Nueva Zelanda e Islas

circundantes), Asia tropical (China, Indonesia, Malasia, Cambodia y Nueva Guinea), América (sur de Estados Unidos, Cuba, México, Salvador, Honduras, Colombia, Perú, y Brasil). El pasto elefante, habita cerca de corrientes, humedales, zonas de inundación, linderos forestales y bordes de carretera. Prefiere zonas de alta humedad de zonas tropicales y subtropicales, además puede encontrarse en las zonas más cálidas de climas templados (Queensland Government, 2017).

#### **4.4. Introducción y dispersión de *Cenchrus purpureus* en América**

El King grass fue introducido al Sur de América por el Dr. Long Ford de la Estación experimental de Tifton, GA, EE.UU.; en 1974 Nestlé® lo introdujo a Chiriquí, Panamá, en donde se clasificó como PI 300-086 y se le conocía como Caña Japonesa. De Panamá se introdujo a Cuba en 1974. En el Instituto de Ciencia Animal Cubano, su siembra y evaluación produjo nuevas variedades (Febles y Herrera, 2006).

#### **4.5. Descripción botánica**

*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone es un pasto perenne de talla alta, forma macollos de 3.5 y hasta 7 m de alto, sus tallos viejos son similares a los del bambú, alcanzando hasta 3 cm de diámetro en su base. Lámina pilosa de 30 a 120 cm de largo, vaina pilosa. Este pasto se dispersa por rizomas cortos, por enraizamiento de los entrenudos inferiores o por el desarrollo de las yemas axilares de tallos caídos (formando un falso estolón). La inflorescencia consiste en una falsa espiga de hasta 3 cm de ancho, usualmente amarilla a café y

ocasionalmente purpura. Su sistema radical puede penetrar hasta 4.5 m de profundidad. Contiene hasta 3 millones de semillas fértiles por cada kilogramo de espiguillas (tropicalforages.info, 2017).

#### **4.6. Características de la inflorescencia**

Mientras que las características asociadas al tallo y a la hoja están sujetos a variaciones ambientales (Febles *et al.*, 2007), las variables asociadas al desarrollo vegetativo no muestran diferencias suficientes para identificar cada variedad (Van de Wouw *et al.*, 1999). Por lo que las características de la inflorescencia podría ser de gran importancia al identificar un cultivar de *C. purpureus*.

Según datos tomados en el sitio experimental donde se llevó a cabo la investigación que es tema del presente documento; algunos de los parámetros medidos en la inflorescencia oscilan en los siguientes rangos: la hoja bandera va de 1.13 a  $2.26 \pm 0.16$  de ancho (CT115 y Caña Africana) y de 22.4 a  $36.0 \pm 2.89$  de largo (Taiwán y Caña Africana); el diámetro del raquis va de 1.3 a  $2.8 \pm 0.16$  (CT115 y Roxo) y el largo del mismo va de 26.4 a  $36.9 \pm 0.76$  (CT115 y Camerún); la longitud de la arista principal alcanza 3.4 cm en OM22 y es 2 a  $2.5 \pm 0.13$  en otras variedades; la longitud del paquete de aristas que rodea la espiguilla va de 0.7 a  $1.35 \pm 0.81$  (Roxo y Vruckwona); el número de florecillas por espiguilla va desde 1.0 en OM22 y Taiwán, a 3.4 en Caña Africana, Vruckwona y CT115, hasta 5.8 en Roxo; finalmente el número de espiguillas por inflorescencia fue de 500

para CT115, de 638 para King grass, 733 para caña africana y 836 para Camerún (Rueda *et al.*, 2015).

#### **4.7. Descripción agronómica**

*Cenchrus purpureus* se siembra usualmente a partir de secciones de tallo, ya sea a manera de estacas o colocando culmos completos de manera horizontal y cubiertos con una delgada capa de tierra. Cuando se siembra por estacas, las yemas germinan una semana después de la plantación y continúan germinando por 40 días. Después comienza el ahijamiento, el cual se mantiene en aumento hasta los dos meses de edad, para luego estabilizarse hasta el momento del corte, donde se presenta un aumento en la respuesta al mismo (Febles y Herrera, 2006).

El pasto elefante es una planta de día corto obligada, con un fotoperiodo crítico de 12 a 13 horas. En Sudafrica florece de Enero a Junio, con cierta variación entre variedades ([tropicalforages.info](http://tropicalforages.info), 2017). En Cuba y México florece entre noviembre y febrero. Durante la floración, detiene su crecimiento vegetativo y ocurre un discreto adelgazamiento de las hojas y los tallos. Puede presentar brotes laterales (tallos reproductivos en el tercio superior de la planta) en número mayor de 10 por planta florecida; el rendimiento generalmente se reduce. La inflorescencia alcanza 23.5 cm de longitud y su semilla botánica es fértil, con 10-18% de germinación (Febles y Herrera, 2006).

#### **4.8. Necesidades climáticas**

Se le encuentra normalmente en áreas cuya precipitación exceda los 1000 mm. Aunque es tolerante a la sequía, requiere de humedad en el suelo para mantener una producción adecuada; no obstante no tolera periodos prolongados de inundación. Su temperatura ideal de crecimiento se encuentra entre los 25 y los 40 °C. Crece desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm (tropicalforages.info, 2017).

#### **4.9. Requerimientos edáficos**

El pasto Elefante crece en diversos tipos de suelo, mientras presenten una fertilidad moderada o alta, preferentemente bien drenados y con pH entre 4.5 y 8.2. En suelos fértiles con gran abastecimiento de agua, la producción de biomasa es mayor que en aquellos en los que hay escasez de nutrientes y/o agua. Lo anterior resalta la importancia del uso de fertilizantes para lograr una producción estable. Además del agua y los minerales, las condiciones ambientales, como la intensidad de la luz y la temperatura, inciden decisivamente en la producción (Andrade *et al.*, 2005).

#### **4.10. Métodos de siembra**

El pasto elefante se multiplica por material vegetativo, ya sea por cepas o tallos, debido a que la planta produce pocas semillas y éstas presentan baja fertilidad. La plantación de cepas es muy efectiva pero también muy costosa, por lo que es preferible hacer la plantación colocando tallos completos (de manera

horizontal en surcos) de entre 3 y 5 meses edad como semilla (López y Enríquez, 2011).

#### **4.11. Rendimiento de forraje**

Aunque la diversidad de condiciones ambientales y de manejo del cultivo no permiten comparaciones directas entre estudios, se dispone de literatura diversa en el tema del rendimiento de *C. purpureus*. Cabe señalar que la producción de biomasa se expresa en este documento exclusivamente como rendimiento en materia seca y las unidades de las fuentes consultadas se transforman a ton ha<sup>-1</sup> para facilitar el análisis.

En México, la máxima producción es reportada para las variedades CT115, OM22 y King grass en el estado de Yucatán (Ramos *et al.*, 2012). En contraste, una investigación desarrollada en Marín, Nuevo León (México) habla sobre el establecimiento de CT115 en un clima semiárido, con rendimientos muy limitados (Nava *et al.*, 2013). Datos más concordantes con la literatura internacional (Bouton, 2002; Palacios-Díaz *et al.*, 2013) sobre el rendimiento de *C. purpureus* son señalados por un estudio llevado a cabo en Veracruz, México (Calzada-Marín *et al.*, 2014) con rendimiento de 27 ton ha<sup>-1</sup> a los 6 meses de crecimiento en la época lluviosa para el cultivar Maralfalfa, en Villa Isla, Veracruz.

En el ensayo de Yucatán, se obtuvieron valores tan elevados que deberán tomarse con las reservas del caso (Ramos *et al.*, 2012). Por ejemplo, en ese estudio se menciona una producción de materia seca de 100 a 140 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para King grass; lo que correspondería a cosechas anualizadas tres a cuatro veces mayores a este valor en materia verde. No obstante, el clima del lugar es

Awo, la frecuencia de corte fue de 60 días, y la dosis de fertilización fue de 300 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de nitrógeno; importantes ventajas en estudios de corta duración que no consideran la persistencia de la pradera. Por su parte Palacios Díaz *et al.* (2013), estiman un rendimiento de 38 ton ha<sup>-1</sup> en las Islas Canarias usando riego.

En el caso de Nuevo León se alcanzó apenas un rendimiento de 5.6 ton ha<sup>-1</sup> y CT115 solo logro crecer 40 cm (Nava *et al.*, 2013). No obstante, en este estudio el éxito consistió en lograr el establecimiento de este cultivar en condiciones climáticas ajenas a su centro de origen y distribución, pues el sitio cuenta apenas con 528 mm de precipitación anual y una temperatura 22 °C.

Las variaciones en el rendimiento obedecen a la época de crecimiento (condiciones ambientales), a la densidad de siembra, a la variedad, a la edad de corte (Araya y Boschini, 2005), y al número de años en producción (Knoll *et al.*, 2012; Bouton, 2002). Así, mientras que el rendimiento puede alcanzar 40 ton ha<sup>-1</sup> en los primeros años, en un quinto año se logra una producción por debajo de 20 ton ha<sup>-1</sup> (Bouton, 2002).

Para el pasto Camerún, se reportan datos de rendimiento de MS de 27.65 ton ha<sup>-1</sup> con cortes a 60, 80, 100 y 120 días (Leite *et al.*, 2000). Por otro lado, el CT115 puede almacenar biomasa durante 180 días en el periodo lluvioso y acumula de 20 a 25 ton ha<sup>-1</sup> en el periodo seco (Martínez y Herrera, 2006).

Finalmente se debe hacer énfasis en que los rendimientos mayores han sido reportados para casos en los que el cultivo tiene ventajas importantes, como condiciones ambientales ideales, fertilización abundante o cortes frecuentes. En

contraste, los menores rendimientos convergen con ambientes adversos (Nava *et al.*, 2013).

Por otro lado, el rendimiento se reduce después de 3 o 4 años en condiciones de monocultivo bajo el esquema de una cosecha anual (Bouton, 2002). sobre todo cuando no se restituyen al suelo los minerales que *C. purpureus* extrae (Knoll *et al.*, 2012). Este pasto requiere una cantidad considerable de minerales, dado su rápido crecimiento y su elevada producción de materia seca. Por tanto, estudios en los que se evalúe la producción en más de dos años sucesivos tienen mayor relevancia como referencia sobre la viabilidad de producción de *C. purpureus* en un sitio determinado. Sin embargo, no existen estudios de larga duración en México.

#### **4.12. Densidad y rendimiento**

El pasto CT115 se establece adecuadamente en el trópico mexicano, donde la producción de materia seca no es afectada por la densidad de siembra (Wijitphan *et al.*, 2009). Un rendimiento de 5.6 y 4.7 ton ha<sup>-1</sup> se reporta para 17,850 y 11, 350 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Nava *et al.*, 2013). Sin embargo, un ensayo desarrollado en Etiopia (Tessema, 2008) evalúa el efecto de la densidad (9 000 a 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>) sobre el rendimiento de *C. purpureus* (Schumach.), y concluye que el rendimiento más alto se obtiene con 80 000 o 40 000 plantas ha<sup>-1</sup> (20.4 ton ha<sup>-1</sup> y 22.7 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente), mientras que la menor producción correspondió a 13 300 plantas ha<sup>-1</sup> (17.8 ton ha<sup>-1</sup>). En el mismo trabajo, el contenido de proteína bruta fue superior al 15 % independientemente de la densidad.

En un estudio sobre la distancia entre plantas y surcos en pasto elefante (con un intervalo entre cortes de 35 días), el mayor rendimiento se obtuvo con la combinación 50 x 40 cm y el menor rendimiento con la combinación 50 x 100 cm, correspondiendo a 70.8 y 55.8 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Wijitphan *et al.*, 2009). Los autores de este estudio recomiendan 50 cm entre plantas y 40 cm entre surcos como la separación adecuada para establecer el pasto Elefante para pastoreo intensivo.

#### **4.13. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento**

En un estudio para corroborar el efecto de la altura de corte y la fertilización sobre el rendimiento de *C. purpureus* (Tessema *et al.*, 2002), se evaluaron cinco tratamientos de fertilización (nitrógeno a 0, 46 y 92 kg ha<sup>-1</sup>; y estiércol a 1 o 2 ton ha<sup>-1</sup>) y tres alturas de corte (0.5, 1 y 1.5 m). Los resultados de ese estudio indicaron que el rendimiento de materia seca del pasto elefante fue afectado por la altura de corte, el nivel de fertilización y por la interacción entre ambas variables. El rendimiento más alto (12.3 ton ha<sup>-1</sup>) se reportó al cortar a 1 m de altura cuando se fertilizó con 92 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno.

En un estudio en Venezuela, se evaluó el uso de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y concentración de proteína (Márquez *et al.*, 2007). Los autores encontraron que tanto la concentración como el rendimiento de proteína aumentaron a mayor dosis de nitrógeno (7.1 % y 1.9 ton ha<sup>-1</sup>, 7.6 % y 2.8 ton ha<sup>-1</sup>, y 8.1 % y 3.6 ton ha<sup>-1</sup> para 91, 343 y 686 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, respectivamente). En otro estudio llevado a cabo también en Venezuela con la variedad King grass asociada con diferentes leguminosas, la mayor producción de materia seca fue

de 7.0 ton ha<sup>-1</sup> en asociación con *Centrosema pubescens*; mientras que la menor producción fue de 5.5 ton ha<sup>-1</sup> con fertilización nitrogenada a razón de 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno por corte; esta última combinación correspondía al testigo (Espinoza *et al.*, 2012).

#### **4.14. Composición química y calidad nutricional**

La composición química de *C. purpureus* es afectada por la edad, por el uso de fertilizantes y por la altura de corte. Además, la concentración de cada constituyente depende de la época de crecimiento en función a la disponibilidad de humedad en el suelo (Chacón y Vargas, 2009; Valenciaga *et al.*, 2002).

En un estudio llevado a cabo en Costa Rica para evaluar el efecto de la edad sobre la calidad nutricional de *C. purpureus* (Chacón y Vargas, 2009), King grass mostró una digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de 58.6 % a los 68 días, 56 % a los 75 días y 52 % a los 90 días.

Al estudiar la concentración y degradabilidad de la proteína en el pasto CT115 fertilizado con 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y sin irrigación (Valenciaga *et al.*, 2002), se reporta diferente degradabilidad efectiva ruminal para el nitrógeno enlazado a la fibra detergente neutro entre las fracciones hoja, para el tallo o para la planta integra; con valores de 40.6, 18.9 o 30.3 %, respectivamente. Los autores concluyen que la solubilidad de la proteína contribuye al aumento de la disponibilidad efectiva del nitrógeno.

En Venezuela se desarrolló un ensayo con Maralfalfa, Taiwán A-146 y pasto Morado (Márquez *et al.*, 2007). En ese estudio, Maralfalfa no superó a Taiwán en cuanto a producción de forraje a los 63 días (43 vs 51 ton ha<sup>-1</sup>). En el mismo trabajo, el contenido de proteína fue mayor (promedio de dos fechas de corte) para el pasto Morado que para Maralfalfa o Taiwán (8.2, 7.3 y 7.3 %, en el mismo orden).

Tanto el contenido de proteína como la relación hoja/tallo disminuyen conforme la edad aumenta. En contraste la concentración de fibra aumenta a mayor edad, a la par con el rendimiento de materia seca. En un estudio realizado en Brasil con la variedad Camerún a diferentes edades de corte, el contenido de proteína fue de 6.3 y 3.6 % a los 60 y 120 días de edad, en el mismo orden (Leite *et al.*, 2000). En Venezuela, se reportan valores de 10.5 % de proteína para King grass asociado con *Centrosema pubescens* y de 8.7 % cuando se fertiliza con 50 ton ha<sup>-1</sup> de N por corte, respectivamente (Espinoza *et al.*, 2012). El pasto elefante presentó una mayor digestibilidad cuando se estableció a una separación de 50 x 40, y una menor digestibilidad a 50 x 100 (75.5 y 74.7 %) (Wijitphan *et al.*, 2009).

El contenido de proteína del pasto Cuba CT115 declina de 20 a 7 % entre las 2 y 6 semanas de edad respectivamente, para mantener un descenso gradual hasta llegar a 4 % a las 24 semanas. La fibra bruta incrementa de 21 a 26 % entre las 2 y 4 semanas de edad, y aumenta de 26 a 35 % entre las 5 y 24 semanas. La digestibilidad es de 80 a 90 % en las primeras seis semanas y disminuye entre 60 a 54 % entre las 20 y 24 semanas (Martínez y Herrera, 2006).

El aumento en la concentración de fibra con la edad en la variedad Napier, fue documentado en un estudio llevado a cabo en Etiopía (Bayble *et al.*, 2007). En los resultados de dicho estudio, la FDN fue de 68, 72 y 76 % a los 60, 90 y 120 días, respectivamente; mientras que la FDA fue de 49, 50.5 y 51 % y la proteína cruda fue de 14.2, 10.4, 7.8 % en las mismas edades. Según esos resultados, el aumento en la concentración de fibra es debido al aumento en el contenido de hemicelulosa. De acuerdo con un trabajo realizado en Veracruz con King cubano, King morado y Taiwán, la variedad no fue fuente de variación en la composición química de *C. purpureus* en promedio para cosechas a 3, 6, 9 y 12 semanas de rebrote durante la época lluviosa. Los autores reportan una FDN de 68.9, 65.7, 69.7 % y una FDA de 44.7, 42.1 y 44.5 %; así como un contenido de proteína de 9.6, 9.9, 9.2 % para King cubano, King morado y Taiwán, respectivamente (Ortega *et al.*, 2011). En un estudio diferente conducido en Tailandia se reportan diferencias en el contenido de fibra entre variedades. Para 8 variedades incluidas en ese estudio, el contenido de celulosa osciló en un rango de 35.4 a 47.3 %, el de hemicelulosa en un rango de 19.3 a 26.4 % y el de lignina entre 5.6 y 12.3 %; expresados en porcentaje en base seca (Rengsirikul *et al.*, 2013).

Es ampliamente conocido que la composición química, y en consecuencia la calidad nutricional del forraje, difiere según la época de crecimiento. Al respecto, el pasto Cuba CT115 presenta 75.1, 68.3 y 65.5 % de FDN; así como un 42.8, 36.7 y 32.2 % de FDA; para la época de lluvias, nortes y seca, respectivamente (de Dios, 2012).

#### **4.15. Usos actuales de *C. purpureus***

El pasto *C. Purpureus* se ha propuesto como un cultivo industrial capaz de reemplazar a la madera en la industria del papel y en la de los combustibles sólidos; así como sustituir a los granos en la producción de etanol. De esta forma su utilización se ha diversificado; sus usos actuales incluyen desde la fabricación de papel hasta la de combustibles. La combustión directa o la transformación a carbón vegetal son algunas de las variantes de esta última aplicación (Samson *et al.*, 2005)

#### **4.16. Usos de *C. purpureus* en la ganadería**

El uso de *C. purpureus* en la ganadería se ha popularizado a raíz de los trabajos cubanos sobre la variedad CT115 (Martínez y Herrera, 2006) en los llamados bancos de biomasa para la época seca. Los cultivares OM22 y CT115 merecen mención especial en función de sus características anatómicas, que les confieren potencial de utilización como forrajes.

El pasto Cuba CT115 fue seleccionado por su alta resistencia al pastoreo, dado su bajo porte. Esta variedad es tolerante a la sequía y posee una alta proporción de hoja, dado que presenta entrenudos de menos de 5 cm en los fitómeros producidos después de los tres meses de edad. Las hojas del CT115 son delgadas y pilosas y tienden a enrollarse al medio día o en respuesta al estrés hídrico. El rendimiento está en el rango de 15 a 20 ton ha<sup>-1</sup>, contiene un alto contenido de carbohidratos solubles en tallo (14.4 % en base seca) y niveles

relativamente bajos de lignina y fibra antes de los 5 meses de edad (Martínez *et al.*, 2009).

Por las razones expuestas, el CT115 es idóneo para conservarlo en pie a manera de banco de biomasa y tiene potencial para utilizarse en pastoreo. Esta variedad es hasta ahora el clon de *C. purpureus* con mayores ventajas de utilización cuando se pretende dar una solución a la deficiencia de forraje durante el periodo seco en el trópico. Este clon puede utilizarse en esquemas de pastoreo, con bajos insumos y sin necesidad de riego. El CT115 mantiene un porte bajo a los 5 meses de edad y permite un aprovechamiento del 66 % de su biomasa en pastoreo a 120 días de edad, mientras que para el pasto King grass el aprovechamiento factible es de 50 % a la misma edad (Martínez y Herrera, 2006). Una de las características más determinantes en la preferencia de OM22 por parte de los ganaderos es la ausencia de vellosidad en sus hojas, lo que le confiere mayor facilidad de manejo en comparación con el resto de las variedades de *C. purpureus* (Martínez *et al.*, 2009). Además, ello facilita la realización de labores como la plantación y la fertilización.

El OM22 contiene 59 y 67 % y el King grass 51 y 59 % de hoja a los 42 y 70 días. La diferencia se acentúa en la seca, donde OM22 produce 74 y 80 % de hoja a los 42 y 70 días y King grass tiene 61 y 67% de hoja a las mismas edades (Martínez *et al.*, 2009). Por otra parte, *C. purpureus* ha mostrado un buen desempeño cuando es usado como banco de biomasa-proteína en asociación con leguminosas forrajeras (Espinoza *et al.*, 2012).

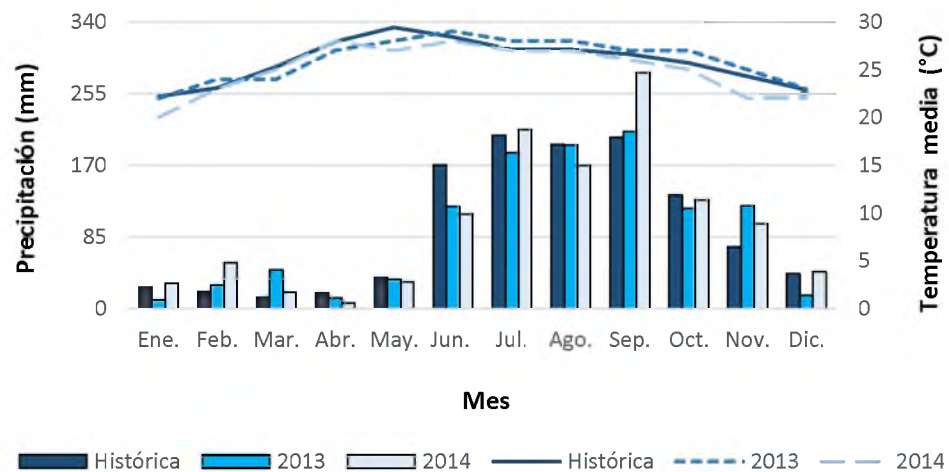
## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1. Localización

El experimento se realizó en el Sitio Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas Pecuarias (INIFAP) en Isla, Veracruz, México. El sitio se localiza a 18° 06' 21" LN, 95° 32' 01" LO y a 65 msnm (GPS eTrex Legend Garmin®).

### 5.2. Condiciones ambientales

El clima del lugar es Aw<sub>1</sub>, que corresponde a un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 2004). La precipitación anual es de 1,142 mm y la temperatura media de 25.8 °C. Los datos climáticos para el periodo experimental se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Precipitación (barras) y temperatura (líneas) durante el periodo experimental en comparación con datos históricos de las mismas variables.

### **5.3. Condiciones edáficas**

El suelo fue identificado como un acrisol ortico con textura migajón arenosa con bajo contenido de materia orgánica (3.4 g kg<sup>-1</sup>), bajos niveles de N, Ca, ton y Cu (2,174, 48 y 0.2 ton kg<sup>-1</sup>, respectivamente); pero niveles adecuados de Fe, Zn, Mn y P (57,1.6, 4.4 y 55 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). El suelo presenta un pH ácido (pH = 3.5). El análisis de suelo fue conducido en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP en agosto de 2012. Si bien el análisis de suelo no representa a los tres años de estudio, sirve como un marco de referencia sobre las condiciones iniciales.

### **5.4. Variedades evaluadas**

Las variedades evaluadas fueron Camerún, OM22, King Grass, Vruckwona, CT115, Taiwán, Caña Africana y Roxo.

### **5.5. Plantación**

La preparación del terreno se efectuó con un pase de rastra a 20 cm de profundidad. La siembra se llevó a cabo el día 25 de junio de 2012, colocando dos plantas completas a 'punta y cola' (donde la punta de uno de los culmos se empata con la base del otro) a una profundidad de 5 cm. Una vez en el surco, las plantas se cortaron en segmentos de 2 a 3 yemas. El diseño experimental consistió en cuatro bloques completos al azar y ocho tratamientos (variedades). La unidad experimental fue de 6 surcos de 8 m de longitud con una separación de 0.6 m. La parcela útil estuvo representada por los 4 surcos centrales en 6 m de su longitud, lo que correspondió a 24 m lineales.

## 5.6. Periodo experimental

El ciclo de establecimiento comprendió del 25 de junio al 27 de diciembre 2012; datos de rendimiento de ese ciclo se discuten en este trabajo con base en un estudio previo. La información disponible para este trabajo abarca la época húmeda de los años 2013 y 2014, correspondiendo a los periodos del 1 de junio al 30 de noviembre de 2013 y del 24 de mayo al 22 de noviembre de 2014, respectivamente. Los datos abarcaron solo la época lluviosa, pese a que un segundo ciclo de temporal ocurre en la zona de estudio, en virtud de la existencia de un periodo lluvioso de diciembre a marzo, provocado por los Nortes, que son vientos asociados a precipitación pluvial comunes en la zona de estudio.

## 5.7. Fertilización

Durante el ciclo de establecimiento se agregó una sola dosis de fertilización a los 45 días de edad con la fórmula 60:40:00 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de nitrógeno, fósforo y potasio; equivalentes a 130.5  $\text{kg ha}^{-1}$  de fosfato di-amónico  $[(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4]$  y 35.9  $\text{kg ha}^{-1}$  de urea  $[\text{CO} (\text{NH}_2)_2]$ .

En ambos años, 2013 y 2014, se utilizó la fórmula de fertilización 200:100:200  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  (kg de N, P y K), dividida en cuatro dosis por año y dos dosis por ciclo de crecimiento. Las fertilizaciones se aplicaron a los 14 y 56 días de edad en cada año. Para ello se utilizaron: urea  $[\text{CO} (\text{NH}_2)_2]$ , fosfato di-amónico  $[(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4]$  y cloruro de potasio (KCl), como fuentes minerales. Nótese que la fórmula de fertilización, al ser anualizada, implica que cada ciclo de crecimiento llevado a cabo durante la época húmeda recibió la mitad de esta fórmula.

## **5.8. Cosecha**

La cosecha se llevó a cabo manualmente a los 185 días después de la plantación, cortando el pasto con machete a 20 cm sobre el nivel del suelo.

## **5.9. Variables evaluadas**

Las mediciones de rendimiento y densidad se realizaron a los 185 días de edad mediante la metodología descrita a continuación. Durante cada ciclo de crecimiento (2013 y 2014) se dispuso de una muestra de 2 m lineales como muestra total en fresco para estimar el rendimiento.

Se tomó una sub-muestra de dos plantas por parcela a partir de la muestra total en fresco, las sub-muestras se pesaron y se colocaron en bolsas de papel para llevarlas a peso constante a 65 °C por 96 h. Después del secado se tomó el peso seco de las sub-muestras. El rendimiento de materia seca total (en ton ha<sup>-1</sup>) se estimó al multiplicar el peso de la muestra por la proporción de materia seca encontrada en la sub-muestra. La muestra total fresca (tomada de 2 m lineales) se extrapolaró a una hectárea, de acuerdo con 16 666.7 m lineales de surco en una hectárea, dada la densidad de siembra.

La densidad fue estimada mediante el conteo del número de tallos en un metro lineal de un surco central en cada parcela. La densidad de plantas por hectárea se obtuvo al extrapolar la densidad encontrada en un metro lineal a los 10 000 m<sup>2</sup> contenidos en una hectárea de acuerdo con el factor mencionado en el párrafo anterior.

### 5.10. Análisis de datos

Los datos se analizaron como un diseño factorial 8 x 3 en cuatro bloques al azar, de acuerdo con las ocho variedades y los tres años incluidos en el estudio. Los datos se sometieron a un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM en el software SAS 9.4 (SAS, 2016) bajo licencia del Colegio de Postgraduados. Posteriormente las medias de rendimiento y densidad, se contrastaron entre años, entre variedades y para la interacción año por variedad se contrastaron por medio de una prueba de Tukey con significancia de 5 %. El modelo estadístico se informa a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + A_j + \tau A_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  : Valor de la medición en la variedad  $i$ , año  $j$  y bloque  $k$ .

$\mu$  : Media general de la variable.

$\tau_i$  : Efecto inherente a la  $i$ -ésima variedad, donde  $i = 1, 2, 3, \dots, 8$ .

$A_j$  : Efecto atribuido a la  $j$ -ésimo año, donde  $j = 1, 2$  y  $3$ .

$\tau A_{ij}$  : Interacción año por variedad.

$\beta_k$  : Efecto del  $k$ -ésimo bloque, donde  $k = 1, 2, 3$  y  $4$ .

$\varepsilon_{ijk}$  : Error debido a la variedad  $i$ , en el año  $j$  y bloque  $k$ .

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Rendimiento de forraje

El rendimiento obtenido durante los años 2013 y 2014 (ton ha<sup>-1</sup> de materia seca) en las ocho variedades evaluadas, se presenta en el Cuadro 1. Se agrega además el rendimiento alcanzado durante el ciclo de establecimiento (2012) con base en un estudio previo (Rueda, 2015). La producción global fue de 30.6 ± 1.8 ton ha<sup>-1</sup>, tomando los tres años y las ocho variedades en conjunto.

**Cuadro 1.** Rendimiento de forraje (materia seca) en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, a 185 días durante la estación húmeda de tres años.

Variedad	Rendimiento (ton ha <sup>-1</sup> )			Media
	2012	2013	2014	
CT115	24.3 <sup>B</sup>	36.2 <sup>Abc</sup>	26.9 <sup>Ab</sup>	25.4 <sup>bc</sup>
Caña Africana	21.9 <sup>B</sup>	43.5 <sup>Aab</sup>	32.7 <sup>ABab</sup>	32.7 <sup>ab</sup>
Taiwán	22.3 <sup>B</sup>	45.8 <sup>Aa</sup>	36.6 <sup>Aa</sup>	34.8 <sup>a</sup>
King Grass	20.7 <sup>B</sup>	40.7 <sup>Aabc</sup>	34.2 <sup>Aab</sup>	31.7 <sup>ab</sup>
Vruckwona	20.7 <sup>B</sup>	42.7 <sup>Aabc</sup>	36.6 <sup>Aa</sup>	33.0 <sup>ab</sup>
Roxo	17.3 <sup>B</sup>	27.6 <sup>ABd</sup>	33.2 <sup>Aab</sup>	25.4 <sup>c</sup>
OM22	22.7 <sup>B</sup>	34.3 <sup>Acd</sup>	25.8 <sup>ABb</sup>	27.8 <sup>bc</sup>
Camerún	20.3 <sup>B</sup>	38.4 <sup>Aabc</sup>	31.4 <sup>ABab</sup>	29.9 <sup>abc</sup>
Error estándar	2.1	2.1	2.4	
Año	21.1 <sup>C</sup>	38.6 <sup>A</sup>	32.2 <sup>B</sup>	

a, b, c: Medias con distinta letra minúscula en la misma columna son diferentes (P<0.05).

A, B, C: Medias con diferente letra mayúscula en la misma fila son diferentes (P<0.05), lo que implica comparaciones entre años. R<sup>2</sup> = 0.85. Datos de 2012 son retomados de un estudio previo.

Los resultados obtenidos en el presente experimento son consistentes con un estudio previo desarrollado en el mismo sitio experimental con la variedad Maralfalfa, en el que se reporta un rendimiento de 28 ton ha<sup>-1</sup> a los 184 días después de la plantación (Calzada *et al.*, 2014). Incluso, nuestros resultados de producción de materia seca oscilan en el mismo rango, entre 16 y 46 ton ha<sup>-1</sup>, que los datos de rendimiento obtenidos para *C. purpureus* en un experimento multianual desarrollado en Georgia, Estados Unidos (Bouton, 2002). En otro estudio realizado en Brasil con la variedad Camerún (a una temperatura media de 22.5°C y 1300 mm de precipitación anual) se obtuvo un rendimiento de forraje de 27.65 ton ha<sup>-1</sup> a los 100 días (Leite *et al.*, 2000); el cual es similar a lo que se reporta en el presente trabajo como promedio global de los tres años para esta variedad, pero a 185 días.

Por otra parte, una producción de hasta 140, 160 y 95 ton ha<sup>-1</sup> para King grass, OM22 y CT115 fue reportada en un estudio realizado en Yucatán (Ramos *et al.*, 2012). Tales datos son tan elevados que habrá que tomarlos con las reservas del caso. Un estudio multianual de producción bajo este esquema de producción revelaría si este rendimiento es sostenible en el largo plazo.

No debemos obviar que la mayor parte de la producción por unidad de superficie más allá del segundo mes de edad corresponde morfológicamente a tallo (Rueda, 2015) y que para efectos de alimentación de rumiantes este componente carece de valor, dado que es menos consumido por el animal.

En relación con otros pastos, *C. purpureus* resulta tener un rendimiento más elevado. En un trabajo en el que se le compara con pastos tropicales *Urochloa*

*mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen y *Cynodon nemfluencis* Vanderyst; *C. purpureus* produjo los mayores rendimientos. Los autores afirman que con base en el rendimiento este pasto podría mantener de 8-11 vacas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con una producción de leche de 9.5 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, de acuerdo con las necesidades del animal publicadas en las tablas del NRC (Valencia *et al.*, 2012).

### **6.1.1. Rendimiento por variedad**

A continuación se mencionan las diferencias entre variedades con respecto al rendimiento, tomando los tres años a la vez (Cuadro 1). Los rendimientos por variedad oscilaron en un rango de 25 a 35 ton ha<sup>-1</sup> para el promedio de la estación húmeda de tres años (2012, 2013 y 2014). El cultivar Taiwán tuvo una producción mayor que CT115, OM22 y Roxo, pero no mostró diferencia con el resto de las variedades. En tanto que Roxo tuvo un rendimiento inferior a King grass, Caña Africana, Vruckwona y Taiwán. El pasto Camerún no difirió en rendimiento con ninguna otra variedad.

Si las recomendaciones sobre el uso de una variedad fueran basadas en el rendimiento exclusivamente, las variedades CT115, Roxo y OM22 serían descartadas. Sin embargo, es necesario considerar factores adicionales en esta decisión. El contenido de fibra y la calidad nutricional podrían ayudar en la selección de variedades. Por otro lado, no puede descartarse el uso de variedades como OM22 o CT115 como forrajes. Estas variedades han sido identificadas previamente como forrajeras, dado que tienen características deseables para el rumiante, como una buena palatabilidad y un rendimiento elevado. El OM22 no tiene vellosidades, y ello le confiere mayor facilidad de

manejo en campo; además de presentar hojas más anchas y mayor brote de tallos aéreos. Por su parte el CT115 limita la producción de tallo a partir de los 90 días de edad, dado su acortamiento en los entrenudos a esa edad y ello le permite ser cosechado directamente por el animal.

Previos estudios confirman que existen diferencias importantes en el rendimiento entre variedades de *C. purpureus* (Araya y Boschini, 2005; Caballero *et al.*, 2016; Ramos *et al.*, 2012). Resaltan en cuanto a producción neta de materia seca a los 140 días el pasto Taiwán y Gigante en comparación con Gigante, Mott y Camerún (Araya y Boschini, 2005). De igual manera el King Grass, sin diferencia con CT169, rebasa en rendimiento al OM22 Roxo y CT115 (15.3 y 13.1 vs 11.2 10.7 y 11.1 ton ha<sup>-1</sup>; mismo orden) (Caballero *et al.*, 2016); no obstante OM22 mostró una mayor proporción de hoja.

En Yucatán, el OM22 superó el rendimiento de King grass con rendimientos de 100 a 140, de 112 a 160 y de 80 a 95 ton ha<sup>-1</sup> para King grass, OM22 y CT115; esto bajo régimen de alta fertilización (300 kg de nitrógeno por hectárea) y con riego (Ramos *et al.*, 2012).

### **6.1.2. Rendimiento por año**

El rendimiento de materia seca aumentó en 17.5 ton ha<sup>-1</sup> en la estación húmeda del año 2013 con respecto al rendimiento obtenido en el ciclo de establecimiento de 2012 (Rueda, 2015); mientras que en el ciclo de establecimiento se registró la menor producción de forraje. No obstante, durante el año 2014 la producción se redujo en 6.4 ton ha<sup>-1</sup> con respecto al año 2013. El

menor rendimiento registrado en el ciclo de establecimiento puede explicarse en virtud de que el pasto forma su sistema radical durante su ciclo de establecimiento. Por otra parte, el menor rendimiento de la estación húmeda de 2014 con respecto a la del 2013 se podría atribuir a los altos requerimientos de minerales del pasto elefante. De acuerdo con esta hipótesis, la fórmula de fertilización utilizada durante el experimento parece ser insuficiente para restituir al suelo los minerales extraídos por el pasto en cada ciclo; por lo que el suelo tiende a empobrecerse y el rendimiento no puede mantenerse en años sucesivos.

La producción de materia seca se reduce en cultivos de *C. purpureus* después de tres o cuatro años de producción si no se restituyen al suelo, mediante fertilización, los minerales extraídos por el pasto (Bouton, 2002; Knoll *et al.*, 2012). Algunas recomendaciones sugieren dosis de nitrógeno superiores a 240 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Palacios *et al.*, 2013) mientras que en otra investigación, el rendimiento a 123 días aumentó en 5 ton ha<sup>-1</sup> de MS al cambiar la fórmula de fertilización 300-240-00 a 400-320-00 (Andrade *et al.*, 2005).

En esta investigación se presenta el rendimiento alcanzado después de un ciclo de crecimiento largo (185 días) en 3 años sucesivos. Un estudio multianual, como el presente, refleja más verídicamente el potencial de un cultivo para utilizarse como forraje perenne. Por otra parte, una alta frecuencia de corte tendría un impacto importante sobre la extracción y cosecha de minerales, en virtud de que la cosecha frecuente de forraje joven implica una remoción mayor de minerales desde el suelo (Na *et al.*, 2015). Por lo anterior, la dosis de

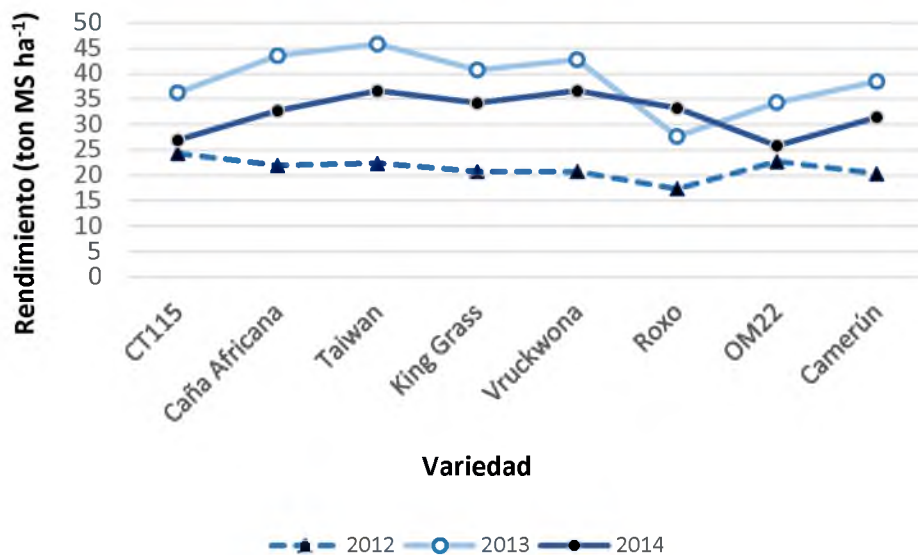
fertilización anual debe ajustarse a la intensidad con la que se explote la pradera, con tal de mantener un rendimiento aceptable en años subsecuentes.

### **6.1.3. Interacción año por variedad**

La validez de discutir la interacción año por variedad radica en que existe la misma tendencia cuando se comparan las medias entre años en general con respecto a su comparación entre años dentro de cada variedad; como es notorio en la Figura 2 y en el Cuadro 1. Al comparar el rendimiento entre años dentro de cada variedad, no se mostraron diferencias entre los ciclos de 2013 y 2014 para ninguna variedad. En cambio se registró un menor rendimiento para el ciclo de establecimiento (2012), con respecto a los dos años que son motivo de la presente investigación (2013 y 2014), para las variedades CT115, Taiwán, King Grass y Vruckwona.

Al comparar el rendimiento entre variedades dentro de cada año, en el año 2012 no hubo diferencia entre variedades. Para los datos del presente experimento, durante el 2013 Taiwán tuvo un mayor rendimiento que Roxo, OM22 y CT115. En el año 2014, las variedades Taiwán y Vruckwona presentaron mayor producción de biomasa que OM22 y CT115.

La mayor producción de Taiwán con respecto a OM22, Roxo y CT115, puede verificarse tanto en el promedio de los tres años como para los años 2012 y 2013. Por el contrario, la reducción en el rendimiento encontrada entre los años 2013 y 2014 no se verificó para ninguna variedad particular, sino solo para el promedio de las mismas.



**Figura 2.** Rendimiento de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* a 185 días durante la estación húmeda de los años 2012, 2013 y 2014.

Para fines de alimentación animal no es suficiente conocer el potencial de rendimiento del forraje; es necesario considerar además la proporción de hoja y la calidad nutricional. Al respecto, se ha mencionado que debe manejarse un punto de equilibrio entre el rendimiento cosechado por unidad de superficie y el contenido de proteína. En Bolivia, se realizó un estudio para encontrar este punto de equilibrio en la variedad Maralfalfa y se determinó que alrededor de los 66 días de edad el contenido de proteína está aun por encima de 60 g kg<sup>-1</sup>, mientras que el rendimiento ya supera 10 ton ha<sup>-1</sup> (Hinojosa *et al.*, 2014).

La producción del año 2013 es siempre numéricamente mayor que aquella de 2014 para cada variedad por separado. Más la reducción en la producción entre estos años es expresada estadísticamente hasta que se incluyen los datos de

todas las variedades a la vez. Aquí el volumen de información permite demostrar la diferencia que no es posible determinar en cada variedad particular. La excepción a la regla aparece en el cultivar ROXO, pues aquí la tendencia en el rendimiento se mantuvo monótona creciente durante los tres años incluidos en el análisis.

## **6.2. Densidad de tallos**

La densidad registrada durante los años 2013 y 2014 para las ocho variedades evaluadas en este estudio se muestra en el Cuadro 2. Tanto la densidad de tallos basales como la densidad de tallos aéreos difirieron entre los años 2013 y 2014, cuando se promedió para las ocho variedades. No obstante, no se presentaron diferencias entre variedades en la densidad de tallos basales en ningún caso y la densidad de tallos aéreos sólo difirió entre variedades para el promedio de los dos años.

### **6.2.1. Diferencias en densidad entre años 2013 y 2014**

Durante el año 2013 se registró una mayor densidad de tallos aéreos y una mayor densidad de tallos basales que en 2014. Durante el mismo 2013, se tuvo mayor rendimiento con respecto al año de establecimiento (2012) y siete de las ocho variedades mostraron numéricamente mayor rendimiento que en el año 2014. Por lo anterior, se propone que una mayor densidad de tallos está asociada con un mayor rendimiento.

**Cuadro 2.** Densidad de tallos aéreos y basales en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* a 185 días durante los años 2013 y 2014.

Variedad	Densidad (tallos m <sup>-2</sup> )					
	2013		2014		Media	
	Aéreo	Basales	Aéreos	Basales	Aéreos	Basales
CT115	21.0	40.0	6.7	21.5	13.8 <sup>b</sup>	30.7
Caña Africana	7.9	25.8	8.2	18.5	8.0 <sup>b</sup>	22.2
Taiwán	11.2	31.2	6.7	21.4	8.9 <sup>b</sup>	26.3
King Grass	11.2	34.6	12.6	17.8	11.9 <sup>b</sup>	26.2
Vruckwona	11.2	30.0	7.4	23.7	9.3 <sup>b</sup>	26.8
Roxo	10	23.7	7.4	20.7	8.7 <sup>b</sup>	22.2
OM22	44.5	21.3	6.7	20.0	25.6 <sup>a</sup>	20.6
Camerún	12.1	27.9	5.2	24.4	8.7 <sup>b</sup>	26.2
Error estándar	3.2	5.1	3.7	5.9	2.4	3.88
Media	16.2 <sup>A</sup>	29.3 <sup>A</sup>	7.6 <sup>B</sup>	21.0 <sup>B</sup>	11.8	24.5

<sup>a, b</sup>: Medias con distinta letra minúscula en la misma columna son diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>A, B</sup>: Medias con diferente letra mayúscula en la misma fila son diferentes ( $P < 0.01$ ), con tal de comparar el mismo tipo de tallo entre años.

$R^2 = 0.76$  para tallos aéreos &  $R^2 = 0.33$  para tallos basales.

### 6.2.2. Diferencias entre variedades

La densidad de tallos aéreos difirió entre variedades. El cultivar OM22 resultó ser el de mayor densidad de este tipo de tallos que el resto de las variedades. Sin embargo, no se presentaron diferencias entre ningún otro par de variedades para la densidad de tallos aéreos en el promedio de los dos años.

El OM22 es una de las variedades con mejores cualidades para pastoreo; entre estas cualidades resaltan un mayor ancho de la lámina de la hoja (en comparación con el resto de las variedades evaluadas en el presente experimento) y la ausencia de vellosidades. Su mayor capacidad de crecimiento

de tallos aéreos le confiere cierta resiliencia y ello implica alta relación de hoja/tallo. Lo anterior reafirma la importancia de esta variedad en sistemas de pastoreo o en sistemas de corte y acarreo.

### **6.2.3. Interacción año por variedad**

En el Cuadro 2 se puede observar la densidad de cada variedad durante los años 2013 y 2014. No hubo interacción año por variedad en la densidad de tallos basales o aéreos. Es decir, no se verificaron diferencias entre variedades dentro de años ni entre años dentro de cada variedad. Este hecho valida la discusión para los efectos principales año y variedad, en dónde se expresaron diferencias.

### **6.2.4. Asociación entre el rendimiento y la densidad**

El rendimiento presentó correlación con la densidad de tallos basales ( $r=0.25$   $R^2=0.5$ ;  $P<0.05$ ), pero no con la densidad de tallos aéreos ( $r=0.02$ ;  $P=0.86$ ). Es claro que los tallos basales son tanto los de mayor edad como los más pesados al momento de la cosecha, por lo que el rendimiento se espera que esté determinado por la densidad de tallos basales más que por la densidad de tallos aéreos, tal cual lo muestran estos resultados.

Tanto la densidad como el peso individual están directamente asociados con el rendimiento en *C. purpureus* (Rueda, 2015). Se dice que la densidad de tallos está inversamente asociada con el peso del tallo; donde, a mayor peso promedio de planta menor será la densidad y viceversa. Este principio ha sido verificado tanto a nivel del reino *Plantae* (Yoda *et al.*, 1963) como para pastos tropicales (Sbrissia *et al.*, 2010, 2001). En *C. purpureus* se ha observado que la densidad y la altura a la que se mantiene una pradera en pastoreo varían en relación directa

con la proporción de tallos basales y aéreos que aparecerán en el rebrote (de Carvalho *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2013).

En el norte de México se estableció el CT115 en densidades de 18,000 y 11,000 plantas ha<sup>-1</sup>. En este estudio se encontró una altura de 40.3 y 38 cm, un porcentaje de tallo de 35.1 y 35.4, un porcentaje de hoja de 49.1 y 53.1 y una relación hoja/tallo de 1.5 y 1.6 para las densidades de 18,000 y 11,000 plantas, respectivamente (Nava *et al.*, 2013). De igual manera, el mismo estudio reporta un mayor rendimiento superior en un 19 % en la densidad mayor.

En un estudio realizado en Etiopia en los años 2004 y 2005 con densidades desde 8,800 a 80,000 plantas ha<sup>-1</sup>, no se encontraron cambios en las características morfológicas del pasto Napier en respuesta a la densidad de las plantas durante el año de establecimiento. Sin embargo, en un segundo año la densidad de plantas incidió en el número de tallos por planta y en la relación hoja/tallo (Tessema, 2008). No obstante, en otro estudio no se encontró asociación entre la densidad y el rendimiento, el número de tallos por planta o la calidad nutritiva del pasto elefante (Wijitphan *et al.*, 2009).

A pesar de que los resultados de diversos estudios no son consistentes o contundentes, la densidad de tallos parece tener un efecto distinto e incluso contrario en la estación seca respecto a la estación húmeda; así como en el primer año (establecimiento) respecto a los años subsecuentes (Tessema, 2008). Por lo anterior, es necesario segmentar la información disponible; o bien enfocar el análisis en la interacción entre los diversos factores.

## 7. CONCLUSIONES

El rendimiento de materia seca y la densidad de tallos (tanto aéreos como basales) del pasto elefante, *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, presentaron variación entre años; Así, durante el año 2013 se presentó tanto mayor rendimiento como la mayor densidad de tallos. Mientras que en el año de establecimiento se presentó el menor rendimiento

El rendimiento difirió también entre variedades. Taiwán presentó mayor rendimiento que OM22, CT115 y Roxo; más no difirió de King grass, Caña Africana, Vruckwona y Camerún.

Las variedades de pasto elefante que se han descrito recurrentemente como mejores opciones para uso forrajero (OM22 y CT115) presentaron un menor rendimiento a 185 días que el resto de las variedades incluidas en este estudio.

El pasto OM22 presentó un mayor número de tallos aéreos en el promedio de los años 2013 y 2014. Esta característica le podría conferir una ventaja importante para su uso en pastoreo, dada su mayor capacidad de rebrote. El resto de las variedades no difirió en la densidad de tallos aéreos o basales.

## 8. LITERATURA CITADA

- Andrade, A.C., Fonseca, D.M., Lopes, R.S., Júnior, D.N., 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.
- Bayble, T., Melaku, S., Prasad, N.K., 2007. Effects of cutting dates on nutritive value of Napier (*Pennisetum purpureum*) grass planted sole and in association with Desmodium (*Desmodium intortum*) or Lablab (*Lablab purpureus*). *Livest. Res. Rural Dev.* 19.
- Bouton, J.H.H., 2002. Bioenergy crop breeding and production research in the southeast, final report for 1996 to 2001. *Dep. Energy* 27, 25. doi:10.2172/814494
- Caballero, G.A., Martínez, Z.R.O., Hernández, C.M.B., Navarro, B.M., 2016. Characterization of the yield and quality of five accessions of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. *Pastos y Forrajes* 39, 87–93.
- Calzada, J.M., Enríquez, J.F., Hernández, A., Ortega, E., Mendoza, S.I., 2014. Growth analysis of maralfalfa grass (*Pennisetum* sp) in a warm humid climate. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 5, 247–260.

- Chacón, A. Varga. F., 2009. Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. King grass a tres edades de rebrote. *Agron. Mesoam.* 20, 399–408.
- de Carvalho, B.C.A., Paciullo, D.S.C., Rossiello, R.O.P., Derez, F., 2006. Dinâmica do perfilhamento em capim-elefante sob influência da altura do resíduo pós-pastejo. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 41, 145–152. doi:10.1590/S0100-204X2006000100020
- de Dios, G.E., 2012. Producción de biomasa y valor nutritivo del pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*) en un suelo cambisol. Tesis de Maestría. *Colegio de Postgraduados*, Texcoco, México.
- Espinoza, F., Argenti, P., Gil, J.L., León, L., Perdomo, E., 2012. Evaluación del pasto king grass (*Pennisetum purpureum* cv. King grass) en asociación con leguminosas forrajeras. *Zootec. Trop.* 19, 1–7.
- Febles G., Xonia Suárez, R.S. Herrera y R.O. Martínez. 2007. Caracterización botánica de clones de King Grass (*Pennisetum purpureum*), empleo de descriptores morfológicos. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 41(4), 385–390.
- Febles, G.J., R.S. Herrera. 2006. Introducción y características botánicas. En: *Pennisetum purpureum para la ganadería tropical*, Instituto de Ciencia Animal, Cuba.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, 5th ed. Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México, *UNAM*, México DF.
- Hinojosa, Y.L.A., Yépez, N.D., Rodal, C.F., Ríos, O.A., Claros, B.R., Suárez, N.T.,

- Jiménez, L.E., 2014. Producción y características agronómicas de cuatro variedades de pasto de corte del género *Pennisetum*, en Trinidad, Bolivia. *Agrociencias Amaz.* 28–35.
- ITIS. 2017. Integrated Taxonomic Information System. United States.  
[https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=796726#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=796726#null)
- Queensland government. 2017. Weeds of Australia.  
[https://keyserver.lucidcentral.org/weeds/data/media/Html/cenchrus\\_purpureus.htm](https://keyserver.lucidcentral.org/weeds/data/media/Html/cenchrus_purpureus.htm)
- Kennedy, P.B., 1919. A new forage plant: napier fodder. *Pacific Rural Press*, March 29. pp 478–483.
- Knoll, J.E., Anderson, W.F., Strickland, T.C., Hubbard, R.K., Malik, R., 2012. Low-input production of biomass from perennial grasses in the coastal plain of Georgia, USA. *Bioenergy Res.* 5, 206–214. doi:10.1007/s12155-011-9122-x
- Leite, R.M.B.R.M.B., de Queiroz F, J.L., da Silva, D.S.D.S., de Queiroz, F.J.L., da Silva, D.S.D.S., 2000. Producao e valor nutritivo do capim elefante cultivar cameroon em diferentes idades. *Agropecuaria Técnica* 21, 30–39.
- López, I., Enríquez, J., López, G., Enríquez, Q.J.F., 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. Cent. Investig. Reg. Golf. Centro. *SAGARPA* 2, 0–8.
- Márquez, F., Sánchez, J., Urbano, D., Dávila, C., 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, Z.R.O., Herrera, R.S., 2006. Empleo del Cuba CT-115 para solucionar el déficit de alimentos durante la época seca, in: Herrera, R.S., Febles, G.J., Crespo, G.J. (Eds.), *Pennisetum purpureum para la Ganadería Tropical*. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, pp. 221–242.

Martínez, R.O., Herrera, R.S., Tuero, R., Padilla, C.R., 2009. Hierba elefante variedades Cuba CT-115 , Cuba CT-169 y Cuba OM-22 (*Pennisetum* sp.). *Asoc. Cuba. Prod. Aním.* 22, 44–47.

Na, C., Sollenberger, L.E., Erickson, J.E., Woodard, K.R., Vendramini, J.M.B., Silveira, M.L., 2015. Management of perennial warm-season bioenergy grasses. I. Biomass harvested, nutrient removal, and persistence responses of Elephantgrass and Energycane to harvest frequency and timing. *BioEnergy Res.* 8, 581–589. doi:10.1007/s12155-014-9541-6

Nava, C.J.J., Gutiérrez, O.E., Zavala, G.F., Olivares, S.E., Treviño, J.E., Bernal, B.H., Herrera, G.R.S., 2013. Establishment of CT 115 grass (*Pennisetum purpureum*) in a semiarid area of northeast Mexico. *Rev. Fitotec. Mex.* 36, 239–244.

Ortega, R., Castillo-Gallegos, E., Jarillo, R.J., Escobar, H.R., Ocaña, Z.E., Valles de la Mora, B., 2011. Nutritive quality of ten grasses during the rainy season in a hot-humid climate and ultisol soil. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 13, 481–491.

- Palacios, M.P., Mendoza, V., Fernández, J.R., Hernández, J.M., 2013. Effects of defoliation and nitrogen uptake on forage nutritive values of *Pennisetum* sp. *J. Anim. Plant Sci.* 23, 566–574.
- Pereira, L.E.T., Paiva, A.J., Geremia, E. V., da Silva, S.C., 2013. Regrowth patterns of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) subjected to strategies of intermittent stocking management. *Grass Forage Sci.* 70, 195–204. doi:10.1111/gfs.12103
- Ramos, T., Canul, S.J.R., Duarte, V.F.J., 2012. Producción de tres variedades de *Pennisetum purpureum* fertilizadas con dos fuentes nitrogenadas en Yucatan, México. *Biociencias* 2, 60–68.
- Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Sripichitt, P., Punsuvon, V., Vaithanomsat, P., Nakamane, G., 2013. Biomass yield, chemical composition and potential ethanol yields of 8 cultivars of Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) harvested 3-monthly in central Thailand. *J. Sustain. Bioenergy Syst.* 3, 107–112. doi:10.4236/jsbs.2013.32015
- Rueda, J.A., 2015. Evaluación agronómica de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone con potencial para producción de bioetanol o forraje. Tesis de Doctorado. *Colegio de Postgraduados*. Texcoco, México.
- Rueda J., A.; Ortega J., E.; Hernández G., A.; Guerrero R., J.D.; Quero C., A.R.; Enríquez Q., J.F.; Joaquín T., B.M. Ciclos de crecimiento largo en *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone aumentan la cosecha de celulosa para su aprovechamiento en la industria del papel. *III Congreso Internacional y XVII*

*Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas*. 22 al 24 de abril de 2015. Chapingo, México.

Samson, R., Mani, S., Boddey, R., Sokhansanj, S., Quesada, D., Urquiaga S. 2005. Perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry, *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 24, 461–495. <http://dx.doi.org/10.1080/07352680500316508>.

SAS Institute Inc. 2017. SAS/STAT(R) 9.3 User's Guide. [https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63962/HTML/default/viewer.htm#statug\\_glm\\_sect008.htm](https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63962/HTML/default/viewer.htm#statug_glm_sect008.htm)

Sbrissia, A.F., Carneiro, S., Augusto, C., Carvalho, B. De, Pedreira, G.S. 2001. Tiller size / population density compensation in grazed coastcross bermudagrass. *Scientia Agric.* 58 (4) 655–665.

Sbrissia, A.F., da Silva, S.C., Sarmiento, D.O.L., Molan, L.K., Andrade, F.M.E., Gonçalves, A.C., Lupinacci, A. V., 2010. Tillering dynamics in palisadegrass swards continuously stocked by cattle. *Plant Ecol.* 206, 349–359. doi:10.1007/s11258-009-9647-7

Tessema, Z., 2008. Effect of plant density on morphological characteristics, yield and chemical composition of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.). *East African J. Sci.* 2, 55–61. doi:10.4314/eajsci.v2i1.40365

Tessema, Z., Baars, R.M.T., Yami, A., 2002. Effect of plant height at cutting, source and level of fertiliser on yield and nutritional quality of Napier grass (*Pennisetum purpureum* ( L.) Schumach.). *African J. Range Forage Sci.* 19, 123–128. doi:10.2989/10220110209485783

Tropicalforages.info. 2017

[http://tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Pennisetum\\_purpureum.htm](http://tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Pennisetum_purpureum.htm)

Valencia, R.B., Yost, R.S., Porter, G., 2012. Biomass production and nutrient removal by tropical grasses subsurface drip-irrigated with dairy effluent. *Grass Forage Sci.* 67, 337–349. doi:10.1111/j.1365-2494.2011.00846.x

Valenciaga, D., Chongo, B., Scull, I., 2002. Caracterización del clon *Pennisetum* CUBA CT-115. Fraccionamiento proteico y degradabilidad ruminal del nitrógeno. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 36, 259–264.

Van de Wouw M., J. Hanson y S. Luethi. 1999. Morphological and agronomic characterization of a collection of Napier Grass (*Pennisetum purpureum*) and *P. purpureum* x *P. glaucum*. *Tropical Grasslands* 33:150–158.

Wijitphan, S., Lorwilai, P., Arkaseang, C., 2009. Effects of plant spacing on yields and nutritive values of Napier Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) under intensive management of nitrogen fertilizer and irrigation. *Pakistan J. Nutr.* 8, 1240–1243. doi:10.3923/pjn.2009.1240.1243

Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H., Hozum, K., 1963. Selfthinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. (intraspecific competition among higher plants XI). *J. Inst. Polytech.* 14, 107–129.