



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

Evaluación agronómica de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone con potencial para producción de bioetanol o forraje

JOSÉ ANGEL RUEDA BARRIENTOS

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

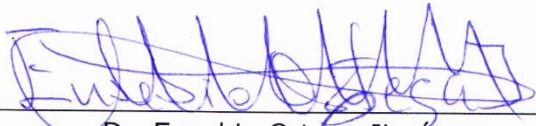
2015

La presente tesis titulada: **Evaluación agronómica de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone con potencial para producción de bioetanol o forraje** realizada por el alumno: **José Angel Rueda Barrientos** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

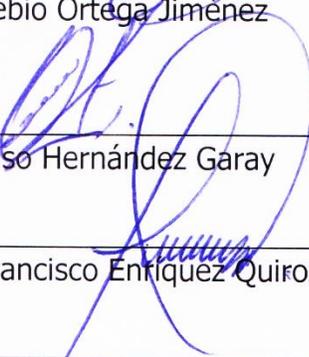
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



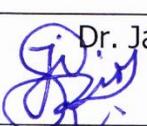
Dr. Eusebio Ortega Jiménez

ASESOR



Dr. Alfonso Hernández Garay

ASESOR



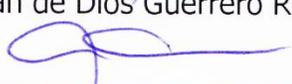
Dr. Javier Francisco Enriquez Quiroz

ASESOR



Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez

ASESOR



Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2015.

Evaluación agronómica de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone con potencial para producción de bioetanol o forraje

José Angel Rueda Barrientos, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN GENERAL

En virtud de la diversificación en el uso de las gramíneas, en este estudio se evaluó *Cenchrus purpureus* desde un punto de vista integral. El presente trabajo enmarca tres estudios: 1. Crecimiento, rendimiento, contenido de fibra y resistencia al acame en ocho variedades de *C. purpureus*; 2. Dinámica poblacional de tallos en ocho variedades de *C. purpureus*; y 3. Análisis de crecimiento de *C. purpureus* cv. CT-115 con fines forrajeros. El objetivo de los dos primeros estudios fue identificar las variedades más adecuadas para cada propósito de utilización, con base en su producción, su composición química y su dinámica poblacional. El objetivo del tercer estudio fue identificar los momentos más adecuados de cosecha en función al balance calidad-rendimiento y a la persistencia de la pradera. En el primer estudio, las variedades King Grass, Caña Africana, Vruckwona y Taiwán se identificaron como alternativas viables para la producción de bioetanol o papel. Por otra parte, CT-115, OM-22, y Camerún son variedades con potencial forrajero. Acorde con el segundo estudio, la dinámica de tallos puede ser explicada, en términos de la ley de auto-aclareo. La capacidad reproductiva de OM resultó ser mayor que la del resto, sin diferenciarse de CT o Camerún. Por otro lado, se encontró que CT-115 puede ser cosechado a partir de los 70 días en la época húmeda, o bien desde los 98 días en la época seca, dado que el rendimiento en hoja resulta ser constante a partir de este punto; esta edad sería en la que se obtendría también la mejor calidad nutricional del forraje en comparación con aprovechamientos posteriores.

Palabras clave: Pasto elefante; composición química; acame; dinámica poblacional de tallos; CT-115.

Agronomic assessment of eight *Cenchrus purpureus* (Schumach.) varieties intended for bioethanol or forage production

José Angel Rueda Barrientos, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2015

OVERALL SUMMARY

In accordance with current trends in research, regarding use of grasses, this work focuses on an integral assessment of *Cenchrus purpureus*. The study frames three experiments: 1. Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *C. purpureus*. 2. Tiller dynamics in eight varieties of *C. purpureus*. 3. Growth analysis of *C. purpureus* cv. CT-115 as a forage. The general purpose of the first two studies was to identify suitable varieties according to each exploitation purpose, taking into account aspects like yield, chemical composition and reproductive ability. The third research work attempts to identify cutting dates in order to optimize quality-yield balance from the point of view of animal nutrition, but avoiding to risk persistence. In the first assay, King Grass, African Cane, Vruckwona and Taiwan were identified as the more suitable choices for industrial uses, bioethanol or paper, in long growth cycles. On the other hand, CT-115, OM-22 and Cameroon were recognized as better choices for animal production purposes. In general, observed changes in tiller dynamics can be explained in terms of self-thinning rule. Tiller appearance rate was higher for OM regarding aerial shoots, with barely slight differences vs CT or CAM. Furthermore, CT-115 can be utilized since day 70 in a wet season and since day 98 in a dry season; but harvesting an older crop will lead to a lower nutritional quality. Proposed cutting dates for CT-115 are based on leave yield, which achieves a steady yield from those ages onwards.

Key words: Elephant grass; chemical composition; lodging resistance; tiller dynamics; CT- 115.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
INTRODUCCION GENERAL	1
1. CAPITULO I. Crecimiento, rendimiento, contenido de fibra y resistencia al acame en ocho variedades de <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone	4
1.1. RESUMEN	5
1.2. ABSTRACT	6
1.3. INTRODUCCIÓN	7
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	10
1.4.1. Localización y condiciones climáticas.....	10
1.4.2. Evaluación del crecimiento	12
1.4.3. Densidad y rendimiento de materia seca por componente morfológico	12
1.4.4. Determinación del contenido de fibras.....	13
1.4.5. Resistencia al acame.....	13
1.4.6. Análisis de datos.....	14
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
1.5.1. Crecimiento	14
1.5.2. Morfología.....	16
1.5.3. Rendimiento a los 185 días	17
1.5.4. Correlación entre rendimiento y morfología	19
1.5.5. Contenido de fibra	20
1.5.6. Resistencia al acame.....	22
1.5.7. Variedades sugeridas para biocombustibles	23
1.6. CONCLUSIONES.....	24
1.7. LITERATURA CITADA.....	25
2. CAPITULO II. Dinámica poblacional de tallos en ocho variedades de pasto elefante <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone.....	29
2.1. RESUMEN	30
2.2. ABSTRACT	31
2.3. INTRODUCCIÓN	32
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	36
2.4.1. Localización	36
2.4.2. Condiciones experimentales.....	37

2.4.3.	Mediciones de aparición y muerte de tallos.....	37
2.4.4.	Variables calculadas.....	38
2.4.5.	Análisis de datos.....	38
2.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
2.5.1.	Densidad	38
2.5.2.	Tasa de aparición de tallos (TAT).....	44
2.5.3.	Tasa de mortalidad de tallos (TMT)	45
2.6.	CONCLUSIONES.....	49
2.7.	LITERATURA CITADA.....	49
3.	CAPITULO III. Análisis de crecimiento de <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) cv. CT-115 con fines forrajeros	52
3.1.	RESUMEN	53
3.2.	ABSTRACT	54
3.3.	INTRODUCCIÓN	55
3.4.	MATERIALES Y MÉTODOS	59
3.4.1.	Localización.....	59
3.4.2.	Condiciones experimentales.....	60
3.4.3.	Variables medidas	60
3.4.4.	Variables calculadas.....	61
3.4.5.	Análisis de datos.....	61
3.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
3.5.1.	Crecimiento e intercepción luminosa	62
3.5.2.	Producción y crecimiento durante la época seca.....	62
3.5.3.	Producción y crecimiento durante la época lluviosa	65
3.6.	CONCLUSIONES.....	69
3.7.	LITERATURA CITADA.....	69
	CONCLUSIONES GENERALES.....	72
	LITERATURA CITADA EN LA INTRODUCCIÓN.....	74

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Variables morfológicas de ocho variedades de <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone a los 185 días de edad.....	16
Cuadro 1.2. Componentes del rendimiento (Mg MS ha ⁻¹) y relación hoja/tallo en ocho variedades de <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) a los 185 días de edad.	18
Cuadro 1.3. Fracciones de la fibra en ocho variedades de <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone a los 185 días de edad.....	21
Cuadro 2.1. Densidad de tallos aéreos, basales y totales durante tres ciclos de crecimiento en <i>Cenchrus purpureus</i>	40
Cuadro 2.2. Tasa de mortalidad de tallos aéreos, basales y totales durante tres ciclos de crecimiento en <i>Cenchrus purpureus</i>	46

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Datos de precipitación y temperatura durante el periodo experimental.. **11**
- Figura 1.2.** Altura ^(a), diámetro del tallo ^(b) e intercepción luminosa ^(c) en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone..... **15**
- Figura 1.3.** Hemicelulosa (FDN–FDA), celulosa (FDA–LDA), lignina (LDA) y cenizas en la planta completa de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone a los 185 días de edad..... **21**
- Figura 2.1.** Datos históricos de precipitación (barras) y temperatura media mensual (líneas), así como registros correspondientes a los años en que se desarrolló el experimento..... **36**
- Figura 2.2.** Densidad de tallos aéreos (gris) y basales (negro) durante tres ciclos de crecimiento sin disturbación en *Cenchrus purpureus*..... **41**
- Figura 2.3.** Densidad de tallos aéreos y basales en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* en tres ciclos de crecimiento, a intervalos de 4 semanas. **43**
- Figura 2.4.** Tasa de mortalidad de tallos (TMT) aéreos y basales en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* en tres ciclos de crecimiento, a intervalos de 4 semanas..... **48**
- Figura 3.1.** Datos históricos de precipitación (barras) y temperatura media mensual (líneas), así como registros para los años en que se desarrolló el experimento. **59**
- Figura 3.2.** Rendimiento de materia seca total y por componente morfológico (a); tasa diaria de acumulación (TDA) de materia seca y tasa de acumulación promedio (TAP) (b); tasa diaria de crecimiento (TDC), tasa promedio de crecimiento (TCP) y altura (c) de *Cenchrus purpureus* cv. CT-115, durante la época seca de 2014. **64**
- Figura 3.3.** Rendimiento de materia seca total y por componente morfológico (a); tasa diaria de acumulación (TDA) de materia seca y tasa de acumulación promedio (TAP) (b); tasa diaria de crecimiento (TDC), tasa promedio de crecimiento (TCP) y altura (c) de *Cenchrus purpureus* cv. CT-115, durante la época lluviosa de 2013.... **66**
- Figura 3.4.** Rendimiento de materia seca total y por componente morfológico (a); tasa diaria de acumulación (TDA) y tasa de acumulación promedio de materia seca (TAP) (b); tasa diaria de crecimiento (TDC), tasa promedio de crecimiento (TCP) y altura (c) de *Cenchrus purpureus* cv. CT-115, durante la época lluviosa de 2014.... **67**



AGRADECIMIENTOS

A México, mil veces saqueado por propios y ajenos, pero aún con la capacidad logística y económica de mantener un sistema educativo que permite el desarrollo intelectual de aquellos que hacemos del saber una forma de vida.

Al CONACyT por el soporte económico otorgado para llevar a cabo la meta de obtener un grado más. “Aún hay sistemas en nuestro México, en los que la inteligencia es una virtud y no un motivo para la segregación, el aislamiento y el ataque”.

Al Colegio de Postgraduados, dos veces mi *alma mater*, orgulloso de portar su camiseta “las instituciones son perennes, trascienden vanidades y vanalidades, trascienden a los individuos y a su ignorancia”.

A mis maestros y amigos: Alfonso Hernández, Eusebio Ortega, Javier F. Enríquez, Juan de Dios Guerrero, Adrián R. Quero, Humberto Vaquera, J. G. Herrera Haro, Bertín M. Joaquín. Más a los hombres, que a los científicos que hoy envisten.

A mis amigos: Sergio Fabián Ruiz y Zaira, Ariel López, Daniela Herrera, Hiram Nezahualcóyotl G.L., Rafael G. Zárate, Eduardo Sánchez y Diana, Luis Guerrero y Jenny, Kike Valdés y Alba, Nicolás Valenzuela y María de J., Alejandro Bravo y Sandy, Gustavo D'Avila y Nidia I. We have shared some part of the road, despite the lack of meetings, letters or calls.

A mi familia materna, la lista es enorme, alcanza para equipo de fútbol y sobra para porristas: desde los tiempos de Petra y José; los de Apolonia y Santiago, María y Yolanda, los de Rosa y Teodoro, Claudia y Viviana; hasta los de Yesenia y Sandra. Agradecido de compartir mi historia y ser tolerado por Ustedes en un mundo sin Dios.

A mi querida familia actual, esposa e hijos: Rosa Elena Galindo A., Zizou y Tristán; dirección y rumbo a una vida sin sentido, algunas veces las razones, otras los motivos.

INTRODUCCION GENERAL

En 1908, el Coronel Napier llamó la atención del Departamento de Agricultura de Rhodesia (actualmente Zimbawe) con respecto a las grandes posibilidades de explotación que ofrecía un pasto de talla alta en la producción animal. Este personaje colectó raíces del espécimen y el Departamento de Agricultura de ese país las distribuyó entre sus investigadores en 1910. Sin embargo, ya desde 1890 un misionero llamado Menyharth, colectó un ejemplar y entre sus descripciones anotó que el pasto elefante era un buen forraje para bovinos (Kennedy, 1919). Así comenzó el conocimiento sobre *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone (Chemisquy *et al.* 2010), antes *Pennisetum purpureum*, un pasto cuya distribución actual incluye toda América tropical.

En honor al Coronel Napier, uno de los primeros nombres que recibió esta gramínea fue pasto Napier. Posteriormente, adoptó nombres como Elefante o King Grass; denominaciones que hoy en día pueden referirse a cultivares específicos entre los cientos de variedades actuales de *Cenchrus purpureus* y sus cruzas con *Cenchrus americanus* (L.) Morrone (sorgo perla). Actualmente el número de cultivares es tal, que puede haber varios nombres para referirse al mismo genotipo (Daher *et al.*, 2002).

Cenchrus purpureus es nativo del trópico Africano, su centro de origen y diversificación enmarca desde Guinea a Kenia en el centro del continente Africano, hasta Angola, Zimbawe y Mozambique en el Sur (Brunken, 1977). Algunos de los cultivares de *Cenchrus purpureus* presentes en México, incluyendo sus híbridos con *C. americanus*, son: Caña Africana, Camerún, CT-115, King Grass, OM-22, Roxo, Taiwán, Vruckwona, CT-169, Elefante, Mott o Elefante Enano, Maralfalfa o Elefante Paraíso y Merkeron. Los primeros ocho de esta lista, son motivo de la presente investigación.

Los cultivares de *C. purpureus*, así como sus híbridos con *C. americanus*, son pastos erectos, cespitosos, de tallas de hasta 5 m. Estos tienen una gran capacidad de reproducción vegetativa y una alta producción de materia seca si se mantiene la fertilidad de los suelos que ocupan. Las variedades de *C. purpureus* se establecen

con éxito en suelos fértiles con buen drenaje y son tolerantes la acidez. Los cultivares son resistentes al fuego y al congelamiento de su parte aérea, emitiendo nuevamente rebrote cuando el factor de destrucción de follaje y tallo ha desaparecido, cuando se restablecen las condiciones de humedad y temperatura necesarias para su crecimiento.

Actualmente, los usos de las gramíneas se han diversificado. Algunas de las aplicaciones en desarrollo son: la combustión directa de la biomasa y la compactación en bloques combustibles o la carbonización. Del uso de estos combustibles básicos se deriva la generación de electricidad en plantas termoeléctricas. Además, la transformación de la biomasa por vías químico-biológicas puede dar origen a combustibles más elaborados, como gas, diésel o bioetanol. El conocimiento sobre aspectos agronómicos y productivos de las variedades disponibles en México, ayudaría a evitar pérdidas de tiempo y de recursos al implementar la producción de esta especie a grande escala para uso industrial.

En aplicaciones industriales como la producción de bioetanol de segunda generación o la producción de papel, el rendimiento en biomasa es un factor importante a considerar para garantizar el abasto constante a las empresas. En el tema de producción de papel, es la fracción tallo la más importante como insumo; por lo que en ésta aplicación el concepto de calidad cambia radicalmente en contraparte al uso forrajero. A pesar de que alcanzar un mayor rendimiento es deseable, este es un objetivo que se contrapone con una de las necesidades más imperantes en ganadería, la calidad nutricional del forraje cosechado.

En la presente investigación se manejaron ciclos de crecimiento de 154 días en la época seca y de 182 días en la época húmeda, que son ciclos prolongados. Lo anterior por dos razones: primero, para aumentar el rendimiento logrado por cosecha, año y unidad de superficie; y en segundo lugar, para estudiar el patrón de acumulación de forraje y la dinámica poblacional de tallos durante ese periodo. En esta investigación se desarrollaron tres experimentos: 1. Crecimiento, rendimiento, contenido de fibra y resistencia al acame en ocho variedades de *C. purpureus*, como

cultivo energético o forrajero; 2. Dinámica poblacional de tallos en ocho variedades de *C. purpureus*; y 3. Análisis de crecimiento de *C. purpureus* cv. CT-115 como forraje. Las ocho variedades utilizadas en los dos primeros estudios son: CT-115, Caña Africana, Taiwán, King Grass, Vruckwona, Roxo, OM-22 y Camerún.

El objetivo del primer experimento fue evaluar el crecimiento, el rendimiento, el contenido de fibra y la resistencia al acame en ocho variedades de *C. purpureus* (Schumach.) durante su ciclo de establecimiento, con tal de identificar las variedades más adecuadas para cada propósito de. La hipótesis asume que existen variaciones en estas variables que llevarán a seleccionar una u otra de variedad en función al propósito de utilización.

El objetivo del segundo estudio fue evaluar la densidad poblacional y la dinámica de aparición y muerte de tallos, a intervalos de cuatro semanas, en ocho variedades de *C. purpureus*, durante la época lluviosa y durante la época seca. Esto con la finalidad de documentar la dinámica poblacional de la especie. Una mayor capacidad reproductiva implicaría una mayor capacidad de adaptación ante eventos de pastoreo o corte frecuente. La hipótesis asume que existen diferencias en las variables estudiadas entre variedades.

El tercer estudio tuvo como objetivo identificar los momentos más adecuados para la cosecha del pasto CT-115 en función al balance rendimiento-calidad desde el punto de vista de la nutrición animal; pensando en promover la persistencia de la pradera. En este estudio se parte de la premisa de que el pasto alcanza su máximo rendimiento en hoja a cierta edad y acumula sólo tallo a partir de esa edad. Determinar dicha edad daría un punto de partida para sugerir el momento de aprovechamiento. La hipótesis es que esta condición sucede después de los 60 días de edad. El interés por esta variedad en particular obedece a que la conservación en pie de *C. purpureus* cv. CT-115 ha sido propuesta como estrategia de alimentación para la época seca en la llamada tecnología de bancos de biomasa.

1. **CAPITULO I. Crecimiento, rendimiento, contenido de fibra y resistencia al acame en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone**

Crecimiento, rendimiento, contenido de fibra y resistencia al acame en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone

José Angel Rueda Barrientos, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2015

1.1. RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el crecimiento, el rendimiento y el contenido de fibra en ocho variedades de *Cenchrus purpureus*: Camerún (CAM), OM22 (OM), King Grass (KG), Vruckwona (VRU), CT115 (CT), Taiwán (TAI), Caña Africana (CA) y Roxo (RX) en condiciones de temporal en un clima cálido sub-húmedo, con lluvias en verano. El diseño experimental consistió en cuatro bloques completos con ocho tratamientos. De los 65 a los 185 días, se midió mensualmente la altura de planta, el diámetro del tallo y la interceptación luminosa. A los 185 días, se midió la producción de materia seca, la densidad de tallos, el peso por tallo y la proporción de tallos inclinados hacia el suelo. Muestras de tallo y hoja fueron molidas para estimar el contenido de fibra. El rendimiento a los 185 días (21.7 ± 0.86 Mg MS ha⁻¹; P=0.42) y el rendimiento en tallo (14.11 ± 0.63 Mg MS ha⁻¹; P=0.53) no mostró diferencias entre variedades. La densidad de tallos al final del periodo de crecimiento mostró una correlación negativa con la longitud del entrenudo ($r=-0.35$, P<0.05). Tanto en tallo como en planta completa CA y KG tuvieron mayor contenido de hemicelulosa que OM, CT y RX, mientras que CA y VRU mostró más celulosa que RX en el tallo (P<0.05). Por otro lado, TAI y VRU presentó más lignina que CAM en el tallo (P<0.05). Finalmente, las variedades con mayor resistencia al acame fueron VRU, TAI, KG y CA, y las menos resistentes fueron CAM y CT (P<0.05). El uso de VRU y TAI podría implicar un menor rendimiento de etanol en virtud de su lignificación, por lo que CA y KG son las variedades más recomendadas.

Palabras clave: *Pennisetum purpureum*; celulosa; hemicelulosa; King Grass; pasto Elefante.

Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone

José Angel Rueda Barrientos, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2015

1.2. ABSTRACT

The objective of the present research work was to evaluate growth, biomass yield, fiber content and lodging resistance during a six-month growth period, for eight varieties of *Cenchrus purpureus*: CT115 (CT), African Cane (AC), Taiwan (TAI), King Grass (KG), Vruckwona (VRU), Roxo (RX), OM22 (OM) and Cameroon (CAM) in rain-fed conditions in warm sub-humid climate, with summer rain regime. Height, diameter and light interception were measured monthly from day 65 to 185. At day 185, biomass yield and tiller density were measured. Then, number of lying tillers was counted as a measure of lodging resistance. Dry samples of leaf and stem were used to estimate fiber content: NDF, ADF and ADL. No differences were shown for yield (21.7 ± 0.86 Mg DM ha⁻¹; P=0.42) or stem yield (14.11 ± 0.63 Mg DM ha⁻¹; P=0.53) at day 185 between varieties. Density at 185 days was negatively correlated with internode length ($r=-0.35$, P<0.05). Varieties with longer internodes promoted a lower density and vice-versa. In both the stem and the whole plant, AC and KG showed higher hemicellulose content than RX, OM or CT; while AC and VRU had a higher cellulose concentration than RX in stem or than CT in the whole tiller (P<0.05). On the other hand, TAI and VRU had a higher lignin content than CAM in stem (P<0.05). In addition, varieties which were resistant to lodging were VRU, TAI, KG y AC, while CAM and CT were the two least resistant (P<0.05). Varieties AC and KG are recommended given their high hemicellulose content and lodging resistance. VRU and TAI have a high cellulose content, but ethanol yield might be limited because of a higher lining content.

Key words: *Pennisetum purpureum*; cellulose; hemicellulose; King Grass; Elephant grass.

1.3. INTRODUCCIÓN

Cenchrus purpureus (Schumach.) Morrone, antes *Pennisetum purpureum* (Chemisquy *et al.*, 2010), se conoce comúnmente como pasto Napier, pasto Elefante o King Grass. No obstante, estos nombres se mencionan en ocasiones como nombres de variedades específicas. Este pasto tropical ha ganado la atención de los investigadores, debido a su alta producción de biomasa; así como al creciente potencial de aprovechamiento de la misma. Actualmente sus usos potenciales van desde la obtención de bioetanol de segunda generación como sustituto de gasolina (Yasuda *et al.*, 2012), el aprovechamiento de su fibra en sustitución a la madera para la fabricación de papel (Madakadze *et al.*, 2010), la producción de pellets o de carbón como combustible sólido (Samson *et al.*, 2005) o la formación de bancos de biomasa para la alimentación del ganado (Fortes *et al.*, 2011).

El origen de las variedades de *Cenchrus purpureus* ha sido diverso y la investigación sobre sus características agronómicas y morfológicas es aún incipiente en el trópico mexicano. El pasto CAM es una variedad pura de *Cenchrus purpureus* liberada comercialmente en Kenya en 1952 (Loch y Ferguson, 1999). CAM presenta una gran similitud genética con CA, KG, CT169 y VRU (Pereira *et al.*, 2008), siendo similar a VRU, pues pertenece al tipo Camerún a diferencia de los de tipo Enano y tipo Napier (Passos *et al.*, 2001). El KG dio origen en Cuba al genotipo CT por cultivo de tejidos y al OM por cruza con una variedad de *Cenchrus americanus* denominada “Tifton late” (Martínez *et al.*, 2010). El OM es glabro, de hojas anchas y mayor altura. El CT por el contrario es de altura baja por acortamiento de los entrenudos conforme avanza su edad, tiene tricomas abundantes y sus hojas son más delgadas. El RX o (Elefante Morado o King Grass morado) tiene como centro de origen la república del Togo en África, fue introducido a la estación experimental Presidente Medici de São Paulo, Brasil, en 1975 (González, 1985). El Roxo se distingue por un color morado en sus tallos, vainas, hojas e inflorescencias.

Cenchrus purpureus ha sido explorado recientemente como una alternativa en la producción bioetanol de segunda generación (Yasuda *et al.*, 2012), el cual es obtenido

a partir de biomasa ligno-celulósica (Sanderson y Adler, 2008). La elevada producción de materia seca en tallo al final de la fase exponencial de crecimiento (Araya y Boschini, 2005), lo convierte en una de las gramíneas con mayor potencial como cultivo industrial, ya sea para producción de etanol o para la fabricación de papel. A pesar de que aún no es rentable la producción industrial de bioetanol de segunda generación, continua la investigación, tanto en campo como en laboratorio, y eventualmente podrá convertirse en una alternativa viable (Dwivedi *et al.*, 2009; Wongwatanapaiboon *et al.*, 2012). Se ha reportado un rendimiento de 144 mg de etanol por cada gramo de biomasa, lo que representa hasta un 95% del máximo rendimiento teórico de acuerdo con un contenido de 0.37 g de hexosas y 0.26 g de pentosas (Yasuda *et al.*, 2012).

Los rendimientos de *C. purpureus* suelen reducirse después de dos o tres años de producción en condiciones de baja fertilización. Un estudio con la variedad Merkeron, manejado a una sola cosecha anual, mostró que el rendimiento se redujo de 30 a 10 Mg MS ha⁻¹ en 4 años cuando se usó una fórmula de fertilización 100:40:90 de NPK, y de 29 a 6 Mg MS ha⁻¹ cuando no se fertilizó (Knoll *et al.*, 2013). En el mencionado estudio, la tasa de extracción de nitrógeno, fósforo y potasio se redujo año con año; lo que implica que la fórmula fue insuficiente y que la disponibilidad de estos elementos limitó el crecimiento. En otro estudio de larga duración (Bouton, 2002), se reportan reducciones en el rendimiento después de 2 a 4 años, desde 39 (1999, Atenas), 41 (1996, Tifton) o 49 (1998, Midville) hasta 16, 13 o 18 Mg MS ha⁻¹ (año 2001) en los mismos sitios. En otro estudio se probó que la reducción en el rendimiento es muy abrupta cuando no se agrega fertilización (Knoll *et al.*, 2012) con rendimientos de 30.4, 30.1, 11.2 y 7.1 Mg MS ha⁻¹ en 4 años consecutivos. En este estudio también se monitoreó la tasa extracción de nitrógeno y potasio; los cuales se redujeron de 6.1 a 1.8 g N y de 21.3 a 6.5 g K (kg MS)⁻¹, durante 4 años. Igualmente, el contenido de cenizas se redujo año tras año (6, 5.4, 4.5 y 2.9%) entre 2006 y 2009.

Araya y Boschini (2005) evaluaron las variedades Taiwán, Elefante, Enano y King Grass a los 70, 84, 98, 112, 126 y 140 d de edad, encontrando que la materia seca se

acumula, tanto para la planta entera, como para el tallo y la hoja, hasta el día 126. En el referido trabajo, los rendimientos no superaron 16.6 Mg MS ha⁻¹ y la relación hoja/tallo fue de 0.54 a los 140 d. En ese estudio, del día 98 al 140 la fracción hoja disminuye en proporción, aumentando sólo desde 3.6 al día 98 a 4.4 al día 140; mientras el tallo presenta rendimientos de 4.94 y 12.2 Mg MS ha⁻¹ en las mismas dos edades (datos promedio de las mencionadas variedades). Esto sugiere que los ciclos de crecimiento del pasto pueden adecuarse entre 70 y 140 d en función a las necesidades de materia seca y al propósito de utilización. En Maralfalfa, la cosecha es factible después los 60 días de edad, para lograr una alta concentración y un alto rendimiento por superficie de fibra (Palacios-Díaz *et al.*, 2013).

Conforme aumenta la edad de corte se promueve la persistencia. Por ejemplo, al estudiar la masa en rizomas y la concentración de nitrógeno y carbohidratos no estructurales en respuesta a tres alturas y tres frecuencias de corte (10, 22, 34 y 46 cm; 3, 6, 9 y 12 semanas); los menores pesos y contenidos de reservas se presentaron en el tratamiento de 10 cm y 3 semanas, mientras los mayores pesos y concentraciones coincidieron con el tratamiento de 46 cm y 12 semanas (Chaparro *et al.*, 1996). Recurrentemente, estudios como el anterior indican que la combinación de altas frecuencia e intensidades de cosecha va en detrimento de las reservas de la planta y pone en riesgo su persistencia, como ha sido probado para otras especies tropicales, como *Paspalum notatum* (Interrante *et al.*, 2009). Estos resultados en combinación con aquellos que apuntan un mayor rendimiento en tallo (Araya y Boschini, 2005) y una mayor cosecha y concentración de fibra (Palacios-Díaz *et al.*, 2013), dan soporte a la hipótesis de la conveniencia de cosechar después de largos periodos de crecimiento para maximizar el rendimiento de *C. purpureus* cuando se cultiva con fines de aprovechamiento industrial.

Una evaluación de campo aunada a una caracterización química ayudaría a la toma de decisiones, en función a las características de cada variedad. Por ejemplo, un alto contenido de celulosa y lignina es deseable si el objetivo es la producción de papel o la combustión de la biomasa. Sin embargo, un alto contenido de lignina limita la

extracción de etanol (Anderson *et al.*, 2008) y sería definitivamente indeseable para propósitos de alimentación de rumiantes. Por otra parte, los cultivos para uso industrial se mantienen en áreas extensas y la obligada cosecha mecánica, se ve afectada en caso de problemas como el acame. En pastos tropicales, el acame suele ser un desastre común (Silveira *et al.*, 2013); no obstante, esta característica no ha sido estudiada en *C. purpureus*. El acame sucede por fractura o doblamiento del tallo, usualmente en respuesta al viento o a tormentas. En *C. purpureus*, el acame provoca brote de yemas axilares y crecimiento de tallos fuera de surco.

Diversas variedades de *Cenchrus purpureus* han sido diseminadas en Latinoamérica con fines comerciales. En México existen escasos estudios sobre el comportamiento productivo de la especie. El objetivo de la presente investigación fué evaluar el crecimiento, el rendimiento, el contenido de fibra y la resistencia al acame de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone en un clima cálido subhúmedo del trópico mexicano, en un intento por facilitar la toma de decisiones en campo al utilizar esta gramínea como cultivo energético. Conjuntamente, se evalúa la correlación entre algunas variables morfológicas y el rendimiento.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Localización y condiciones climáticas

El experimento se realizó en el Sitio Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Ciudad Isla, Ver.; a 18°06' LN, 95°32' LO y a 65 msnm; de junio de 2012 a enero de 2013. La primera medición se realizó el 30 de agosto, a los 65 días después de la siembra. El clima del lugar es Aw₁, 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 del presente experimento se muestran en la Figura 1.1. El suelo fue identificado como un acrisol ortíco con textura migajón arenosa, de bajo contenido de materia orgánica (0.34%), N inorgánico (2 ppm), K

(trazas), Ca (174 ppm), Mg (48 ppm) y Cu (0.2 ppm); pero con niveles adecuados de Fe (57 ppm), Zn (1.6 ppm), Mn (4.4 ppm) y P (55 ppm). El pH resultó ácido (3.5).

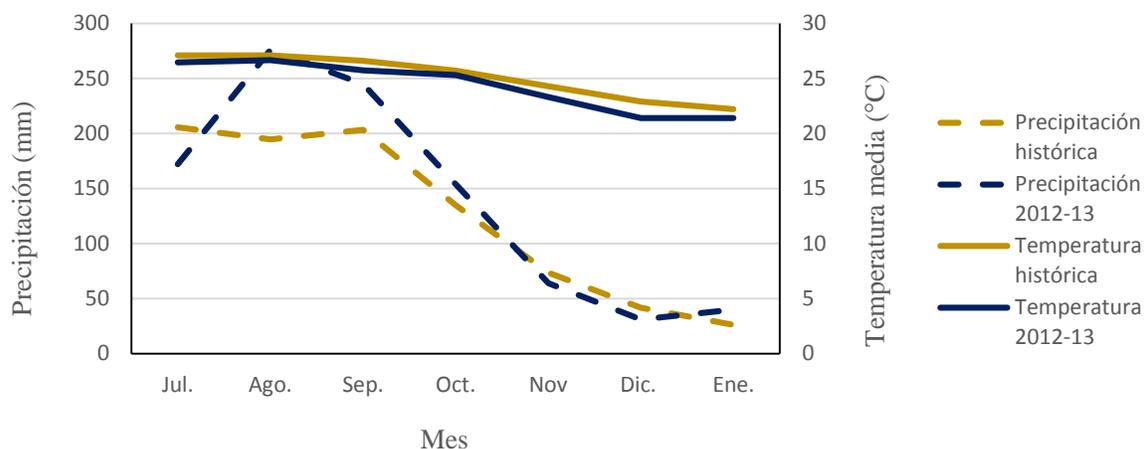


Figura 1.1. Datos de precipitación y temperatura durante el periodo experimental.

Las variedades evaluadas fueron: Camerún (CAM), OM22 (OM), King Grass (KG), Vruckwona (VRU), CT115 (CT), Taiwán (TAI), Caña Africana (CA) y Roxo (RX). El diseño experimental fue de cuatro bloques completos al azar y ocho tratamientos o variedades. La unidad experimental consistió en 6 surcos de 8 m de longitud, separados a 0.6 m. La parcela útil fue representada por los 4 surcos centrales en 6 m de su longitud, lo que correspondió 24 m lineales de parcela útil.

La preparación del terreno inició 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 juntas a 'punta y cola' a una profundidad de 5 cm. Los tallos se cortaron en segmentos que contenían 2 a 3 entrenudos. Una sola dosis de fertilización fue agregada a los 45 d de edad con la fórmula 60-40-00 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio; equivalentes a 130.5 kg ha⁻¹ de fosfato di-amónico [(NH₄)₂ HPO₄] y 35.9 kg ha⁻¹ de urea [CO (NH₂)₂]. Durante los seis meses de establecimiento, el cultivo dependió enteramente de la lluvia de temporal.

1.4.2. Evaluación del crecimiento

Desde los 65 hasta los 185 d se midió mensualmente: la altura de planta (cm), el diámetro del tallo (mm) y la interceptación luminosa (%). Para las tres variables, se tomaron cinco lecturas por parcela a manera de sub-repeticiones, después se usó el promedio de las cinco sub-repeticiones como único dato por unidad experimental. La altura se tomó con un tubo de PVC graduado a cada 5 cm. La altura se tomó hasta el doblez de la penúltima hoja; o bien la hoja bandera en el caso de las últimas dos fechas en OM, la cual estaba a 95% de floración mientras en el resto de las variedades había panículas esporádicas. El diámetro se midió con un vernier a una altura de 25 a 30 cm sobre el nivel del suelo, en el centro de un entrenudo y girando el vernier hasta la dimensión más estrecha en tallos ovalados. La interceptación luminosa se midió colocando una regla de 1 m de longitud de manera perpendicular a los surcos, entre dos surcos centrales, y luego se registró la proporción de la regla que resultó sombreada. Las variables de crecimiento se comenzaron a medir a los 65 d de edad, dado que de acuerdo con la literatura, a esta edad ya es factible el aprovechamiento sin poner en riesgo la persistencia.

Al día 185, se cortó el pasto presente en los dos surcos laterales, así como aquel en 1 m en cabeceras de los cuatro surcos restantes (removiendo el efecto borde), con lo que restaban sólo cuatro surcos de 6 m de longitud (parcela útil). Luego se midió la altura y se contó el número de entrenudos por tallo en cinco plantas de cada parcela. Al dividir la altura por el número de entrenudos, se obtuvo la longitud media del entrenudo.

1.4.3. Densidad y rendimiento de materia seca por componente morfológico

Para estimar la densidad y el rendimiento se contó el número de tallos en los dos surcos de la orilla (seis metros lineales cada uno). Después se cortó y pesó en fresco el material presente en cada uno de estos surcos. Los pesos frescos de cada uno de estos dos surcos, y el número de tallos en ellos, se promediaron para obtener un único dato por unidad experimental, el promedio de estos dos pesos se denominó peso de la muestra total. De la muestra total se tomó una sub-muestra de dos plantas por

parcela, se separó por componente morfológico (hoja, tallo y material muerto) y se colocaron en bolsas de papel para luego llevarlas a peso constante a 65°C por 96 h. De esta manera, se obtuvo el peso seco por componente morfológico hoja, tallo y material muerto y fue estimado el rendimiento de materia seca total al descartar de la muestra total la humedad. Posteriormente se dividió el peso de la muestra verde por el conteo de tallos en 6 m para obtener el peso por planta individual (un tallo con sus hojas y material muerto) en verde. La relación hoja/tallo/material muerto en base húmeda se utilizó para fraccionar los componentes de la planta individual y obtener así el peso seco del tallo, además del peso seco de la planta. La proporción de cada componente morfológico y la humedad en ellos, permitió estimar el rendimiento total y el rendimiento por fracción morfológica y por superficie, a partir de la muestra total.

1.4.4. Determinación del contenido de fibras

Muestras de tallo y hoja de cada variedad fueron molidas hasta pasar por una malla de 1 mm y luego sometidas a un análisis de composición de fibras en un equipo Ankom 200®, para conocer la concentración de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991). La concentración de lignina detergente ácido (LDA) se obtuvo secuencialmente con las determinaciones anteriores al diluir la misma muestra en ácido sulfúrico (Robertson y Van Soest, 1981). Se midió además la concentración de cenizas por cremación a 500 °C por 2 h. El contenido de hemicelulosa se aproximó por diferencia entre la FDN y la FDA, mientras que el contenido de celulosa se aproximó por diferencia entre la FDA y la LDA. Una muestra adicional de 1 g fue secada a 105 °C por 4 h para estimar el contenido de humedad y registrar los resultados de FDN, FDA, LDA, celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas, como fracción de la materia seca.

1.4.5. Resistencia al acame

Para medir la resistencia de cada variedad al acame, se usaron los dos surcos en cada parcela (después de cortar dos surcos del efecto borde y dos surcos para la muestra en verde, como se explica en apartados anteriores). El forraje se dejó en campo por tres semanas más en plena época de nortes, para aumentar la exposición

al viento. Después, se contó el número de tallos no erectos y el número de tallos aún a 90 ° al suelo. El conteo de tallos no erectos se expresó como porcentaje del total de tallos presentes en estos surcos, como una medida indirecta del acame.

1.4.6. Análisis de datos

Las variables fueron analizadas mediante el procedimiento MIXED y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey. Además se midió la asociación entre las variables morfológicas y el rendimiento, mediante un coeficiente de correlación. Los análisis se ejecutaron en el software SAS (SAS, 2004) en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1. Crecimiento

La altura, el diámetro de tallos y la intercepción luminosa, de los 65 a 185 días, son presentadas en la Figura 1.2. Este periodo de medición se eligió en virtud de que a partir de los 65 d de edad, la cosecha ya es factible sin comprometer la persistencia.

De acuerdo a las descripciones de origen, OM y CT mostraron tendencias contrarias. OM tuvo la mayor altura tanto a los 155 ($P < 0.001$) como a los 185 días de edad ($P = 0.037$). Lo anterior puede deberse a la floración, dado que los entrenudos superiores son particularmente largos y delgados en tallos reproductivos. Por otro lado, CT mostró la menor altura a los 185 días, dada la reducción progresiva de sus entrenudos conforme avanza su edad; que es la característica por la que se distingue y la razón por la cual fue seleccionado originalmente. Por el contrario, a los 65 días CT tenía mayor altura que RX, OM y CAM ($P = 0.006$), al igual que una mayor intercepción luminosa que estos ($P = 0.015$). La altura coincidió a los 185 días para 6 de las 8 variedades, diferenciándose sólo las variedades cubanas (OM vs. CT).

En cuanto al diámetro de tallos, OM registró el mayor valor desde los 95 hasta los 155 días ($P < 0.001$). No obstante, a los 185 días, OM no mostró diferencia con respecto a RX ($P = 0.7$) o VRU ($P = 0.07$). Las variedades CAM y CT resultaron ser las de menor diámetro, tanto al final (Cuadro 1.1) como al principio (Figura 1.2) del periodo de crecimiento.

Ninguna variedad pasó del 94% de intercepción luminosa al día 185. A este punto todas convergen, sin saturarse, como lo reportan Calzada-Marín *et al.* (2014). La mayor altura en CT coincide con una mayor intercepción luminosa a los 65 días, marcando cierta precocidad con respecto al resto de las variedades durante el ciclo de establecimiento.

1.5.2. Morfología

En el Cuadro 1.1 se presentan las variables morfológicas evaluadas al momento de la cosecha (185 días). Esto corresponde exclusivamente a la última fecha de medición presentada en la Figura 1.2.

Cuadro 1.1. Variables morfológicas de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone a los 185 días de edad.

Especie	Altura (cm)	Número de tallos (tallos m ⁻¹)	Diámetro de tallo (cm)	Longitud entrenudo (cm)	Peso seco por planta (g)	Peso seco por tallo* (g)
CT115	350.2 ^c	11.2 ^a	14.9b ^c	12.3 ^c	110.2 ^c	76.9 ^b
Caña Africana	417.6 ^b	8.0 ^b	15.8 ^{bc}	14.3 ^{bc}	151.0 ^{abc}	107.6 ^{ab}
Taiwan	402.5 ^b	7.7 ^b	16.0 ^{bc}	14.5 ^{bc}	162.8 ^{ab}	110.3 ^{ab}
King Grass	419.5 ^b	8.5 ^{ab}	15.0 ^{bc}	14.2 ^{bc}	144.6 ^{abc}	100.9 ^{ab}
Vrukwna	408.6 ^b	7.5 ^b	16.3 ^{ab}	14.7 ^b	138.9 ^{abc}	95.5 ^{ab}
Roxo	402.5 ^b	8 ^b	17.7 ^{ab}	14.4 ^{bc}	114.0 ^c	86.3 ^b
OM22	478.8 ^a	6.2 ^b	19.2 ^a	20.5 ^a	183.5 ^a	133.9 ^a
Camerun	400.7 ^b	9.5 ^{ab}	14.4 ^c	19.0 ^a	119.3 ^{bc}	78.8 ^b
EE	10	0.7	0.7	0.5	9.9	8.3
R ²	0.37	0.63	0.20	0.57	0.73	0.69

^{a,b,c}: Medias en la misma columna con la misma literal, no muestran diferencias ($P < 0.05$).

* El peso por tallo resulta de restar del peso de la planta, el peso de hojas y material muerto.

EE: Error estándar.

Se encontraron diferencias para la altura de planta, la densidad de tallos, el peso seco por planta, la longitud de entrenudo y el diámetro de tallo ($P < 0.05$). No obstante, las

variedades TAI, KG, CA y VRU no difirieron entre ellas. En contraste, CAM, que tiene una cercana relación genética con estas, les superó en la longitud del entrenudo, y su tallo fue más delgado en comparación con OM, RX y VRU. CT presentó menor altura, menor longitud de entrenudos y mayor densidad que el resto a los 185 días, excepto vs KG y CAM. El OM presentó tallos gruesos, sin diferenciarse de VRU o RX; así como de mayor peso que CT, CAM y RX. El OM registró junto con CAM los entrenudos más largos y una densidad menor a la del CT (6.2 vs. 11.2 tallos m^{-1} ; $P < 0.05$).

1.5.3. Rendimiento a los 185 días

El rendimiento total y por fracción morfológica, así como la relación hoja/tallo en las ocho variedades a los 185 días, se muestran en el Cuadro 1.2. No hubo diferencias en el rendimiento total (21.7 ± 0.86 Mg MS ha^{-1} ; $P = 0.42$) ni para el rendimiento en tallo (14.11 ± 0.63 Mg MS ha^{-1} ; $P = 0.53$). Para el caso de la hoja (3.91 ± 0.21 Mg MS ha^{-1}), RX presentó menor rendimiento que CT, OM, TAI, VRU y CAM. En un trabajo llevado a cabo en el sitio experimental donde se desarrolló el presente experimento, se encontraron rendimientos de hasta 30 Mg MS ha^{-1} para el cultivar Maralfalfa a los 184 días de edad (Calzada-Marín *et al.*, 2014). Las diferencias más importantes respecto al experimento actual fueron: mayor dosis de fertilización, mayor densidad de plantas, y en consecuencia una intercepción más eficiente de luz. A este respecto ellos encontraron una intercepción máxima de luz de 97%, mientras en la investigación actual la intercepción luminosa no superó el 95% para ninguna variedad, como se discutirá más adelante.

Los resultados de la presente investigación contrastan también con aquellos reportados en Tizimin, Yucatán (Ramos *et al.*, 2012). En tal estudio, se encontraron para condiciones climatológicas similares a las del experimento actual, rendimientos de biomasa seca de 80 , 102 y 112 Mg MS $ha^{-1}a^{-1}$, para CT, KG y OM, respectivamente; así como incrementos de 15 , 38 y 48 Mg MS $ha^{-1}a^{-1}$, mismo orden, a consecuencia de fertilización con efluente porcino a razón de 300 kg N ha^{-1} . Estos rendimientos superan cualquier producción reportada en la literatura. Los autores mencionados manejaron cortes con frecuencia de 60 d, riego y una alta dosis

de fertilización, por lo que su alto rendimiento puede obedecer a estas tres importantes ventajas en el manejo. En otro estudio realizado con CAM en Brasil, a una temperatura de 22.5 °C y una precipitación anual de 1300 mm (Leite *et al.*, 2000), los autores encontraron un rendimiento superior a 25 Mg MS ha⁻¹ desde los 100 d de edad, durante el verano.

En contraste con los altos rendimientos de Yucatán, en una experiencia reportada (Nava *et al.*, 2013) para el Noreste de México, a 22 °C de temperatura media anual, 580 mm de precipitación y 293 msnm, se obtuvieron rendimientos de no más 5.6 Mg MS ha⁻¹ en CT. No obstante, en condiciones tan limitantes y ajenas al nicho ecológico de esta especie, es un importante logro el establecer con éxito una variedad de *Cenchrus purpureus*.

El material muerto resultó mayor en CA o KG vs OM o CAM, lo que implica que las primeras están perdiendo sus hojas antes que estas últimas dos. Esto podría ayudar a reciclar los minerales hacia el suelo, pues las hojas tienen mucho mayor contenido mineral que el tallo (Knoll *et al.*, 2012).

Cuadro 1.2. Componentes del rendimiento (Mg MS ha⁻¹) y relación hoja/tallo en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) a los 185 días de edad.

Especie	Rendimiento total	Rendimiento en hoja	Rendimiento en tallo	Material muerto	Relación hoja:tallo
CT115	24.3	4.45 ^a	16.11	3.77 ^{ab}	0.28 ^{ab}
Caña Africana	21.9	3.49 ^{ab}	14.13	4.31 ^a	0.26 ^{ab}
Taiwán	22.3	4.35 ^a	13.81	4.17 ^{ab}	0.33 ^{ab}
King Grass	20.7	3.39 ^{ab}	13.11	4.23 ^a	0.26 ^{ab}
Vruckwona	20.7	3.95 ^a	13.02	3.74 ^{abc}	0.32 ^{ab}
Roxo	17.3	1.98 ^b	12.24	3.14 ^{abc}	0.16 ^b
OM22	22.7	4.12 ^a	15.76	2.87 ^{bc}	0.26 ^{ab}
Camerún	20.3	5.03 ^a	12.73	2.53 ^c	0.42 ^a
EE	2.34	0.397	1.74	0.45	0.037
R ²	0.37	0.68	0.33	0.51	0.63

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

EE: Error estándar.

Las variedades KG, CAM, TAI, CA y VRU no presentaron diferencias para ninguna característica correspondiente a los componentes del rendimiento (Cuadro 1.2). Las distancias genéticas entre algunas de estas variedades son: 0.02, 0.06 y 0.10 para CA vs VRU, CAM o KG; 0.07 y 0.11 para KG vs VRU o CAM; así como 0.02 entre las dos últimas (Pereira *et al.*, 2008). La estrecha relación genética entre estas variedades es congruente con las similitudes su rendimiento.

La relación hoja/tallo fue similar entre variedades; con excepción del CAM, que mostró mayor proporción de hoja con respecto al RX ($P < 0.05$). Leite *et al.* (2000) reportan una relación hoja/tallo igual a 1.0 a los 120 d de crecimiento, valores muy por encima de los encontrados en la presente investigación a los 185 d. No obstante Calzada Marín *et al.* (2014), registraron una relación hoja/tallo de 0.26 para Maralfalfa a los 184 días, lo que fue consistente con el presente ensayo.

1.5.4. Correlación entre rendimiento y morfología

Dado que el método de siembra consistió en la colocación de tallos completos de manera horizontal, el número de tallos por metro lineal a los 185 días estuvo inversamente relacionado con la longitud promedio del entrenudo ($r = -0.35$, $P < 0.05$). Esta relación se debe a que un tallo con entrenudos largos tiene un menor número de yemas por unidad de distancia para desarrollar plantas al momento de la siembra. Así por ejemplo, el OM presenta la mayor longitud promedio de entrenudos y el menor número de tallos al momento de la cosecha. Sin embargo, la baja densidad es compensada por tallos de mayor altura ($r = 0.52$; $P = 0.002$). En contraparte, CT tiene menor longitud de entrenudo y por tanto más puntos de crecimiento por unidad de distancia al sembrarse colocando plantas horizontalmente, por lo que un culmo da origen a un mayor número de tallos por metro. Al aumentar la densidad, se produce mayor competencia y esto conlleva a la producción de tallos más ligeros y de menor altura. Uno de los factores que influyó en el registro de una mayor longitud del entrenudo para el OM fue su alta frecuencia de floración (más del 90% de las plantas), ya que los entrenudos apicales tienden a ser más largos en la etapa de floración.

En un estudio en que se evalúan una serie de características morfológicas como variables explicativas del rendimiento, se concluyó que la altura y la densidad de tallos son las características que mejor explican el rendimiento de biomasa en *C. purpureus* (Zhang *et al.*, 2010). En la presente investigación fue la densidad ($r=0.53$, $P<0.01$) y el peso individual de cada planta ($r =0.47$, $P<0.01$) las variables más correlacionadas con el rendimiento total de materia seca. La altura mostró a su vez una asociación directa con el diámetro basal ($r=0.59$; $P=0.003$), con la longitud media de entrenudos ($r=0.52$; $P=0.002$) y con el peso de la planta ($r=0.51$; $P=0.003$); pero mostró una relación inversa con la densidad de tallos ($r=-0.58$, $P=0.0005$). La relación inversa entre altura y densidad ha sido ampliamente discutida en la literatura (Lonsdale, 1990) como la ley de auto-aclareo o “self-thinning rule”, dicha ley indica que en poblaciones puras con alta densidad existe una reducción gradual en dicha densidad conforme el crecimiento aumenta, explicada en términos de competencia intra-específica.

1.5.5. Contenido de fibra

El contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina de las ocho variedades se presenta el Cuadro 1.3, para cada componente morfológico (tallo y hoja). En el tallo: CA y KG tuvieron mayor contenido de hemicelulosa que OM, CT y RX; VRU, CA, CAM, TAI y OM mostraron mayor contenido de celulosa que RX; y finalmente VRU y TAI presentaron mayor contenido de lignina que el CAM. En la hoja: VRU y TAI mostraron mayor concentración de hemicelulosa que RX y OM; VRU presentó mayor concentración de celulosa que RX y OM; así mismo, la concentración de lignina fue mayor en TAI y CAM con respecto a CA y OM. En general, el tallo se caracterizó por tener mayor contenido de celulosa (35.9 vs 26.11; $P<0.0001$) y lignina (7.27 vs 3.14; $P<0.0001$) que la hoja; así como menor concentración de hemicelulosa (36.1 vs 38.6; $P<0.0001$) y cenizas (2.66 vs 7.68; $P<0.0001$).

El tallo es la fracción más importante cuando se trata de aprovechamiento industrial en los molinos de papel, y podría serlo también para la extracción de etanol, ya que supone la mayor parte del rendimiento a edades avanzadas de la planta.

Cuadro 1.3. Fracciones de la fibra en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone a los 185 días de edad.

Variedad	Hemicelulosa		Celulosa		Lignina		Cenizas	
	Tallo	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Hoja
CT115	33.8 ^b	38.8 ^{ab}	33.1 ^b	26.9 ^{ab}	7.1 ^{ab}	3.2 ^{ab}	2.4 ^{ab}	8.3 ^{ab}
Caña Africana	38.4 ^a	39.3 ^{ab}	37.7 ^a	26.4 ^{ab}	6.5 ^{ab}	2.7 ^b	2.7 ^{ab}	6.1 ^c
Taiwán	36.1 ^{ab}	40.2 ^a	36.7 ^a	26.6 ^{ab}	7.7 ^a	3.8 ^a	2.5 ^{ab}	8.1 ^{abc}
King Grass	38.4 ^a	38.8 ^{ab}	34.6 ^{ab}	25.1 ^b	7.3 ^{ab}	2.9 ^{ab}	2.6 ^{ab}	6.8 ^b ^c
Vruckwona	36.8 ^{ab}	39.9 ^a	37.6 ^a	27.8 ^a	7.8 ^a	3.0 ^{ab}	3.4 ^a	7.1 ^b ^c
Roxo	35.0 ^b	36.5 ^b	34.5 ^{ab}	25.0 ^b	7.5 ^{ab}	3.0 ^{ab}	3.6 ^a	9.2 ^a
OM22	34.4 ^b	36.9 ^{ab}	36.6 ^a	25.1 ^b	6.9 ^{ab}	2.8 ^b	1.8 ^b	8.4 ^{ab}
Camerún	35.9 ^{ab}	38.3 ^{ab}	37.0 ^a	26.0 ^{ab}	6.5 ^b	3.7 ^a	2.3 ^{ab}	8.4 ^{ab}
R ²	0.89	0.81	0.88	0.83	0.81	0.86	0.8	0.87
EE	0.54	0.61	0.53	0.42	0.19	0.15	0.26	0.36

^{a,b,c}: Medias en la misma columna con distinta literal son diferentes (P<0.05). EE: Error Estándar. R²= Ajuste del modelo. Hemicelulosa = FDN-FDA. Celulosa= FDA-LDA. Lignina=ADL.

Las diferencias en la concentración de las fracciones de la fibra, así como la viabilidad del cultivo de cada variedad en campo, le conferirán a cada variedad un mayor o menor potencial de acuerdo con el objetivo de producción.

El contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina para la planta completa, se presenta en Figura 1.3. Las variedades CA y KG tuvieron mayor concentración de hemicelulosa que el CT; CA y VRU presentaron mayor celulosa que CT; y las variedades RX, TAI y VRU mostraron mayor concentración de lignina que CAM.

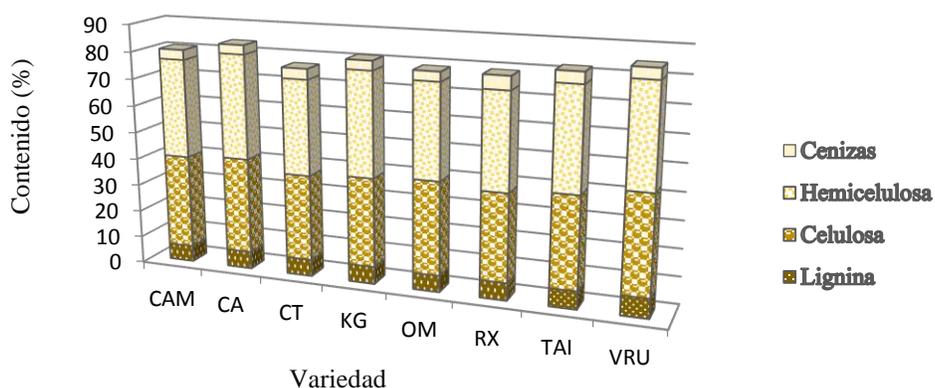


Figura 1.3. Hemicelulosa (FDN-FDA), celulosa (FDA-LDA), lignina (LDA) y cenizas en la planta completa de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone a los 185 días de edad.

El cociente celulosa/hemicelulosa resultó de 0.68 para la fracción hoja y de 1.0 para el tallo, valores que difieren entre sí ($P=0.001$). En un estudio con seis cultivos energéticos, el contenido de cenizas en la hoja fue superior al de tallo, con valores de 8.6 vs 3.7% en promedio (Monti *et al.*, 2008), y una relación 3:1 en el contenido de cenizas en hoja:tallo. En los datos del presente experimento se encontró un $3.8\% \pm 0.12\%$ de cenizas para la planta completa, dada la baja relación hoja/tallo. La baja concentración de cenizas podría implicar que el crecimiento estuvo limitado por la disponibilidad de minerales en el suelo, dado que se ha reportado una concentración de 6.0% de cenizas para pasto Napier (Knoll *et al.*, 2012).

En virtud de que el tallo representó el 78% de la materia seca al día 185, el rendimiento en etanol supone una relación directa con la extracción de este a partir de la fracción tallo. De especial interés es el contenido de hemicelulosa en tallo, que resultó mayor en CA y KG en comparación con RX y OM. Mientras que la concentración de lignina limita la extracción y por tanto el rendimiento en etanol, lo que puede implicar una menor conveniencia de utilizar variedades como VRU o TAI.

1.5.6. Resistencia al acame

Acerca de la proporción de tallos no erectos, las variedades VRU, TAI, KG y CA (1.5, 3.75, 5.75 y 6.25 % tallos postrados) presentaron mayor resistencia a la caída de sus tallos en comparación con las variedades CAM y CT (47 y 35% de tallos postrados) ($P=0.002$). Las variedades RX y OM (28 y 20 % de tallos inclinados) no presentaron diferencia con respecto a ninguna otra variedad. La mayor resistencia al acame facilitaría la cosecha mecánica, y evitaría el crecimiento de maleza en periodos prolongados de crecimiento. Esto último se debe a que la caída de tallos facilita el acceso a nivel del suelo a la radiación fotosintéticamente activa, provocando además crecimiento no controlado de *C. purpureus* en el centro de los surcos.

En la Figura 1.4, se presenta la comparación entre una variedad con alta resistencia al acame y una variedad no resistente. Puede notarse que el acame deja el cultivo en posición en que la cosecha sería una tarea difícil. En un estudio en Japón, se

menciona que las variedades de *C. purpureus* presentan cierta tendencia decumbente sólo al principio de su desarrollo, característica que les permite maximizar el crecimiento al aumentar la utilización de luz (Kubota *et al.*, 1994). No obstante, ellos mencionan que al acercarse a la madurez, todos los tallos tienden a ser erectos a menos que se trate de bordes de macollos densos. Sin embargo, en el experimento actual, no se presentaron macollos densos para este primer ciclo de crecimiento post-siembra, sino grupos de 2 a 4 tallos a lo mucho. Por lo anterior, se esperaba que la perpendicularidad de los tallos con el suelo fuera más la regla que la excepción, más la acción del viento provocó una caída significativa de tallos en cuatro de las ocho variedades (CAM, CT, RX y OM).

1.5.7. Variedades sugeridas para biocombustibles

Las variables de crecimiento, de morfología y de rendimiento mostraron diferencias importantes para las variedades CT, OM, RX y CAM. Sin embargo, ninguna de estas merece la recomendación como cultivo energético si se parte de un manejo que implique periodos largos de crecimiento, dado que estas cuatro presentan acame en uno u otro grado. Más aún, OM, RX y CT presentaron bajo contenido de hemicelulosa en tallos. No obstante, en periodos más cortos de crecimiento ninguna de ellas deberá necesariamente descartarse. En virtud de que la producción de etanol requeriría de abasto continuo de biomasa y ciclos reducidos pueden ser una necesidad que podría resolverse con estas variedades.

CA, KG, TAI y VRU serían las variedades más convenientes como cultivos energéticos o industriales, tomando en cuenta su resistencia al acame. Las diferencias entre estas cuatro ayudarían a decidir la opción más adecuada en función del objetivo de producción. Por ejemplo, un mayor contenido de hemicelulosa y menor lignificación facilitarían la extracción de etanol; cualidades que se conjugan en los cv. KG y CA. Mientras la lignificación puede ser una característica deseable si hablamos de la resistencia de la fibra para su utilización en molinos de papel, condición que conduce a sugerir el uso variedades como VRU y TAI para esa particular aplicación.



Figura 1.4. Caña Africana (izquierda) y Camerún (derecha) como ejemplos de variedad resistente y no resistente al acame.

1.6. CONCLUSIONES

Cenchrus purpureus (Schumach.) Morrone presentó un rendimiento de 21 Mg MS ha⁻¹ a los 185 días en el trópico subhúmedo mexicano, sin diferencia entre variedades.

CT y OM fueron las dos variedades más contrastantes en este estudio, seguidas de RX y CAM. Ninguna de estas se recomienda como cultivo energético en circunstancias de largos periodos de crecimiento. No obstante, pueden explorarse como opción para forraje en periodos de crecimiento más cortos.

En virtud de que poseen un mayor contenido de hemicelulosa, una alta resistencia al acame y un moderado contenido de lignina, CA y KG se recomiendan como cultivos energéticos para la extracción de bio-etanol de segunda generación.

TAI y VRU resaltan por su lignificación, lo que les confiere buena calidad desde el punto de vista de la resistencia de su fibra para su utilización en molinos de papel.

Las variedades con mayor concentración de celulosa y lignina en tallo, VRU y TAI, y las variedades con mayor contenido de hemicelulosa (en tallo), CA y KG, resultaron ser las cuatro con mayor resistencia al acame.

1.7. LITERATURA CITADA

- Anderson, W., Dien, B., Brandon, S., Peterson, J., 2008. Assessment of bermudagrass and bunch grasses as feedstock for conversion to ethanol. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 145, 13–21. doi:10.1007/s12010-007-8041-y.
- 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.
- Bouton, J.H., 2002. Bioenergy crop breeding and production research in the southeast, final report for 1996 to 2001, Department of Energy. Tyfton, GA, USA. p 15.
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz, J.F., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., Mendoza-Pedroza, S.I., 2014. Growth analysis of Maralfalfa grass (*Pennisetum* sp) in a warm humid climate. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 5, 247–260.
- Chaparro, C.J., Sollenberger, L.E., Quesenberry, K.H., 1996. Light interception, reserve status and persistence of clipped Mott elephantgrass swards. *Crop Sci.* 36, 649–655. doi:10.2135/cropsci1996.0011183X003600030022x.
- 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. doi:10.1093/aob/mcq090.
- Dwivedi, P., Alavalapati, J.R.R., Lal, P., 2009. Cellulosic ethanol production in the United States: Conversion technologies, current production status, economics, and emerging developments. *Energy. Sustain. Dev.* 13, 174–182. doi:10.1016/j.esd.2009.06.003.
- Fortes, D., Herrera, R.S., Ramírez-Avilés, M., Cruz, A.M., Romero, A., 2011. Distribución vertical de las hojas, tallos y rendimiento de materia seca después del pastoreo del *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115 durante el período poco lluvioso. *Rev. Cuba. Ciencia Agrícola* 45, 73–77.

- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, 5th ed. Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México, México DF. p 52.
- Gonçalez, D.A., 1985. Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) cv. "Roxo de Botucatu" (I). B. Ind. Anim. Nov. Odessa. 42, 141–142.
- Interrante, S.M., Sollenberger, L.E., Blount, a. R., Coleman, S.W., White, U.R., Liu, K., 2009. Defoliation management of Bahiagrass germplasm affects cover and persistence-related responses. Agron. J. 101, 1381–1387. doi:10.2134/agronj2009.0126.
- Knoll, J.E., Anderson, W.F., Malik, R., Hubbard, R.K., Strickland, T.C., 2013. Production of Napier grass as a bioenergy feedstock under organic versus inorganic fertilization in the southeast USA. Bioenergy Res. 6, 974–983. doi:10.1007/s12155-013-9328-1.
- 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.
- Kubota, F., Matsuda, Y., Agata, W., Nada, K., 1994. The relationship between canopy structure and high productivity in Napier grass, *Pennisetum purpureum* Schumach. F. Crop. Res. 38, 105–110. doi:10.1016/0378-4290(94)90004-3.
- Leite, R.M.B., de Queiroz F, J.L., da Silva, D.S., 2000. Producao e valor nutritivo do capim elefante cultivar cameroon em diferentes idades. Agropecuaria Técnica 21, 30–39.
- Loch, D.S., Ferguson, J.E., 1999. Tropical and subtropical forage seed production: an overview, in: Loch, D.S., Ferguson, J.E. (Eds.), Forage Seed Production. Vol II: Tropical and Subtropical Species. CABI, Wallingford, UK, pp. 1–40.
- Lonsdale, W.M., 1990. The self-thinning rule: dead or alive? Ecology 71, 1373–1388. doi:10.2307/1938275.
- 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* Schumach.) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.). African J. Environ. Sci. Technol. 4, 465–470.
- 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. Agric. 44, 189–193.

- Monti, A., Di Virgilio, N., Venturi, G., 2008. Mineral composition and ash content of six major energy crops. *Biomass and Bioenergy* 32, 216–223. doi:10.1016/j.biombioe.2007.09.012.
- Nava, C.J.J., Gutiérrez, O.E., Zavala, G.F., Olivares, S.E., Treviño, J.E., Bernal, B.H., Herrera, G.R., 2013. Establishment of CT 115 grass (*Pennisetum purpureum*) in a semiarid area of northeast Mexico. *Rev. Fitotec. Mex.* 36, 239–244.
- Palacios-Díaz, M.P., Mendoza-Grimón, V., Fernández-Vera, J.R., Hernández-Moreno, J.M., 2013. Effects of defoliation and nitrogen uptake on forage nutritive values of *Pennisetum* sp. *J. Anim. Plant Sci.* 23, 566–574.
- Passos, L.E., Vidigal, M.C., Verneque, R.S., 2001. Initial biomass production and soluble carbohydrate partitioning of contrasting Elephant grass genotypes, In: XIX International Grasslands Congress, Sao Paulo, Brazil, pp. 12–14.
- Pereira, A. Vander, Machado, M.A., Azevedo, A.L.S., do Nascimento, C.S., Campos, A.L., Ledo, F.J. da S., 2008. Genetic diversity among Elephant grass accessions estimated by molecular markers. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 1216–1221.
- Ramos, T., Canul, S.J.R., Duarte, V.F.J., 2012. Producción de tres variedades de *Pennisetum purpureum* fertilizadas con dos fuentes nitrogenadas en Yucatán, México. *Biociencias* 2, 60–68.
- Robertson, J.B., Van Soest, P.J., 1981. The detergent system of analysis, in: James, W.P.T., Theander, O. (Eds.), *The Analysis of Dietary Fiber in Foods*. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 123–158.
- Samson, R., Mani, S., Boddey, R., Sokhansanj, S., Quesada, D., Urquiaga, S., Reis, V., Ho Lem, C., 2005. Perennial grasses for developing a global BIOHEAT Industry. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* 24, 461–495. doi:10.1080/07352680500316508.
- Sanderson, M. a., Adler, P.R., 2008. Perennial forages as second generation bioenergy crops. *Int. J. Mol. Sci.* 9, 768–788. doi:10.3390/ijms9050768
- SAS, 2004. SAS/STAT 9.1 Users guide. SAS Institute Inc., Carry, NC.
- Silveira, M.C.T., Da, S.S.C., Souza Jr, S.J., Barbero, L.M., Rodrigues, C.S., 2013. Herbage accumulation and grazing losses on Mulato grass subjected to strategies of rotational stocking management. *Sci. Agric.* 70, 242–249.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.

- Wongwatanapaiboon, J., Kangvansaichol, K., Burapatana, V., Inochanon, R., Winayanuwattikun, P., Yongvanich, T., Chulalaksananukul, W., 2012. The potential of cellulosic ethanol production from grasses in Thailand. *J. Biomed. Biotechnol.* 2012, 10 p. doi:10.1155/2012/303748.
- Yasuda, M., Miura, A., Shiragami, T., Matsumoto, J., Kamei, I., Ishii, Y., Ohta, K., 2012. Ethanol production from non-pretrated napiergrass through a simultaneous saccharification and fermentation process followed by a pentose fermentation with *Escherichia coli* KO11. *J. Biosci. Bioeng.* 114, 182–92. doi:10.1016/j.jbiosc.2012.03.011.
- Zhang, X., Gu, H., Ding, C., Zhong, X., Zhang, J., Xu, N., 2010. Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum*. *Trop. Grasslands* 44, 95–102.

2. CAPITULO II. Dinámica poblacional de tallos en ocho variedades de pasto elefante *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone

Dinámica poblacional de tallos en ocho variedades de pasto elefante *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone

José Angel Rueda Barrientos, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2015

2.1. RESUMEN

Se evaluó la dinámica poblacional de tallos en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* en un clima cálido húmedo, durante las épocas seca (cinco meses) y húmeda (seis meses) del temporal. Las variedades evaluadas fueron: CT-115, Caña Africana, Taiwán, King Grass, Vruckwona, Roxo, OM-22 y Camerún. El diseño experimental consistió en cuatro bloques al azar con ocho tratamientos. La tasa de aparición (TAT) y la tasa de mortalidad de tallos (TMT) se expresaron como “(número de tallos por cada 100 tallos en el conteo anterior) x 100”. Tanto la TAT como la TMT se contabilizaron desde el día 14 a intervalos de 4 semanas. En las épocas húmedas, la aparición de tallos fue significativa sólo en dos momentos: en el rebrote inicial, con mayor TAT aéreas (A) y al día 98, con mayor TAT basales (B); con densidades de 51 A y 26±2.5 B ó 79 A y 21±4.5 B tallos m⁻² en las épocas húmedas de 2013 ó 2014. En la época seca, la TMT fue mayor a 40 para A y mayor a 20 para B desde el día 98 en adelante, dado que la mayor TAT se registró al día 42 (tallos jóvenes y delgados al día 70 no competían por luz). Mayores densidades y mayores TMT caracterizan a esta época. TMT globales de 29.3 y 14.6±1.5 fueron observadas para tallos A ó B. Los tallos A parecen ser utilizados como estrategia de cobertura y luego son desechados en su mayoría en pro del desarrollo de los tallos B. La densidad de tallos B se mantiene relativamente constante a través del desarrollo del cultivo. La constante mortalidad en ambos tipos de tallos puede ser explicada en términos de la ley de auto-aclareo.

Palabras clave: King Grass; pasto Napier; tasa de mortalidad de tallos; tasa de aparición de tallos.

Tiller dynamics in eight varieties of elephant grass *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone

José Angel Rueda Barrientos, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2015

2.2. ABSTRACT

Tiller dynamics was assessed for eight *Cenchrus purpureus* varieties during two rainy (six months) and one dry (five months) seasons in a warm sub-humid climate; on rain-fed conditions. Assessed varieties were: CT-115, African Cane, Taiwan, King Grass, Vruckwona, Roxo, OM-22 and Cameroon. Experimental design consisted of four complete blocks comprising eight treatments (varieties). Tiller appearance rate (TAR) and tiller mortality rate (TMR) were expressed as “(number of tillers per 100 living tillers counted in the former sampling date) x 100”. TAR and TMR of aerial (A) and basal (B) tillers were recorded from day 14 onwards, at 4 wk. intervals, describing natural variation in tiller dynamics during three undisturbed growth cycles. During wet seasons, tiller appearance occurred only at two ages: on initial regrowth, at day 14, with a higher proportion of A tillers, and at day 98, with a higher TAR of B tillers. Mean densities of 51 A and 26±2.5 B or 79 A and 21±4.5 B tillers m⁻² were recorded during wet seasons of 2013 or 14, same order. On the dry season, higher densities and TMR were recorded, with TMR above 40 for A and above 20 for B tillers from day 98 onwards. The highest TAR was recorded at day 42 (young and light tillers at day 70 cannot compete for light). Overall TMR were greater for A than for B tillers (29.3 vs 14.6±1.5), which remain true at each season and age. Aerial tillers are used by the plant as a strategy to reach the maximum light interception by canopy, but then A tillers were discarded in favor of the B tillers development. Basal tiller density remain relatively constant as the crop aged. Continuous mortalities of A and B tillers may be explained by means of the self-thinning rule.

Key words: King Grass; Napier Grass; tiller mortality rate; tiller appearance rate.

2.3. INTRODUCCIÓN

Se ha postulado que la densidad de plantas en cualquier población vegetal se ajusta a la Ley de Yoda (Yoda *et al.*, 1963). Esta ley establece que el peso medio por planta (w) fluctúa en relación inversa a la densidad de población (d) para cualquier población pura, de acuerdo con la ecuación $w = a d^{-3/2}$. Por lo que si una población se encuentra sobrepoblada, esta tenderá a reducir su densidad en respuesta a la competencia intra-específica. Una transformación logarítmica de la ecuación mencionada, $\log w = k - 3/2 \log d$, resulta en una línea recta con una pendiente igual a $-3/2$, donde $k = \log a$ es una constante que depende de la especie. Tal recta puede interpretarse como el límite biológico de producción para una especie a una densidad dada, para cualquier condición ambiental (Weller, 1990). Por lo que por encima de cierta densidad de siembra, dado que la ley está definida para poblaciones puras sobrepobladas, la densidad, a una edad determinada, será explicada en función a la mortalidad a causa de la competencia intra-específica por recursos.

Más allá de la ley de auto-aclareo de Yoda, en poblaciones puras que crecen libremente, se ha estipulado que existe una compensación tamaño/densidad cuando una pradera se mantiene a una altura determinada (Matthew *et al.*, 1995). Esto se ha reportado también para gramíneas tropicales como *Cynodon dactylon* (Sbrissia *et al.*, 2001) y *Urochloa brizantha* (Sbrissia *et al.*, 2010); donde, una menor altura es regularmente asociada a una mayor densidad; lo que parece un enfoque dinámico del principio de auto-aclareo. A menor altura de corte, mayor es la aparición de tallos en el rebrote. La excepción se da cuando la pradera es cortada continuamente a alturas cercanas al suelo, dado que la baja altura no puede ser compensada por un aumento en la densidad si las reservas orgánicas de la planta se han agotado (Sbrissia *et al.*, 2001).

Debe enfatizarse que la luz es el factor más importante al que las plantas reaccionan, mientras la humedad del suelo y la temperatura no limiten el crecimiento. A este respecto, la densidad tiende primero a aumentar hasta maximizar el índice de área foliar y lograr la máxima cosecha de luz, para luego disminuir después de alcanzar

una sobrepoblación (L'Huillier, 1987; Weller, 1990). De hecho, la luz es el recurso más abundante al inicio del periodo de crecimiento y la planta aumenta su cobertura en búsqueda de maximizar la radiación interceptada. Un estudio sobre la dinámica poblacional de tallos en respuesta a los regímenes de luz infraroja/roja-lejana, o a la reducción en el flujo de fotones, mostró que ambas condiciones tuvieron un impacto negativo en la aparición de tallos en *Lolium perenne* L. (Gautier *et al.*, 1999).

Conforme las gramíneas alcanzan su máxima cosecha de luz, los tallos más jóvenes mueren por efecto de la sombra, mientras que los tallos con mayor ventaja pueden seguir compitiendo, al alargarse e interceptar la luz en estratos más altos (Pereira *et al.*, 2013). Además, las hojas de mayor edad situadas en la base de los tallos sobrevivientes mueren también para ser sustituidas por aquellas que aparecen en el ápex para restituir el aparato fotosintético. En general, una hoja que permanece sombreada bajo el dosel, no es capaz de mantener un balance positivo de carbono y muere (Duru y Ducrocq, 2000). De igual forma, un tallo cuyas hojas sean sombreadas morirá, por las mismas razones (Hamilton *et al.*, 1995). La tasa de elongación de las hojas y el número de hojas por tallo suelen ser constantes durante el crecimiento (Duru y Ducrocq, 2000). Después de que un pasto es cortado, este deberá restaurar su aparato fotosintético, principalmente a partir de tres estrategias: 1. La elongación de tallos cuyo meristemo apical haya sobrevivido al corte; 2. La restitución del tejido foliar por elongación de las hojas remanentes; y 3. La aparición de nuevos tallos (Briske y Richards, 1995).

Algunos estudios con *Cenchrus purpureus*, han explorado ciclos de crecimiento largo con el objetivo de maximizar el rendimiento de biomasa para su uso industrial (Pedroso *et al.*, 2014). Después de alcanzar el rendimiento y calidad buscados, la biomasa presente en campo es removida completamente. Bajo estas condiciones, no existe área foliar ni meristemas apicales remanentes. El rebrote dependerá exclusivamente de la aparición de nuevos tallos, como única estrategia para restablecer el sistema autotrófico. La aparición de tallos será afectada a su vez por las reservas orgánicas en los órganos permanentes de la planta. Después del corte, en

C. purpureus, la altura residual del tocón facultará la aparición de un número importante de tallos aéreos a partir de las yemas axilares del mismo. De la misma forma, un corte cercano al suelo aumentará la proporción de tallos basales en el rebrote dado que habrá una menor cantidad de yemas axilares presentes.

A pesar de que no se ha discutido en la literatura el tema del rebrote de gramíneas perennes después de la remoción completa de su biomasa aérea, *C. purpureus* es resistente a eventos de congelamiento o fuego; lo que implica que los meristemas responsables de la aparición de nuevos tallos están bien protegidos bajo el suelo, en rizomas y raíz (Singh *et al.*, 2013).

Después de una cosecha completa, la producción de nuevos tallos a partir de los rizomas, raíces y tocones; dependerá del nivel de reservas orgánicas disponibles para el rebrote. Inmediatamente después de la cosecha, el tocón sigue siendo la fuente de carbohidratos fermentables que cubre los requerimientos de respiración de la raíz. Pero después de algunas horas la respiración agotará los carbohidratos solubles no transferidos a raíz (Briske y Richards, 1995) y las reservas acumuladas en la raíz se agotarán entre tres y siete días en condiciones de rebrote activo (White, 1973).

Las reservas orgánicas que facultan el rebrote comprenden tanto carbohidratos como compuestos nitrogenados (Davidson y Milthorpe, 1965; White, 1973). Los carbohidratos de reserva de los pastos tropicales, esencialmente sucrosa y almidón, se almacenan en la raíz, en los rizomas y en la base de los tallos. La sobrevivencia y mantenimiento de viabilidad en estos órganos durante el invierno, así como su capacidad para entrar en dormancia, son la clave de la persistencia en pastos perennes (Sarath *et al.*, 2014). Estos órganos serán los responsables de la aparición de tallos en cuanto las condiciones ambientales sean adecuadas para el rebote, y en ocasiones deben persistir a largos periodos de escases de recursos, como la falta de humedad en el suelo.

La planta normalmente transporta sus recursos hacia los órganos con mayor demanda en función a la etapa fisiológica. Por ejemplo, durante la senescencia de hojas una

serie de macromoléculas son recicladas para cubrir las demandas de tejido joven (Thomas, 2013). En ausencia de crecimiento o formación de estructuras reproductivas, los recursos serán almacenados en los órganos basales en pro de la persistencia.

Los compuestos nitrogenados son elementos esenciales para el rebrote de pastos y leguminosas (Volenc et al., 1996). En un pasto de origen templado, *Calamagrostis epigeos*, se encontró un alto contenido de aminoácidos libres (asparagina, arginina y glutamina), proteínas solubles y nitratos en la raíz y en la base de los tallos en otoño e invierno (Gloser, 2002). En alfalfa, se ha reportado que tanto proteínas solubles como aminoácidos libres, tienen una función importante en el rebrote primaveral después de una cosecha de otoño (Dhont et al., 2006). En los pastos tropicales, los compuestos nitrogenados migran naturalmente hacia la base de la planta desde el inicio de la senescencia de sus hojas (Pedroso et al., 2014), lo que les confiere un nivel de reservas que les permite sobrevivir a la cosecha total de su biomasa aérea y posibilita su manejo bajo cosechas relativamente frecuentes.

Por otro lado, la densidad de tallos en *C. purpureus*, así como la proporción de tallos aéreos y basales, presenta variación entre épocas (de Carvalho et al., 2006), de la edad (auto-aclareo) y a consecuencia de la compensación tamaño/densidad (Matthew et al., 1995). Una mayor proporción de tallos basales es registrada durante la primavera, mientras que la proporción de tallos aéreos repunta en el verano (de Carvalho et al., 2006). En *C. purpureus* bajo pastoreo, se registra una mayor producción de tallos aéreos cuando las praderas se manejan a mayor intercepción luminosa (95 vs 100%). No obstante, la densidad no se modifica al tomar la suma de ambos tipos de tallos en conjunto (Pereira et al., 2013).

El presente estudio se condujo con el objetivo de evaluar tanto la densidad como la dinámica de aparición y muerte de tallos, a intervalos de cuatro semanas, en ocho variedades de *C. purpureus*, durante dos épocas húmedas (seis meses) y una época seca (cinco meses); con el fin de estudiar la capacidad de rebrote de la especie.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Localización

El experimento se llevó a cabo en el Sitio Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Villa Isla, Veracruz, México; de junio de 2013 a noviembre de 2014. El sitio se localiza a 18°06' LN, 95°32' LO y 65 msnm. El clima se clasifica como Aw₁, cálido subhúmedo, con 80% de las lluvias durante el verano (García, 2004). Registros históricos de 40 años para la precipitación anual y temperatura media mensual promedian 1142 mm y 25.8 °C, respectivamente. Los datos climáticos para el periodo del presente experimento son presentados en la Figura 2.1. Un estudio de suelo del área experimental, llevado a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP condujo a los siguientes datos: suelo acrisol órtico con bajo contenido de materia orgánica, ácido (pH=3.5) y con bajos niveles de N (2 ppm), Ca (174 ppm), Mg (48 ppm) y Cu (0.2 ppm); pero niveles adecuados de Fe (57 ppm), Zn (1.6 ppm), Mn (4.4 ppm) y P (55 ppm). Durante todo el experimento, el pasto dependió por completo de la lluvia de temporal.

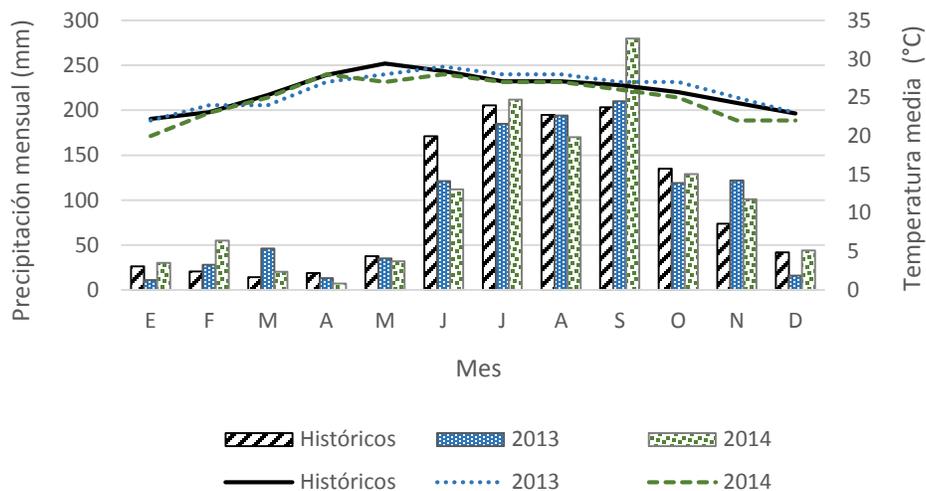


Figura 2.1. Datos históricos de precipitación (barras) y temperatura media mensual (líneas), así como registros correspondientes a los años en que se desarrolló el experimento.

2.4.2. Condiciones experimentales

Las variedades evaluadas fueron CT115 (CT), Caña Africana (CA), Taiwán (TAI), King Grass (KG), Vruckwona (VRU), Roxo (RX), OM22 (OM) y Camerún (CAM). El pasto se sembró colocando horizontalmente dos tallos emparejados a 'punta y cola' a 5 cm de profundidad. Cada parcela se compuso de 6 surcos de 8 m de largo, separados a 0.6 m. El diseño experimental consistió en cuatro bloques al azar con ocho tratamientos. La fórmula de fertilización usada fue 200:100:200 kg ha⁻¹año⁻¹ de NPK, en dos dosis, a los 14 y 56 días de edad, por cada ciclo de crecimiento. Para ello, se utilizaron los fertilizantes: urea [CO (NH₂)₂], fosfato di-amónico [(NH₄)₂ HPO₄] y cloruro de potasio (KCl), como fuentes minerales.

La siembra se realizó el 25 de junio de 2012 y las mediciones de dinámica de tallos iniciaron después de un año de manejo bajo el esquema de dos cosechas anuales. Igualmente, durante todo el experimento se continuó con dos cosechas por año, realizadas en los meses de mayo y diciembre.

Un corte de homogeneidad se realizó para iniciar cada uno de los tres ciclos de crecimiento, en las fechas: 1 de junio de 2013, 7 de diciembre de 2013 y 24 de mayo de 2014; correspondiendo con el inicio de la época húmeda de 2013, la época seca de 2014 y a la época húmeda de 2014, en el mismo orden. La fecha de corte se registró como el día cero para cada uno de ciclos.

2.4.3. Mediciones de aparición y muerte de tallos

En el día 14 de cada ciclo, un metro lineal se marcó en un surco central de cada parcela para registrar la dinámica de aparición y muerte de tallos; esto para cada una de las 32 parcelas. En esta fecha se marcaron todos los tallos presentes en el área de muestreo, distinguiendo entre tallos aéreos y basales. A partir de los 14 días de edad, se registró la dinámica de aparición y muerte de tallos, a intervalos de 4 semanas. Para identificar los tallos se utilizaron cables de colores. Un color diferente se utilizó para marcar los tallos basales en cada fecha de muestreo. Los tallos aéreos

se marcaron usando dos cables unidos: el primero con el color que correspondía a la fecha de muestreo y el segundo de color blanco

2.4.4. Variables calculadas

La densidad de tallos fue obtenida al transformar los datos de campo, medidos en un metro lineal, a número de tallos por metro cuadrado multiplicando por el factor 1.67, de acuerdo con la distancia entre surcos de 0.6. La tasa de aparición de tallos (TAT) y la tasa de mortalidad de tallos (TMT) fueron expresadas como “(número de tallos que aparecen en una fecha dada por cada 100 tallos vivos del mismo tipo, registrados en la fecha de muestreo anterior) x 100”. La densidad de tallos se expresó como el número de tallos presentes en un metro cuadrado. Tanto la TAT como la TMT fueron calculadas por separado para tallos aéreos y basales; después fueron analizadas en conjunto con base a la densidad total.

2.4.5. Análisis de datos

Las variables se sometieron a un análisis de varianza y las medias se compararon mediante prueba de Tukey. Los análisis se condujeron en el software licenciado SAS 9.4 (SAS, 2004), en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. La densidad de tallos basales y aéreos, fue comparada entre variedades dentro de cada edad mediante una prueba de Tukey, para cada uno de los ciclos.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Densidad

Dos tipos de tallos fueron considerados. Primero, los tallos aéreos, aquellos que brotan a partir del tercio basal de un tallo ya existente o a partir del tocón remanente después de un corte. Después, los tallos basales, aquellos que brotan a partir de yemas de la raíz o rizomas y que poseen sistema radical propio. No obstante, un tallo aéreo que nace a corta distancia del suelo (por debajo de 3 cm), puede desarrollar su propio sistema radical y convertirse en tallo basal, de acuerdo con observaciones realizadas en este estudio. En este estudio, una vez que un tallo fue contabilizado

como aéreo en un muestreo, se consideró como tal a lo largo de su ciclo de vida. La proporción de tallos aéreos que lograron formar sistema radical anclado al suelo no fue estimada.

2.5.1.1. Cambios en la densidad por época, edad y tipo de tallo

En el Cuadro 2.1 se reporta la densidad de tallos aéreos, basales; así como la suma de ambos, para el promedio de las ocho variedades durante tres ciclos de crecimiento, a intervalos de 4 semanas.

Durante las épocas húmedas la población de tallos aéreos es máxima al día 14, para luego reducirse gradualmente. La densidad de tallos basales se mantiene relativamente constante, alcanzando un máximo el día 98, por registro de una nueva generación. En ambas épocas húmedas, los tallos basales conforman la mayor proporción de la densidad desde el día 98. A partir de los 98 días, la densidad se reducen gradualmente a cada fecha de muestro. Durante la época seca, tanto la densidad de tallos aéreos como basales, aumentan a los 42 días y se mantienen constantes hacia el día 70; luego se reduce gradualmente. En esta época, la densidad de tallos basales supera a la de tallos aéreos hasta los 126 días, mientras que en la época húmeda esto sucede desde el día 98.

En la Figura 2.2, se muestra la proporción en que cada tipo de tallo contribuye a la densidad, para los tres ciclos de crecimiento evaluados; así como la proporción de la densidad que corresponde a cada generación de tallos. En este sentido, las ocho variedades estudiadas son promediadas para analizar la densidad en función a la época, a la edad y al tipo de tallo. Esta figura presenta los datos promedio, dado que las variedades mostraron el mismo patrón con respecto a las fechas de aparición de tallos, aunque la tasa de aparición presenta variación entre variedades

La mayoría de los tallos que comprenden la densidad total, provienen de dos generaciones tanto para la época húmeda como para la época seca. La aparición de estas dos generaciones coincide en la época húmeda con el inicio y final del verano

boreal. La segunda generación posee un mayor componente de tallos basales, mientras que la primera generación contiene en su mayoría tallos aéreos.

Cuadro 2.1. Densidad de tallos aéreos, basales y totales durante tres ciclos de crecimiento en *Cenchrus purpureus*.

	Edad (días)	Aéreos (tallos m ⁻²)	Basales (tallos m ⁻²)	Total (tallos m ⁻²)
Época húmeda 2013	14	51.6 ^{Aa}	26.1 ^{Bb}	77.8 ^a
	42	34.2 ^{Ab}	21.1 ^{Bb}	55.3 ^{bc}
	70	22.5 ^c	19.4 ^b	41.9 ^c
	98	26.4 ^{Bbc}	42.2 ^{Aa}	68.7 ^{ab}
	126	19.4 ^{Bc}	33.5 ^{Aab}	52.9 ^c
	154	15.5 ^{Bc}	29.5 ^{Ab}	45.0 ^c
	182	16.1 ^{Bc}	29.3 ^{Ab}	45.4 ^c
	EE	2.6	2.6	3.6
	Media	26.6±1.1	28.7±1.1	55.3±2.7
Época húmeda 2014	14	79.3 ^{Aa}	21.6 ^{Bb}	100.9 ^a
	42	73.3 ^{Aa}	25.9 ^{Bab}	99.2 ^a
	70	28.4 ^{Ab}	21.5 ^{Bb}	49.9 ^b
	98	19.5 ^{Bbc}	30.9 ^{Aa}	50.4 ^b
	126	11.1 ^{Bc}	23.8 ^{Aab}	34.9 ^{bc}
	154	9.4 ^{Bc}	24.3 ^{Aab}	33.7 ^c
	182	7.6 ^{Bc}	21.0 ^{Ab}	28.6 ^c
	EE	3.3	1.9	4.0
	Media	32.6±1.8 ^A	24.1±1.8 ^B	56.8±2.7
Época seca 2014	14	21.3 ^c	23.5 ^c	44.8 ^c
	42	66.2 ^a	54.8 ^a	121.0 ^a
	70	70.6 ^a	56.6 ^a	127.2 ^a
	98	48.4 ^{ab}	45.5 ^{ab}	93.9 ^{ab}
	126	28.7 ^{bc}	33.7 ^{bc}	62.4 ^{bc}
	154	14.3 ^{Bc}	24.3 ^{Ac}	38.6 ^c
	EE	6.0	4.5	8.4
	Media	41.6±2.5	39.8±2.5	81.3±2.96

a, b, c: Medias en la misma columna, dentro de cada época, seguidas de una literal minúscula diferente, presentan diferencia estadística (P<0.01). EE: Error estándar.

A, B, C: Medias en la misma fila con diferente literal mayúsculas, presentan diferencia estadística (P<0.01). Esto último sólo para contrastar la proporción de tallos aéreos vs basales

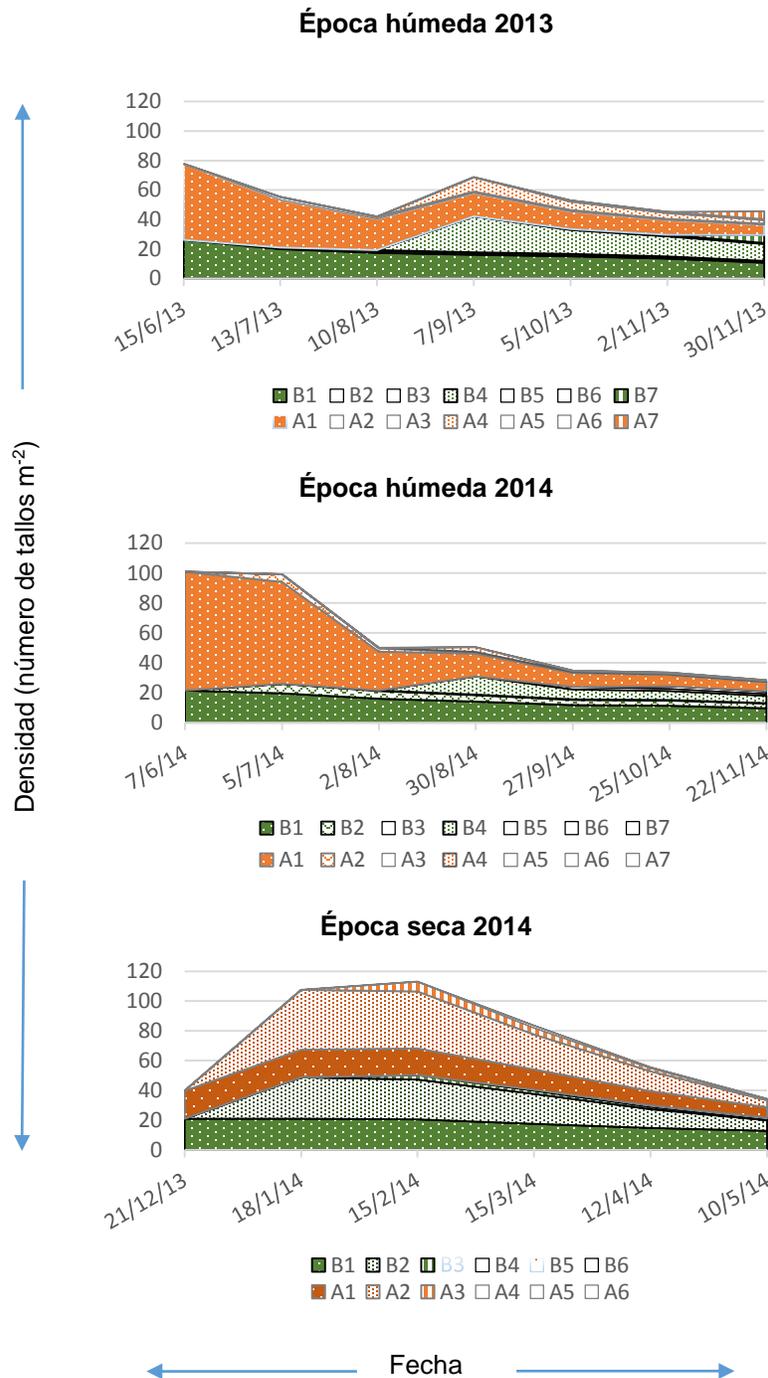


Figura 2.2. Densidad de tallos aéreos (gris) y basales (negro) durante tres ciclos de crecimiento sin disturbación en *Cenchrus purpureus*. B1-B7: Registros de tallos basales. A1-A7: Registros de tallos aéreos. Donde 1-7 son las fechas de muestreo: 14, 42, 70, 98, 126, 154 y 182.

En el caso de la época seca, la mayor proporción de tallos provienen de generaciones registradas a los 14 y 42 días después del corte de homogeneidad (Figura 2.2).

2.5.1.2. Diferencias entre variedades

En la Figura 2.3 se reporta la densidad de tallos aéreos y basales para cada una de las variedades, por ciclo, por tipo de tallo y por edad (fecha de muestreo).

La alta densidad de tallos aéreos en la generación inicial y la reducción gradual de la densidad en épocas húmedas, que se verificó para el promedio de las variedades (Cuadro 2.1), puede apreciarse gráficamente para cada variedad en particular (Figura 2.3). No se compararon densidades intra-variedad en edades sucesivas. El patrón de aumento y reducción de la densidad de tallos basales en las épocas húmedas y los cambios en las densidades de ambos tipos de tallos para la época seca, se verifican tanto en general como para cada variedad (Cuadro 2.1 y Figura 2.3).

La densidad intra-edad de tallos basales no difirió entre variedades, en ninguno de tres ciclos ($P > 0.05$); mientras que la densidad de tallos aéreos si mostró diferencias ($P > 0.05$). En general, la densidad de las variedades RX, CA, TAI, KG y VRU no difirió, en los dos primeros ciclos evaluados, en ninguna edad. No obstante, en la época húmeda de 2014 TAI presentó la mayor densidad de tallos aéreos a los 14 días y la menor a los 154 días; mientras que KG mostró el mayor valor tanto a los 154 como a los 182 días.

Por otro lado, las variedades CAM, CT y OM mostraron mayor densidad de tallos aéreos que el resto de las variedades en este estudio. En particular, en la época seca de 2014, OM registró la mayor densidad de tallos aéreos desde el día 14 hasta el día 126, sin diferenciarse de CAM o CT. De igual manera OM mostró mayor densidad de tallos aéreos hasta el día 154 en la época húmeda de 2013, sin diferenciarse de CT. Durante la época húmeda de 2014, fueron CAM y CT los que presentaron mayor densidad de tallos aéreos de los 14 a los 70 días; fechas en las que paradójicamente OM mostró la menor densidad de tallos aéreos de entre las ocho variedades bajo estudio ($P < 0.05$, en todos los casos).

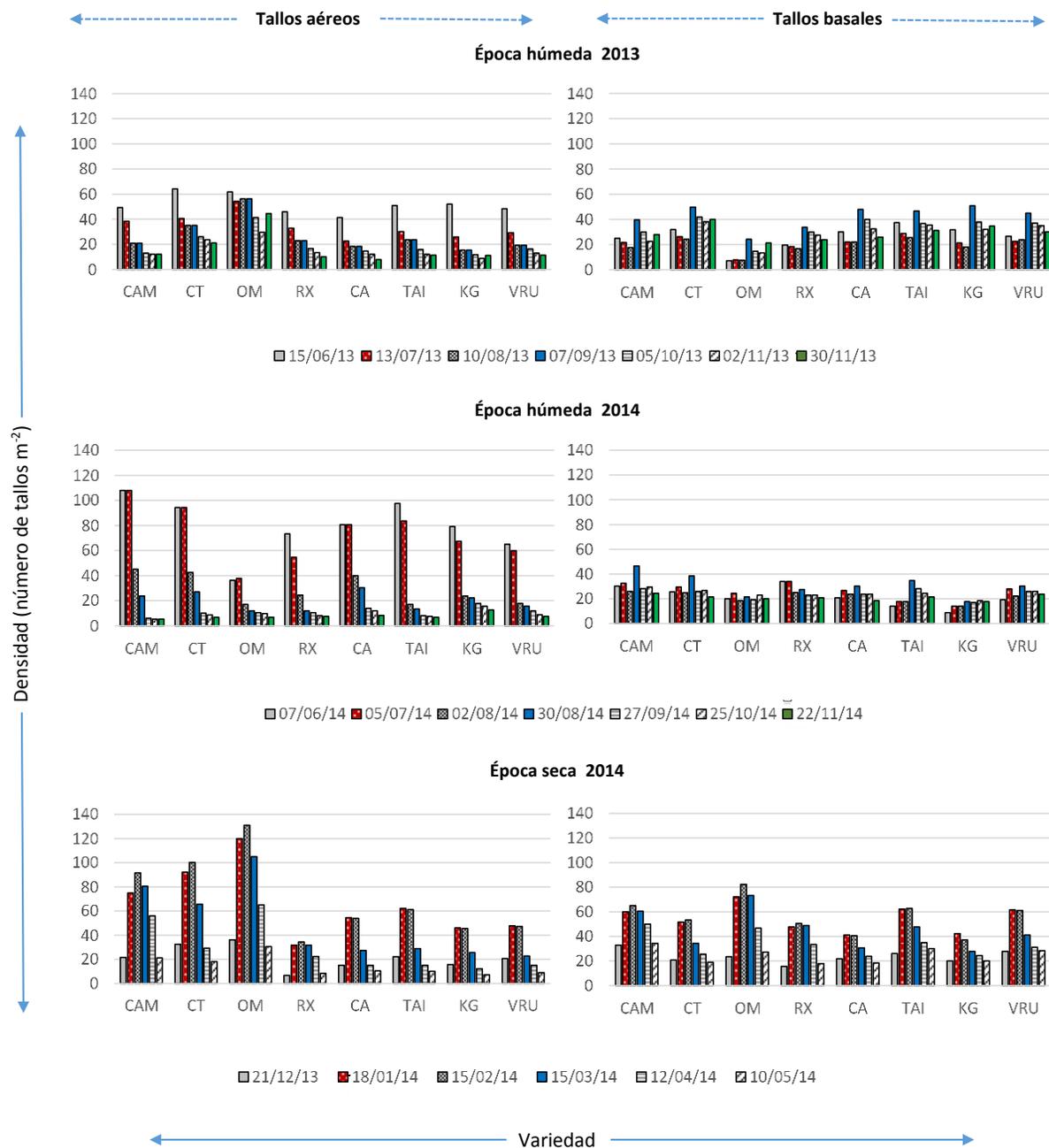


Figura 2.3. Densidad de tallos aéreos y basales en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* en tres ciclos de crecimiento, a intervalos de 4 semanas. Variedades: Camerún (CAM), CT115 (CT), OM22 (OM), Roxo (RX) Caña Africana (CA), Taiwán (TAI), King Grass (KG) y Vruckwona (VRU).

2.5.2. Tasa de aparición de tallos (TAT)

La fertilización no tuvo efecto inmediato en la TAT. En *Cenchrus purpureus*, la TAT alcanzó dos picos máximos, que en conjunto conforman la totalidad de la densidad (Figura 2.2).

Durante la época húmeda, la mayor TAT se registra durante el rebrote inicial (no registrado aquí como tal, dado que la TAT es función de la densidad previa), esta puede analizarse a partir densidad inicial. La aparición inicial (día 14) presenta mayor proporción de tallos aéreos (Cuadro 3.1) vs basales. Una segunda aparición fue registrada a finales de agosto, al día 98, con una mayor proporción de tallos basales, con TAT de 51 y 151 \pm 16.3 en 2013 ó 12 y 58 \pm 7.8 en 2014, para tallos aéreos y basales, respectivamente. En general, los tallos provenientes de la generación inicial comprenden la mayor parte del rendimiento para la época húmeda. Al dar seguimiento a dinámica de tallos, se detectó que parte de los tallos aéreos registrados en la generación inicial eran basales desde el día 70, al desarrollar sistema radical propio.

En la época seca, la mayor TAT ocurre a los 42 días, con TAT de 355.9 y 155.5 \pm 49.3, para tallos aéreos y basales, respectivamente. Esta es la generación que representa el mayor aporte a la densidad. Al parecer, las condiciones ambientales iniciales limitaron la aparición de tallos y la mayor TAT se registra hasta que las condiciones de humedad y temperatura son óptimas. Esto implica un retraso en el aumento de la cobertura y en la optimización de la cosecha de luz, así como la expresión genética de dormancia inducida por el ambiente. Al día 42 de la época seca, la TAT, arrojó valores mayores a 400 para RX y mayores a 600 para CAM.

Después de una cosecha total, no existen tallos ni área foliar remanente. El forraje tiende a recuperar el área foliar perdida mediante la aparición de nuevos tallos. Al no existir yemas apicales, se activan las yemas axilares debido a la modificación en la circulación de auxinas desde el ápice (Leopold, 1949). No obstante, el control hormonal será efectivo solo si ocurren las condiciones ambientales que propicien el

crecimiento, como la luz (y la duración del fotoperiodo), la humedad del suelo y la temperatura (McSteen, 2009).

La aparición de nuevos tallos está condicionada por el nivel de reservas en los órganos subterráneos (White, 1973), cuya sobrevivencia y viabilidad es la clave para la perennialidad. Los meristemos de crecimiento que darán origen a nuevos tallos, se encuentran protegidos bajo el suelo. En caso de que la cosecha se realice en verano o invierno, después de periodos largos de crecimiento, el nivel de reservas será el adecuado para facultar un buen rebrote. *Cenchrus purpureus* alcanza su mayor nivel de reservas de carbohidratos durante el otoño (Bernal, 1974), lo que también se ha mencionado para *Panicum virgatum* L. y *Mischantus giganteus* Greef y Deu, con respecto a las reservas de nitrógeno y la diferencia en concentración de este elemento en la parte aérea con respecto a la raíz (Pedroso *et al.*, 2013).

La aparición de tallos tiene por objeto restituir el aparato fotosintético. La planta aumenta su área foliar hasta maximizar su cosecha de luz, y utiliza como estrategia el lanzamiento de un alto número de tallos aéreos. Estos son utilizados por la planta para aumentar la cosecha de luz (Gautier, 1999) y la cobertura, pero pueden ser desechados después de cumplir su función.

2.5.3. Tasa de mortalidad de tallos (TMT)

2.5.3.1. Tendencias generales por época, edad y tipo de tallo

En el Cuadro 2.2 se reporta la TMT para tallos aéreos, basales y totales, para el promedio de las ocho variedades en los tres ciclos de crecimiento, registrada a intervalos de 4 semanas de los 42 a los 182 días de edad.

La TMT global no difirió entre épocas. La TMT de tallos aéreos fue mayor que la de tallos basales, lo que sucedió virtualmente en cada época y edad. En las épocas húmedas, las mayores TMT suelen asociarse a las fechas subsecuentes a los picos de densidad. Por tanto, durante las épocas húmedas, se registra una alta tasa de mortalidad de tallos a partir del día 42, dado que la densidad de tallos ya es considerable.

Cuadro 2.2. Tasa de mortalidad de tallos aéreos, basales y totales durante tres ciclos de crecimiento en *Cenchrus purpureus*.

	Edad (días)	Aéreos (número de tallos por cada 100 tallos en el muestreo anterior)x100	Basales	Total
Época húmeda 2013	42	39.0 ^{Aa}	21.8 ^{Ba}	33.0 ^a
	70	38.3 ^{Aa}	12.0 ^{Bb}	27.6 ^{ab}
	98	20.9 ^{Ab}	9.4 ^{Bb}	16.2 ^c
	126	27.9 ^{ab}	21.4 ^a	24.1 ^{ab}
	154	20.5 ^{Ab}	11.5 ^{Bb}	16.1 ^c
	182	26.2 ^{Aab}	15.1 ^{Bab}	20.6 ^{bc}
	EE	3.4	2.0	2.3
	Media	28.8±1.2 ^A	15.2±1.2 ^B	22.9±1.25
Época húmeda 2014	42	13.0 ^{Ac}	8.1 ^{Bbc}	12.6 ^d
	70	60.6 ^{Aa}	16.8 ^{Bab}	50.0 ^a
	98	36.5 ^{Ab}	10.5 ^{Bbc}	25.8 ^{bc}
	126	42.8 ^{Ab}	24.4 ^{Ba}	32.3 ^b
	154	17.2 ^{Ac}	4.8 ^{Bc}	9.6 ^d
	182	17.4 ^c	14.7 ^{ab}	15.9 ^{cd}
	EE	3.8	2.5	2.6
	Media	31.4±1.6 ^A	13.2±1.6 ^B	24.4±1.44
Época seca 2014	42	3.8 ^b	0.3 ^b	1.25 ^b
	70	4.8 ^b	3.0 ^b	4.0 ^b
	98	35.8 ^{Aa}	20.5 ^{Ba}	28.9 ^a
	126	43.4 ^{Aa}	24.1 ^{Ba}	35.7 ^a
	154	45.4 ^{Aa}	25.7 ^{Ba}	33.5 ^a
	EE	3.1	2.0	2.1
	Media	26.6±1.7 ^A	14.8±1.7 ^B	20.7±1.37

a, b, c: Medias en la misma columna, dentro de cada época, seguidas de una literal minúscula diferente, presentan diferencia estadística (P<0.01). EE: Error estándar.

A, B, C: Medias en la misma fila con diferente literal mayúsculas, presentan diferencia estadística (P<0.01). Esto último sólo para contrastar la proporción de tallos aéreos vs basales en cada edad.

En las épocas húmedas, se observó que la mayoría de los tallos que mueren después de un pico de densidad, son de la generación que promovió tal pico. Es decir, son tallos que mueren jóvenes. Tal es el caso de los tallos basales registrados a los 98 días de edad en las épocas húmedas, los cuales nacen en desventaja competitiva y presentan mortalidad elevada. En la época seca la mortalidad fue constante en ambos tipos de tallos, de los 98 a los 154 días; esto es, a partir del punto en que la densidad alcanzó un valor máximo; dado que la mayor parte de los tallos se registró en el día

42. Además, no se registró mortalidad significativa sino hasta los 98 días, dado que la población no había llegado a maximizar su cobertura.

La alta mortalidad y consecuente reducción de la densidad en las dos fechas siguientes a las edades de máxima densidad, puede obedecer a la ley de auto-aclareo, que contempla la reducción de la densidad por competencia intra-específica después de obtener un máximo en el índice de área foliar (no medido en este experimento).

2.5.3.2. Diferencias entre variedades

La tasa de mortalidad de tallos aéreos y basales en cada una de las ocho variedades incluidas en el presente estudio, por ciclo y edad, se presenta en la Figura 2.4. En general, no se presentaron diferencias entre variedades para la época húmeda de 2013. La mortalidad de tallos basales no difirió entre épocas ni entre edades. Una mayor TMT ocurre en los muestreos posteriores a las fechas en que se registró una densidad máxima, tanto en general como para cada variedad.

La mortalidad obedece a la competencia intra-específica por recursos (Yoda *et al.*, 1963) en función a la altura a la que se maneja la pradera (Mathew *et al.*, 1995). Por lo que tanto la carencia de recursos como la competencia por luz (Gautier, 1999), provocan la muerte de hojas y tallos que pierden viabilidad al no representar una ganancia neta de carbono para la planta (Duru y Ducrocq, 2000). Sin embargo, su senescencia implicaría el reciclaje parcial de sus asimilados (Thomas, 2013).

Una proporción de tallos aéreos:basales de 2:1 y 4:1 fue observada en las épocas húmeda de 2013 y húmeda de 2014, en el rebrote inicial registrado al día 14. Mientras que en la época seca se registra una relación 2:1 en las edades 42 y 70. Los tallos aéreos cumplen con su función al aumentar el aporte de foto-asimilados cuando los tallos basales aún están en su fase inicial de crecimiento, para luego ser desechados. La TMT, debe evaluarse descartando los datos del día 42 y 70 en los que no había tallos suficientes para causar sombra; pero una vez que se alcanza una cobertura considerable, la TMT es superior a 40 para tallos aéreos y superior a 20 para tallos basales en la época seca.

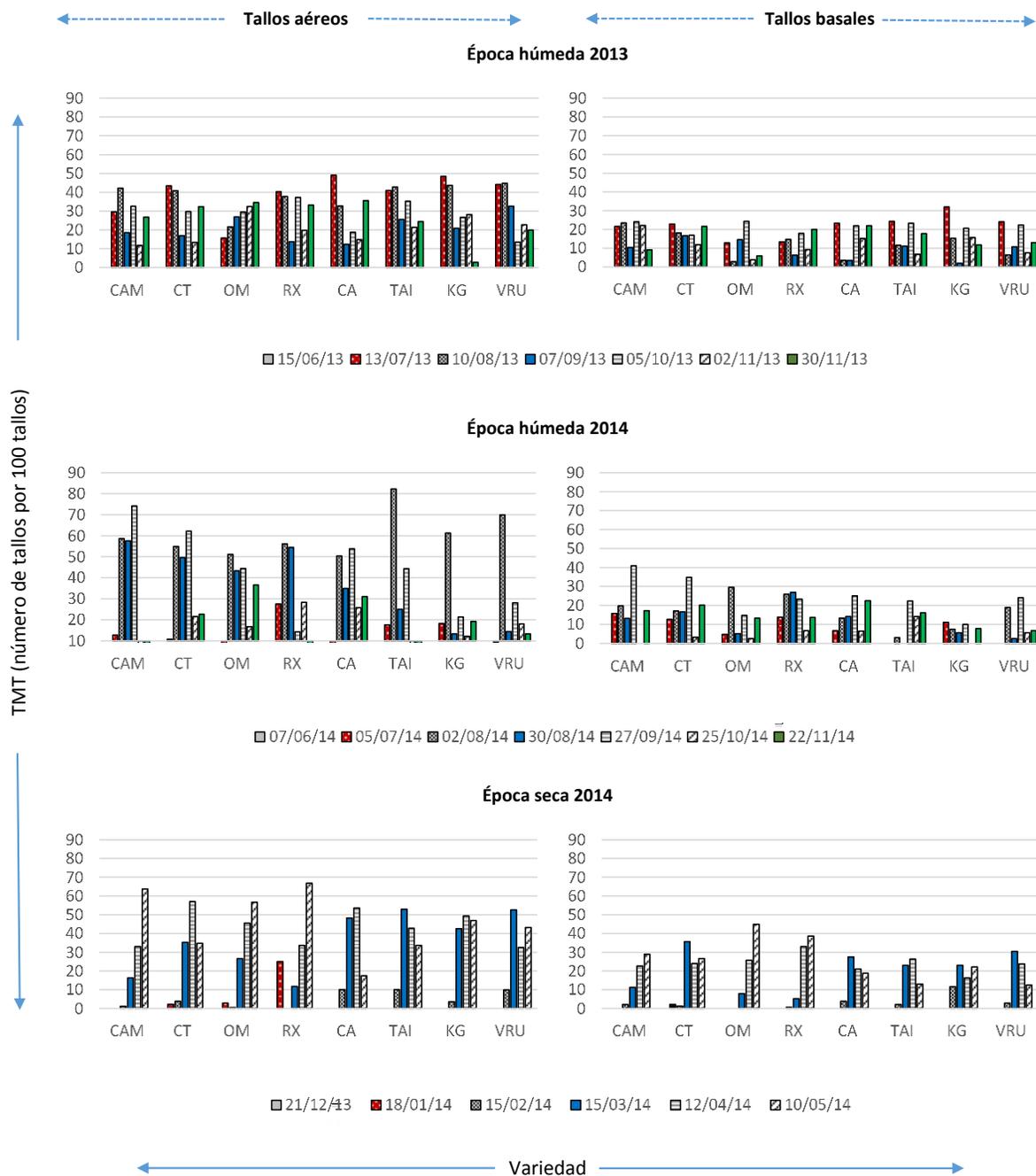


Figura 2.4. Tasa de mortalidad de tallos (TMT) aéreos y basales en ocho variedades de *Cenchrus purpureus* en tres ciclos de crecimiento, a intervalos de 4 semanas. Variedades: Camerún (CAM), CT115 (CT), OM22 (OM), Roxo (RX) Caña Africana (CA), Taiwán (TAI), King Grass (KG) y Vruckwona (VRU).

2.6. CONCLUSIONES

Durante un ciclo de crecimiento de seis meses (sin corte o pastoreo), en la época lluviosa, *C. purpureus* presentó aparición masiva de tallos sólo en dos ocasiones: la primera, corresponde al principio del rebrote, registrada al día 14, a principios de junio; la segunda fue registrada al día 98, a finales de agosto.

Durante la época seca, la aparición masiva de tallos sucede a los 14 y 42 días de edad, generaciones que se registraron el 21 de diciembre y al 18 de enero. En esta época se presenta un mayor número de tallos que en la época húmeda y una mayor mortalidad.

Los tallos aéreos son utilizados para aumentar la cobertura y maximizar la cosecha de luz al principio del periodo de crecimiento; pero los tallos basales presentan menos mortalidad y forman la mayor parte del rendimiento final.

La densidad de tallos aéreos se reduce monótonamente durante todo el ciclo de crecimiento, mientras los tallos basales presentan mayor sobrevivencia (menor mortalidad).

2.7. LITERATURA CITADA

- Briske, D., Richards, J., 1995. Plant responses to defoliation: A physiological, morphological and demographic evaluation. In: Wildland plants, Physiological ecology and developmental morphology. Society of Range Management, Denver, USA, pp. 635–710.
- Bernal, J. 1974. Evaluation of Carbohydrate Reserves, Yield and Quality in three Tropical Grasses. Retrospective Theses and Dissertations. Paper 5129. Iowa State University.
- Davidson, J.L., Milthorpe, F.L., 1965. Carbohydrate reserves in the regrowth of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). Grass Forage Sci. 20, 15–18. doi:doi: 10.1111/j.1365-2494.1965.tb00390.x
- de Carvalho, B.C.A., Paciullo, D.S.C., Rossiello, R.O.P., Deresz, 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

- Dhont, C., Castonguay, Y., Nadeau, P., Bélanger, G., Drapeau, R., Laberge, S., Avice, J.C., Chalifour, F.P., 2006. Nitrogen reserves, spring regrowth and winter survival of field-grown alfalfa (*Medicago sativa*) defoliated in the autumn. *Ann. Bot.* 97, 109–120. doi:10.1093/aob/mcj006
- Duru, M., Ducrocq, H., 2000. Growth and Senescence of the Successive Grass Leaves on a Tiller. Ontogenic development and effect of temperature. *Ann. Bot.* 85, 635–643. doi:10.1006/anbo.2000.1116
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, 5th ed. Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México, México D.F. p 52.
- Gautier, H., Varlet-Grancher, C., Hazard, L., 1999. Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. *Ann. Bot.* 83, 423–429. doi:10.1006/anbo.1998.0840
- Gloser, V., 2002. Seasonal changes of nitrogen storage compounds in a rhizomatous grass *Calamagrostis epigeios*. *Biol. Plant.* 45, 563–568. doi:10.1023/A:1022329210127
- Hamilton, N., Matthew, C., Lemaire, G., 1995. In defense of the $-3/2$ boundary rule: a re-evaluation of self-thinning concepts and status. *Ann. Bot.* doi:10.1006/anbo.1995.1134
- Leopold A.C. 1949. The control of tillering in grasses by auxin. *Am. J. Botany* 36, 437–440.
- L'Huillier, J.P., 1987. Tiller appearance and death of *Lolium perenne* in mixed swards grazed by dairy cattle at two stocking rates. *New Zel. J. Agric. Res.* 30, 15–22. doi:10.1080/00288233.1987.10430472
- Matthew, C., Lemaire, G., Sackville, N.R., Hernández-Garay, A., 1995. A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. *An. Bot.* doi:10.1006/anbo.1995.1135
- McSteen, P., 2009. Hormonal regulation of branching in grasses. *Plant Physiol.* 149, 46–55. doi:10.1104/pp.108.12905
- Pedroso, G.M., Hutmacher, R.B., Putnam, D., Six, J., Kessel, C. Van, Linqvist, B.A., 2014. Biomass yield and nitrogen use of potential C4 and C3 dedicated energy crops in a Mediterranean climate. *F. Crop. Res.* 161, 149–157. doi:10.1016/j.fcr.2014.02.003

- Pereira, L.E.T., Paiva, A.J., Geremia, E. V., da Silva, S.C., 2013. Regrowth patterns of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) subjected to strategies of intermittent stocking management. *Grass Forage Sci.* 70, 195–204. doi:10.1111/gfs.12103
- Sarath, G., Baird, L.M., Mitchell, R.B., 2014. Senescence, dormancy and tillering in perennial C4 grasses. *Plant Sci.* 217-218, 140–151. doi:10.1016/j.plantsci.2013.12.012
- SAS, 2004. SAS/STAT 9.1 Users guide. SAS Institute Inc., Carry, NC.
- 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 Palisade grass swards continuously stocked by cattle. *Plant Ecol.* 206, 349–359. doi:10.1007/s11258-009-9647-7
- Sbrissia, A.F., Silva, S.C. Da, Carvalho, C.A.B. De, Carnevalli, R.A., Pinto, L.F.D.M., Fagundes, J.L., Pedreira, C.G.S., 2001. Tiller size/population density compensation in grazed Coastcross bermudagrass swards. *Sci. Agric.* 58, 655–665. doi:10.1590/S0103-90162001000400002
- Singh, B.P., Singh, H.P., Obeng, E., 2013. Elephant grass, in: Singh, B.P. (Ed.), *Biofuel Crops: Production, Physiology and Genetics*. CAB International, Georgia USA, pp. 270–290.
- Thomas, H., 2013. Senescence, ageing and death of the whole plant. *New Phytol.* 197, 696–711. doi:10.1111/nph.12047
- Volenec, J.J., Ourry, a, Joern, B.C., 1996. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. *Physiol. Plant.* 97, 185–193. doi:10.1111/j.1399-3054.1996.tb00496.x
- Weller, D.E., 1990. Will the real self-thinning rule please stand up? - A reply to Osawa and Sugita. *Ecology* 71, 2004–2007.
- White, L.M., 1973. Carbohydrate reserves of grasses: a review. *J. Range Manag.* 26, 13–18. doi:10.2307/3896873
- 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), Osaka City University, Serie D14. *Journal of the Institute of Polytechnics* 14 , 107–29.

**3. CAPITULO III. Análisis de crecimiento de *Cenchrus purpureus* (Schumach.)
cv. CT-115 con fines forrajeros**

Análisis de crecimiento de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) cv. CT-115 con fines forrajeros

José Angel Rueda Barrientos, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2015

3.1. RESUMEN

Se llevó a cabo un análisis de crecimiento del pasto *Cenchrus purpureus* cv. CT-115 en un clima cálido subhúmedo del trópico mexicano. La evaluación incluyó dos épocas húmedas y una época seca. Los ciclos de crecimiento comenzaron el 1^{ro} de junio de 2013, el 7 de diciembre 2013 y el 24 de mayo 2014. De los 14 a los 182 días (154 para la época seca), a intervalos de dos semanas, se estimó el rendimiento total y por componente morfológico (en Mg MS ha⁻¹). Posteriormente se estimaron la tasa diaria de acumulación de biomasa (TDA) y la tasa de acumulación promedio (TAP) al dividir el rendimiento logrado en un periodo entre la longitud de este, o entre la edad, respectivamente. Un rendimiento en hoja de 5 Mg MS ha⁻¹ fue alcanzado durante la época húmeda desde los 70 y este se mantuvo hasta los 168 días. Mientras que en la época seca, el rendimiento en hoja fue de 4.15 Mg MS ha⁻¹ a los 126 días; no obstante, rendimientos similares se registraron de los 98 a los 112 días (3.4 y 3.7 Mg MS ha⁻¹ ±0.13). En esta época, el material muerto se acumuló desde 1.5 hasta 3.1 Mg MS ha⁻¹ del día 126 al 154, mientras el rendimiento en hoja prácticamente se mantuvo. Se recomienda utilizar el pasto a edades entre los 98 y los 154 días en función de la necesidad de forraje verde, durante la época seca. Sin embargo la calidad del forraje disminuirá con la edad, por acumulación de tallo. Durante la época húmeda, el aprovechamiento es factible después de los 70 días cumpliendo con la condición de máxima cosecha de forraje. Sin embargo la altura de planta puede limitar su cosecha por pastoreo a los 70 días.

Palabras clave: Crecimiento; rendimiento; tasa diaria de crecimiento; fracciones morfológicas.

Growth analysis of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) cv. CT-115 intended for forage purposes

José Angel Rueda Barrientos, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2015

3.2. ABSTRACT

A growth analysis was carried out for *Cenchrus purpureus* cv. CT-115 in a warm sub-humid climate of Mexican tropic. Two wet and one dry growth-seasons were included in the study. Growth seasons began on June 1st of 2013, December 7th of 2013 and May 24th of 2014. From day 14 until day 182 (154 for dry season), at 2 wk. intervals, overall yield and yield per morphological fraction were estimated (in Mg MS ha⁻¹). Daily growth rate and average growth rate were then calculated by the quotients yield achieved in a period/days of period and yield/age in days. A leave yield of 5 Mg DM ha⁻¹ was achieved since day 70 and remain constant until day 168 in wet seasons. In a wet season, harvest can be done from day 70 onwards, but height might limit utilization by grazing at this age. In dry season leave yield achieved a maximum of 4.15 Mg DM ha⁻¹ at day 140, but 3.4 and 3.7 (± 0.13) Mg ha⁻¹ were reached since day 98 and 112. From day 126 to day 154, the grass recorded 1.5 and 3.1 Mg MS ha⁻¹ of dead material, whilst leave yield remained constant. During a dry season, harvest can be made from day 98 onwards according to utilization requirements, but quality will decrease with age and stem will be the only fraction accumulating biomass. Nonetheless, some quality can be sacrificed in dry seasons in exchange of availability of green forage in months where scarcity is the rule.

Key words: Growth; yield; daily growth rate; morphologic fractions.

3.3. INTRODUCCIÓN

En poblaciones biológicas, el crecimiento es regulado por la densidad poblacional. En etapas tempranas el crecimiento es reducido; pero este aumenta cuando la densidad ha alcanzado una cobertura y área foliar óptimas con respecto a las restricciones ambientales, para finalmente aproximarse asintóticamente al tamaño máximo (Thomas, 2013). El análisis de crecimiento de una especie, es una herramienta fundamental que facilita la toma de decisiones de utilización a nivel de campo. El conocimiento de la dinámica de acumulación de la biomasa y la composición de la misma, a través del tiempo, proporciona elementos importantes para decidir los momentos de cosecha, de manera tal que se obtenga un balance adecuado entre el rendimiento y la calidad del forraje. Lo anterior en virtud de que la utilización de la pradera debe tomar en cuenta su recuperación y persistencia, en búsqueda de un manejo sustentable basado en el recurso forraje.

El crecimiento inicial tiene por objeto incrementar el índice de área foliar y la cobertura, maximizando así la cosecha de radiación fotosintéticamente activa. En *C. purpureus*, se han encontrado valores de IAF de 9 a los 70 d de edad y un comportamiento asintótico hacia valores cercanos a 11, a partir de ese punto. No obstante, desde que se alcanza un IAF=6, la radiación interceptada por el dosel supera ya el 90%, lo que coincide con los 44 días de edad (Andrade *et al.*, 2005). La producción de materia seca está linealmente asociada con la cantidad de radiación interceptada por el dosel de pasto elefante. A cierta edad, el rendimiento en hoja se mantendrá relativamente constante mientras el tallo continúa acumulando biomasa (Woodard *et al.*, 1993).

Los pastos CT1-15 y OM-22 son producto de programas de investigación del Instituto de Ciencia Animal Cubano. En 1974 se introdujo en Cuba el cv. King Grass, el cual fue utilizado en la década de los años 1980-90 como donador para un programa de cultivo de tejidos y regeneración *in vitro* (Herrera y Martínez, 2006). De entre los clones generados se eligió al CT-115 para pastoreo, por su porte bajo, y el CT-169 para corte, por su alta talla y rápido crecimiento (Herrera y Martínez, 2006). En los años

subsecuentes se obtuvo el OM22 a partir de un cruzamiento entre CT-169 y mijo perla, una variedad de sorgo forrajero importada de Tifton, Georgia, USA (Martínez, 2013).

EL CT-115 ha sido utilizado en estrategias de alimentación mediante conservación en pie y pastoreo directo, en lo que se conoce como tecnología de bancos de biomasa (Fortes *et al.*, 2014; Lok *et al.*, 2013). Además de presentar menor lignificación en comparación con otras variedades, como el King Grass, su porte bajo le permite ser directamente pastoreado en más de una ocasión durante la época seca (Martínez, 2013).

Rendimientos de biomasa de 35 Mg MS ha⁻¹ a los 152 días fueron reportados para el cv. Maralfalfa en Villa Isla, Veracruz (Calzada-Marín *et al.*, 2014); más el rendimiento se redujo a 30 Mg MS ha⁻¹ en día 184 en el mismo trabajo. En ese estudio, la máxima producción de hoja y tallo ocurre al día 151. Acorde con estos resultados, los ciclos de crecimiento mayores a 150 días no serían biológicamente viables, dado que el forraje se deteriora y el rendimiento no aumenta.

En un estudio que compara los pastos tropicales *Urochloa mutica*, *Cynodon nemfluencis* y *Cenchrus purpureus* (cv. Banagrass) fertilizados con efluente bovino (Valencia-Gica *et al.*, 2012), se encontró que *Cenchrus purpureus* produjo los mayores rendimientos. De acuerdo con los autores, el rendimiento reportado podría soportar una carga de 8 vacas lactantes ha⁻¹ año⁻¹ en producción con 9.5 kg de leche d⁻¹, cuando se calcula el consumo de acuerdo con las tablas del NRC. No obstante, estimaron una alta tasa de remoción de minerales y serios problemas de viabilidad cuando se corta por debajo de 10 cm de altura.

La producción de forraje de *C. purpureus* suele caer drásticamente después de tres o cuatro años, en sistemas de bajos insumos (Knoll *et al.*, 2012), desde producciones de 30 Mg MS ha⁻¹ hasta valores por debajo de 7 Mg MS ha⁻¹; lo cual puede evitarse mediante fertilización. Algunas recomendaciones sugieren dosis de nitrógeno superiores a 240 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Palacios-Díaz *et al.*, 2013), mientras otra investigación reporta un cambio en el rendimiento equivalente a 5 Mg MS ha⁻¹ a los 123 días al

aumentar la fórmula de 300 kg N y 240 kg de P hasta 400 N y 320 P (Andrade *et al.*, 2005). Por otro lado, la frecuencia de corte tiene un fuerte impacto sobre la demanda mineral del cultivo, en virtud de que la cosecha de forraje más joven implica una remoción mayor de minerales del suelo (Na *et al.*, 2015).

Con respecto a la composición química, las fracciones de la fibra aumentan con la edad, mientras el contenido de proteína se reduce (Ansah *et al.*, 2010; Bayble *et al.*, 2007). Valores de 68, 72 y 74% de FDN para los 60, 90 y 120 d han sido reportados; así como 42, 43 y 44% de FDA; mientras que para el contenido de proteína se reportan valores de 14.1, 10.4 y 7.8 para las mismas edades (Bayble *et al.*, 2007). No obstante, el rendimiento de proteína aumenta a mayor edad, a consecuencia del aumento en el rendimiento de materia seca.

Algunos esfuerzos se han llevado a cabo, en la búsqueda de definir las fechas ideales de aprovechamiento, en función a la dinámica de crecimiento del pasto Napier (Martínez *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2013). Algunos de los parámetros más útiles por su sencillez de cálculo e interpretación son la tasa diaria de crecimiento (TDC) y la tasa de crecimiento promedio (TCP), que expresan el rendimiento acumulable por unidad de tiempo. Un estudio para modelar el crecimiento de King Grass en Cuba, reflejó que la TDC puede describirse mediante el modelo de Gompertz. Esta asciende desde el día 14, alcanza un máximo al día 56 y desciende al mismo nivel, del día 14, en el día 126 (TDC= 0.075, 0.25 y 0.08 Mg MS ha d⁻¹, respectivamente). No obstante, en el día 98 la TCP ha alcanzado su valor máximo (TCP=0.18) y es descendente a partir de este punto (Rodríguez *et al.*, 2013). El rendimiento a esa edad ha acumulado apenas 17 de los 23 Mg MS ha⁻¹ que acumula a los 182 días.

La curva de crecimiento en pasto elefante ha sido explorada hasta los 250 días de edad, encontrando acumulación sostenida de tallo y una tasa de senescencia constante, que supera al rendimiento en hojas verdes alrededor del día 200 (Woodard *et al.*, 1993), cuando la radiación interceptada comienza a reducirse por degeneración sistémica.

Uno de los aspectos más importantes a considerar en las decisiones de campo es el momento de aprovechamiento y el grado de utilización del forraje. A este respecto, deben manejarse intensidades y frecuencias de cosecha que faculten un vigoroso rebrote (Woodard y Prine, 1991), logrando el equilibrio rendimiento-calidad sin demerito de la persistencia.

Los pastos tropicales almacenan carbohidratos no estructurales (almidón y sucrosa) (White, 1973) y compuestos nitrogenados (aminoácidos y proteínas solubles) en la base de sus tallos, en la raíz y en rizomas. Estos compuestos se acumulan en mayor concentración a finales del otoño y presentan una disminución gradual en invierno, en virtud de su utilización para la sobrevivencia de los órganos subterráneos (Kavanová y Gloser, 2005). Los compuestos de reserva son ampliamente utilizados durante las dos primeras dos semanas de rebrote activo después de un corte. En la primavera, la demanda impuesta por el crecimiento activo reduce ligeramente las reservas orgánicas de la raíz (Bernal, 1974). El mismo comportamiento se ha reportado para *Megathyrsus maximus* cv Tanzania (Soares Filho *et al.*, 2013). De acuerdo con Bernal (1974), *Cenchrus purpureus* supera en el contenido de carbohidratos solubles, a especies como *Urchloa mutica* y *Megathyrsus maximus*. (23 vs 16.3 ó 7.6%; en el mismo orden).

Entre las variedades disponibles en México, el cv. CT-115 resalta por su mayor proporción de hoja, que es básicamente el componente que el animal selecciona cuando se le oferta el forraje en pie (Herrera y Martínez, 2007). En el presente experimento se realizó un análisis de crecimiento del cv. CT-115, para definir las edades adecuadas para su aprovechamiento, tomando en cuenta el balance calidad-rendimiento y la persistencia de la pradera. De acuerdo con el rendimiento en hoja como indicador principal, se pretende identificar la edad a partir de la cual no se espera una mayor ganancia en rendimiento de forraje consumible (hoja) o de calidad.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Localización

El experimento se realizó en el Sitio Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Ciudad Isla, Ver., a 18°06' LN, 95°32' LO y 65 msnm, de junio de 2013 a noviembre de 2014. El clima del lugar Aw₁, cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 2004). Datos históricos de 40 años promedian una precipitación anual de 1,142 mm y una temperatura media mensual de 25.8 °C. Los datos climáticos para el periodo del presente experimento se muestran en la Figura 3.1. El suelo fue identificado como un acrisol órtico con textura migajón arenosa, bajo pH (3.5); con bajo contenido de materia orgánica (0.34%), N inorgánico (2 ppm), K (trazas), Ca (174 ppm), Mg (48 ppm) y Cu (0.2 ppm); pero con niveles adecuados de Fe (57 ppm), Zn (1.6 ppm), Mn (4.4 ppm) y P (55 ppm).

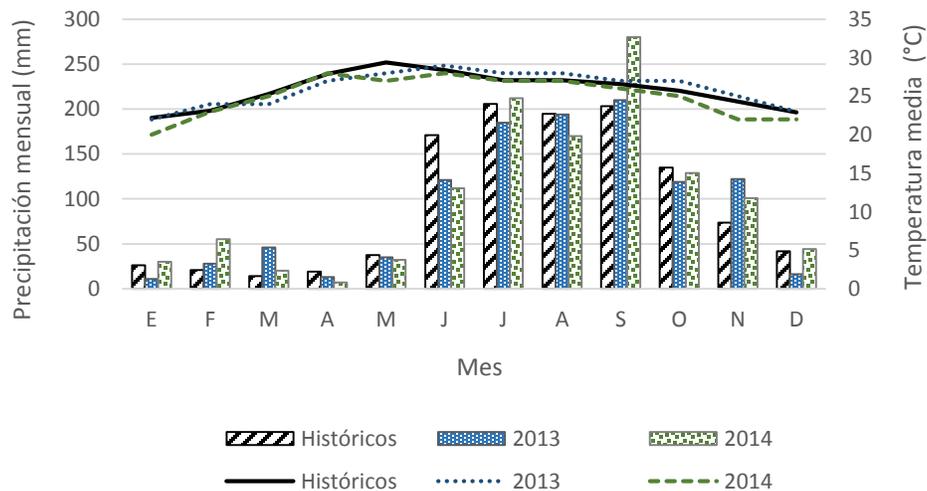


Figura 3.1. Datos históricos de precipitación (barras) y temperatura media mensual (líneas), así como registros para los años en que se desarrolló el experimento.

3.4.2. Condiciones experimentales

Previo a la siembra se preparó el suelo con un pase de rastra a 20 cm de profundidad. La siembra se realizó colocando dos plantas completas juntas a 'punta y cola' a una profundidad de 5 cm. Los tallos se cortaron con 2 a 3 entrenudos.

Las ocho parcelas se distribuyeron aleatoriamente en el área experimental. La unidad experimental consistió en 6 surcos de 8 m de longitud, separados a 0.6 m. La parcela útil fue representada por los 4 surcos centrales en 6.5 m de su longitud, lo que correspondió 26 m lineales.

Una fórmula de fertilización 200-100-200 kg ha⁻¹año⁻¹ fue usada aplicando 2 dosis por ciclo de crecimiento, a los 14 y 56 días de edad. Para tal efecto, se utilizó urea [CO (NH₂)₂], fosfato di-amónico [(NH₄)₂ HPO₄] y cloruro de potasio (K Cl) como fuentes. Durante todo el experimento, el cultivo dependió enteramente de la lluvia de temporal.

El pasto fue sembrado el 25 de junio de 2012, pero el primer ciclo experimental comenzó un año después para permitir un adecuado establecimiento. Un corte de homogeneidad se realizó para iniciar cada uno de los tres ciclos de crecimiento evaluados, en las fechas: 1 de junio de 2013, 7 de diciembre de 2013 y 24 de mayo de 2014; correspondiendo con el inicio de la época húmeda de 2013 (LL13), la época seca de 2014 (D14) y a la época húmeda de 2014 (LL14), en el mismo orden. La fecha del corte de homogeneidad se registró como el día cero para cada uno de los tres ciclos de crecimiento evaluados.

3.4.3. Variables medidas

Desde los 14 hasta los 182 d se midió a intervalos de dos semanas: la altura de planta (cm), el diámetro del tallo (mm) y la intercepción luminosa (%). Para las tres variables, se tomaron cinco mediciones por parcela a manera de sub-repeticiones, después se usó el promedio de las cinco sub-repeticiones como único dato por unidad experimental. La altura se tomó con un tubo de PVC graduado con una precisión de 5 cm, tomando como altura máxima el doblar de la penúltima hoja. El diámetro se midió con un vernier a una altura de 25 a 30 cm sobre el nivel del suelo, en el centro de un

entrenado y girando el vernier hasta la dimensión más estrecha en tallos ovalados. La intercepción luminosa se midió colocando una regla de 1 m de longitud de manera perpendicular a los surcos, entre 2 surcos centrales, y luego se registró la proporción de la regla que resultó sombreada. Las variables de crecimiento se midieron de los 14 a los 182 días de edad.

Cada dos semanas entre los 14 y los 182 días, se cortó de cada parcela una muestra de dos metros lineales en un surco central y se registró su peso en húmedo, como el peso de la muestra total. De la muestra total se tomó una sub-muestra de dos plantas y se separó por componente morfológico (hoja, tallo y material muerto), los componentes se colocaron en bolsas de papel y luego se llevaron a peso constante a 65°C por 96 h y se registró su peso en seco.

3.4.4. Variables calculadas

La proporción de cada componente morfológico y la humedad en ellos, permitió estimar: el rendimiento total y el rendimiento para las fracciones morfológicas hoja, tallo y material muerto en Mg MS ha^{-1} , en base a la muestra total. De igual manera, se obtuvo la tasa diaria de crecimiento (TDC), al dividir el crecimiento logrado en cada periodo por el número de días del mismo, y la tasa de crecimiento promedio (TCP) al dividir el crecimiento total entre la edad. En cuanto a la acumulación de materia seca, se calculó la tasa diaria de acumulación (TDA), al dividir la biomasa acumulada en un periodo por el número de días del periodo, y la tasa de acumulación promedio (TAP) al dividir la biomasa total acumulada entre la edad, en cada fecha.

3.4.5. Análisis de datos

Las variables fueron sometidas al procedimiento MIXED para obtener los errores estándar. Los análisis se ejecutaron en el software licenciado SAS, versión 9.4, (SAS, 2004) en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Crecimiento e intercepción luminosa

En las épocas lluviosas, la radiación interceptada superó 80% desde el día 56 (2014) y desde el día 42 (2013) para establecerse permanentemente en valores por arriba de 90%, sin llegar a saturarse. Durante la época seca, es hasta el día 70 cuando alcanza 89%; sin embargo se reduce hasta 71% al día 154 (± 2.4), posiblemente por una menor hidratación o crecimiento de las hojas. La máxima intercepción luminosa coincidió con los máximos valores en la TDA.

El diámetro de tallos fue de 15 mm (± 0.3) desde el día 42 en adelante durante ambas épocas húmedas, mientras que en la época seca el diámetro se estableció alrededor de 9 mm (± 0.4) a partir del día 42. Las mediciones previas a esa fecha representan tallos en formación, con paquetes de vainas con alta hidratación, o bien tallos aéreos muy delgados.

3.5.2. Producción y crecimiento durante la época seca

En la Figura 3.2 se presenta el rendimiento total y por fracción morfológica; la tasa diaria de acumulación (TDA) y la tasa de acumulación promedio (TAP); así como la tasa diaria de crecimiento (TDC) y la tasa de crecimiento promedio por día (TCP), para la época seca de 2014. Las curvas se presentan a intervalos de dos semanas del 21 de diciembre de 2013 (día 14) al 10 de mayo de 2014 (día 154).

Considerando que la fracción hoja es la realmente consumida por el animal en pastoreo, la edad más adecuada para la cosecha, tomando en cuenta la calidad y el rendimiento en hoja, será aquella en la que el rendimiento en hoja se halla maximizado; a partir de este momento el rendimiento en hoja es constante, mientras el tallo sigue acumulando biomasa (Woodard *et al.*, 1993). Durante la época seca, en el presente experimento, desde el día 84 el dosel alcanza un máximo de intercepción luminosa y comienza a acumular tallo, lo que implica un balance positivo de fotoasimilados.

En la época seca, el rendimiento en hoja aumentó hasta el día 140 alcanzando 4.15 Mg MS ha⁻¹, pero desde el día 98 alcanza 3.4 Mg (±0.13). El rendimiento total aumentó en 2.2 Mg MS ha⁻¹ entre los días 126 y 154 (14.6 vs 16.8; ±0.26), mientras el material muerto incrementó de 1.56 a 2.55 y 3.13 (±0.16) Mg MS ha⁻¹ en el mismo periodo.

El rendimiento en tallo aumenta en 5 Mg MS ha⁻¹ entre los 98 y los 126 días, mientras la fracción hoja sólo aumentó 0.7 Mg en el mismo periodo. Puesto que la fracción hoja alcanza un rendimiento cercano al máximo desde el día 98, esta sería la edad a la que el aprovechamiento tiene un buen balance entre calidad y rendimiento. A pesar de que el rendimiento es de apenas 50% del potencial (8.3 vs 16.8; ±0.26), el aumento en el rendimiento a partir de este punto sería en su mayoría acumulación de tallo.

La TDA registrada en una fecha, representa la pendiente de la curva de acumulación entre muestreo actual y el previo, es decir la pendiente media lograda en dos semanas. La TDA sigue un patrón cíclico con respecto al tiempo, registrando valores máximos a los 42, 70 y 126 (0.17, 0.14 y 0.24; ±0.15) días de edad y mínimos a los 28, 56, 84 y 164 días. El primer máximo representa la acumulación de hoja y el tercer máximo representa la acumulación de tallo. La TAP, alcanza su mayor valor el día 126 (0.12±0.002) y se reduce a partir de tal edad.

La TDC se reduce desde el día 84 (2.59 cm d⁻¹±0.024), en que la TCP alcanza también su máximo (2.03 cm d⁻¹ ±0.05), reduciéndose gradualmente a partir de entonces. Al día 98, la TDC toma por primera vez un valor por debajo de 1.0 y continúa en descenso hasta el día 140 en que alcanza 0.09±0.024. Durante la época seca, el pasto alcanza una limitada altura de 206.8±3.6 m al día 154.

Acorde con los parámetros medidos, el forraje es sensible de utilización desde el día 98 y hasta el día 154. La calidad del forraje disminuirá sistemáticamente a mayor edad, por lo que la decisión dependerá de la estrategia de alimentación. Cuando el forraje CT-115 se usa como estrategia de alimentación para la época seca, será más importante tener un buen volumen de forraje utilizable para el estiaje que la calidad de este forraje.

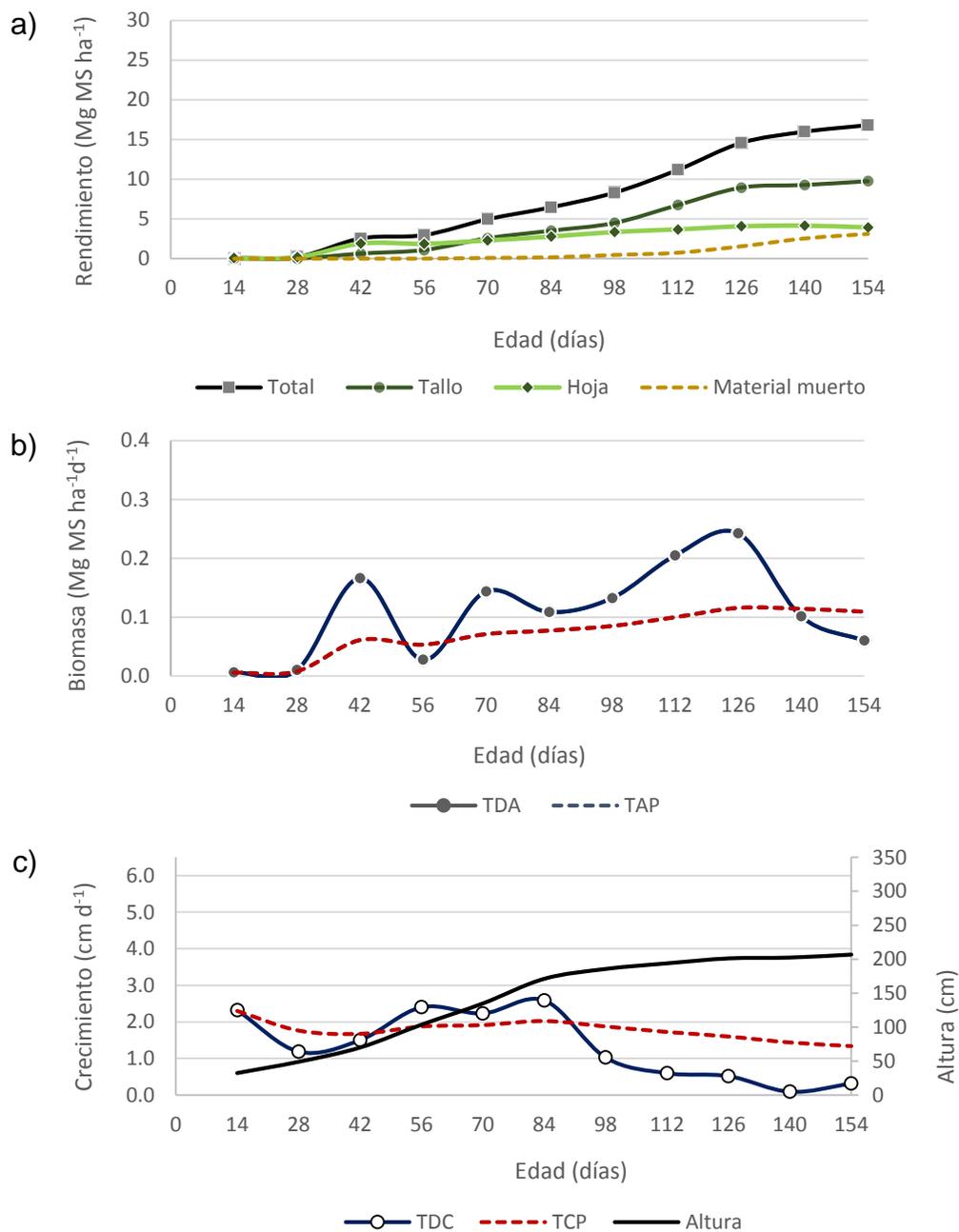


Figura 3.2. Rendimiento de materia seca total y por componente morfológico (a); tasa diaria de acumulación (TDA) de materia seca y tasa de acumulación promedio (TAP) (b); tasa diaria de crecimiento (TDC), tasa promedio de crecimiento (TCP) y altura (c) de *Cenchrus purpureus* cv. CT-115, durante la época seca de 2014.

3.5.3. Producción y crecimiento durante la época lluviosa

En las Figuras 3.3 y 3.4 se presenta el rendimiento total y por fracción morfológica; la tasa diaria de acumulación (TDA) y la tasa de acumulación promedio (TAP); así como la tasa diaria de crecimiento (TDC) y la tasa de crecimiento promedio (TCP), para los ciclos correspondientes a la época lluviosa de 2013 (Figura 3.3) y la época lluviosa de 2014 (Figura 3.4). Los ciclos comprenden de junio hasta noviembre de 2013 y 2014.

En la época de lluvias el rendimiento en hoja se estabiliza en valores alrededor de 5 Mg MS ha⁻¹ desde el día 70, y desde esta edad en adelante, la planta esencialmente acumula tallo. Esto sucedió tanto para la época de lluvias del año 2013, como para la del 2014. Sólo en la época húmeda de 2014, el rendimiento en hoja disminuye entre el día 168 y el día 182; mientras que en 2013, este fue constante. Si la calidad del forraje es función directa del rendimiento en hoja y su calidad nutricional (Martínez y Herrera, 2006), la planta sería aprovechable desde los 70 hasta los 154 (Figura 3.4) e incluso hasta los 182 días (Figura 3.3) durante la época lluviosa.

Durante la época de lluvias la TDC y la TDA siguieron patrones cíclicos, la variación forma tres ondas. Las mayores TDC y TDA se encontraron entre los 56 y 84 días. La primera onda se completa al día 84 para la TDA, mostrando mayormente acumulación de hoja. Para la TDC, al día 98 se alcanza el valor mínimo (0.2) cerrando un ciclo de crecimiento acelerado, en que la altura llega a 3 m (2.9 en 2014). El cambio en altura del día 98 al 182 será solo de 40 cm, lo que implica que el aumento en rendimiento se explica en función del aumento de peso del tallo por acumulación lateral de materia seca. Lo que no necesariamente implicará un aumento en el tamaño del diámetro, pues el contenido de humedad del tallo se reduce con la edad.

La curva que describe la TDA alcanzó tres puntos máximos en las estaciones lluviosas, coincidiendo estos en ambos años, en los días 70, 98 y 140; a l final del mes de julio, final de agosto e inicios de septiembre, respectivamente. Un cuarto máximo fue registrado en la TDA, en el día 168 para el 2013 y al día 182 para 2014.

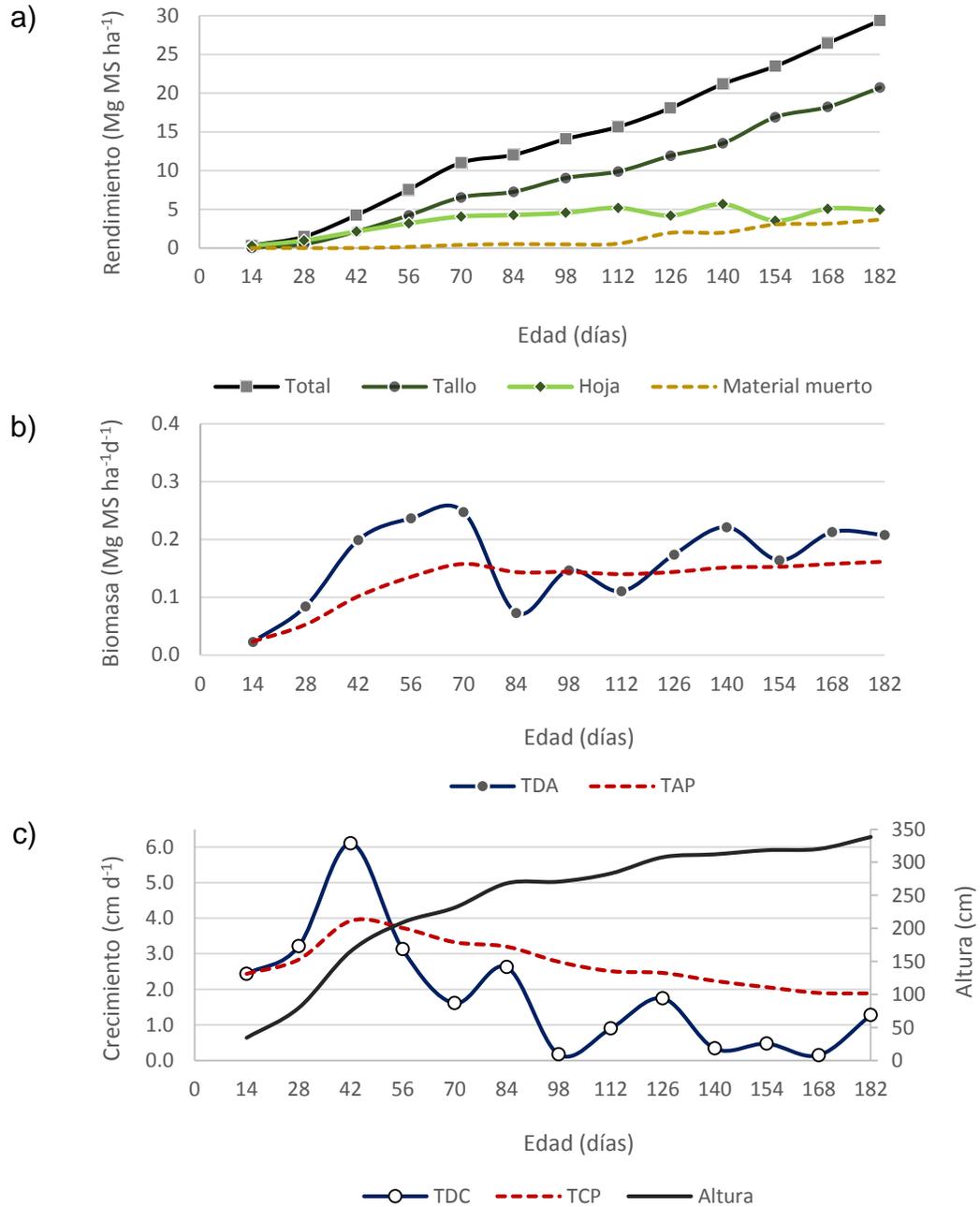


Figura 3.3. Rendimiento de materia seca total y por componente morfológico (a); tasa diaria de acumulación (TDA) de materia seca y tasa de acumulación promedio (TAP) (b); tasa diaria de crecimiento (TDC), tasa promedio de crecimiento (TCP) y altura (c) de *Cenchrus purpureus* cv. CT-115, durante la época lluviosa de 2013.

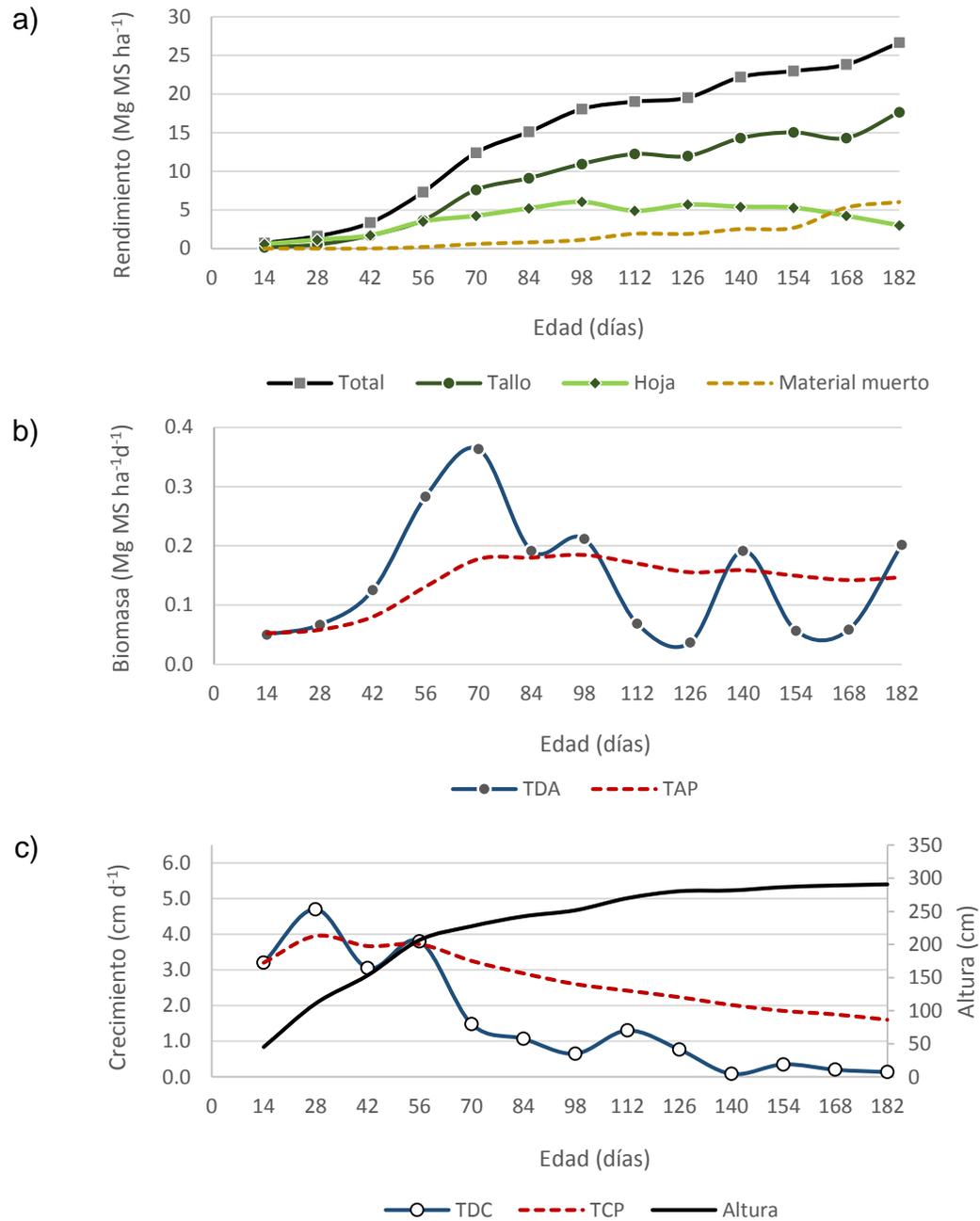


Figura 3.4. Rendimiento de materia seca total y por componente morfológico (a); tasa diaria de acumulación (TDA) y tasa de acumulación promedio de materia seca (TAP) (b); tasa diaria de crecimiento (TDC), tasa promedio de crecimiento (TCP) y altura (c) de *Cenchrus purpureus* cv. CT-115, durante la época lluviosa de 2014.

El CT-115 presentó una TAP de 0.15 y 0.16 Mg MS ha⁻¹ d⁻¹ en las épocas de lluvias estudiadas y de 0.11 Mg MS ha⁻¹ d⁻¹ en la época seca, calculada a los 182 y 154 días, respectivamente. La TAP alcanzó su valor máximo en el día 70 (0.16±0.003 y 0.18±0.005, para 2013 y 2014) y se mantuvo alrededor de 0.15 hasta el final del periodo evaluado.

Durante la época húmeda, la altura que alcanza el pasto Cuba CT-115 no es adecuada para pastoreo directo, ya que alcanza de 165 y 153 cm desde los 42 días (años 2013 y 2014, respectivamente), lo que lo hace mejor candidato para sistemas de corte y acarreo. No obstante, si se busca una variedad de *C. purpureus*, además del Mott, cuya (reducida) altura facilite el pastoreo después de los 90 días, la respuesta es el cv. CT-115.

La tecnología de bancos de biomasa, desarrollada en Cuba, fue planteada inicialmente considerando el aprovechamiento directo del pasto a manera de un sistema rotacional. El sistema fue propuesto desde un inicio bajo cortes a los 40, 70, 90 y 130 días de crecimiento; donde el contenido de proteína, la concentración de fibra y la digestibilidad de la hoja no cambiaron significativamente éntrelos 40 y 130 días (Martínez y Herrera, 2006). Con base en esta experiencia, la edad de cosecha por pastoreo o corte puede diferirse en base a la necesidad de utilización del forraje, sin grandes cambios en la calidad del forraje consumido por el animal, dado que el rumiante selecciona mayormente hoja.

Aprovechamientos muy frecuentes, lo que implica cosecha de forraje más joven, pueden afectar la persistencia en *C. purpureus* (Woodard y Prine, 1991); por lo que una recomendación más precisa requeriría la evaluación de la persistencia y del tiempo de vida útil bajo diversos manejos de frecuencia de corte bajo las condiciones climáticas de esta evaluación. Al respecto, debe enfatizarse la importancia de la fertilización (Na *et al.*, 2015) cuando las exigencias de la utilización (frecuencias e intensidades de aprovechamiento) rebasen la capacidad biológica de la pradera para una condición climática particular. Por ejemplo, dosis superiores a 250 kg N ha⁻¹

podrían ser necesarias si se realizan más de tres cosechas al año (Palacios-Díaz, 2015).

La edad de cosecha propuesta en este estudio se basa exclusivamente en la pradera, es válida partiendo de la optimización del rendimiento en hoja. Aprovechamientos por debajo de estas edades estarían sacrificando rendimiento de forraje (hoja), en favor de una mejor calidad nutricional de este; lo que podría afectar la persistencia en sistemas de bajos insumos.

3.6. CONCLUSIONES

Con base en el máximo rendimiento en hoja, el forraje puede cosecharse desde los 70 días de edad en las épocas húmedas y desde los 98 días en la época seca. A partir de estas edades no existe una ganancia en el rendimiento de forraje, mientras la calidad podría, a o más, conservarse.

Para condiciones comparables a las de este estudio, en la época seca, el aprovechamiento puede diferirse a capricho por encima de las edades arriba mencionadas, si la estrategia de alimentación privilegia la disponibilidad de forraje verde en época seca sobre la calidad del mismo.

3.7. LITERATURA CITADA

- Andrade, A.C., Miranda, D., Lopes, S., Pereira, D.H., Reis, S.T., 2005. Análise de crescimento do capim-elefante “Napier” abudado e irrigado. Rev. Ciência Agrotécnica 29, 415–423. doi:10.1590/S1413-70542005000200020
- Ansah, T., Osafo, E., Hansen, H., 2010. Herbage yield and chemical composition of four varieties of Napier (*Pennisetum purpureum*) grass harvested at three different days after planting. Agric. Biol. J. North Am. 1, 923–929. doi:10.5251/abjna.2010.1.5.923.929
- 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, 1–11.

- Bernal, J., 1974. Evaluation of carbohydrate reserves, yield and quality in three tropical grasses (Retrospective Theses and Dissertations. Paper 5129), Digital Repository.
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz, J.F., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., Mendoza-Pedroza, S.I., 2014. Growth analysis of Maralfalfa grass (*Pennisetum* sp) in a warm humid climate. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 5, 247–260.
- Fortes, D., Herrera, R.S., García, A.M.C., Romero, A., 2014. Growth analysis of *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT115 in the biomass bank technology. *Cuba. J. Agric. Science* 48, 167–172.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, 5th ed. Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México, México DF. p 52.
- Herrera, R.S., Martínez, R.O., 2006. Mejoramiento genético por vías no clásicas. In: Herrera, F.S., Febles, G.J., Crespo, G.J. (Eds.), *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, p. p 15.
- Kavanová, M., Gloser, V., 2005. The use of internal nitrogen stores in the rhizomatous grass *Calamagrostis epigejos* during regrowth after defoliation. *Ann. Bot.* 95, 457–463. doi:10.1093/aob/mci054
- 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
- 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. Ciencia Agrícola* 47, 301–304.
- Martínez, R.O., 2013. Algunas características de los cultivares de *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115, Cuba OM-22 y CT-169, in: Perozo, A. (Ed.), *Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales*. Giraz, Venezuela, pp. 11–20.
- 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, por R. S. Herrera, Febles, G. J., y Crespo G. J. (Eds.). Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p 230.
- 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. Agric.* 44, 189–193.

- Na, C.I., 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
- Palacios-Díaz, M.P., Mendoza-Grimón, V., Fernández-Vera, J.R., Hernández-Moreno, J.M., 2013. Effects of defoliation and nitrogen uptake on forage nutritive values of *Pennisetum* sp. *J. Anim. Plant Sci.* 23, 566–574.
- Rodríguez, L., Larduet, R., Martínez, R.O., Torres, V., Herrera, M., 2013. Modeling of the biomass accumulation dynamics in *Pennisetum purpureum* cv. King Grass in the western region of Cuba. *Cuba. J. Anim. Sci.* 47, 119–124.
- SAS, 2004. SAS/STAT 9.1 Users guide. SAS Institute Inc., Carry, NC.
- Soares Filho, C.V., Cecato, U., Ribeiro, O.L., Roma, C.F.C., Jobim, C.C., Beloni, T., Perri, S.H.V., 2013. Root system and root and stem base organic reserves of pasture Tanzania grass fertilizer with nitrogen under grazing. *Ciências Agrárias* 34, 2415. doi:10.5433/1679-0359.2013v34n5p2415
- Thomas, H., 2013. Senescence, ageing and death of the whole plant. *New Phytol.* 197, 696–711. doi:10.1111/nph.12047
- Valencia-Gica, 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
- White, L.M., 1973. Carbohydrate reserves of grasses: a review. *J. range Manag.* 26, 13–18. doi:10.2307/3896873
- Woodard, K.R., Prine, G.M., Bachrein, S., 1993. Solar energy recovery by elephantgrass, energycane, and elephantmillet canopies. *Crop Sci.* 33, 824–830. doi:10.2135/cropsci1993.0011183X003300040039x
- Woodard, K.R., Prine, G.M., Bates, D.B., 1991. Silage characteristics of Elephantgrass as affected by harvest frequency and genotype. *Agron. J.* 83, 541–546. doi:10.2134/agronj1991.00021962008300030006x

CONCLUSIONES GENERALES

Aunque aún no se produce bioetanol de segunda generación a partir de *Cenchrus purpureus*, esta es la gramínea con mayor potencial como cultivo energético en el trópico, pues presenta un alto rendimiento de materia seca. La elección adecuada de la variedad a utilizar para este propósito, en función a sus características agronómicas, facilitaría las prácticas de campo y ayudaría a ahorrar recursos.

De acuerdo con los resultados del presente estudio, se propone el uso de las variedades Vruckwona, Taiwán, Caña Africana y King Grass como cultivos industriales. Esto siempre que se requiera de grandes volúmenes de biomasa, y en consecuencia de ciclos prolongados de crecimiento. Una de las razones principales de esta recomendación es la resistencia al acame, pues estas variedades fueron las más resistentes. No obstante, no se descarta el uso de OM-22, CT-115, Camerún o Roxo, como cultivo energético en ciclos de crecimiento de corta duración, dado que el acame se registró después de los 98 días de crecimiento. Por otro lado, un bajo contenido de lignina en King Grass y Caña Africana, hace suponer que la elección de estas variedades como cultivos energéticos facilitaría la extracción de etanol y aumentaría el rendimiento del mismo.

El rendimiento de materia seca de *C. purpureus*, rebasa los 20 Mg MS ha⁻¹ ciclo⁻¹ desde el establecimiento (media de ocho variedades a 185 d), lo que implica un rendimiento de 40 Mg MS ha⁻¹año⁻¹ si se mantiene la fertilidad del suelo. En particular, CT-115 presentó un rendimiento de 24 Mg MS ha⁻¹ durante su establecimiento (2012), y valores de 29 y 27 Mg MS ha⁻¹ en las épocas húmedas de los dos años siguientes (2013 y 2014), en ciclos de 182 días: En la época seca de 2014 el CT-115 tuvo un rendimiento de 17 Mg ha⁻¹ a los 154 días.

La densidad de tallos estuvo representada principalmente por dos generaciones. En la época lluviosa, la primera generación correspondió al rebrote inicial registrado al día 14, a inicios de junio, con una mayor proporción de tallos aéreos. La segunda, aparece al día 98, a finales de agosto, y presenta una mayor proporción de tallos

basales. En la época seca, una generación registrada al día 42, 18 de enero, fue más importante que la primera con respecto a la aparición de tallos aéreos. Por otro lado, una mayor densidad de tallos (aéreos y basales) y una mayor tasa de mortalidad, fueron registradas durante la época seca. La mortalidad cobra importancia a partir de los 70 días en esta época, cuando la radiación interceptada alcanza el 89%.

La dinámica de aparición y muerte de tallos en *Cenchrus purpureus* difirió entre épocas, entre tipos de tallo y entre variedades. Los tallos aéreos presentaron una mayor tasa de aparición y una mayor tasa de mortalidad en ambas épocas. Se registró una relación 2:1 en la tasa global de mortalidad de tallos aéreos vs basales. La densidad de tallos basales es relativamente constante, dada su menor mortalidad. Al parecer, los tallos aéreos son utilizados por la planta para aumentar rápidamente la cobertura, y para luego ser desechados por sombreado después de cumplir su función. En la época húmeda, los tallos basales comprenden la mayor parte de la densidad desde el día 98, a finales de agosto. Mientras que en la época seca, los tallos basales son el principal componente de la densidad sólo hasta después del día 126. El pasto OM-22 resultó tener una mayor aparición de tallos aéreos, sin diferir en general de CT-115 o de Camerún.

Con respecto al análisis de crecimiento del pasto Cuba CT-115, se encontró que este alcanza un rendimiento en hoja estable a los 70 días de edad en la época húmeda y a los 98 días en la época seca (alrededor de 5 y 4 Mg MS ha⁻¹, respectivamente). Partiendo de que el animal selecciona mayormente hoja cuando se alimenta a base de pastos, puede sugerirse esta edad como adecuada al tomar en cuenta el balance entre la calidad nutricional y el rendimiento. Cualquier aumento en el rendimiento a partir de esta edad estará representado primordialmente por un aumento en tallo, sin acumulación de hoja. Sin embargo, acorde con la tecnología bancos de biomasa (conservación de forraje en pie para ser ofertado al animal durante la época seca), la cosecha o pastoreo podría diferirse de acuerdo con los requerimientos de utilización. En este sentido, se puede sacrificar la calidad nutricional a cambio de disponer de forraje verde para los animales durante la parte más crítica de la época seca.

LITERATURA CITADA EN LA INTRODUCCIÓN

- Brunken, J.N. 1977. A systematic study of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (Gramineae). Am. J. Bot. 64, 161–167.
- 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. doi:10.1093/aob/mcq090
- Daher, R.F., Pereira, M.G., Pereira, A. Vander, Amaral Jr., A.T. 2002. Genetic divergence among elephantgrass cultivars assessed by RAPD markers in composit samples. Sci. Agric. 59, 623–627.
- Kennedy, P.B., 1919. A new forage plant: plant: Napier fodder. The Pacific Rural Press. San Francisco, California. 29 de marzo de 1919. XCVII (3), pp. 478, 483.