

Diversidad forrajera del pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], en poblaciones de zonas áridas y semiáridas de México

Forage diversity of sideoats grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] populations in arid and semiarid regions of Mexico

Carlos Raúl Morales Nieto^a, Adrián Quero Carrillo^b, Alicia Melgoza Castillo^c, Martín Martínez Salvador^a, Pedro Jurado Guerra^a

RESUMEN

El objetivo fue comparar poblaciones de banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], establecer una colecta *ex situ* y cuantificar la diversidad morfológica. Durante los años 2000 al 2003, se recolectaron 577 ecotipos de poblaciones distribuidas en 13 estados de México. Con 177 ecotipos sobresalientes se evaluó: capacidad de rebrote, textura de hojas, establecimiento, fenología, potencial de semilla, densidad de hoja, vigor de planta, tipo de macollo y relación hoja-tallo. Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) con el procedimiento PRINCOMP. Los tres primeros componentes explicaron 62.9 % de la variación total observada. El CP1 incluyó características relacionadas con crecimiento y explicó 36.4 % de la variación; donde vigor, densidad de hojas y relación hoja:tallo fueron las variables importantes. El CP2 incluyó características relacionadas con variables de propagación y dispersión y explicó 15.1 % de la variación; donde potencial de producción semilla y tipo de macollo fueron las variables importantes. El CP3 explicó 11.4 % de la variabilidad; donde textura de hoja y fenología fueron las variables importantes. El CP1 y CP2 revelaron la existencia de seis grupos diferentes. Esta dispersión, refleja la amplitud de la variación morfológica y, muy probablemente genética en esta especie; se observó que esta dispersión no es aleatoria, ya que es posible establecer grupos con base en sus áreas de adaptación climática, más que por localidades u origen. Esta variación pone de manifiesto la importancia de evaluar la riqueza natural para un programa de mejoramiento genético.

PALABRAS CLAVE: *Bouteloua curtipendula*, Germoplasma, Recolecta, Recursos genéticos, Variación morfológica, Zonas áridas y semiáridas.

ABSTRACT

The objectives of the present study were to evaluate sideoats grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] populations, to set an *ex situ* plot, and to assess morphological diversity. From 2000 to 2003, 577 sideoats grama populations were collected in 13 Mexican States. In 177 established ecotypes, the following plant morphologic attributes were assessed: vigour, regrowth, forage texture, dry matter production potential, phenology, seed production potential, leaf density, tiller type and leaf:stem ratio. Variables were analysed through principal component analysis (PCA) using the PRINCOMP procedure. The first three components explained 62.9 % of the total observed variation. Principal component one (PC1) included characteristics related with growth and explained 36.4 % of variation; vigour, leaf density, and leaf:stem ratio were the most important variables. The PC2 included characteristics related with propagation and explained 15.1 % of variation; seed potential and tiller type were important variables. The PC3 explained 11.4 % of variation; forage texture and phenology were the most important variables. The PC1 and PC2 revealed the existence of six different groups. This dispersion reflects a wide morphological and genetic variation in this species; it was observed that this dispersion is not systematic, since it is possible to establish groups based on physiographic adaptation of ecotypes instead of locality or place of origin. It can be concluded that this variation is important while selecting the best forage characteristics in order to set up a genetic improvement program.

KEY WORDS: *Bouteloua curtipendula*, Germplasm, Collection, Genetic resources, Morphological variation, Arid and semiarid areas.

Recibido el 7 de febrero de 2008. Aceptado para su publicación el 26 de noviembre de 2008.

^a S. E. La Campana-Madera, CIRNOC- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Morales_nieto_c_r_@hotmail.com. Correspondencia al primer autor.

^b Ganadería. Campus Montecillos. Colegio de Postgraduados.

^c Facultad de Zootecnia, UACH.

INTRODUCCIÓN

En México se reportan 1,070 especies de gramíneas con una gran importancia ecológica y económica^(1,2,3). Éste es uno de los grupos taxonómicos más abundantes en los pastizales y son la fuente de forraje más barata que sustenta a la ganadería⁽⁴⁾. En este grupo se encuentra el pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], especie nativa, originaria del norte de México y sur de Estados Unidos⁽⁵⁾. Los estados mexicanos donde se presentan poblaciones de pasto banderita son Aguascalientes, Baja California Sur y Norte, Chiapas, Coahuila, Chihuahua, Durango, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sonora, San Luis Potosí, Tlaxcala, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas⁽⁶⁾.

Entre las especies nativas, el pasto banderita es uno de los preferidos por el ganado^(7,8), con alto contenido nutricional^(9,10,11) y ampliamente utilizado en resiembras⁽¹²⁻¹⁶⁾. Sin embargo, extensas áreas donde el pasto banderita debería estar presente, están sujetas a diversos grados de deterioro⁽¹⁷⁾. Esto trae como consecuencia una reducción en los productos y servicios que demanda el público de estas áreas. Así, una solución práctica sencilla, aunque costosa y riesgosa, es la resiembra⁽¹⁸⁾. La mayoría de las áreas que han sido resembradas han utilizado material de banderita importado e incluso especies introducidas⁽¹⁹⁾. Estos programas han cumplido con objetivos específicos como son evitar erosión e incrementar forraje disponible. El estudio sistemático de la diversidad natural, de las especies nativas de fácil acceso, en atributos de importancia ecológica y productiva dará, a mediano plazo, la oportunidad de utilizar en las resiembras planeadas, materiales que aseguren la estabilidad y la máxima productividad del mismo. Sin embargo, a largo plazo, el uso de este tipo de material, puede causar problemas complejos: pérdida de biodiversidad, eliminación de microorganismos, cambios drásticos en los servicios del ecosistema entre otros⁽²⁰⁾.

A pesar de su importancia para los sistemas de producción extensiva en pastoreo, se conoce muy

INTRODUCTION

In Mexico 1,070 grass species are reported as being of ecological and economic importance^(1,2,3). This is one of the most common taxonomic groups in rangelands and constitute the cheapest source of feed for livestock⁽⁴⁾. This group includes sideoats grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] a native grass from North Mexico and Southern United States. The Mexican States which have sideoats grama populations are: Aguascalientes, Baja California Sur y Norte, Chiapas, Coahuila, Chihuahua, Durango, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sonora, San Luis Potosí, Tlaxcala, Tamaulipas, Veracruz and Zacatecas⁽⁶⁾.

Sideoats grama is one of the most important forage for cattle^(7,8); it has high nutritional value and it is widely used in revegetations programs⁽¹²⁻¹⁶⁾. However, wide areas where sideoats grama should be found are exposed to degradation processes⁽¹⁷⁾. This brings about a drop in demand of products and services by the public from these areas. Therefore, the practical solution for this would be reseeding, although risky and expensive⁽¹⁸⁾. In most of these areas imported material has been used when reseeding and also other species have been introduced⁽¹⁹⁾. These programs have met the goals of preventing erosion and increasing available forage. A systematic study of natural diversity of native species of easy access to attributes of ecological and productive importance will provide in the middle term the opportunity to use materials which offer stability and increased productivity in programmed restoration programs. Also, using introduced materials in the long term could be the source of complex problems, as loss in biodiversity and of microorganisms and drastic changes in ecosystem services, among others⁽²⁰⁾.

Even taking into account its importance in extensive production systems in Northern Mexico, little is known on genetic diversity of sideoats grama native populations^(21,22). Understanding the spatial genetic structure of genetic diversity of these populations, would mean knowing their seed dispersion and recruitment patterns, which is of importance for

poco la diversidad genética de poblaciones nativas de banderita en el norte de México^(21,22). El entender la estructura genética o distribución espacial de la diversidad genética de estas poblaciones, representa el conocer los mecanismos de dispersión de semillas y los patrones de reclutamiento, lo cual es importante para la configuración de la demografía y la distribución espacial de los individuos en las generaciones siguientes⁽²³⁾.

En México no existen programas sistemáticos que integren recursos genéticos de especies forrajeras nativas, para una evaluación y selección rigurosa. Por lo anterior, es importante mejorar el potencial productivo y la estabilidad ecológica de las zonas áridas y semiáridas^(24,25,26).

Una alternativa es establecer programas para seleccionar materiales forrajeros sobresalientes y establecer programas de mejoramiento de especies nativas y no depender de material importado, generalmente, seleccionado para regiones con diferentes condiciones de producción. Otra opción, es diseñar programas estratégicos de producción de semilla de materiales con alto potencial para conservar y utilizar los recursos forrajeros nativos.

Considerando la importancia de lo anterior y la información disponible acerca de la introgresión que ha existido entre los miembros del complejo *B. curtipendula*, se planteó la presente investigación con los siguientes objetivos: recolectar fenotipos del complejo *B. curtipendula*, establecer una colecta *ex situ* y evaluar el comportamiento de la recolecta para detectar fenotipos forrajeros sobresalientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los veranos del 2000 al 2003, se recolectaron 577 ecotipos de pasto banderita en 13 estados de México: Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Jalisco, México, Oaxaca, San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas, Querétaro y Guerrero (Figura 1). De cada ecotipo se extrajo un clon de aproximadamente una pulgada de diámetro, provisto de raíz y biomasa aérea; la parte aérea se cortó a una altura de 15 a 20 cm,

configuring demography and spatial distribution of individuals of the next generations⁽²³⁾.

No systematic programs for integrating native forage species genetic resources for evaluation and selection are currently available in Mexico. Due to this, it is important to increase both production potential and ecological stability in arid and semiarid areas^(24,25,26).

One alternative could be setting up outstanding material selection programs to improve native species and therefore reducing the need of importing material which in most cases was selected for areas with different production conditions. Another option would be strategic seed production programs of high production potential materials which could help conserve and use native forage resources.

Taking this into account and also using available data on actual introgression between members of the *B. curtipendula* complex, the present study was carried out having the following objectives: to gather *B. curtipendula* phenotypes, to set up an *ex situ* collection and to evaluate its behavior for identifying outstanding phenotypes.

Figura 1. Sitios de recolecta de pasto Banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] durante 2000-2003, en México

Figure 1. Sideoats grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] collection sites in Mexico, 2000-2003



para facilitar su transporte. Cada clon se sujetó con cinta adhesiva y se identificó. El número se registró en un diario de campo con los datos de sitio de recolecta, coordenadas del sitio, tipo de vegetación e información ambiental específica considerada importante del sitio de la recolecta. Con las coordenadas, se recabó la información de precipitación, temperatura y altitud del sitio de recolecta.

Para el traslado de los clones se utilizaron cajas de plástico, provistas con un sustrato de mezcla húmeda de Pet moss® y agrolita® (3:1; v:v), para protegerlos del sol y de la convección eólica evitando su deshidratación. La colecta *ex situ* se estableció en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí, Salinas, SLP., en la época de lluvias (junio-julio). El sitio presenta una temperatura media de 17.4 °C, precipitación media anual de 350 mm y altitud de 2,100 m⁽²⁷⁾.

El área fue excluida del ganado y fauna, se cuadrículó en secciones de 1.5 m² y en cada punto de intersección, se hicieron hoyos de 50 cm de profundidad por 25 cm de diámetro. Para asegurar el establecimiento, se realizaron dos riegos de auxilio, uno a la siembra y otro, ocho días después, aplicando 3 L de agua a cada planta; posteriormente se manejó en condiciones de temporal.

Después de dos años de evaluación, de 577 ecotipos recolectados sobrevivieron 311; como algunos eran repeticiones del mismo sitio, sólo 177 fueron utilizados para las evaluaciones de este trabajo. El Cuadro 1 muestra las variables evaluadas y los criterios para su categorización. Debido a que las variables son cualitativas, antes de la evaluación, los materiales se calificaron en tres ocasiones como entrenamiento preliminar a la evaluación definitiva; lo anterior, con el fin de mantener un criterio constante para la evaluación de cada carácter en consideración y establecer rangos de distribución de los atributos evaluados.

Para detectar los ecotipos sobresalientes se estableció un índice de valor forrajero, basado en características morfológicas, producción y calidad

MATERIALS AND METHODS

During the summer, from 2003 to 2006, 577 sideoats grama ecotypes were gathered in 13 Mexican States: Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Oaxaca, Querétaro, Sonora, San Luis Potosí, and Zacatecas (Figure 1). A clone of approximately one inch in diameter with roots and aerial biomass was obtained from each ecotype; the aerial part was cut at 15 to 20 cm height to make transportation easy. Each clone was held in place with adhesive tape, on the tape an identification number was written and recorded in a field notebook. Data such as coordinates, type of vegetation and specific environmental characteristics were gathering. Rainfall, temperature and altitude data were obtained through site coordinates.

Clones were transported in plastic boxes provided with a moist Peat moss® and Agrolite® (3:1; v:v) mixture, for sun and airstream convection protection to avoid dehydration. The *ex situ* collection was set at the Experiment Station of the San Luis campus of the Colegio de Postgraduados at Salinas SLP. The site presents, in the rainy season (June–July) 350 mm annual average rainfall, mean annual temperatures is 17.4 °C and is located at 2,100 m⁽²⁷⁾.

Domestic animals and fauna were excluded from the *ex situ* collection area. Holes, 50 cm wide and 25 cm deep, were dug at 1.5 m distance in all directions and a plant was placed in each. To ensure plant establishment, transplanted material was watered twice with 3 L at planting date and 8 d later. After that, growth and development of plants depended on rainfall.

After two years of evaluation, only 311 of the 577 ecotypes survived. Because many of these were replications, only 177 were used in the present study. In Table 1 the evaluated variables are shown together with their categorization criteria. Due to the fact that these variables are qualitative, materials were classified three times before being evaluated as a training to determine a stable criterion for assessing each character being considered and also

DIVERSIDAD FORRAJERA DEL PASTO BANDERITA

Cuadro 1. Variables cualitativas utilizadas para caracterizar 177 ecotipos del pasto Banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], en Salinas, San Luis Potosí, México

Table 1. Qualitative variables used for characterization of 177 sideoats grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] ecotypes, in Salinas, San Luis Potosí, México

Code	Descriptor	Scale (ordinal) and criteria
CoAc	Strength (current)	Evaluated two years after transplant 1 = bad, basal diameter < 5 cm 2 = regular, basal diameter 6 - 9 cm 3 = good, basal diameter basal > 10 cm
CaRe	Regrowth capacity	Evaluated 35 days after defoliation 1 = regrowth height 10 cm 2 = regrowth height 11-20 cm 3 = regrowth height > 20 cm
TeFo	Leaf texture	1 = rough 2 = regular 3 = soft
PoFo	Establishment (forage potential)	Evaluated two years after transplant 1 = low, diameter 0 - 8 cm. 2 = regular, diameter 9 - 15 cm. 3 = high, diameter o > 15 cm.
EsCo	Phenology (stage at collection)	1 = beginning latency 2 = reproduction stage 3 = immature
PoSe	Seed potential	Evaluated in 25 cm ² squares 1 = low, 3 - 8 tillers 2 = regular, 9 - 14 tillers 3 = high, 15 - 20 tillers
DeFo	Leaf density	Evaluated in 25 cm ² squares 1 = low, 3 - 6 tillers 2 = regular, 7 - 10 tillers 3 = high, 11 - 14 tillers 4 = very high, >15 tillers
ViPI	Plant strength	Based on plant height and basal diameter 1 = weak (<5 cm and < 30 cm height) 2 = regular (6 - 10 cm and 31 - 50 cm height) 3 = strong (>11 cm y >51 cm height)
TiMa	Tiller type	1 = Sparse (cover > 50 a 100 % of base) 2 = semidense (cover 11 a 49 % of base) 3 = dense (cover < 10 % of base)
ReHT	Leaf:stem ratio	1 = low (leaf density 0 - 30 %) 2 = regular (leaf density 31 - 60 %) 3 = high (leaf density > 61 %)

forrajera. Este índice, se obtuvo mediante la suma de la calificación de todos los caracteres (Cuadro 2), dividido entre el total. Se utilizó como referencia el zacate banderita variedad Reno, ya que es la variedad que se ha utilizado en programas de rehabilitación de pastizales y es la especie disponible en el mercado. Para obtener el rendimiento de forraje (rendimiento de materia seca, g planta⁻¹), se cortó la planta completa para tener un criterio

to set distribution ranges for the attributes being evaluated.

A forage value index was settled on to identify outstanding ecotypes, based on morphological, productive and forage quality characteristics. This index was obtained by adding the scores given to each character (Table 2), divided by the total. Sideoats grama var. Reno was used as control,

Cuadro 2. Índice de valor forrajero de siete ecotipos con potencial alto, medio y bajo en poblaciones nativas de pasto banderita, basado en descriptores morfológicos de atributos de rendimiento y calidad forrajera

Table 2. Forage index for seven ecotypes showing high, regular and low potential in sideoats grama native populations based on morphological descriptors for yield and forage quality

Ecotype	ReHT	TiMa	ViPI	DeFo	PoSe	EsCo	PoFo	CaFo	CaRe	CoAc	Index
20	2	1	3	4	3	3	3	3	3	3	2.8
5	3	1	3	3	3	3	2	3	3	3	2.7
131	3	2	3	4	3	3	3	2	3	3	2.9
331	3	1	3	4	2	3	3	3	3	3	2.8
33	3	2	3	3	1	3	2	3	3	3	2.6
41	3	2	3	4	3	3	3	2	2	3	2.8
512	3	1	3	3	1	2	3	3	3	3	2.5
.
.
.
104	2	2	3	1	1	3	3	3	3	2	2.3
354	2	2	3	3	1	2	1	2	3	2	2.1
28	2	2	2	1	3	3	2	3	2	2	2.2
126	2	2	3	2	3	3	2	2	2	2	2.3
24	2	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2.3
303	2	1	2	2	2	3	1	3	2	2	2.0
151	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2.2
.
.
Control	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
.
.
499	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1.5
122	2	2	3	1	3	1	1	3	1	1	1.8
274	2	3	1	1	2	2	1	3	2	1	1.8
570	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1.6
361	1	3	1	1	2	2	2	2	1	1	1.6
320	1	2	1	1	2	2	1	3	1	1	1.5
190	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1.3

ReHT=leaf:stem ratio; TiMa=tiller type; ViPI=plant strength; DeFo=leaf density; PoSe=seed potential; EsCo=Collection stage; PoFo=forage potential CaFo=forage quality; CaRe=regrowth capacity; CoAc= current strength.

Control = Sideoats grama var "Reno" (commercial variety), from the US and established from seed.

de rendimiento de forraje hasta los 210 días. Las muestras fueron secadas en una estufa a 70 °C durante 48 h para estimar los rendimientos de materia seca de cada ecotipo. Las variables fueron sometidas a un análisis multivariado de componentes principales (ACP) para detectar atributos sobresalientes. Se utilizó el procedimiento PRINCOMP⁽²⁸⁾ para analizar los datos. La información colectada se analizó mediante la matriz de correlación del ACP.

because it is readily available and used in grassland rehabilitation programs. To obtain forage yield up to 210 d growth (DM, g plant⁻¹), plants were cut at ground level. Samples were dried in a stove at 70 °C for 48 h to estimate DM in each ecotype. Variables were subjected to principal components multivariate analysis for identifying outstanding attributes. The PRINCOMP⁽²⁸⁾ procedure was used to analyze data. Gathered information was analyzed through PCA correlation matrix.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTS AND DISCUSSION

Variables morfológicas

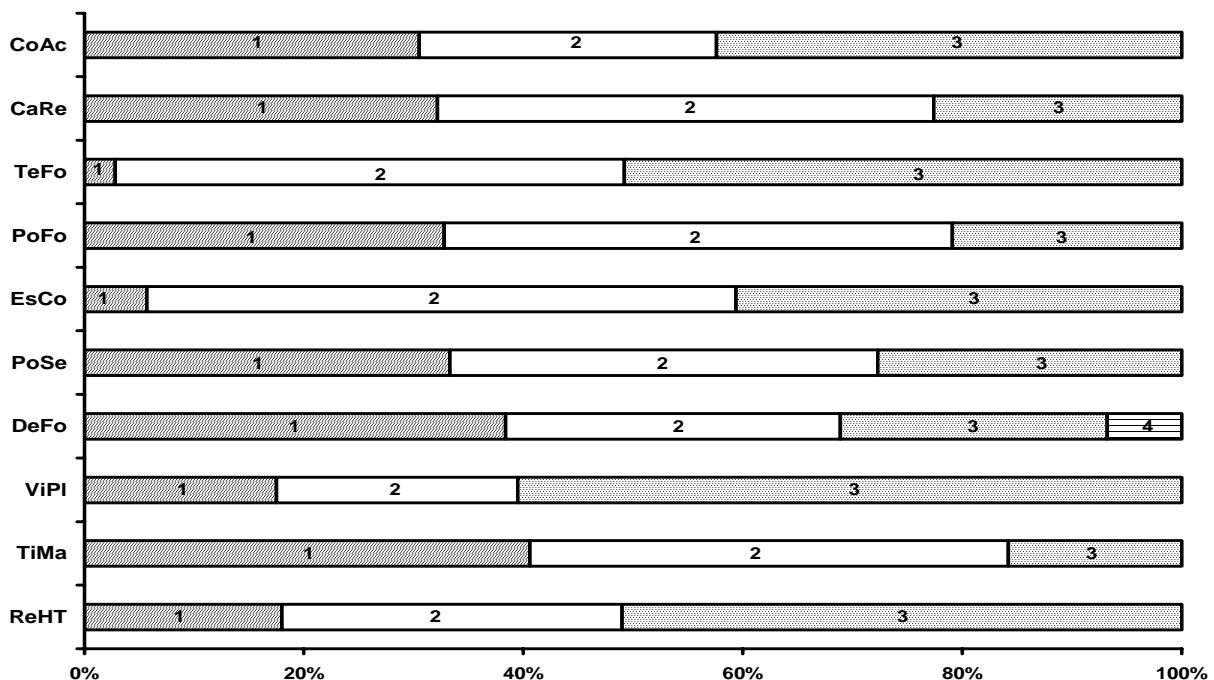
Morphological variables

En la evaluación de octubre del 2005, de 577 ecotipos originales de banderita, sólo el 54 % (311) lograron establecerse. Al eliminar, al azar, individuos repetidos del mismo ecotipo, se finalizó sólo con 177. Los parámetros evaluados tuvieron amplia variación como resultado de los diferentes ambientes de origen. La Figura 2 muestra las

By October 2005, of the 577 ecotypes originally planted, only 54 % (311) survived. By eliminating at random individuals of the same ecotype, only 177 were finally used. Evaluated parameters varied owing to differences between their natural environments. Figure 2 shows frequencies found

Figura 2. Frecuencias por clase para descriptores morfológicos cualitativos, utilizados para caracterizar 177 ecotipos de pasto Banderita, evaluados en Salinas, San Luis Potosí, México

Figure 2. Frequencies per class for morphological qualitative descriptors used for characterization of 177 sideoats grama ecotypes evaluated in Salinas, San Luis Potosí, México



frecuencias obtenidas para cada categoría de las variables evaluadas. El rango de valores para esta especie, al medir producción de forraje y semilla, coincide con lo reportado por otros autores⁽²⁹⁾. Otras especies evaluadas presentan amplios rangos de variación, por lo que se enfatiza la importancia de estas evaluaciones con fines de selección^(30,31).

La capacidad de rebrote después de una defoliación, es esencial para un manejo adecuado de las plantas forrajeras. Cuarenta (40) ecotipos presentaron alta capacidad de rebrote, esto significa que, en un período de 35 días, recuperaron su área fotosintética e incluso presentaban inflorescencias. Para 90 ecotipos, la textura de las hojas fue suave y sólo 3 % de los ecotipos mostró textura áspera. Cuando se evaluó la capacidad de establecimiento, después de tres años de transplantadas y basándose en diámetro basal, se encontró que 37 ecotipos presentaron diámetros mayores de 15 cm; el 46 %, 82 individuos, diámetros de 9 a 15 cm y el 33 %, 58 individuos, diámetros menores de 8 cm. La evaluación del potencial forrajero de especies nativas es importante para diseñar esquemas de uso en el manejo del pastoreo como prácticas productivas sustentables⁽³²⁾. A los 35 días de rebrote, 41 % de los ecotipos mantuvieron la etapa juvenil, lo que puede indicar una producción de forraje de calidad por mayores periodos, durante la etapa de crecimiento del pasto. La producción de semilla es una característica de gran importancia en especies presentes en los pastizales. En comunidades de especies nativas, se reconoce la importancia del potencial productivo de semilla, debido a la acción que ejerce el ambiente para mantener el banco de semillas en el suelo y beneficiar la regeneración y supervivencia de la especie de interés. El potencial de producción de semilla fue alto para 28 % del material. Por lo anterior, es importante detectar poblaciones con alta producción de semilla para fines de producción de germoplasma a nivel comercial, cuando se va a multiplicar un ecotipo seleccionado. Resultados de variabilidad en el potencial de rendimiento de semilla, se han reportado⁽³²⁾ en ecotipos de *Panicum maximum*, recolectados en su centro de origen. Económicamente, el registro de propiedad de germoplasma con características específicas, representa millones de pesos para la

for each category of assessed variables. Values for forage and seed production, concur with reports by other authors⁽²⁹⁾. Other species, show a wide range of variation when evaluated, so the importance of these assessments for selection purposes, emphasis should be given^(30,31).

Regrowth potential after defoliation is essential for forage plant management. Forty ecotypes showed high regrowth potential, recovering their photosynthesis area in 35 d and even showing inflorescences. In 90 ecotypes, leaf texture was tender and only 3 % of ecotypes showed a rough texture. When plant establishment capacity was analyzed, three years after transplant and based on basal diameter, 37 ecotypes showed diameters greater than 15 cm, 82 between 9 and 15 cm, and 58 of less than 8 cm. Evaluation of forage potential of native species is of importance to design grazing systems as sustainable production systems⁽³²⁾. At 35 d regrowth, 41 % of ecotypes retained youthful traits, which indicates longer periods of quality forage production in the growth stage. Seed production is of great importance in species found in grasslands. In native grass communities, the importance of seed production potential is accepted, because of the action carried out by the environment to maintain a seed bank in soils, thus promoting regeneration and survival of a certain species. Seed production potential was high in 28% of the ecotypes. Due to all this, it is important to identify populations with high seed production potential when producing germplasm with commercial aptitude, when a selected ecotype will be multiplied. Results of seed yield potential variability have been reported for *Panicum maximum* ecotypes, collected in their center of origin⁽³²⁾. Economically, property rights of germplasm having specific characteristics can represent important financial resources for the organization (public or private) which registers and releases them⁽³³⁾.

A wide diversity was observed in leaf density, 7 % of ecotypes showed high leaf density. Almost 60% of genotypes showed great vigor. When qualitative characteristics, as vigor, are assessed, each author sets categories, depending on the species⁽³⁴⁾, for example, numeric⁽³⁰⁾. Tiller type varied widely,

agencia gubernamental o comercial que los registra y libera⁽³³⁾.

Se observó una amplia diversidad en densidad foliar; 7 % de los materiales mostraron muy alta densidad de hojas. Un 60 % de los genotipos mostraron vigor alto. En la evaluación de características cualitativas, como el vigor, cada autor establece categorías, dependiendo de la especie con la que se trabaja⁽³⁴⁾, por ejemplo, categorías numéricas⁽³⁰⁾. El tipo de macollo varió ampliamente, 41 % de los individuos presentó un tipo de macollo disperso. La relación hoja:tallo fue alta en el 51 % en los materiales evaluados. Esta variable es importante como atributo forrajero⁽³⁵⁾, ya que las mediciones de relación hoja:tallo en especies forrajeras, son importantes para predecir la duración de la época de crecimiento y estimar el máximo pico de producción⁽³⁶⁾.

Índice de valor forrajero

El Cuadro 2 muestra los valores obtenidos para ecotipos que presentaron índices alto, medio y bajo. Ecotipos originarios de Aguascalientes, Durango, Chihuahua y Zacatecas obtuvieron los más altos índices de 2.5 a 2.8, por lo que estos ecotipos pudieran ser utilizados en programas de selección y mejoramiento genético o producción de híbridos,

41 % of individuals showed scattered tillers. Leaf:stem ratio was high in 51 % of ecotypes. This variable is an important forage attribute⁽³⁵⁾, because it helps to predict growth period length and also to estimate the maximum production peak⁽³⁶⁾.

Forage value index

In Table 2, forage value index values for ecotypes (high, low, intermediate) are shown. Ecotypes from Aguascalientes, Durango, Chihuahua and Zacatecas showed the higher values (2.5 to 2.8), so these ecotypes could be used in selection and genetic improvement programs or for producing hybrids, for evaluation when rehabilitating depleted grasslands in arid and semiarid areas of Mexico. Other ecotypes from Durango and Zacatecas, showed intermediate indices (2.0 to 2.3), and ecotypes 499, 122, 274, 570, 361, 320 and 190 showed the lower indices (1.3 to 1.8). Taking into account the “Reno” variety, from the US, as a reference of a variety commercially available, its forage index was 2.0. When forage potential of all the ecotypes studied is considered, the commercial variety yielded 51.1 g plant⁻¹. Ecotype 20 showed the higher yield (1,213 g) and ecotype 328 the lower (13.7 g). Similar results were reported for 343 ecotypes of *Brachiaria*, of which only 12 were

Cuadro 3. Valores característicos y proporción de la varianza total explicada por cada uno de los componentes principales, en 10 variables cualitativas de 177 ecotipos de pasto bandera

Table 3. Characteristic values and explained global variance proportion for each main component in 10 qualitative variables in 177 sideoats grama ecotypes

Main component	Characteristic value	Difference	Explained global variance proportion (%)	Accumulated variance proportion (%)
1	3.64	2.13	36.40	36.40
2	1.50	0.36	15.10	51.56
3	1.14	0.20	11.42	62.98
4	0.93	0.18	9.40	72.38
5	0.75	0.12	7.52	79.91
6	0.62	0.09	6.26	86.17
7	0.52	0.13	5.28	91.45
8	0.39	0.11	3.97	95.42
9	0.28	0.10	2.83	98.25
10	0.17		1.75	100

para evaluarlos al rehabilitar pastizales degradados de zonas áridas y semiáridas de México. Otros ecotipos originarios de Durango y Zacatecas, tuvieron índices intermedios, de 2.0 a 2.3; los ecotipos 499, 122, 274, 570, 361, 320 y 190 tuvieron los menores índices, de 1.3 a 1.8. Al considerar la variedad comercial “Reno”, procedente de Estados Unidos, como un punto de referencia de una variedad ya existente en el mercado, ésta presentó un índice de 2.0. Al considerar el potencial forrajero de todos los ecotipos de la recolecta, la variedad comercial tuvo un rendimiento de 51.1 g planta⁻¹. El ecotipo 20 registró el máximo rendimiento de forraje (1,213 g) y el 328 el menor rendimiento (13.7 g). Resultados similares fueron reportados⁽³⁵⁾, al evaluar 343 ecotipos de *Brachiaria*, donde seleccionaron sólo 12 por ser superiores en producción de materia seca foliar. Además, al evaluar ecotipos de *P. maximum*, recolectados en el centro de origen e incluir un testigo comercial, encontraron mayores rendimientos de forraje y semilla en los ecotipos no comerciales, en comparación con el testigo⁽³²⁾.

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) determinó la contribución de los tres componentes

selected, due to their high leaf dry matter production. Besides, when evaluating *P. maximum* ecotypes, gathered in their center of origin, with a commercial variety as control, greater forage and seed yields were among sideoats grama ecotypes⁽³²⁾.

Principal components analysis (PCA)

PCA determined the contribution of three significant components in total variance and identified variables which characterize each one of them. Averages for each variable are shown in Table 3. The first three components explained 62.9 % of total variation. PC1 explained 36.4 %, PC2 15.2 % and PC3 11.4 % of total variation found between different sideoats grama ecotypes.

Vectors associated to the three principal components and characterized through 10 qualitative variables are shown in Table 4. The most important variables for PC1 were: vigor, leaf density and leaf:stem ratio; for PC2 potential seed yield and tiller types and for PC3 forage texture and phenology. These variables contributed significantly with high values to explain the observed large variation. PC1 was characterized by grouping variables linked to growth: photosynthesis capacity (leaf density and

Cuadro 4. Vectores característicos de las variables de mayor valor descriptivo y coeficientes de determinación (R²) para cada variable original, respecto a su componente principal, en la diversidad genética de banderita

Table 4. Characteristic vectors for variables having greater descriptive value and determination coefficients (R²) for each original variable, reactive to its main component in sideoats grama genetic diversity

Variable	Characteristic vectors			Determination coefficient (R ²)		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
Leaf:stem ratio	0.42	0.14	-0.29	0.81**	0.17*	-0.31**
Tiller type	-0.09	0.41	-0.21	-0.17*	0.51**	-0.22*
Plant strength	0.37	-0.15	-0.08	0.71**	-0.19*	-0.08*
Leaf density	0.42	0.03	-0.37	0.81**	0.04ns	-0.40**
Seed potential	0.17	0.59	0.36	0.32**	0.73**	0.38**
Collection stage	0.27	0.41	0.43	0.52**	0.50**	0.46**
Forage potential	0.31	-0.22	0.31	0.60**	-0.27**	0.33**
Forage texture	0.15	-0.35	0.51	0.29**	-0.43**	0.55**
Regrowth capacity	0.25	-0.27	0.05	0.49**	-0.33**	0.05*
Current condition	0.44	0.00	-0.16	0.84**	-0.00ns	-0.18*

* P<0.05; ** P<0.01.

significativos a la varianza total e identificó las variables que caracterizan a cada uno de ellos. El promedio de cada una de las variables, se presenta en el Cuadro 3. Los tres primeros componentes explicaron 62.9 % de la variación total observada. El CP1 explicó el 36.4 %, el CP2 15.1 % y el CP3 11.4 % de la variación total encontrada entre los diferentes ecotipos de pasto banderita.

Los vectores propios, asociados a los tres primeros componentes principales, caracterizados mediante 10 variables cualitativas, se presentan en el Cuadro 4. Las variables más importantes en el CP1 fueron: vigor, densidad de hojas y relación hoja:tallo; para el CP2, potencial de rendimiento de semilla y tipos de macollo y en el CP3, textura de forraje y fenología. Estas variables contribuyeron significativamente con los valores más altos para explicar la variación total observada. El CP1 se caracterizó por agrupar variables relacionadas con crecimiento: capacidad fotosintética (densidad de hojas y relación hoja:tallo) y de recuperación del área fotosintética después del corte. El CP2 reflejó variables de propagación y dispersión: producción de semilla y tipo de macollo. Las variables que reunió el CP3 fueron: fenología y textura de hoja.

La dispersión de los ecotipos se observa en la Figura 3, que refleja el grado de similitud entre los 177 ecotipos con base en los CP1 y CP2 y reveló la existencia de seis grupos diferentes. El grupo I fue el más pequeño, pues sólo integró a 21 ecotipos, procedentes principalmente de San Luis Potosí, Coahuila y Aguascalientes, los cuales se ubicaron principalmente en los cuadrantes III y IV. El grupo II fue más grande con 35 ecotipos, recolectados principalmente en Coahuila y San Luis Potosí. La mayoría de ecotipos del grupo II, se ubicaron en los cuadrantes II y III. El grupo III integró a 33 ecotipos, procedentes de Coahuila, San Luis Potosí, Chihuahua y Zacatecas, ubicados en el cuadrante III. El grupo IV fue el segundo más pequeño, con 21 ecotipos procedentes principalmente de Durango, Chihuahua y San Luis Potosí. La ubicación de estos ecotipos fue en el cuadrante I. El grupo V integró a 33 ecotipos, recolectados principalmente en Durango, Coahuila, San Luis Potosí y Chihuahua y se ubicaron en el

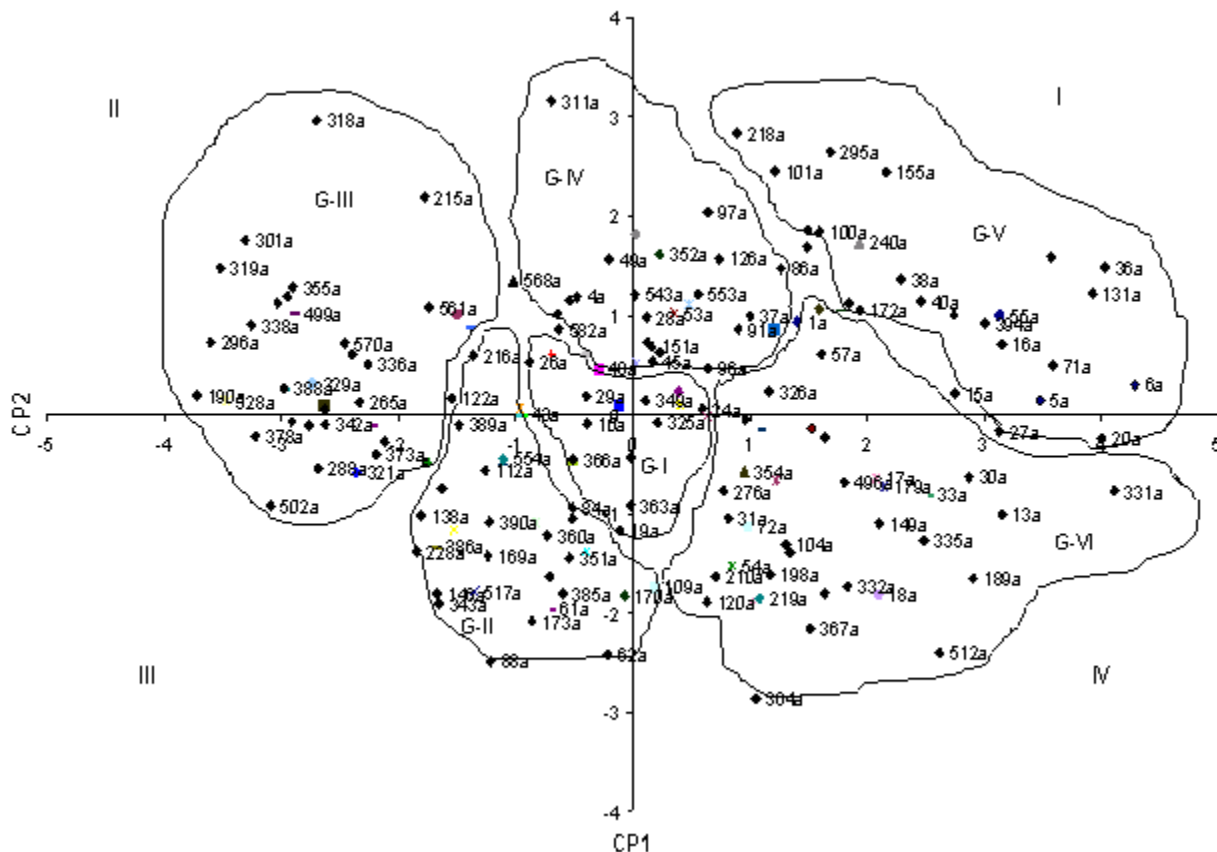
leaf:stem ratio) and of photosynthesis area recovery after defoliation. PC2 includes propagation and dispersal variables such as seed production and tiller type. PC3 contains phenology and leaf texture variables.

Ecotype dispersion can be seen in Table 3, which exposes the degree of similarity among the 177 ecotypes based on PC1 and PC2 and shows that 6 different groups are present. Group 1 is the smallest, containing 21 ecotypes only, coming mainly from San Luis Potosí, Coahuila and Aguascalientes, which were placed in quadrants III and IV. Group 2 was the bigger, with 35 ecotypes collected mainly in Coahuila and San Luis Potosí. Most of the ecotypes in this group were set in quadrants II and III. Group III was made up by 33 ecotypes from Coahuila, San Luis Potosí, Chihuahua and Zacatecas, placed in quadrant III. Group IV was the second smaller, having 21 ecotypes from Durango, Chihuahua and San Luis Potosí, set in quadrant I. Group V includes 33 ecotypes gathered in Durango, Coahuila, San Luis Potosí and Chihuahua placed in quadrant I. Finally, group VI contains 34 ecotypes from Coahuila and San Luis Potosí placed in quadrant IV. This diversity, characterized through assessment of qualitative descriptors can be added with one obtained by the same author⁽³⁷⁾, who when exploring morphological diversity in sideoats grama populations and grading 14 qualitative descriptors, found that forage potential associated to great variability, can be used as a base to set up improvement programs for native populations.

The large dispersion observed in Figure 3 reflects the wide morphological and genetic diversity present in *B. curtipendula*, in response to both physiographical diversity and species diversification in Mexico, center of origin of this grass. Due to this, a germplasm bank can be put in place, where this variation could be conserved and evaluated, thus allowing the development of genetic improvement programs capable of generating high production potential and good forage quality ecotypes. These results could be useful for selecting sideoats grama ecotypes, for grassland reseeding strategies, for genetic improvement and for

Figura 3. Distribución de la diversidad de 177 ecotipos de pasto Banderita, en función de los dos primeros componentes principales, obtenidos con la matriz de correlación de 10 variables cualitativas

Figure 3. Diversity distribution in 177 sideoats grama ecotypes, as a function of the two first main components obtained through a correlation matrix of 10 qualitative variables



cadrante I. Por último, el grupo VI integró a 34 ecotipos procedentes principalmente de Coahuila y San Luis Potosí, ubicados en el cuadrante IV. Esta diversidad encontrada con la evaluación de descriptores cualitativos, se puede complementar con la obtenida por el mismo autor⁽³⁷⁾, ya que al explorar la diversidad morfológica de poblaciones de pasto banderita y calificar 14 descriptores cuantitativos, encontró que el potencial forrajero asociado a la gran variabilidad detectada, puede servir de base para implementar programas de mejoramiento en poblaciones nativas.

La gran dispersión observada en la Figura 3 refleja la amplitud de la variación morfológica y genética

germplasm collection management. Besides, once the agronomic potential of morphological outstanding ecotypes has been reviewed, biotechnological techniques can be used for genetic improvement of this species.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

A wide morphological variation can be found in sideoats grama ecotypes studied in arid and semiarid areas of Mexico. This makes possible identifying outstanding ecotypes having desirable forage traits for selection and genetic improvement programs. Most of the sideoats grama ecotypes showed higher forage index than the commercial Reno cultivar.

existente en esta especie, en respuesta a la diversidad fisiográfica y la diversificación de esta especie en México, como centro de origen genético de esta gramínea. Por lo que, se puede establecer un banco de germoplasma en el cual se conserve y evalúe dicha variación, y permita la creación de programas de mejoramiento genético para generar ecotipos con alto potencial productivo y buena calidad forrajera. Estos resultados pueden ser de utilidad para la selección de ecotipos de banderita, diseñar estrategias en resiembra de pastizales, para fines de mejoramiento y para el manejo de colecciones de germoplasma. Además, una vez revisado el potencial agronómico de los ecotipos sobresalientes morfológicamente, se puede decidir la conveniencia de utilizar técnicas biotecnológicas para el mejoramiento genético de esta especie⁽³⁸⁾.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Existe amplia variación morfológica en los ecotipos estudiados de pasto banderita en zonas áridas y semiáridas de México. Esto hace posible la identificación de ecotipos sobresalientes con características deseables forrajeras para la selección y mejoramiento genético de este pasto. Al comparar el índice forrajero de la variedad comercial "Reno", más de la mitad del material mexicano presenta valores superiores a éste. Lo que enfatiza la necesidad de evaluar, seleccionar, mejorar, reproducir y registrar material forrajero nativo de México. Se estableció *ex situ* la recolecta de pasto banderita con 311 materiales en el *Campus* San Luís Potosí del Colegio de Posgraduados en Salinas, SLP, México.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo financiero. Al Colegio de Postgraduados y al SINAREFI-SNICS por su apoyo técnico.

This fact highlights the need of evaluating, selecting, improving, reproducing and registering native grasses of Mexico. A sideoats grama *ex situ* collection containing 311 ecotypes was established in the San Luis campus of the Colegio de Postgraduados, located in Salinas, SLP, Mexico.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank most especially the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) for funding this project and to the Colegio de Postgraduados and to SINAREF- SNICS for technical support.

End of english version

LITERATURA CITADA

1. Beetle AA. Noteworthy grasses from México. *Phytologia* 1977;37(4):317-407.
2. COTECOCA. Las Gramíneas de México. Tomo I. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos 1983.
3. Dávila AP, Lira R, Valdez J. Endemic species of grasses in México: a phytogeographic approach. *Biodiversity and Conservation* 2004;13:1101-1122.
4. Rzedowski J. La vegetación de México. México, DF: Editorial Limusa; 1978.
5. Fultz JL. Somatic chromosome complements in *Bouteloua*. *Am J Botany* 1942;29:45-53.
6. Herrera A, Peterson PM, De la Cerda ML. Revisión de *Bouteloua* Lag. (POACEAE). Editorial Filo del Agua. CIIDIR, CONABIO. Durango, Dgo. 2004.
7. Blanco ME. Preferencia de zacates nativos e introducidos por bovinos en pastoreo. *Pastizales* 1972;3:1-6.
8. Chávez SA, Fierro GLC, Sánchez GEJ. Composición botánica, preferencia y similaridad de la dieta de bovinos en un pastizal mediano abierto. *Pastizales* 1983;14:3-14.
9. Nuñez F. Digestibilidad *in-vitro* de algunos zacates nativos del centro de Chihuahua. *Pastizales* 1972;3:8-11.
10. Ortiz MV. Digestibilidad *in-vitro* de 10 gramíneas y un arbusto de Chihuahua. *Pastizales* 1976;7:2-6.
11. González MH. Reducción de nutrientes en los pastizales de Chihuahua durante los meses de sequía. I. Proteína cruda. *Pastizales* 1982;13:2-11.
12. Echavarría MS. Evaluación del comportamiento de 10 especies de zacates nativos e introducidos, sembrados de temporal en la región central de Chihuahua. *Pastizales* 1973;4:2-7.

13. García HM. Guía de pastos para la región noreste de Jalisco y el altiplano central. Campo Exp. Vaquerías. INIFAP-SAGARPA. Agenda Técnica No. 1; 1996.
14. Espinoza CJM, Ramos GJL, Maciel PLH. Recuperación de agostaderos en Aguascalientes. Campo Exp. Pabellón. INIFAP-SAGARPA. Folleto Técnico No. 15; 2000.
15. Morales NCR. Establecimiento de pastos en agostaderos, utilizando obras para captar agua de lluvia. Campo Exp. La Campana. INIFAP-SAGARPA. Folleto Técnico No. 6; 2001.
16. Esqueda CMH, Echavarría MS, Sierra TJS, Jurado GP, Escobar TR. Tecnología para el establecimiento de gramíneas en áreas de agricultura marginal. Campo Exp. La Campana. INIFAP-SAGARPA. Pub. Técnica No. 1. 2004.
17. Melgoza CA, Royo MMH, Báez GAD, Reyes LG. Situación de los predios ganaderos después de cuatro años de sequía en las zonas áridas y semiáridas de Chihuahua. Campo Exp. La Campana. INIFAP-SAGARPA. Folleto Técnico No. 4. 1998.
18. Esqueda CMH, Melgoza CA, Sosa CM, Carrillo RR, Jiménez CJ. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad-sequía en tres tipos de suelo. *Tec Pecu Mex* 2005;43:101-116.
19. Richards RT, Chambers J, Ross C. Native seed policy and practice- a viewpoint. *J Range Manage* 1998;51:625-632.
20. Brown RW, Amacher MC. Selecting plant species for ecological restoration: a perspective for land managers. En: Holzworth LK, Brown RW (compiladores). *Revegetation with native species*. Proceed Soc for Ecological Restoration. USA: Lauderdale, FL. 1999.
21. Huff DR, Quinn JA, Higgins B, Palazzo AJ. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) variation among native little bluestem [*Schizachyrium scoparium* (Michx.) Nash] populations from sites of high and low fertility in forest and grassland biomes. *Mol Ecol* 1998;7:1591-1597.
22. Phan, AT, Fu YB, Smith SR. RAPD variation in selected and unselected blue grama populations. *Crop Sci* 2003;43:1852-1857.
23. Trapnell, DW, Schmidt, JP, Hamrick, JL. Spatial genetic structure of the Southeastern North American endemic, *Ceratiola ericoides* (Empetraceae). *J Heredity* 2008;6:604-609.
24. Quero, CAR, Morales NCR, Miranda, JL, Enríquez QJF. Recursos genéticos de gramíneas forrajeras nativas. El complejo del zacate Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. [resumen]. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. México, DF. 2003:424.
25. Morales NCR. Caracterización morfológica, citológico y molecular de recursos genéticos de *Bouteloua curtipendula*. [tesis Doctoral]. Texcoco, México: Colegio de Posgraduados; 2006.
26. Berthaud J. Apomixis and the management of genetic diversity. In: Savidan Y, Carman J, Dresselhaus T editors. *The flowering of apomixis from mechanisms to genetic engineering*. CIMMYT-IRD 2001;8-23.
27. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. México, DF. 1987:217.
28. Statistical Analysis System (SAS). Institute Inc. User's guide. Statistics. Version 8. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA. 1999.
29. Rubio AFA. Caracterización inicial de 59 ecotipos de zacate banderilla *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en Calera, Zacatecas. *Manejo de Pastizales* 1989;3:3-9.
30. Verdal JD, Mayland HF, Asay KH, Jefferson PG. Variation in agronomic and morphological traits among Russian wildrye accessions. *Crop Sci* 1999;39:1890-1895.
31. Villar RF, Arenas F, Lambers H, Panadero P, Maranon T, Quero JL. Variation in relative growth rate of 20 *Aegilops* species (Poaceae) in the field: the importance of net assimilation rate or specific leaf area depends on the time scale. *Plant and Soil* 2005;272:11-27.
32. Savidan HY, Jank L, Costa JCG. Registro de 25 accesiones seleccionados de *Panicum maximum*. Campo grande. EMBRAPA-CNPQC. Documento 44. 1990:68.
33. Troyer AF, Rocheford TR. Germoplasm ownership: related corn inbreds. *Crop Sci* 2002;42:3-11.
34. Pedersen JF, Toy JJ. Germination, emergence, and yield of 20 plant-color, seed-color near-isogenic lines of grain sorghum. *Crop Sci* 2001;41:107-110.
35. Do Valle CB. Selecao e melhoramento de gramíneas do genero *Brachiaria* perspectivas de lancamento. In: Peres RM, Alcantara PB, Justo C, *et al* editors. *Encontro sobre producao de sementes de plantas forrageiras*, Sao Jose do Rio Preto Brasil, Brasil 1990.
36. Wu L, McGeachan MB, Knight AC. Simulation of allocation of accumulated biomass to leaf and stem in a grass growth model. *Grass Forage Sci* 1997;52:445-448.
37. Morales NCR, Quero AR, Pérez PJ, Hernández GA, Le Blanc O. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de pasto Banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] en México. *Agrociencia* 2008;42(7):767-775.
38. Aguado SGR, Rascon CQ, Pons HJL, Gardea CO, García ME. Manejo biotecnológico de gramíneas forrajeras. *Tec Pecu Mex* 2004;42:261-276.