

# CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES NATIVAS DE PASTO BANDERITA [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] EN MÉXICO

## MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF NATIVE POPULATIONS OF SIDEOAT GRAMA [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] IN MÉXICO

Carlos R. Morales-Nieto<sup>1\*</sup>, Adrián Quero-Carrillo<sup>2</sup>, Jorge Pérez-Pérez<sup>2</sup>, Alfonso Hernández-Garay<sup>2</sup> y Olivier Le-Blanc<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INIFAP-CIRNOC. Campo Experimental La Campana. Avenida Homero No. 3744 Colonia El Vergel. 31100. Chihuahua, Chihuahua, México. (morales\_nieto\_c\_r@hotmail.com). <sup>2</sup>Ganadería. Campus Montecillos. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo. Estado de México. <sup>3</sup>IRD-CIMMYT. Texcoco, México-Montpellier, Francia.

### RESUMEN

Los descriptores morfológicos involucran el manejo de atributos para efectuar mejoramiento genético de especies forrajeras. Los objetivos del presente estudio fueron explorar la diversidad morfológica de poblaciones nativas de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] y evaluar sus principales características morfológicas. Se calificaron y analizaron 177 ecotipos al momento de la floración mediante 14 descriptores morfológicos cuantitativos para conocer y definir la estructura poblacional. Los datos fueron analizados usando componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados jerárquico (ACJ). Hubo una alta variabilidad morfológica entre ecotipos. Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron 63.3% de la variación total observada. Para el CP1 las variables más importantes fueron longitud de inflorescencia, diámetro de tallo en la base y en la altura media de los hijatos; para el CP2, densidad de tallos, altura de forraje y altura de planta y en el CP3, longitud de ramas, longitud del raquis de la inflorescencia y número de ramas. Estas variables contribuyeron significativamente con los valores más altos para explicar la variación total. El CP1 agrupó variables relacionadas con el tallo; con CP2 se observó que el potencial de forraje está relacionado con la densidad de tallos y altura de forraje; con CP3, que la longitud y número de ramas se relacionan con el rendimiento de semilla. Al aplicar el ACJ se obtuvieron cinco grupos: I con 19 ecotipos, II con 45, III con 29, IV con 22 y V con 62. Se detectaron ecotipos con alto potencial forrajero de acuerdo con su variabilidad morfológica: por tanto, se dispone de riqueza genética en el pasto banderita.

**Palabras clave:** *Bouteloua curtipendula*, componentes principales, descriptores morfológicos, variabilidad morfológica

### INTRODUCCIÓN

La recolección y conservación de recursos forrajeros nativos en los centros de origen es fundamental para mantener y mejorar la

### ABSTRACT

The morphological descriptors involve the management of attributes to carry out breeding of forage species. The objectives of the present study were to explore the morphological diversity of native populations of sideoat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] and to evaluate its principal morphological characteristics. To this effect, 177 ecotypes were qualified and analyzed at the moment of flowering by means of 14 quantitative morphological descriptors to know and define the population structure. The data were analyzed using principal components (PCA) and hierarchic analysis of conglomerates (HAC). There was a high morphological variability among ecotypes. The first three components (PC) explained 63.3% of the total variation observed. For PC1, the most important variables were length of inflorescence, stem diameter at the base and at the mean height of the tillers; for PC2, tiller density, forage height and plant height, and in PC3, branch length, length of the inflorescence of the rachis and number of branches. These variables contributed significantly with the highest values to explain the total variation. PC1 grouped variables related to the tiller; with PC2 it was observed that the forage potential is related to tiller density and forage height; with PC3, that the length and number of branches are related to seed yield. When the HAC was applied, five groups were obtained: I with 19 ecotypes, II with 29, IV with 22 and V with 62. Ecotypes with high forage potential were detected according to their morphological variability; therefore, there is genetic wealth in sideoat grama.

**Key words:** *Bouteloua curtipendula*, principal components, morphological descriptors, morphological variability.

### INTRODUCTION

The collection and conservation of native forage resources of the centers of origin is fundamental for the maintenance and improvement of forage production, which is the basis for cattle feeding cattle (Do Valle, 2001). An efficient collection of germplasm in native populations is the key for initiating programs of germplasm selection and genetic improvement. To

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Marzo, 2007. Aprobado: Junio, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 767-775. 2008.

producción forrajera, que es la base para la alimentación del ganado (Do Valle, 2001). Una recolección eficiente de germoplasma en poblaciones nativas es la clave para iniciar programas de selección de germoplasma y mejoramiento genético. Para efectuar la caracterización de la recolección se asegura la mayor diversidad del centro de origen de la especie, se seleccionan los ecotipos sobresalientes de la diversidad natural y se efectúa una caracterización morfológica mediante la evaluación de los descriptores seleccionados (Quero, *et al.*, 2003).

Los descriptores morfológicos involucran el uso de atributos para realizar mejoramiento genético de especies forrajeras mediante la evaluación y selección de estos descriptores en ecotipos sobresalientes. Además, se pueden identificar características específicas que pudieran ser incorporadas mediante hibridación a individuos sobresalientes que no las presentan. Esto ha permitido definir los atributos de mayor importancia en la explicación de la variabilidad de poblaciones nativas, así como su vigor y constancia dentro de las mismas poblaciones (Steiner *et al.*, 1998). En mejoramiento genético de *Brachiaria* spp. (Do Valle, 1988) y *Panicum maximum* (Costa *et al.*, 1989) se ha utilizado la conformación de grupos morfológicos mediante el análisis de los valores de descriptores vegetales.

En México hay pocos bancos de germoplasma con recolecciones de gramíneas y leguminosas forrajeras y en algunos de ellos se han estructurado esquemas para su evaluación: *Brachiaria* spp. (Kéller-Grein *et al.*, 1998), *Panicum* spp. (Savidan *et al.*, 1989), *Tripsacum* spp. (Berthaud y Savidan, 1989) y *Bouteloua curtipendula* Michx. Torr (Quero *et al.*, 2003; Morales *et al.*, 2006). En otros países se han realizado caracterizaciones morfológicas de gramíneas y leguminosas forrajeras dentro de los géneros *Andropogon* (Smart *et al.*, 2004), *Lolium* (Bennet *et al.*, 2000), *Panicum* (Casler, 2005; Das *et al.*, 2004), *Medicago* (González-Andrés *et al.*, 1999), *Trifolium* (Bulinska-Radomska, 2000), *Sorghum* spp. (Ayana y Bekele, 1999; Grenier *et al.*, 2004), *Hymenachne* (Enríquez *et al.*, 2006) y *Bouteloua* (Morales *et al.*, 2006).

Según Harlan *et al.* (1953) el pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], es la segunda especie en importancia agronómica dentro de su género. Las plantas de esta especie alcanzan alturas de 75 cm o más y producen abundante forraje apetecido por todo el ganado. Pasto banderita se adapta a una amplia gama de suelos y condiciones climáticas y presenta excelente desempeño con baja precipitación (Gay *et al.*, 1970; Willard y Schuster, 1971); su hábitat son planicies y lomeríos rocosos (Gloria y Pérez, 1982). Esta especie tiene buen potencial productivo en

carry out the characterization of the collection and to insure the highest diversity of the center of origin of the species, are selected the outstanding ecotypes of the natural diversity and a morphological characterization is performed through the evaluation of the selected descriptors (Quero *et al.*, 2003).

The morphological descriptors involve the use of attributes for carrying out genetic improvement of forage species through the evaluation and selection of these descriptors in outstanding ecosystems. In addition, specific characteristics can be identified that could be incorporated through hybridation to outstanding individuals that do not present them. This has made it possible to define the attributes of highest importance in the explanation of the variability of native populations, as well as their vigor and constancy, within the same populations (Steiner *et al.*, 1998). In the genetic improvement of *Brachiaria* spp. (Do Valle, 1988) and *Panicum maximum* (Costa *et al.*, 1989), the conformation of morphological groups has been used through the analysis of the values of plant descriptors.

In México there are few germplasm banks with collections of forage grasses and legumes, and in some of them designs for their evaluation have been structured: *Brachiaria* spp. (Kéller-Grein *et al.*, 1998), *Panicum* spp. (Savidan *et al.*, 1989), *Tripsacum* spp. (Berthaud and Savidan, 1989) and *Bouteloua curtipendula* Michx. Torr (Quero *et al.*, 2003; Morales *et al.*, 2006). In other countries, morphological characterizations have been made of forage grasses and legumes in the genera *Andropogon* (Smart *et al.*, 2004), *Lolium* (Bennet *et al.*, 2000), *Panicum* (Casler, 2005; Das *et al.*, 2004), *Medicago* (González-Andrés *et al.*, 1999), *Trifolium* (Bulinska-Radomska, 2000), *Sorghum* spp. (Ayana and Bekele, 1999; Grenier *et al.*, 2004), *Hymenachne* (Enríquez *et al.*, 2006) and *Bouteloua* (Morales *et al.*, 2006).

According to Harlan *et al.* (1953), sideoat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], is the second species in agronomical importance within its genus. The plants of this species reach heights of 75 cm or more and produce abundant forage which appeals to all grazing animals. Sideoat grama adapts to a wide range of soils and climatic conditions and presents excellent performance with low precipitation (Gay *et al.*, 1970; Willard and Schuster, 1971); its habitat is plains and rocky hillsides (Gloria and Pérez, 1982). This species has good productive potential under arid conditions, given that during the winter season it maintains high values of digestibility (Quero *et al.*, 2003). Based on the above, the objectives of the present study were to characterize the morphological diversity in native populations of sideoat grama and to evaluate

condiciones de aridez, ya que durante la época invernal mantiene altos valores de digestibilidad (Quero *et al.*, 2003). Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron caracterizar la diversidad morfológica de poblaciones nativas de pasto bandera y evaluar las principales características morfológicas para detectar poblaciones con alto potencial forrajero.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Entre 2000 y 2003 se recolectaron 577 ecotipos de pasto bandera en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Jalisco, México, Oaxaca, San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas, Querétaro y Guerrero. El material se transplantó *ex situ* en el Colegio de Postgraduados, Campus Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. Después de tres años de evaluación, de 577 ecotipos sobrevivieron 311; como algunos eran repeticiones del mismo sitio, sólo 177 fueron usados para las evaluaciones y para conocer y definir la estructura poblacional. En su fase vegetativa y reproductiva se realizó la caracterización morfológica mediante la calificación de descriptores (Cuadro 1).

El forraje se cosechó de la planta completa cada 35 d (hasta los 210 d) para evaluar su rendimiento. Las muestras se secaron 48 h en una estufa a 70 °C para medir el rendimiento de MS. Para medir la variación morfológica se usaron las variables AF, AP, DT, DTB, DTM, ALHC, LLHC, LI, NRPI, NEPR, LR, LRI, LP, RF (códigos en el Cuadro 1) que se analizaron usando componentes principales (ACP). Para analizar los datos se usó el procedimiento PRINCOMP (SAS, 1999). Se analizó la matriz básica de datos de 177 ecotipos y la matriz de correlación del ACP se usó para determinar atributos relevantes en los ecotipos, calculándose el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de las variables en cada componente principal. Además, se realizó un análisis de conglomerados jerárquico (ACJ) mediante el método de ligamiento promedio (UPGMA); a partir de la matriz de correlación se realizó el dendrograma y un análisis de varianza.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres primeros CP explicaron 63.32% de la variación total entre los diferentes ecotipos de pasto bandera (Cuadro 2). Para el CP1 las variables más importantes fueron longitud de inflorescencia, diámetro de tallo en la base y diámetro de tallo en la altura media de los hijatos; para el CP2, densidad de tallos, altura de forraje y altura de planta; en el CP3, longitud de ramas, longitud del raquis de la inflorescencia y número de ramas (Cuadro 2). Estas variables contribuyeron significativamente con los valores más altos para explicar la variación total. El CP1 se caracterizó por agrupar variables relacionadas con el tallo; el CP2 reflejó que el potencial de forraje está relacionado con la densidad de tallos y altura de forraje; las variables en el CP3 establecen que la longitud y número de ramas se relacionan con el rendimiento de semilla. Estos

the principal morphological characteristics to detect populations with high forage potential.

### MATERIALS AND METHODS

Between 2000 and 2003, 577 ecotypes of sideoat grama were collected in Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Jalisco, México, Oaxaca, San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas, Querétaro and Guerrero. The material was transplanted *ex situ* in the Colegio de Postgraduados, Campus Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. After three years of evaluation, of 577 ecotypes 311 survived; as some were repetitions of the same site, only 177 were used for the evaluations and to know and define the population structure. In its vegetative and reproductive phase, the morphological characterization was carried out through the qualification of descriptors (Table 1).

The forage was harvested from the complete plant every 35 d (up to 210 d) to evaluate its yield. The samples were dried in an oven at 70 °C for 48 h to measure the yield of DM. To measure the morphological variation, the variables FH, PH, TD, SBD, MSD, CLLW, CLLL, IL, NBPI, NSPB, BL, LIR, PL, FY (codes in Table 1) were used, which were analyzed using principal components (PCA). To analyze the data, the PRINCOMP procedure (SAS, 1999) was used. An analysis was made of the basic matrix of data of 177 ecotypes and the correlation matrix of the PCA was used to determine relevant attributes in the ecotypes, also calculating the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) of the variables of each principal component. In addition, a hierarchic analysis of conglomerates (HAC) was performed through the method of average linkage (UPGMA); from the correlation matrix, the dendrogram was carried out along with an analysis of variance.

**Cuadro 1. Descriptores morfológicos utilizados para caracterizar 177 ecotipos de pasto bandera [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], evaluados en Salinas, San Luis Potosí, México.**

**Table 1. Morphological descriptors used to characterize 177 ecotypes of sideoat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], evaluated in Salinas, San Luis Potosí, México.**

| Código | Descriptor <sup>†</sup>                                |
|--------|--|
| AF     | Altura de forraje (cm)                                 |
| AP     | Altura de planta (cm)                                  |
| DT     | Densidad de tallos (en 25 cm <sup>2</sup> del macollo) |
| DTB    | Diámetro de tallo (base) (mm)                          |
| DTM    | Diámetro de tallo (medio) (mm)                         |
| ALHC   | Ancho de lámina de hoja central (mm)                   |
| LLHC   | Longitud de lámina hoja central (mm)                   |
| LI     | Longitud de inflorescencia (cm)                        |
| NRPI   | Número de ramas por inflorescencia                     |
| NEPR   | Número de espiguillas por ramas                        |
| LR     | Longitud de ramas (mm)                                 |
| LRI    | Longitud del raquis de la inflorescencia (cm)          |
| LP     | Longitud del pedicelo (cm)                             |
| RF     | Rendimiento de forraje (g) <sup>‡</sup>                |

<sup>†</sup> Descriptores morfológicos cuantitativos seleccionados.

<sup>‡</sup> Rendimiento de forraje (g MS 25 cm<sup>-2</sup>)cada 35 d.

**Cuadro 2. Valores característicos y proporción de la varianza total, basados en 14 variables en 177 ecotipos de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], recolectados en México.**

**Table 2. Characteristic values and proportion of the total variance, based on 14 variables in 177 ecotypes of sideoat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], collected in México.**

| Componente principal | Valor característico | Diferencia | Proporción de varianza global explicada (%) | Proporción de varianza acumulada (%) |
|----------------------|----------------------|------------|---|--------------------------------------|
| 1                    | 5.65                 | 3.85       | 40.42                                       | 40.42                                |
| 2                    | 1.80                 | 0.40       | 12.88                                       | 53.30                                |
| 3                    | 1.40                 | 0.49       | 10.02                                       | 63.32                                |

resultados son similares a los reportados por Ayana y Bekele (1999) al determinar la extensión y patrones de distribución de la variación morfológica de 15 caracteres cuantitativos en 415 accesiones de sorgo; estos autores encontraron que los primeros cinco componentes explicaron 79% de la varianza total. Además, coincidiendo con los resultados del presente trabajo, dichos autores reportan que la longitud de la inflorescencia, el diámetro del tallo en la base y el diámetro del tallo en la altura media de los hijatos fueron agrupados por el CP1; que el CP2 agrupó a la densidad de tallos, la altura del forraje y la longitud de las láminas de las hojas; y que el CP3 incluyó la longitud del raquis de la inflorescencia, la longitud de las ramas y el número de ramas por inflorescencia. La evaluación de estas variables ha permitido una mejor caracterización y selección de la diversidad en otras especies de los géneros *Lolium* (Bennett, 1997; Bennett *et al.*, 2000), *Sorghum* (Grenier *et al.*, 2004), *Panicum* (Das *et al.*, 2004; Casler, 2005) y *Bromus* (Ferdinandez y Coulman, 2004).

En la Figura 1 se muestra la distribución de 177 ecotipos con base en los componentes principales. El grupo I integró a 19 ecotipos, principalmente de Chihuahua y Durango, ubicados en el cuadrante IV y presentó valores más altos de 10 de las variables morfológicas evaluadas, excepto para altura de forraje, densidad de tallos, longitud de lámina de hoja central y ramas por inflorescencia. El grupo II agrupó a 45 ecotipos recolectados principalmente en Coahuila, Durango y San Luis Potosí y ubicados en el cuadrante I. El grupo III integró 29 ecotipos de Coahuila, San Luis Potosí y Durango, ubicados en los cuadrantes II y III, y presentaron los promedios más bajos en 13 de las 14 variables evaluadas. El grupo IV reunió 22 ecotipos de Coahuila, San Luis Potosí y Zacatecas, ubicados en el cuadrante II; en este grupo los promedios de las variables morfológicas fueron intermedios, ya que sólo la densidad de tallos alcanzó el promedio más alto de todas las variables. El grupo V integró a 62 ecotipos de Coahuila, San Luis Potosí, Durango y Chihuahua que se ubicaron en el centro de la gráfica, principalmente en los cuadrantes III y IV (Figura 1).

## RESULTS AND DISCUSSION

The first three PC explained 63.32% of the total variation among the different ecotypes of sideoat grass (Table 2). For PC1 the most important variables were length of inflorescence, stem diameter at the base and stem diameter at the mean height of the tillers; for PC2, tiller density, forage height and plant height; for PC3, branch length, rachis length of the inflorescence and number of branches (Table 2). These variables contributed significantly with the highest values for explaining total variation. PC1 was characterized by grouping variables related to the tiller; PC2 reflected that the forage potential is related to the tiller density and forage height; the variables in PC3 establish that the length and number of branches are related to seed yield. These results are similar to those reported by Ayana and Bekele (1999) when determining the extension and distribution patterns of the morphological variation of 15 quantitative characteristics in 415 accessions of sorghum; these authors found that the first five components explained 79% of the total variance. Furthermore, coinciding with the results of the present study, those authors report that the length of the inflorescence, the stem diameter at the base and the stem diameter at the mean height of the tillers were grouped by PC1; that PC2 grouped tiller density, forage height and length of the leaf laminae; and PC3 included the length of the rachis of the inflorescence, length of the branches and the number of branches per inflorescence. The evaluation of these variables has permitted a better characterization and selection of the diversity in other species of the genera *Lolium* (Bennett, 1997; Bennett *et al.*, 2000), *Sorghum* (Grenier *et al.*, 2004), *Panicum* (Das *et al.*, 2004; Casler, 2005) and *Bromus* (Fernandez and Coulman, 2004).

The distribution of 177 ecotypes based on the principal components is shown in Figure 1. Group I integrated 19 ecotypes mainly from Chihuahua and Durango, located in square IV and presented values higher than 10 of the morphological variables evaluated, except for forage height, tiller density, length of blade of central leaf and branches per inflorescence, Group

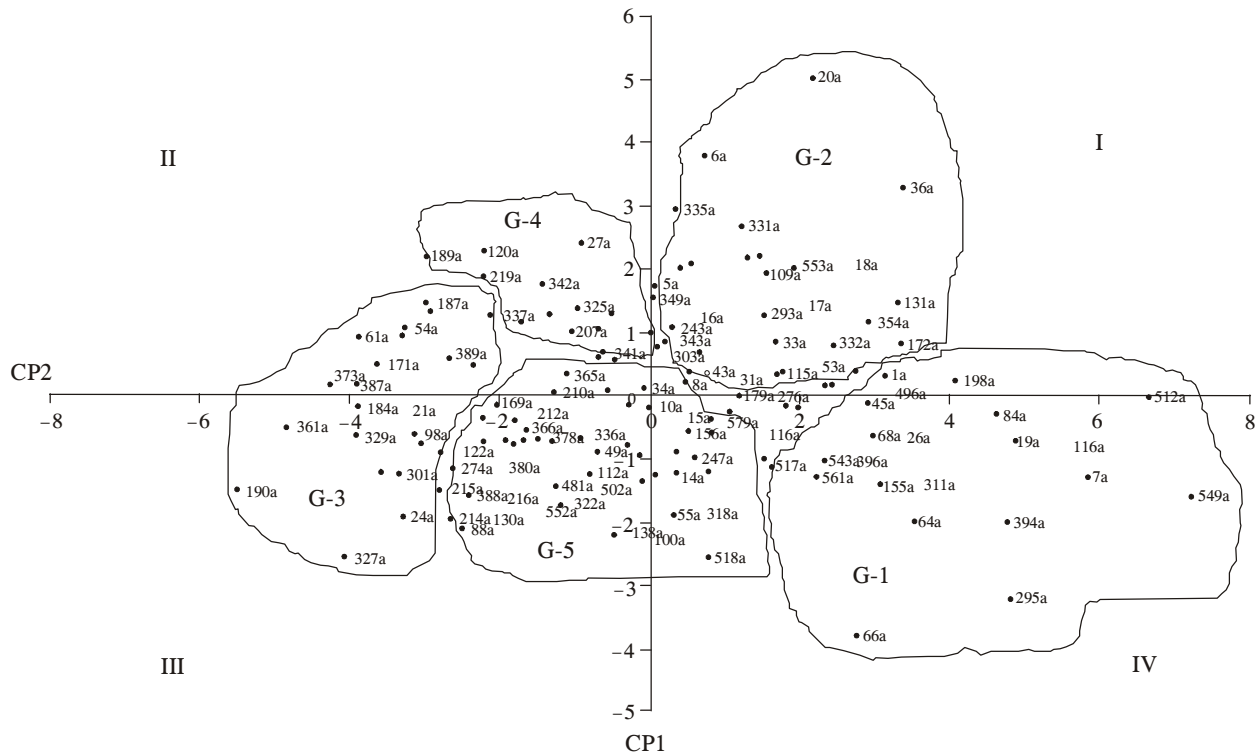


Figura 1. Distribución de la diversidad de 177 ecotipos de pasto bandera (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), en función de los dos primeros componentes principales, obtenidos con la matriz de correlación de 14 variables.  
 Figure 1. Distribution of the diversity of 177 ecotypes of side oat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], as a function of the first two principal components, obtained with the correlation matrix of 14 variables.

El uso de técnicas para organizar la diversidad morfológica, con base en descriptores, ha sido el primer paso en el estudio de amplias recolectas de recursos genéticos en especies importantes como *Brachiaria* spp. (Do Valle, 1988), *P. maximum* (Costa et al., 1989), *Tripsacum* spp. (Berthaud y Savidan, 1989) e *Hymenachne amplexicaulis* (Enríquez et al., 2006); previo a su evaluación sistemática en estudios agronómicos.

Coincidiendo con la distribución de ecotipos basados en los componentes principales CP1, CP2 y CP3 con ACJ, también se obtuvieron cinco grupos basados en el método UPGMA (Figura 2). El grupo I integró a 19 ecotipos de Chihuahua (6), Durango (5), Jalisco (3), Aguascalientes (2), Querétaro (2) y Zacatecas (1). En el grupo II se incluyeron 45 ecotipos de Coahuila (14), Durango (12), San Luis Potosí (11), Chihuahua (5), Aguascalientes (1), Zacatecas (1) y México (1). El grupo III agrupó 29 ecotipos de Coahuila (13), San Luis Potosí (6), Durango (3), Chihuahua (2), Zacatecas (2), Jalisco (1), Oaxaca (1) y Aguascalientes (1). El grupo IV comprendió 22 ecotipos de Coahuila (11), San Luis Potosí (4), Zacatecas (4), Querétaro (1), Aguascalientes (1) y Durango (1). El grupo V integró

II included 45 ecotypes collected mainly in Coahuila, Durango and San Luis Potosí and they were located in square I. Group III integrated 29 ecotypes from Coahuila, San Luis Potosí y Durango, and presented the lowest averages in 13 of 14 evaluated variables. Group IV united 22 ecotypes of Coahuila, San Luis Potosí and Zacatecas, located in square II; in this group the averages of the morphological variables were intermediate, given that only the tiller density reached the highest average of all of the variables. Group V integrated 62 ecotypes of Coahuila, San Luis Potosí, Durango and Chihuahua that were located in the center of the graph, principally in squares III and IV (Figure 1). The use of techniques for organizing morphological diversity, based on descriptors, has been the first step in the study of ample collections of genetic resources in species of importance such as *Brachiaria* spp. (Do Valle, 1988), *P. maximum* (Costa et al., 1989), *Tripsacum* spp. (Berthaud and Savidan, 1989) and *Hymenachne amplexicaulis* (Enríquez et al., 2006); prior to their systematic evaluation in agronomical studies.

Coinciding with the distribution of ecotypes based on the principal components PC1, PC2 and PC3 with

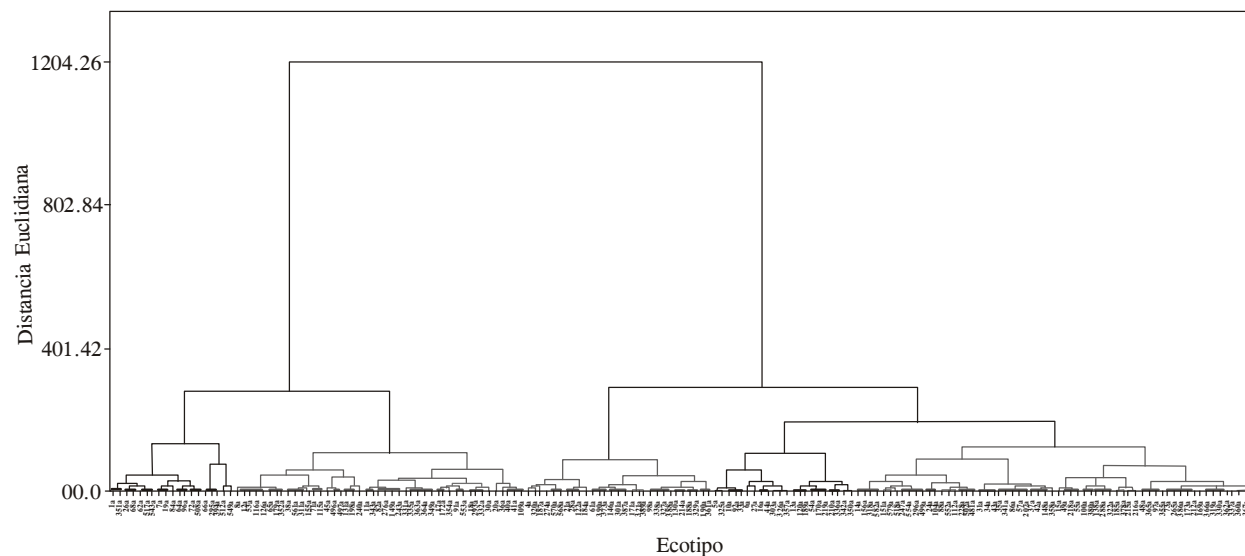


Figura 2. Dendrograma del análisis de 14 variables morfológicas para 177 ecotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), con base en el método de ligamiento promedio (UPGMA).

Figure 2. Dendrogram of the analysis of 14 morphological variables for 177 ecotypes of sideoat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], based on the method of average linkage (UPGMA).

62 ecotipos de Coahuila (24), San Luis Potosí (10) Durango (10), Chihuahua (9), Zacatecas (4), Jalisco (2), Aguascalientes (1), Guerrero (1) y Sonora (1).

La amplia variación morfológica detectada en los ecotipos de pasto banderita recolectados en las zonas áridas y semiáridas de México, como centro de origen de especie, ha resultado de la riqueza de niveles de ploidía (Morales *et al.*, 2007) en los que el flujo genético entre los miembros es activo. Ello genera genotipos que se adaptan a la amplia diversidad de ecosistemas, como ha sido documentado en otras especies que son apomícticas como pasto banderita (Berthaud, 2001).

Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) en todas las variables (Cuadro 3). La altura de forraje en plantas de pasto banderita promedió 29.9 cm con un mínimo de 13.3 cm (ecotipo 327a) y máximo de 50.0 cm (ecotipo 172a), ambos de Coahuila. El promedio en altura de planta fue 69.7 cm con un mínimo de 35.3 cm y máximo 100 cm para los ecotipos 82a y 351a, de Zacatecas y Durango. La densidad de tallos promedió 8.7 tallos en 25 cm<sup>2</sup> y varió entre 3.3 tallos 25 cm<sup>-2</sup> (ecotipo 518a) y 20.3 tallos 25 cm<sup>-2</sup> (ecotipo 219a) por macollo. El diámetro de tallos en la base y en la altura media de los hijatos promedió 1.4 mm (0.90 a 2.33 mm). El ancho promedio de lámina de hoja fue 4.9 mm (3 a 8 mm), en tanto que su longitud promedio fue 8.4 cm (7.7 a 35.2 cm). Los ecotipos 552a y 104a, de Chihuahua y Jalisco, fueron sobresalientes en ancho y longitud de lámina de hoja. La longitud promedio de inflorescencia fue 23.5 cm, con valores extremos de 13.0 y 38.5 cm para los ecotipos 336<sup>a</sup> y 188<sup>a</sup> de

HAC, five groups were also obtained based on the UPGMA method (Figure 2). Group I integrated 19 ecotypes of Chihuahua (6), Durango (5), Jalisco (3), Aguascalientes (2), Querétaro (2) and Zacatecas (1). In group II 45 ecotypes from Coahuila (14), Durango (12), San Luis Potosí (11), Chihuahua (5), Aguascalientes (1), Zacatecas (1) and México (1) were included. Group III grouped 29 ecotypes of Coahuila (13), San Luis Potosí (6), Durango (3), Chihuahua (2), Zacatecas (2), Jalisco (1), Oaxaca (1) and Aguascalientes (1). Group IV was comprised of 22 ecotypes of Coahuila (11), San Luis Potosí (4), Zacatecas (4), Querétaro (1), Aguascalientes (1) and Durango (1). Group V integrated 62 ecotypes from Coahuila (24), San Luis Potosí (10), Durango (10), Chihuahua (9), Zacatecas (4), Jalisco (2), Aguascalientes (1), Guerrero (1) and Sonora (1).

The wide morphological variation detected in the ecotypes of sideoat grama collected in the arid and semiarid zones of México, as center of origin of species, has resulted from the wealth of levels of ploidy (Morales *et al.*, 2007) in which the genetic flow among the members is active. This has generated genotypes that adapt to the wide diversity of ecosystems, as has been documented in other species that are apomictic such as sideoat grama (Berthaud, 2001).

There were significant differences ( $p \leq 0.01$ ) in all of the variables (Table 3). Forage height in plants of sideoat grama averaged 29.9 cm with a minimum of 13.3 cm (ecotype 327a) and maximum of 50.0 cm (ecotype 172a), both from Coahuila. The average in

**Cuadro 3. Vectores característicos y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para cada variable, respecto a su componente principal en pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.].**  
**Table 3. Characteristic vectors and determination coefficients ( $R^2$ ) for each variable, with respect to its principal component in sideoast grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.].**

| Variable   | Vectores característicos |       |       | Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) |                    |                    |
|--|--------------------------|-------|-------|--|--------------------|--------------------|
|  | CP1                      | CP2   | CP3   | CP1                                    | CP2                | CP3                |
| Altura de forraje (cm)                                 | 0.24                     | 0.41  | -0.19 | 0.59 <sup>†</sup>                      | 0.55 <sup>†</sup>  | -0.23 <sup>†</sup> |
| Altura de planta (cm)                                  | 0.26                     | 0.34  | 0.15  | 0.63 <sup>†</sup>                      | 0.45 <sup>†</sup>  | 0.18 <sup>†</sup>  |
| Densidad de tallos (en 25 cm <sup>2</sup> del macollo) | -0.04                    | 0.50  | -0.10 | -0.11 <sup>†</sup>                     | 0.67 <sup>†</sup>  | -0.12 <sup>†</sup> |
| Diámetro de tallo (base) (mm)                          | 0.34                     | -0.25 | -0.16 | 0.81 <sup>†</sup>                      | -0.34 <sup>†</sup> | -0.19 <sup>†</sup> |
| Diámetro de tallo (en la altura media de los hijatos)  | 0.33                     | -0.28 | -0.21 | 0.80 <sup>†</sup>                      | -0.38 <sup>†</sup> | -0.25 <sup>†</sup> |
| Ancho de lámina de hoja central (mm)                   | 0.28                     | -0.33 | -0.22 | 0.68 <sup>†</sup>                      | -0.45 <sup>†</sup> | -0.26 <sup>†</sup> |
| Longitud de lámina de hoja central (mm)                | 0.27                     | 0.37  | -0.09 | 0.64 <sup>†</sup>                      | 0.50 <sup>†</sup>  | -0.10 <sup>†</sup> |
| Longitud de inflorescencia (cm)                        | 0.35                     | 0.01  | -0.12 | 0.84 <sup>†</sup>                      | 0.02ns             | -0.14 <sup>†</sup> |
| Número de ramas por inflorescencia                     | 0.27                     | 0.08  | -0.41 | 0.65 <sup>†</sup>                      | 0.10 <sup>†</sup>  | -0.49 <sup>†</sup> |
| Número de espiguillas por ramas                        | 0.26                     | -0.15 | 0.20  | 0.63 <sup>†</sup>                      | -0.20 <sup>†</sup> | 0.24 <sup>†</sup>  |
| Longitud de ramas (mm)                                 | 0.23                     | -0.08 | 0.44  | 0.55 <sup>†</sup>                      | -0.11ns            | 0.52 <sup>†</sup>  |
| Longitud del raquis de la inflorescencia (cm)          | 0.23                     | 0.03  | 0.44  | 0.54 <sup>†</sup>                      | 0.04ns             | 0.52 <sup>†</sup>  |
| Longitud del pedicelo (cm)                             | 0.19                     | -0.01 | 0.35  | 0.45 <sup>†</sup>                      | -0.01ns            | 0.42 <sup>†</sup>  |
| Rendimiento de forraje(g) <sup>‡</sup>                 | 0.23                     | 0.14  | 0.21  | 0.55 <sup>†</sup>                      | 0.19 <sup>†</sup>  | 0.25 <sup>†</sup>  |

<sup>†</sup> Diferencia significativa con  $p \leq 0.01$  o  $0.05$ .

<sup>‡</sup> Rendimiento de forraje (g MS . 25 cm<sup>-2</sup>) cada 35 d

ns = no significativo

Coahuila y San Luis Potosí. El promedio de número de ramas por inflorescencia, otro componente de rendimiento de semilla, fue 59.6 y varió de 31.3 a 94.0 para los ecotipos 342a y 364a. La longitud de ramas promedió 10.9 mm, con valores extremos de 7.7 y 16.3 mm en los ecotipos 326a y 12a, de San Luis Potosí y Aguascalientes.

El rendimiento promedio fue 16.1 g de MS por corte cada 35 d de rebrote, con valores extremos de 1.5 y 41.4 g obtenidos con los ecotipos 20a y 301a, de Durango y Coahuila. Los rendimientos más bajos por planta fueron 13.7 y 18.3 g MS en los ecotipos 328a y 190a, de Coahuila y Oaxaca. Los ecotipos 5a y 20a, de Querétaro y Durango, presentaron el mayor rendimiento por planta con 936 y 1213 g 210 d<sup>-1</sup> y el promedio fue 267.3 g planta<sup>-1</sup> 210 d<sup>-1</sup>. Ello implica que la amplia variación en ecotipos recolectados es favorable para implementar programas de mejoramiento en poblaciones nativas. El potencial forrajero asociado a la gran variabilidad detectada en las diferentes regiones y condiciones ambientales, servirá de base para realizar una eficiente selección de ecotipos. Los resultados son congruentes con los obtenidos en otros estudios con los géneros *Sorghum* (Ayana y Bekele, 1999), *Bouteloua* y *Schizachyrium* (Phan y Smith, 2000).

Los resultados anteriores muestran la amplia diversidad morfológica disponible en esta especie para el inicio de estudios agronómicos y de estabilidad de los materiales destacados morfológicamente, como ha sido desarrollado en la diversidad de otras plantas: *Sorghum* (Ayana y Bekele, 1999), *Bouteloua* y

plant height was 69.7 cm with a minimum of 35.3 cm and maximum of 100 cm for ecotypes 82a and 351a, from Zacatecas and Durango. Tiller density averaged 8.7 tillers in 25 cm<sup>2</sup> and varied between 3.3 tillers 25 cm<sup>-2</sup> (ecotype 518a) and 20.3 tillers 25 cm<sup>-2</sup> (ecotype 219a) per clump. Stem diameter at the base and at the mean height of the tillers averaged 1.4 mm (0.90 to 2.33 mm). The average width of leaf lamina was 4.9 mm (3 to 8 mm), while their average length was 18.4 cm (7.7 to 35.2 cm). Ecotypes 552a and 104a, from Chihuahua and Jalisco, were outstanding in width and length of leaf lamina. The average length of inflorescence was 23.5 cm, with extreme values of 13.0 and 38.5 cm for ecotypes 336<sup>a</sup> and 188<sup>a</sup> of Coahuila and San Luis Potosí. The average number of branches per inflorescence, another component of seed yield, was 59.6 and varied from 31.3 to 94.0 for ecotypes 342a and 364a. The length of branches averaged 10.9 mm, with extreme values of 7.7 and 16.3 mm in ecotypes 326a and 12a, from San Luis Potosí and Aguascalientes.

The average yield was 16.1 g of DM per cut every 35 d of regrowth, with extreme values of 1.5 and 41.4 g obtained with ecotypes 20a and 301a, of Durango and Coahuila. The lowest yields per plant were 13.7 and 18.3 g DM in ecotypes 328a and 190a, from Coahuila and Oaxaca. Ecotypes 5a and 20a, from Querétaro and Durango, presented the highest yield per plant with 936 and 1213 g 210 d<sup>-1</sup> and the average was 267.3 g plant<sup>-1</sup> 210 d<sup>-1</sup>. This implies that the wide variation in ecotypes collected is favorable for the implementation

**Cuadro 4. Significancia entre los grupos formados en el análisis de conglomerados para poblaciones nativas de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.].****Table 4. Significance among the groups formed in the analysis of conglomerates for native populations of sideoat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.].**

| Variable   | Cuadros medios entre grupos | Coefficiente de variación (%) |
|--|-----------------------------|-------------------------------|
| Altura de forraje (cm)                                 | 1374.6 <sup>†</sup>         | 21.3                          |
| Altura de planta (cm)                                  | 2785.7 <sup>†</sup>         | 14.8                          |
| Densidad de tallos (en 25 cm <sup>2</sup> del macollo) | 123.1 <sup>†</sup>          | 32.6                          |
| Diámetro de tallo (base) (mm)                          | 1.7 <sup>†</sup>            | 12.9                          |
| Diámetro de tallo (en la altura media de los hijatos)  | 1.9 <sup>†</sup>            | 12.5                          |
| Ancho de lámina de hoja central (mm)                   | 18.8 <sup>†</sup>           | 16.2                          |
| Longitud de lámina de hoja central (mm)                | 350.7 <sup>†</sup>          | 19.4                          |
| Longitud de inflorescencia (cm)                        | 548.4 <sup>†</sup>          | 14.6                          |
| Número de ramas por inflorescencia                     | 178.8 <sup>†</sup>          | 19.4                          |
| Número de espiguillas por ramas                        | 16.2 <sup>†</sup>           | 20.7                          |
| Longitud de ramas (mm)                                 | 50.9 <sup>†</sup>           | 13.9                          |
| Longitud del raquis de la inflorescencia (cm)          | 178.8 <sup>†</sup>          | 19.1                          |
| Longitud del pedicelo (cm)                             | 1.8 <sup>†</sup>            | 34.3                          |
| Rendimiento de forraje (g) <sup>‡</sup>                | 669.0 <sup>†</sup>          | 38.3                          |

<sup>†</sup> Diferencia significativa ( $p < 0.01$  ó  $0.05$ ).

<sup>‡</sup> Rendimiento de forraje (g MS 25 cm<sup>-2</sup>) cada 35 d.

*Schizachyrium* (Phan y Smith, 2000), además de los pastos tropicales ya mencionados.

### CONCLUSIONES

Los recursos genéticos de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], recolectados en las zonas áridas y semiáridas de México, presentaron alta variabilidad morfológica.

La caracterización morfológica usada es una herramienta confiable para comparar ecotipos en poblaciones nativas de pasto banderita. Se detectan ecotipos con un probable alto potencial forrajero de acuerdo a su variabilidad morfológica, al disponer de una buena riqueza genética de pasto banderita, con atributos forrajeros sobresalientes para ser incluidos en programas de mejoramiento y restauración de pastizales.

### LITERATURA CITADA

- Ayana, A., and E. Bekele. 1999. Multivariate analysis of morphological variation in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] germplasm from Ethiopia and Eritrea. Gen. Res. and Crop. Evol. 46: 273-284.
- Bennett, S. J. 1997. A phenetic analysis and lateral key of the genus *Lolium* (Gramineae). Gen. Res. Crop. Evol. 44: 93-102.
- Bennett, S. J., M. D. Hayward, and D. F. Marshall. 2000. Morphological differentiation in four species of the genus *Lolium*. Gen. Res. Crop. Evol. 47: 247-255.
- Berthaud, J. 2001. Apomixis and the management of genetic diversity. In: Savidan, Y., J. Carman, and T. Dresselhaus (eds). The flowering of apomixis from mechanisms to genetic engineering. CIMMYT-IRD. pp: 8-23.
- Berthaud, J., and Y. Savidan. 1989. Genetic resources of *Tripsacum* and gene transfer to maize. In: Mujeeb-Kazi A., and L.A. Sitch

of breeding programs in native populations. The forage potential associated with the great variability detected in the different regions and environmental conditions, will serve as a base for carrying out an efficient selection of ecotypes. The results are congruent with those obtained in other studies with genera *Sorghum* (Ayana and Bekele, 1999), *Bouteloua* and *Schizachyrium* (Phan and Smith, 2000).

The above results show the wide morphological diversity available in this species for the initiation of agronomical studies and of the stability of the materials that are morphologically outstanding, such as those that have been developed in the diversity of other plants: *Sorghum* (Ayana and Bekele, 1999), *Bouteloua* and *Schizachyrium* (Phan and Smith, 2000), as well as the previously mentioned tropical grasses.

### CONCLUSIONS

The genetic resources of sideoat grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], collected in the arid and semiarid zones of México, presented high morphological variability.

The morphological characterization utilized is a reliable tool for the comparison of ecotypes in native populations of sideoat grama. Ecotypes were detected with a probable high forage potential according to their morphological variability, with a good genetic wealth of sideoat grama, with outstanding forage attributes to be included in programs of breeding and restoration of grasslands.



- (eds). Review of Advances in Plant Biotechnology. 1985-1988: 2<sup>nd</sup> Int. Symp. on Genetic Manipulation in Crops. México, D. F. and Manila, Philippines. CIMMYT and IRRI. pp: 121-131.
- Bulinska-Radomska, S. 2000. Morphological relationships among 15 species of *Trifolium* occurring in Poland. Gen. Res. Crop. Evol. 47: 267-272.
- Casler, M. D. 2005. Ecotypic variation among switchgrass populations from the northern USA. Crop Sci. 45: 388-398.
- Costa, J. M., Y. Savidan., L. Jank, and L.H. Castro. 1989. Morphological studies as tool for evaluation of wide tropical forage grass germplasms. In: Proc. XVI Int. Grassland Congress. Nice, France. Association française pour la production fourragère. INRA. Versailles Cedex, Francia. pp:277-278.
- Das, M. K., R. G. Fuentes, and Ch. M. Taliiferro. 2004. Genetic variability and trait relationships in switchgrass. Crop Sci. 44: 443-448.
- Do Valle, C. B. 1988. Coleção de germoplasma de espécies de *Brachiaria* no CIAT: Estudos básicos visando ao melhoramento genético. Campo Grande, MS, EMBRAPA-CNPQC. 33 p.
- Do Valle, C. B. 2001. Genetic resources for tropical areas: achievements and perspectives. In: Proc. XIX Int. Grassland Congress. São Pedro, São Paulo, Brazil. Brazilian Society of Animal Husbandry. Sociedade Brasileira de Zootecnia. Piracicaba, Brasil. pp: 477-482.
- Enríquez, F., A. Quero, A. Hernández, and E. García. 2006. Azuche *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees forage genetic resources for floodplains in tropical Mexico. Gen. Res. Crop Evol. 53: 1405-1412.
- Ferdinandez, Y. S. N., and B. E. Coulman. 2004. Genetic relationships among smooth bromegrass cultivars of different ecotypes detected by AFLP markers. Crop Sci. 44: 241-247.
- Gay, Ch. W., D. D. Dwyer, and R. E. Steger. 1970. New Mexico range plants. New Mexico State University. Coop. Ext. Serv. Cir. 374 p.
- Gloria, R. G., y L. Pérez R. 1982. Identificación de Plantas de Pastizal. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 132 p.
- González-Andrés, F., J. Chávez., G. Montañés, and J. L. Ceresuela. 1999. Characterisation of woody *Medicago* (sect. *Dendrotelis*) species, on the basis of seed and seedling morphometry. Gen. Res. Crop. Evol. 46: 505-519.
- Grenier, C., P. J. Bramel, J. A. Dahlberg, A. E.-Ahmadi, M. Mahmoud, G. C. Peterson, D. T. Rosenow, and G. Ejeta. 2004. Sorghums of the Sudan: analysis of regional diversity and distribution. Gen. Res. Crop. Evol. 51: 489-500.
- Harlan, J. R., L. A. Snyder, and R. P. Celarier. 1953. Cytological studies of Southern Great Plains grasses. Proc. 6th Int. Grassland Congress. Pennsylvania State College, Pennsylvania. Pp: 229-232, 1953. I: 229-232.
- Kéller-Grein, G., B. Maass, y J. Hanson. 1998. Variación natural de *Brachiaria* y bancos de germoplasma existentes. In: Miles, J. W., B. L. Maass, y C.B. Do Valle (eds). *Brachiaria: Biología agronomía y mejoramiento*. Publicación CIAT no. 295. CIAT Cali, Colombia. pp:18-45.
- Morales, N. C., A. R. Quero, O. LeBlanc, A. Hernández, J. Pérez y S. González. 2006. Caracterización de la diversidad del pasto nativo *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., mediante marcadores de AFLP. Agrociencia 40:711-720.
- Morales, N. C., A. Quero, y C. Avendaño. 2007. Caracterización de la diversidad nativa del zacate banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], mediante su nivel de ploidía. Téc. Pec. Méx. 45(3):263-278.
- Phan, A. T., and S. R. Smith. 2000. Seed yield variation in blue grama and little bluestem plant collections in southern Manitoba, Canada. Crop Sci. 40: 555-561.
- Quero, C. A., C. R. Morales, L. Miranda, y J. F. Enríquez. 2003. Recursos genéticos de gramíneas forrajeras nativas. El complejo de zacate banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. XXXIX Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. UNAM. México, DF. pp: 424 (Resumen).
- SAS, Statistical Analysis System. 1999. Institute Inc. User's guide. Statistics. Version 6. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA.1686 p.
- Savidan, Y. H., L. Jank., J. C. G. Costa, and C. B. Do Valle 1989. Breeding *Panicum maximum* in Brazil: I Genetic resources, modes of reproduction and breeding procedures. Euphytica. 41: 107-112.
- Smart, A. J., L. E. Moser, and K. P. Vogel. 2004. Morphological characteristic of big bluestem and switchgrass plants divergently selected for seedling tiller number. Crop Sci. 44: 607-613.
- Steiner, J. J., E. Piccioni, M. Falcinelli, and A. Liston. 1998. Germplasm diversity among cultivars and the NPGS crimson clover collection. Crop Sci. 38: 263-271.
- Willard, E. E., and J. L. Schuster. 1971. An evaluation of an interseeded sideoats gramma stand four years after establishment. J. Range Manag. 24: 223-226.