

Análisis del crecimiento de cinco genotipos de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.], bajo condiciones de invernadero

Growth analysis of five sideoats grama grass [*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.] genotypes, under greenhouse conditions

ALAN ÁLVAREZ-HOLGUÍN¹, CARLOS RAÚL MORALES-NIETO^{1,3}, RAÚL CORRALES-LERMA¹, J. SANTOS SIERRA-TRISTÁN², FEDERICO VILLARREAL-GUERRERO¹



► Resumen

Uno de los aspectos más importantes a considerar cuando se planea una resiembra de pastos es seleccionar la variedad de la especie que se utilizará. Sin embargo, existe poca información que ayude a determinarla. El objetivo fue evaluar los patrones de crecimiento de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*). Se evaluaron tres variedades comerciales (Vaughn, Niner y El Reno) y dos ecotipos nativos (E-689 y E-592). Semanalmente, se midió producción de biomasa aérea (PBA), biomasa radicular (BR), área foliar (AF) e índice de concentración de clorofila (ICC). Además, se incluyeron los índices de crecimiento: tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo (TCR) y tasa de crecimiento absoluto (TCA). Los datos se analizaron mediante análisis de regresión y varianza con el procedimiento GLM del software Statistical Analysis System (SAS). El comportamiento de los genotipos presentó diferencias en PBA ($P < 0.05$), BR ($P < 0.05$), AF ($P < 0.01$) e ICC ($P < 0.001$). El genotipo E-689 mostró mayor incremento en todas las variables, destacando las variables TCR y TCA. En estas, presentó una media de $0.177 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y 0.458 g día^{-1} , respectivamente, lo cual significó un incremento de 22 % y 39 %, con respecto a los demás genotipos. Debido a que presentó los valores más altos en los índices del crecimiento, producción de área foliar e índice de concentración de clorofila, probablemente este genotipo posee mayor potencial productivo y un forraje de mayor calidad. Por lo anterior, se recomienda que se multiplique y evalúe en campo para su posible registro como una nueva variedad.

Palabras clave: *Bouteloua curtipendula*, pasto banderita, ecotipos nativos, rehabilitación de pastizales, tasas de crecimiento.

- **Recibido:** Enero 28, 2017
- **Aceptado:** Febrero 17, 2017

► Abstract

An important aspect to consider in grasslands reseeding programs is the variety of the species to use. However, there is limited information to determine the proper variety to use in these kinds of programs. The objective of this study was to evaluate growth patterns of five sideoats grama genotypes (*Bouteloua curtipendula*). Three commercial varieties (Vaughn, Niner and El Reno) and two native ecotypes (E-689 and E-592) were studied. The variables aerial biomass production (ABP), root biomass production (RBP), leaf area (LA), chlorophyll concentration index (CCI) were evaluated on a weekly basis. In addition, three growth indexes were included: net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR) and absolute growth rate (AGR). Data were analyzed by regression and variance analysis using the GLM procedure of the Statistical Analysis System (SAS) software. The behavior of the genotypes showed differences on ABP ($P < 0.05$), RBP ($P < 0.05$), LA ($P < 0.01$) and CCI ($P < 0.001$). The genotype E-689 presented the highest increase in all the variables evaluated. Moreover, it also presented the highest RGR and AGR with an average of $0.177 \text{ g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ and 0.458 g day^{-1} , respectively; which represented an increment of 22 % and 39 %, in comparison with the others genotypes. In conclusion, the genotype E-689, which presented the highest growth indexes, probably has a higher productive potential than the other genotypes evaluated. In addition, it presented the highest leaf area and chlorophyll concentration index and therefore, it possibly contains forage of a greater quality. Thus, it is recommended to reproduce and evaluate this genotype under field conditions for its potential to be released as a new variety.

Key words: *Bouteloua curtipendula*, sideoats grama, native ecotypes, grasslands rehabilitation, growth rates.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA. KM. 1 PERIF. F.R. ALMADA. C.P 31031, APDO. POSTAL 4-28 CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO. TEL. (614) 132-0298.

² INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. SITIO EXPERIMENTAL LA CAMPANA. KM. 33.3 CARRETERA CHIHUAHUA-OJINAGA. C. P. 32910. ALDAMA CHIHUAHUA MÉXICO. TEL. (614) 184-8582.

³ DIRECCIÓN ELECTRÓNICA DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: cnieto@uach.mx



Introducción

El análisis de crecimiento es una técnica utilizada para determinar diferencias fisiológicas entre variedades o genotipos de la misma especie. En los últimos años esta técnica ha cobrado importancia para caracterizar y seleccionar genotipos de acuerdo con su potencial forrajero y requerimientos (Akram, 2011). Así mismo, este análisis provee información de la capacidad de establecimiento de una planta, ya que valores altos en las tasas de crecimiento significan mayor crecimiento, tanto de biomasa aérea como en su sistema radical. Esto le permite a la planta capturar más recursos y facilitar su establecimiento en campo (James y Drenovsky, 2007; Sanaullah *et al.*, 2011). En zonas áridas, donde existe un rápido desecamiento de la parte superficial del suelo, un rápido desarrollo radical es de suma importancia para el establecimiento de las plantas (Smith *et al.*, 2010). Por esta razón, materiales con altos valores en las tasas de crecimiento, además de ser más productivos, pueden ser más competitivos durante la etapa de establecimiento (James, 2008; Dawson *et al.*, 2011).

En México, la mayor parte de los pastizales en zonas áridas y semiáridas se encuentran degradados, principalmente por el sobrepastoreo (Melgoza-Castillo, 2007). Una alternativa para rehabilitar estos ecosistemas es la resiembra de pastos. Sin embargo, la mayor parte de la semilla que se utiliza para este tipo de programas es importada (Martín *et al.*, 2016), lo cual eleva sus costos y dificulta su ejecución. Es importante mencionar que una de las especies más utilizada en la resiembra de pastizales en el norte de México, es el pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*). Esto se debe a que se adapta a una amplia gama de condiciones y que posee buen valor forrajero (Morales *et al.*, 2009). No obstante, existe poca información que ayude a determinar la variedad adecuada para las diferentes ecorregiones del país. Además, a pesar de que en México existe gran variabilidad genética de esta especie (Morales-Nieto *et al.*, 2006; Morales-Nieto *et al.*, 2008), solamente se ha producido una variedad nacional (Beltrán *et al.*, 2013). Debido a esto, es importante evaluar y seleccionar ecotipos con altas tasas de crecimiento, con potencial para ser utilizados en los diversos ambientes áridos y semiáridos. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar los patrones de crecimiento de cinco genotipos de pasto banderita, bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos



El experimento se realizó en un invernadero tipo capilla en la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE) de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), ubicado en Chihuahua, México. Se evaluaron las variedades comerciales El Reno, Niner y Vaughn, procedentes de Estados Unidos de América, las cuales se caracterizan por su alta resistencia al frío, alta capacidad de establecimiento y por ser de talla alta, respectivamente (Veneciano, 2006). Así mismo, se evaluaron dos ecotipos nacionales E-689 y E-592, los cuales fueron seleccionados como sobresalientes de un proceso de selección de 135 ecotipos recolectados en octubre de 2006 en ranchos ganaderos de distintas ecorregiones del estado de Chihuahua (Morales *et al.*, 2016). El E-689 fue recolectado en el km 68.5 de la carretera el Sauz-Namiquipa en el estado de Chihuahua, en un pastizal amacollado con 440 mm de precipitación media anual, 14 °C de temperatura media anual y 1662 msnm. El E-592 se recolectó en el km 51 en la carretera de cuota Ojinaga-Chihuahua en un matorral dominado por *Larrea tridentata*, con 265 mm de precipitación media anual, 21.9 °C de temperatura media anual y 1204 msnm. Para homogenizar se empleará el término genotipo al referirse, tanto a las tres variedades comerciales como a los dos ecotipos.

El análisis de crecimiento se llevó a cabo del 10 de junio al 19 de agosto del 2014. Este se realizó a través de mediciones por periodos semanales durante 70 días a partir de la emergencia, tiempo en el cual las plantas alcanzaron la madurez. En cada medición se utilizaron cinco repeticiones por genoti-

po. Para facilitar la extracción de la raíz, la siembra se realizó en bolsas de 23 cm de altura y 15 cm de diámetro provistas con 4.5 kg de arena (partículas inferiores a 2 mm). Debido a la falta de nutrientes de la arena, se adicionaron al agua de riego 2 g l⁻¹ del fertilizante triple 18 Hakaphos rojo marca Compo, ya que la concentración de nutrientes de este fertilizante cumple fácilmente con los requerimientos de una especie rústica, como es el pasto banderita. Dicha concentración de nutrientes fue de 18% de nitrógeno, 18 % de peróxido de fósforo, 18 % de óxido de potasio, 0.01 % de B, 0.02 % Cu, 0.05 % de Fe, 0.05 % de Mn, 0.001 % de Mo, 0.02 % de Zn. Para la solución se utilizó agua potable con pH de 4.9 y una conductividad eléctrica de 0.65 mS cm⁻² a 25 °C. Los riegos con esta solución se proporcionaron hasta punto de saturación cada dos o tres días, según el desecamiento del suelo. Las variables evaluadas fueron producción de biomasa aérea (PBA), biomasa radicular (BR), área foliar (AF), índice de concentración de clorofila (ICC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo (TCR) y tasa de crecimiento absoluto (TCA).

Para asegurar los rangos de temperatura (T) y humedad relativa (HR) que requiere el pasto banderita, se realizaron mediciones dentro del invernadero con una sonda modelo HMP60 (Vaisala, Woburn, MA, USA). Estos datos se registraron cada segundo y fueron promediados cada minuto en un datalogger CR1000 (Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA). La T media durante el experimento fue de 26.7 ± 5.6 °C, con una mínima de 17.1 y máxima de 44.7. La HR media fue de 52.0 ± 16.8 %.

La determinación del área foliar se realizó mediante el método clásico o alométrico. Para esto, en cada periodo se midió el total de las hojas de cada planta y se aplicó la siguiente fórmula a cada hoja individual:

$$AF = L \times A \times C$$

Donde: AF = área foliar, L = largo de la hoja, A = ancho de la hoja, C = 0.75 constante de ajuste por la forma irregular de la hoja, recomendado para gramíneas (Wilhelm *et al.*, 2000). Con lo anterior, se calculó el AF total de cada una de las plantas evaluadas.

En cada medición se evaluaron por método destructivo cinco repeticiones (plantas) seleccionadas al azar para cada genotipo. Para esto, las plantas se extrajeron de la maceta y se lavaron las raíces con agua corriente para remover la arena. Una vez extraídas, se separó la parte aérea y la raíz, lo cual se realizó en la base de la corona. Las muestras extraídas fueron almacenadas en bolsas de papel y se secaron en una estufa a 65 °C durante 72 h. Para calcular la PBA y BR se pesó la raíz y biomasa aérea en una balanza analítica de la marca Viper BC, Mettler Toledo. Además, con estos pesos y el AF se calcularon

Cuadro 1. Fórmulas utilizadas para obtener los índices de crecimiento de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).

Variable	Símbolo	Formula*	Unidades
Tasa de crecimiento relativo	TCR	$\frac{\ln W2 - \ln W1}{T2 - T1}$	g g ⁻¹ día ⁻¹
Tasa de asimilación neta	TAN	$\frac{W2 - W1}{T2 - T1} \times \frac{\ln AF2 - \ln AF1}{AF2 - AF1}$	g cm ⁻² día ⁻¹
Tasa de crecimiento absoluto	TCA	$\frac{W2 - W1}{T2 - T1}$	g día ⁻¹

AF = área foliar, T = tiempo, W = materia seca total, 1 = periodo inicial, 2 = periodo final.
 *Hunt (1978)

Para el cálculo de los índices de crecimiento se promedió el resultado de cada genotipo por periodo. El índice de concentración de clorofila se calculó con el medidor de clorofila Opti-sciences CCM-200. Para esto, las mediciones se realizaron en la parte media de la hoja y se midieron 10 hojas seleccionadas al azar por planta.

Análisis estadístico

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar. Para describir la tendencia del crecimiento en los genotipos de pasto banderita, se realizó un análisis de regresión a las variables PBA, BR, AF e ICC. Además, estas variables se analizaron mediante análisis de variancia (ANDEVA) de dos factores (genotipo y tiempo) y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las tasas de crecimiento (TAN, TCR y TCA) no fueron analizadas estadísticamente debido a que son índices que se calculan con el promedio de todas las repeticiones, por fecha de muestreo. Esto provoca que no se tengan repeticiones y, por lo tanto, no se pueda realizar un análisis inferencial. No obstante, estos índices pueden uti-

lizarse para hacer comparaciones descriptivas (Hunt, 1978). Los datos fueron analizados mediante el procedimiento GLM del software Statistical Analysis System (SAS, 2006). Las variables PBA, BR y AF se ajustaron a un modelo de la forma:

$$W_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_1 X_j + \beta_2 X_j^2 + \tau_i X_j + \tau_i X_j^2 + E_{ij}$$

El ICC se ajustó a un modelo de tendencia lineal de la forma:

$$W_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_{i1} X_j + \tau_i X_j + E_{ij}$$

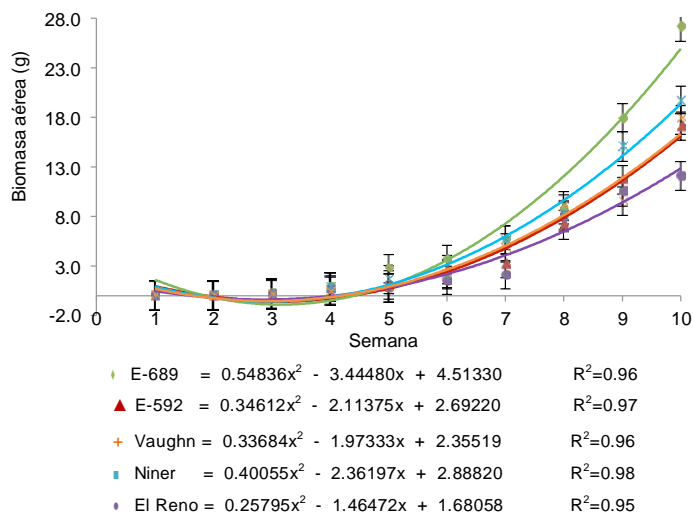
Dónde: W_{ij} = Variable respuesta, μ = media general, β_1, β_2 = Coeficientes de regresión lineal y cuadrático para la variable respuesta a través de las semanas, X_j, τ_i = Efecto fijo del i-ésimo genotipo, E_{ij} = Error residual normal e independiente, distribuido con media 0 y varianza σ^2 .

Resultados

El comportamiento de la PBA de los cinco genotipos de pasto banderita se presenta en la Fig. 1. La PBA mostró una tendencia cuadrática ($P \leq 0.001$) y los coeficientes de determinación (R^2) fluctuaron entre 0.95 y 0.98. Además, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el comportamiento de los genotipos. En esta variable, el genotipo E-689 presentó un mayor ($P \leq 0.05$) incremento de PBA, con un 37% más que

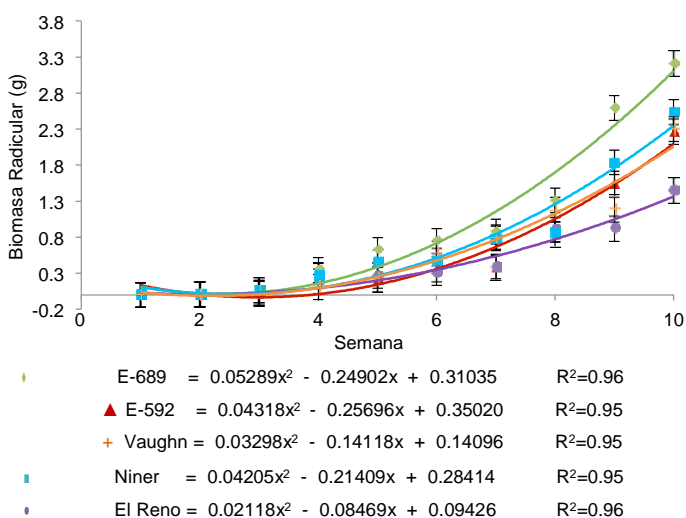
Niner, el cual fue el segundo con mayor PBA. El genotipo de menor ($P \leq 0.05$) incremento de PBA fue El Reno, con menos de la mitad de la producción que presentó el E-689. No obstante, cabe mencionar que las diferencias entre genotipos se presentaron a partir de la séptima semana (Figura 1), lo cual se puede corroborar con el término cuadrático de las ecuaciones de regresión.

Figura 1. Comportamiento de la producción de biomasa aérea de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).



Respecto al incremento biomasa radicular, éste mostró una tendencia cuadrática ($P \leq 0.001$) y sus coeficientes de determinación (R^2) fluctuaron entre 0.95 y 0.96. Además, el análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre genotipos, donde E-689 fue el genotipo con mayor ($P \leq 0.05$) incremento de BR y presentó un 27% más BR que el resto de los genotipos. El Vaughn, Niner y E-592 no presentaron diferencias ($P > 0.05$) entre sí, mientras que El Reno fue el genotipo con menor ($P \leq 0.05$) BR. Sin embargo, al igual que en PBA las diferencias entre genotipos se presentaron a partir de la séptima semana (Figura 2), lo cual se puede corroborar con el término cuadrático de las ecuaciones de regresión.

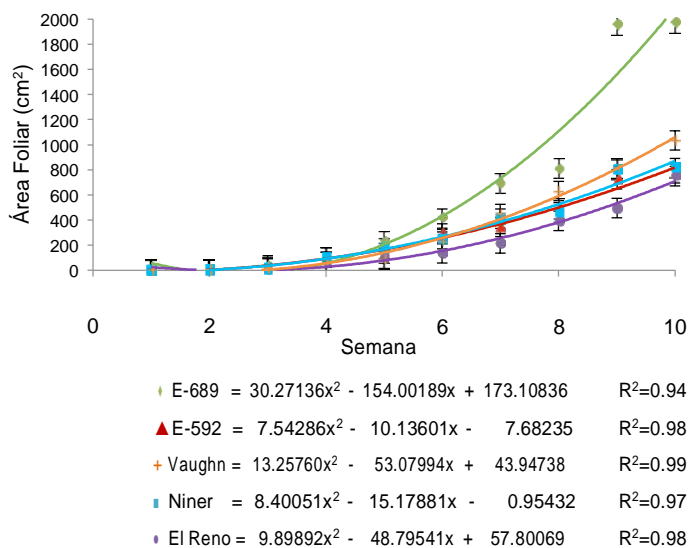
Figura 2. Comportamiento de la biomasa radicular de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).



La Fig. 3 muestra el comportamiento del AF de los cinco genotipos evaluados. Esta variable mostró una tendencia cuadrática ($P \leq 0.001$) y los coeficientes de determinación (R^2) fluctuaron entre 0.94 y 0.99 (Figura 3). Así mismo, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre genotipos. No obstante, el único genotipo que mostró diferencias fue el E-689 ($P \leq 0.05$) y obtuvo un mayor incremento ($P \leq 0.05$) de AF. Además, este genotipo un 69% más de AF que los demás genotipos.

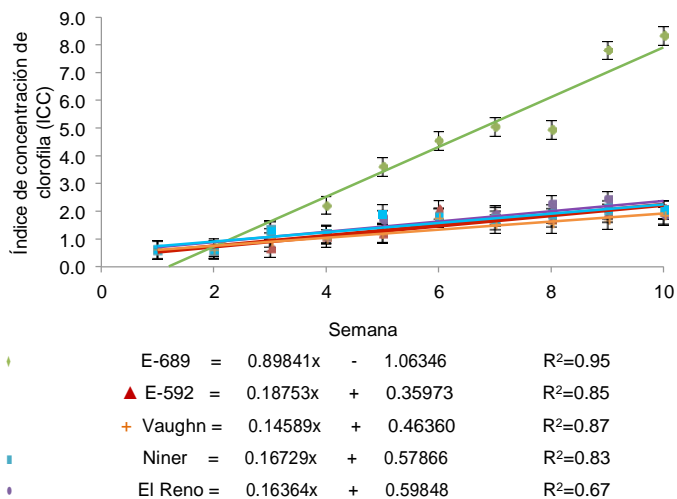
La Fig. 4 muestra el comportamiento del ICC de los cinco genotipos de pasto banderita, el cual mostró una tendencia lineal ($P \leq 0.001$) y los coeficientes de determinación (R^2) fluctuaron entre 0.67 y 0.95. Además, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.001$) en el comportamiento de los genotipos. Sin embargo, el genotipo E-689 fue el único que presentó diferencias ($P \leq 0.05$) en el incremento del ICC. Así mismo, es importante resaltar que este genotipo presentó dos veces más AF que el resto de los mismos.

Figura 3. Comportamiento del área foliar de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).



El Cuadro 2 muestra los valores de TAN, TCR y TCA de los cinco genotipos evaluados. El genotipo E-689 presentó mayor TAN, TCR y TCA, mientras que el genotipo Vaughn presentó menor TAN y TCR y El Reno presentó la menor TCA.

Figura 4. Comportamiento del índice de concentración de clorofila de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).



Cuadro 2. Índices del crecimiento de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).

Genotipo	Tasa de Asimilación Neta ($g\ cm^{-2}\ día^{-1}$)	Tasa de Crecimiento Relativo ($g\ g^{-1}\ día^{-1}$)	Tasa de Crecimiento Absoluto ($g\ día^{-1}$)
E-689	0.00495	0.177	0.458
E-592	0.00227	0.145	0.304
Vaughn	0.00142	0.136	0.312
Niner	0.00492	0.143	0.329
El Reno	0.00264	0.143	0.161

Discusión

En un estudio donde se caracterizaron ecotipos nativos de pasto banderita, se obtuvieron producciones de materia seca desde 4.53 hasta 17 g MS planta⁻¹, a los 125 días post siembra (Sánchez-Arroyo *et al.*, 2014). Este resultado es inferior al que presentaron los genotipos E-689 y Niner, a pesar de que en este estudio se evaluó hasta 70 días después de la emergencia. No obstante, es similar al mostrado por el resto de los genotipos. De los genotipos comerciales, Niner fue el que mostró el mejor comportamiento en PBA, seguida por Vaughn y El Reno. Estos resultados tal vez se deban a que las variedades Vaughn y Niner toleran ambientes más cálidos, como consecuencia de su lugar de origen, mientras que El Reno puede mostrar mayor producción de materia seca en ambientes templados (Veneciano, 2006; Corleto *et al.*, 2009). Así mismo, Corrales *et al.* (2016) reportaron que los genotipos Niner y Vaughn fueron superiores en producción de materia seca al compararlos con El Reno, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio. Por otro lado, Morales *et al.* (2009) al caracterizar la diversidad forrajera de 177 ecotipos de pasto banderita en México, encontraron que más de la mitad de los ecotipos fueron superior a la variedad El Reno en producción de forraje. Lo anterior junto con los resultados en este estudio, señala que El Reno no se desarrolla bien en zonas áridas. Sin embargo, es una de las variedades más utilizadas en programas de rehabilitación de pastizales en México (Morales *et al.*, 2009).

Con respecto a BR, Sánchez-Arroyo *et al.* (2014) al caracterizar ecotipos nativos de pasto banderita bajo condiciones similares a las de este estudio, obtuvieron producciones desde 0.293 hasta 0.946 g MS planta⁻¹, a los 125 días después de la siembra. De igual manera, este resultado es inferior al que presentaron todos los genotipos en este estudio, a pesar de que se evaluaron hasta 70 días después de la emergencia. El mayor desarrollo de la BR del genotipo E-689, podría reflejarse en una mayor capacidad para adquirir nutrientes del suelo y captar mayor cantidad de agua. Además, este resultado podría ser una característica deseable desde un punto de vista ecológico, debido a que la raíz retiene el suelo y disminuye las tasas de erosión (Gyssels y Poesen, 2003; Zhang *et al.*, 2013).

El genotipo con mayor incremento de AF fue el E-689, lo cual podría representar un mayor contenido de proteína, ya que esta especie se caracteriza por tener alta concentración de proteína en hojas (Veneciano *et al.*, 2004). Por otro lado, los investigadores Veneciano y Frigerio (2003) señalaron que la variedad Vaughn se caracteriza por tener una alta proporción de hojas. No obstante, presentó menor AF que el genotipo E-689. Otras especies como pasto africano (*Eragrostis lehmanniana*) y rosado (*Melinis repens*) presentan un AF de hasta 100 y 250 cm² planta⁻¹, respectivamente (Carillo *et al.*, 2009). Esto demuestra el potencial forrajero del genotipo E-689 y del pasto banderita en general.

Al igual que en las variables anteriores, el genotipo E-689 presentó mayor aumento en el ICC. Esto podría indicar una ma-

yor capacidad fotosintética de este genotipo y a su vez explicar su mayor PBA, ya que la capacidad fotosintética está altamente correlacionada con la producción de materia seca (Warren y Adams, 2004; Rodrigues *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2008). Además, la concentración de clorofila está relacionada con el contenido de nitrógeno en planta, debido a que la mayor parte de éste se encuentra en las moléculas de clorofila. Así mismo, el contenido de nitrógeno está correlacionado con la concentración de proteína en plantas, ya que gran parte de este es nitrógeno proteico (Daughtry *et al.*, 2000; Rincón y Ligarreto, 2010). Por lo anterior, el genotipo E-689 al presentar los mayores valores en el ICC, probablemente posea mayor contenido de proteína que los otros genotipos. Por otro lado, las tendencias en el aumento de AF e ICC fueron similares. Esto probablemente se debe a que se ha demostrado que en gramíneas como *Pennisetum purpureum*, el incremento de pigmentos verdes en las plantas favorece el desarrollo foliar (Fortes *et al.*, 2010).

En un estudio donde evaluaron el efecto de la fertilización de nitrógeno sobre los patrones de crecimiento de 34 especies de pastizal, el pasto banderita mostró una TAN de 0.00139 g cm² día⁻¹ sin fertilización y 0.00163 g cm² día⁻¹ con fertilización. Además, obtuvo una TCR de 0.136 g g⁻¹ día⁻¹ con fertilización y 0.105 g g⁻¹ día⁻¹ sin fertilización (Reich *et al.*, 2003). Estos resultados son inferiores a los obtenidos en este estudio por los genotipos E-689, E-592, Niner y El Reno. Sin embargo, concuerdan con los resultados del genotipo Vaughn. El genotipo con mayor TAN y TCR fue el E-689, lo cual puede explicar su comportamiento sobresaliente en PBA. Esto debido a que la TAN es un indicador de la eficiencia del tejido asimilador de radiación solar para producir materia seca a través de la fotosíntesis laminar (James, 2008); mientras que, la TCR expresa la capacidad de una planta para producir material nuevo a partir de una unidad de peso (James y Drenovsky, 2007). El resultado de TAN concuerda con el obtenido en ICC. Esto probablemente se debe a que la clorofila está relacionada con la eficiencia del aparato asimilador, ya que es el pigmento encargado de captar luz solar y convertirla en energía para que la planta lleve a cabo la fotosíntesis (Rivera *et al.*, 2005). Por otra parte, el genotipo E-689 también presentó mayor TCA, lo que de igual manera puede explicar su comportamiento en PBA, ya que esta tasa expresa la capacidad de una planta para producir material nuevo en un tiempo determinado (Hunt, 1979).

Estos resultados demuestran que en México existen ecotipos nativos con mayor potencial forrajero que las variedades importadas. Además, en otro estudio donde evaluaron la germinación de estos mismos genotipos bajo condiciones de estrés hídrico, encontraron que los ecotipos nativos E-689 y E-592 presentaron mayor capacidad de germinación y desarrollo de plúmula y radícula (Álvarez-Holguín *et al.*, 2017). Así mismo, en este estudio el genotipo E-689 presentó mayor desarrollo del sistema radical. Lo anterior, indica que el genotipo E-689 puede presentar mayor capacidad de establecimiento que las variedades comerciales. Este resultado puede ser de suma importancia, ya que la baja capacidad de establecimiento es una

de las principales razones por la que un programa de rehabilitación de pastizales puede fracasar. Por lo anterior, se considera que el ecotipo E-689 puede ser una alternativa en programas de rehabilitación de pastizales.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis de crecimiento, el genotipo E-689 presentó mayor potencial productivo que los demás genotipos. Además, obtuvo los valores más altos en las tasas de crecimiento, lo cual indica que posee mayor capacidad de asimilación de nutrientes. De igual manera, presentó mayor producción de área foliar e índice de concentración de clorofila, por lo que es probable que produzca forraje de mayor calidad. Por lo anterior, se recomienda reproducir el genotipo E-689 y evaluarlo en campo para su posible registro como variedad.

Respecto a las variedades comerciales, Niner presentó el mayor potencial productivo, por lo que se recomienda considerar esta variedad para futuros programas de rehabilitación de pastizales.

Literatura Citada

- AKRAM, M. 2011. Growth and yield components of wheat under water stress of different growth stages. *Bangladesh J. Agril. Res.* 36(3):455-468.
- ÁLVAREZ-HOLGUÍN, A., C. R. Morales-Nieto, R. Corrales-Lerma, A. Melgoza-Castillo y G. Méndez-Zamora. 2017. Germinación de genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) bajo diferentes presiones osmóticas. *Ecosist. Recur. Agropec.* 4(10):161-168.
- BELTRAN, L. S., D. C. A. García, A. J. A. Hernández, O. C. Loredó, M. M. J. Urrutia, E. L. A. González y V. H. G. Gámez. 2013. "Banderilla Diana" *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., nueva variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 4(2):217-221.
- CARRILLO, S. S. M., M. T. Arredondo, E. Huber-Sannwald y R. J. Flores. 2009. Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Tec. Pecu. Méx.* 47(3):299-312.
- CORLETO, A., E. Cazzato, P. Ventricelli, S. L. Cosentino, F. Gresta, G. Testa, M. Maiorana, F. Fornaro and D. De-Grigorio. 2009. Performance of perennial tropical grasses in different mediterranean environments in southern Italy. *Trop. Grasslands* 43(1):129-188.
- CORRALES, L. R., N. C. R. Morales, C. A. Melgoza, T. J. S. Sierra, G. J. A. Ortega y Z. G. Méndez. 2016. Caracterización de variedades de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] recomendadas para rehabilitación de pastizales. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 7(2):201-211.
- DAUGHTRY, C. S. T., C. L. Walthall, M. S. Kim, E. Brown de Colstoun and J. E. McMurtrey. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* 74(2):229-239.
- DAWSON, W., M. Fischer and M. Van Kleunen. 2011. The maximum relative growth rate of common UK plant species is positively associated with their global invasiveness. *Global Ecol. Biogeogr.* 20:299-306.
- FORTES, R. S. D., G. S. Herrera, R. M. A. García y M. A. Cruz. 2010. Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la estación lluviosa. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola* 44(4):427-431.
- GYSEL, G. y J. Poesen. 2003. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates. *Earth Surf. Proc. Land* 28(4):371-384.
- HUNT R. 1979. Plant growth analysis: The rationale behind the use of the fitted mathematical function. *Ann. Bot.* 43(2):245-249.
- JAMES, J. J. 2008. Effect of soil nitrogen stress on the relative growth rate of annual and perennial grasses in the Intermountain West. *Plant Soil* 310(2):201-210.
- JAMES, J. J. and R. E. Drenovsky. 2007. A basis for relative growth rate differences between native and invasive forb seedlings. *Rangeland Ecol. Manage.* 60(4):395-400.
- MARTÍN, M. H., I. F. A. Flores, M. S. Moreno, L. R. Retes y R. R. Amarillas. 2016. Impacto económico asociado con la cosecha de semilla de zamota y mezquite en la región central de Sonora, México. *Rev. Mex. Agroneg.* 20(38):217-228.
- MELGOZA-CASTILLO, A., C. Ortega-Ochoa, C. R. Morales-Nieto, P. Jurado-Guerra, C. Velez-Sanchez-Verin, M. H. Rojo-Márquez, G. Quintana-Martínez, A. Lafón-Terrazas, M. T. Alarcón-Herrera, G. Bezanilla-Enríquez y C. Pinedo-Alvarez. 2007. Propagación de plantas nativas para la recuperación de áreas degradadas: opción para mejorar ecosistemas. *Tecnociencia Chihuahua* 1(3):38-41.
- MORALES, N. C. R., C. A. Quero, A. C. Melgoza, S. M. Martínez y G. P. Jurado. 2009. Diversidad forrajera del pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], en poblaciones de zonas áridas y semiáridas de México. *Téc. Pecu. Méx.* 47(3):231-244.
- MORALES-NIETO, C. R., A. Quero-Carrillo, J. Pérez-Pérez, A. Hernández-Garay y O. Le-Blanc. 2008. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] en México. *Agrociencia* 42(7):767-775.
- MORALES-NIETO, C., A. Quero-Carrillo, O. Le-Blanc, A. Hernández-Garay, J. Pérez-Pérez y S. González-Muñoz. 2006. Caracterización de la diversidad del pasto nativo *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. mediante marcadores de AFLP. *Agrociencia* 40(6):711-720.
- REICH, P. B., C. Buschena, M. G. Tjoelker, K. Wrage, J. Knops, D. Tilman and J. L. Machado. 2003. Variation in growth rate and ecophysiology among 34 grassland and savanna species under

contrasting N supply: a test of functional group differences. *New Phytol.* 157(3):617-631.

RINCÓN, C. A. y G. A. Ligarreto. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 11(2):122-128.

RIVERA, R. C., A. A. Zapata, G. Pinilla, J. Donato, B. Chaparro y P. Jiménez. 2005. Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biol. Col.* 10(2):95-103.

RODRIGUES, A. L. R., R. T. Déleo, R. R. Andrade y F. C. V. Soares. 2006. Avaliação de características fisiológicas de cinco cultivares de *Cynodon*. *Acta Sci. Anim. Sci.* 28(3):245-250.

SANAULLAH, M., E. Blagodatskaya, A. Chabbi, C. Rumpel and Y. Kuzyakov. 2011. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. *Appl. Soil. Ecol.* 48:38-44.

SÁNCHEZ-ARROYO, J. F., F. J. Hernández-Guzmán, A. R. Quero-Carrillo, F. O. Carrete-Carreón and J. A. Toca-Ramírez. 2014. Yield by morphological component of sideoats grama (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.). *Agricultural Journal* 9(3):162-166.

SMITH, S. E., E. Facelli, S. Pope and F. A. Smith. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant Soil* 326:3-20.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (SAS). Institute. SAS/STAT 9.1.3. 2006. User's guide. Cary, NC, USA. 1686 p.

VENECIANO, J. H. 2006. Gramíneas estivales perennes para ambientes semiáridos: Características y productividad. *Sitio Argentino de Producción Animal* 171:1-84.

VENECIANO, J. H. y K. L. Frigerio. 2003. Efecto de la defoliación de primavera-verano sobre los rendimientos, composición de la materia seca y contenido proteico del material diferido de gramíneas megatérmicas. *RIA.* 32(1):5-15.

VENECIANO, J. H., K. L. Frigerio y C. A. Frasinelli. 2004. Acumulación de forrajeras e indicadores de calidad de gramíneas perennes estivales fertilizadas. *Rev. Fac. Agronomía* 15(2):43-55.

WARREN, C. R. and M. A. Adams. 2004. Evergreen trees do not maximize instantaneous photosynthesis. *Trends Plant Sci.* 9(6):270-274.

WILHELM, W. W., F. Ruwe and M. R. Schlemmer. 2000. Comparison of three leaf area index meters in corn canopy. *Crop Sci.* 40(4):1179-1183.

WU, C., Z. Niu, Q. Tang and W. Wang. 2008. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agr. Forest Meteorol.* 148(9):1230-1241.

ZHANG, G., K. Tang, Z. Ren and X. C. Zhang. 2013. Impact of grass root mass density on soil detachment capacity by concentrated flow on steep slopes. *T. ASABE* 56(3):927-934.

Este artículo es citado así:

Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C.R., Corrales-Lerma, R., Sierra-Tristán, J.S., Villareal-Guerrero, F.
Análisis del crecimiento de cinco genotipos de pasto bandera [*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.], bajo condiciones de invernadero.
Tecnociencia Chihuahua 11(1) 25-32.

► Resumen curricular del autor y coautores

ALAN ÁLVAREZ HOLGUÍN. Terminó su licenciatura en 2011, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción por la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó un posgrado en la Universidad Regional del Norte, donde obtuvo el grado de Maestro en Estrategia Educativa. Posteriormente, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con área mayor en Manejo de Recursos Naturales por la Facultad de Zootecnia y Ecología de la UACH. Actualmente estudia el Doctorado con área mayor en Manejo de Recursos Naturales en la misma facultad. Su área de especialización es manejo y mejoramiento de pastizales. Es autor de un artículo científico y ha impartido 6 ponencias en congresos internacionales.

CARLOS RAÚL MORALES NIETO. Terminó su licenciatura en 1982, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en Saltillo, Coah., donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Tecnología de Semillas en 1992 por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el grado de Doctor en Filosofía en el área de Genética en 2006 por el Colegio de Postgraduados. De 1982 a 2012 laboró en el INIFAP con la categoría de Investigador titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I desde 2008 a la fecha. Su área de especialización es el Manejo y Mejoramiento de Pastizales y Genética de Pastizales. Ha dirigido 8 tesis de licenciatura, 9 de maestría y 3 de doctorado. Es autor de 22 artículos científicos, más de 140 ponencias en congresos, 4 libros técnicos, 9 capítulos de libros científicos 40 revistas divulgativas; además ha impartido más de 30 conferencias por invitación y ha dirigido 17 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua y es árbitro de 4 revistas científicas de circulación internacional.

RAÚL CORRALES LERMA. Concluyó su licenciatura en 2012, el mismo año fue titulado como Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción por la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE) de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). En 2014 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con Área mayor en Recursos Naturales y línea de investigación en Manejo de pastizales, otorgado por la FZyE de la UACH. Actualmente estudia un Doctorado en Philosophia con Área mayor en Recursos Naturales y línea de investigación en Mejoramiento genético de pastos en la FZyE de la UACH. Es miembro de la Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales. Ha participado como ponente en 10 congresos internacionales en México, Estados Unidos y Canadá. Es autor de publicaciones en revistas arbitradas en Latindex, revistas indizadas en la lista CONACYT y revistas de lista JCR.

J. SANTOS SIERRA TRISTÁN. Obtuvo su licenciatura como Ingeniero Agrónomo Zootecnista en 1980 por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Realizó su posgrado en la misma universidad (UAAAN), donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Manejo de Pastizales en 1990. Se le otorgó el grado de Doctor en Filosofía en el área de Manejo de Pastizales en 2001 en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Desde 1979 labora en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) donde posee la categoría de investigador titular C. Su área de especialización ha sido la revegetación de tierras de pastoreo. Ha dirigido cinco tesis de licenciatura y cinco de maestría. Es autor de siete artículos científicos, autor de cinco folletos técnicos y coautor en 11. Es coautor en dos libros. Ha dirigido y colaborado en varios proyectos de investigación y de transferencia de tecnología.

FEDERICO VILLAREAL GUERRERO. Terminó su licenciatura en 2001, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Mecánico Agrícola por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Realizó su posgrado en Chihuahua, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura en 2005 por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). El grado de Doctor en Filosofía lo obtuvo en el área de Ingeniería Agrícola y Biosistemas en 2011 por la Universidad de Arizona. Durante 2011-2014 laboró como Profesor de Tiempo Completo para la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Desde 2014 labora en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la UACH y posee la categoría de Académico titular B. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2012 (Candidato). Su área de especialización es la respuesta fisiológica de plantas y el monitoreo y manejo de recursos naturales. Ha dirigido 4 tesis de licenciatura, 1 de maestría y 1 de doctorado. Es autor de 13 artículos científicos, más de 40 ponencias en congresos, y 1 capítulo de libro; además ha dirigido 7 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, fiscales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua, asimismo, es árbitro de tres revistas científicas de circulación internacional.