

# Análisis morfológico de la diversidad del pasto navajita [*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Steud.], en Chihuahua, México

## Morphological analysis of blue grama grass [*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffiths] diversity in Chihuahua, Mexico

Carlos Morales Nieto<sup>a</sup>, Luis Madrid Pérez<sup>b</sup>, Alicia Melgoza Castillo<sup>c</sup>, Martín Martínez Salvador<sup>a</sup>, Sigifredo Arévalo Gallegos<sup>b</sup>, Quintín Rascón Cruz<sup>b</sup>, Pedro Jurado Guerra<sup>a</sup>

### RESUMEN

Una eficiente caracterización morfológica de plantas es el empleo de descriptores forrajeros seleccionados. El objetivo fue analizar la diversidad morfológica de poblaciones nativas del pasto navajita [*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Steud.]. En el año 2006 se recolectaron 173 ecotipos de navajita en Chihuahua, y se trasplantaron en el Sitio Experimental La Campana. Los ecotipos establecidos se calificaron mediante descriptores morfológicos y se definió su estructura poblacional. Los datos se analizaron por medio de componentes principales (CP) y conglomerados jerárquicos. Los tres primeros componentes explicaron 57.3 % de la variación total obtenida. El CP1 explicó 35.3 %, el CP2 12.4 % y el CP3 9.52 % de la variación global. Para el CP1 las variables más importantes fueron rendimiento de forraje, densidad de tallos y altura de forraje; para el CP2, grosor de espigas, longitud de inflorescencia y número de espigas y en el CP3, diámetro de tallo, ancho de lámina de hoja y longitud de espiga. El CP1 agrupó variables relacionadas con capacidad de crecimiento. El CP2 incluyó variables que reflejan rasgos de dispersión y propagación. El CP3 reunió variables relacionadas con la asignación de biomasa. Además, se obtuvieron cuatro grupos que integraron a los 145 ecotipos establecidos. El grupo I, II, III y IV integraron 59, 24, 19 y 43 ecotipos, respectivamente. Se presentó alta variabilidad morfológica y se detectaron ecotipos con alto potencial forrajero de acuerdo a su diversidad morfológica. Se dispone de variabilidad morfológica de pasto navajita con atributos forrajeros sobresalientes para ser incluidos en programas de mejoramiento de pastizales.

**PALABRAS CLAVE:** *Bouteloua gracilis*, Componentes principales, Descriptores morfológicos, Variabilidad morfológica.

### ABSTRACT

An efficient morphologic characterization of plants includes evaluation of forage traits. The objective was to analyze morphologic diversity in native populations of blue grama grass [*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Steud.] in Chihuahua. In 2006, 173 ecotypes were collected in Chihuahua and transplanted in La Campana Experimental Site. Ecotypes were evaluated through morphological traits and their population structure was defined. Principal component and cluster analysis were used for data analysis. The three first principal components explained 57.3 % of total variation. The PC1, PC2 and PC3 explained 35.3 %, 12.4 % and 9.52 % of the global variation, respectively. Most important variables for PC1 were forage yield, stem density, and plant height; for PC2 were spikelet width, inflorescence length and spikelet number; and for PC3, stem diameter, leaf width and spikelet length. The PC1 included variables related to growth capacity. The PC2 grouped variables associated to propagation and dispersion. The PC3 included variables related to biomass accumulation. Also, four groups were obtained from the 145 established ecotypes. Groups 1, II, III, and IV included 59, 24, 19, and 43 ecotypes, respectively. A high morphological diversity was observed and ecotypes with high forage potential were detected according to their morphological traits. Genetic variability in blue grama grass from Chihuahua is readily available and specimens having excellent forage characteristics could be used in range improvements programs.

**KEY WORDS:** *Bouteloua gracilis*, Principal components, Morphological variables, Morphological variability.

Recibido el 26 de agosto de 2008. Aceptado para su publicación el 22 de enero de 2009.

<sup>a</sup> INIFAP-CIRNOC. Campo Experimental Campana-Madera. morales.carlos@inifap.gob.mx. Correspondencia al primer autor.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Químicas, UACH.

<sup>c</sup> Facultad de Zootecnia, UACH.

## INTRODUCCIÓN

Para mantener y mejorar la producción forrajera en México, es necesario recolectar y conservar los recursos forrajeros nativos, debido a la importancia que representan en la alimentación del ganado<sup>(1,2)</sup>. Lo más importante para iniciar un programa de selección de germoplasma y mejoramiento genético, es realizar una recolección representativa de germoplasma en las poblaciones nativas de la especie de interés. En México no se ha realizado en forma sistemática la recolección y evaluación de germoplasma forrajero. Esta diversidad nativa recolectada, se puede caracterizar desde el punto de vista morfológico, citogenético, bioquímicos, marcadores de ADN, ecológicos, geográficos, fisiológicos y agronómicos<sup>(3)</sup>.

Una caracterización morfológica sirve de base para seleccionar ecotipos sobresalientes e identificar características de interés como altura de forraje, longitud y ancho de hojas, entre otras, para incorporarlas a individuos sobresalientes, los cuales puedan ser registrados, liberados y utilizados en programas de rehabilitación de pastizales<sup>(1)</sup>. De esta forma, la utilización de los diferentes descriptores, conformarán grupos morfológicamente definidos y poder seleccionar los caracteres más importantes que expliquen la variabilidad de estas poblaciones nativas de zacate navajita y la constancia de estos, dentro de las mismas poblaciones<sup>(4)</sup>. Sin embargo, algunos investigadores que han evaluado la variabilidad de germoplasma vegetal<sup>(5,6)</sup>, no han encontrado una relación entre la variabilidad genética, fuentes de germoplasma y centros de origen, por lo que concluyen que la mayor diversidad genética, no tiene porque estar localizada en las zonas donde se originaron las especies.

Por otra parte, en México distintos autores han desarrollado y estructurado esquemas para recolectar germoplasma nativo de gramíneas y leguminosas forrajeras, conservadas en bancos de germoplasma: *Brachiaria*<sup>(7)</sup>, *Panicum*<sup>(8)</sup>, *Bouteloua curtipendula*<sup>(2,9)</sup>, entre otros. Algunos otros han realizado la caracterización morfológica de gramíneas y leguminosas forrajeras, entre las más importantes se encuentra el género *Andropogon*<sup>(10)</sup>, *Panicum*<sup>(11,12)</sup>, *Medicago*<sup>(13)</sup>, *Trifolium*<sup>(14)</sup>, *Sorghum* spp.<sup>(15,16)</sup> y *Bouteloua curtipendula*<sup>(9)</sup> entre otros.

## INTRODUCTION

For maintaining and improving forage production in Mexico, it is imperative to gather and conserve native forage resources, due to their importance for cattle feeding<sup>(1,2)</sup>. While starting a germplasm selection and genetic improvement program, the most important is gathering representative germplasm of the species of interest from native populations. However, no systematic approach to this subject has been done in Mexico. Native forage diversity in Mexico can be characterized through morphological, cytogenetic, biochemical, ecological, geographical, physiological, agronomic characteristics and DNA markers<sup>(3)</sup>.

Morphological characterization can be used for selecting outstanding ecotypes and identifying traits of interest as plant height, leaf width and length among others. Those variables can be incorporated into outstanding individual and registered, released and used in grassland improvement programs<sup>(1)</sup>. Therefore, different variables can be used to integrate morphologically defined groups and the more important traits, which explain variability in native blue grama grass populations, can be selected, and their persistence inside the same populations<sup>(4)</sup>. Studies that have assessed plant germplasm variability<sup>(5,6)</sup>, did not find any relationship between genetic variability, germplasm sources and centers of origin, concluding that the greatest genetic diversity does not necessarily be found in areas where species originated.

On the other hand, in Mexico several authors have developed and structured patterns for gathering germplasm of native forage grasses and legumes of the genera *Brachiaria*<sup>(7)</sup>, *Panicum*<sup>(8)</sup> and the specie *Bouteloua curtipendula*<sup>(2,9)</sup>, among others. Other researchers have morphologically characterized forage legumes and grasses of the genera *Andropogon*<sup>(10)</sup>, *Panicum*<sup>(11,12)</sup>, *Medicago*<sup>(13)</sup>, *Trifolium*<sup>(14)</sup>, *Sorghum*<sup>(15,16)</sup> and *Bouteloua curtipendula*<sup>(9)</sup>, among others.

Blue grama grass has great forage production potential and is considered as the most important species in agronomical terms, due to the quality of its forage, in arid and semiarid areas of Mexico<sup>(17)</sup>.

El zacate navajita es una especie con un gran potencial forrajero y es considerada como la primera especie en importancia agronómica por su calidad forrajera en las zonas áridas y semiáridas de México<sup>(17)</sup>. Es un zacate perenne, amacollado con tallos de 25 a 70 cm de alto. Las hojas son delgadas de 10 a 20 cm de largo, enrolladas en la base. La inflorescencia es de 2.5 a 5 cm de largo con 2 ó 3 ramas rectas o curvadas, espigas de 1.5 a 4.5 cm de longitud, 5 a 7 mm de ancho, portando 40 a 100 espiguillas de 5 a 6.5 mm de longitud<sup>(17)</sup>. Durante su crecimiento contiene de un 12 a un 15 % de proteína cruda y 51 % de digestibilidad *in vitro*; en el invierno puede conservar alrededor del 50 % de su valor nutritivo y su preferencia por todo tipo de ganado<sup>(18)</sup>. Su distribución es común en valles, lomeríos y faldas de sierra, por lo que se encuentra en pastizales medianos y amacollados, y en menor proporción en áreas de matorrales. Se adapta bien a suelos pesados o ligeramente alcalinos<sup>(18,19)</sup>. Por lo anterior, se planteó el presente trabajo con el objetivo de analizar la diversidad morfológica de poblaciones nativas del pasto navajita en el estado de Chihuahua, para identificar materiales sobresalientes para su uso en la rehabilitación de pastizales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Recolecta del material vegetativo*

En el verano del año 2006 se recolectaron 173 ecotipos, procedentes de 45 municipios del estado de Chihuahua. Se extrajo un clon de una pulgada de diámetro de cada ecotipo, provisto de suficiente raíz y biomasa aérea; la parte aérea se cortó a una altura de 15 a 20 cm, para facilitar su transporte. Cada clon se sujetó con cinta adhesiva y se identificó con un número para cada ejemplar recolectado. 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. El material se trasplantó en el Sitio Experimental La Campana en la época de lluvias (julio-agosto). De los 173 ecotipos de navajita recolectados, sólo se establecieron 145, a los cuales, después de un año, se les calificó al momento de la floración utilizando descriptores morfológicos cuantitativo (Cuadro 1) y se analizaron para conocer y definir la estructura poblacional.

*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffiths is perennial, 25 to 70 cm height. Leaves are thin, 10 to 20 cm long, wrapped at the base. Inflorescence is 2.5 to 5 cm long, having 2 to 3 straight or curved branches, 1.5 to 4.5 cm long, 5 to 7 mm wide spikes, each with 40 to 100 spikelets 5 to 6.5 mm long<sup>(17)</sup>. In the growing stages crude protein content ranges between 12 to 15 % and *in vitro* digestibility reaches 51%. In winter, almost half of its nutritional value is retained and is preferred by all livestock species<sup>(18)</sup>. Blue grama is commonly found in valleys, small hills and slopes, therefore it is found in open and short grasslands and rarely in shrublands. It can easily adapt to fine-texture or lightly alkaline soils<sup>(18,19)</sup>. The objective of the present study was to analyze blue grama grass morphological diversity in the State of Chihuahua, and identifying outstanding material to be used in grassland rehabilitation programs.

## MATERIALS AND METHODS

### *Gathering of vegetative material*

In the summer of 2006, 173 ecotypes were gathered in 45 counties of the State of Chihuahua. A part of each ecotype, 2.5 cm diameter was taken with roots and aerial biomass. The aerial part was cut at 15 to 20 cm height for ease of transport. Each plant was held with adhesive tape and identified with a number for each collected specimen, which was recorded in a field diary together with site coordinates, type of vegetation and specific environmental data. Material was transplanted at the La Campana Experimental Site in the rainy season (July - August). Of the 173 transplanted ecotypes, only 145 survived which were evaluated one year later during the flowering stage through quantitative morphological variables (Table 1) and were analyzed to define their population structure.

### *Morphological characterization*

Data was gathered in August and September 2007 when ecotypes reached the reproductive stage. The complete plant was cut to obtain dry forage yield. Samples were dried in a stove at 70 °C for 48 h to determine dry matter yield. The 12 most important quantitative morphological forage variables were

*Caracterización morfológica*

La toma de datos se realizó de agosto a septiembre de 2007 cuando los ecotipos establecidos en campo, llegaron a su etapa reproductiva. Se cortó la planta completa para obtener el rendimiento de forraje seco, y las muestras fueron secadas en una estufa a 70 °C durante 48 h para estimar los rendimientos de materia seca de cada ecotipo. Se seleccionaron las 12 variables morfológicas cuantitativas de mayor importancia forrajera<sup>(20)</sup>. El Cuadro 1 describe las variables morfológicas medidas.

Análisis estadístico. El análisis de componentes principales (ACP) se aplicó para detectar las variables de mayor importancia que describen la variabilidad morfológica observada. Para el análisis de datos, se utilizó el procedimiento PRINCOMP<sup>(21)</sup> y PC-ORD<sup>(22)</sup>. Se analizó la matriz básica de datos de 145 ecotipos; posteriormente, la matriz de correlación del ACP se utilizó para determinar atributos sobresalientes en los ecotipos y se estimó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de las variables originales en cada componente principal para conocer la proporción de la variabilidad explicada por cada componente, además de permitir clasificar las recolectas en grupos de características morfológicas similares. Después de detectar las variables de mayor valor descriptivo, se realizó un análisis de conglomerados jerárquico (ACJ), mediante el método de Ward, a partir de la matriz de correlación. Posteriormente, se construyó el dendograma correspondiente y se realizó un análisis de varianza para establecer la diferencia entre los grupos formados mediante el ACP y ACJ. También, se analizaron los vectores propios y las correlaciones entre las variables en cada componente principal para detectar la importancia de cada variable y explicar la variación total, así como la significancia del coeficiente de determinación de cada variable, respecto a cada componente principal. Además, los elementos de cada vector propio, van a ser proporcionales a los coeficientes de determinación entre el componente principal y las variables originales<sup>(23)</sup>, ya que las variables que muestran más asociación con un determinado componente principal, serán las que presenten los valores más altos en el vector propio (valor absoluto).

Cuadro 1. Descriptores morfológicos cuantitativos, utilizados para caracterizar 145 ecotipos de pasto navajita, evaluados en el Sitio Experimental La Campana

Table 1. Quantitative morphological variables used to characterize 145 blue grama grass ecotypes, evaluated at La Campana Experimental Site

Code	Variable*
FH	Forage height (cm)
PH	Plant height (cm)
TD	Tiller density (tillers per plant)
TT	Tiller thickness (mm) at medium height
LW	Leaf width (mm) at medium length
LL	Leaf length (cm)
IL	Inflorescence length (cm)
SN	Spike number
SL	Spike length (mm)
ST	Spike thickness (mm)
TD	Tiller diameter (cm)
FY	Forage yield (g/plant)**

\* Selected quantitative morphological variables.

\*\* Dry matter yield (g/plant/35 d).

chosen<sup>(20)</sup>. Table 1 shows the morphological forage variables evaluated.

Statistical analysis. Principal Components Analysis (PCA) was applied to select the most important variables for describing observed morphological diversity. Data analysis was performed through the PRINCOMP<sup>(21)</sup> and PC-ORD<sup>(22)</sup> procedures. The basic data matrix for the 145 ecotypes was analyzed and the PCA correlation matrix was used to determine outstanding attributes in ecotypes and the determination coefficient ( $R^2$ ) of the original variables was estimated in each principal component to know the proportion of the explained variability for each component, allowing also the classification in groups of similar morphological characteristics. Following detection of variables with more descriptive value, a hierarchical cluster analysis (HCA) using Ward's method was applied to the correlation matrix. Afterwards, the respective dendogram was built and an analysis of variance was performed through PCA and HCA to establish



Cuadro 2. Valores característicos y proporción de la varianza total explicada para los componentes principales, basados en 12 variables cuantitativas, en 145 ecotipos de zacate navajita recolectados en el estado de Chihuahua

Table 2. Characteristic values and proportion of explained total variance for principal components based on 12 quantitative variables in blue grama grass ecotypes collected in Chihuahua, México

Principal component	Characteristic value	Difference	Proportion of explained global variance (%)	Proportion of accumulated variance (%)
1	4.24	35.34	35.35	3.10
2	1.49	12.41	47.76	2.10
3	1.14	9.52	57.27	1.60
4	1.14	9.50	66.78	1.27
5	0.89	7.41	74.20	1.02

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Análisis de componentes principales*

El ACP se presenta en el Cuadro 2. Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron 57.3 % de la variación morfológica mostrada por los 145 ecotipos evaluados. El CP1 explicó 35.3 %, el CP2 12.4 % y el CP3 9.5 % de la variación global mostrada entre los diferentes ecotipos.

Los vectores propios asociados a los tres primeros componentes principales, se presentan en el Cuadro 3. Para el CP1 las variables de mayor contribución en la explicación de la variación morfológica fueron rendimiento de forraje, densidad de tallos y altura de forraje; para el CP2, grosor de espigas, longitud de inflorescencia y número de espigas y en el CP3, grosor de tallo, ancho de hoja y longitud de espiga. Estas variables fueron las que contribuyeron significativamente con los valores más altos para explicar la variación total observada. El CP1 se caracterizó por agrupar variables relacionadas con la producción de forraje y refleja rasgos relacionados a la capacidad de crecimiento. El CP2 incluyó variables relacionadas con la producción de semilla, lo cual refleja rasgos de dispersión y propagación. El CP3 reunió variables relacionadas con la calidad forrajera, ya que refleja funciones de asignación de biomasa. En otra investigación<sup>(15)</sup> se determinó la extensión y los patrones de distribución de variación morfológica de 15 caracteres cuantitativos en 415 accesiones de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), obteniendo resultados similares, ya que los primeros

diferencias between groups. Vectors and correlations between variables in each principal component were analyzed in order to detect the importance of each variable and to explain total variation and significance of the determination coefficient of each variable relative to each principal component. Besides, elements of each true vector should be proportional to determination coefficients between the principal component and the original variables<sup>(23)</sup>. Because the variables showing closer association with a given principal component, will be those which show the greater magnitude in the true vector (absolute magnitude).

## RESULTS AND DISCUSSION

### *Principal components analysis*

The three first principal components (CP) explained 57.3 % of morphological variation shown in the 145 evaluated ecotypes. CP1 explained 35.3 %, CP2 12.4 % and CP3 9.5 % of global variation shown among the ecotypes (Table 2).

True vectors associated to the three first principal components are shown in Table 3. For CP1 variables which contributed more to explain morphological variation were forage yield, tiller density and forage height; for CP2, spike thickness, inflorescence length and spike number and for CP3, stem thickness, leaf width and spike length. The CP1 grouped variables related to forage production and reflects traits linked to growth potential. The CP2

cinco componentes principales, explicaron el 79 % de la varianza total. Además, variables como altura de planta, longitud de hoja, inflorescencia, entre otras, fueron agrupadas por el CP1; el CP2, agrupó variables como grosor de tallo, longitud de hoja y número de hojas<sup>(15)</sup>. La evaluación de estas variables, ha permitido una mejor caracterización y evaluación de la diversidad en otras especies del género *Lolium*<sup>(24,25)</sup>, *Sorghum*<sup>(16)</sup>, *Panicum*<sup>(12,11)</sup> y *Bromus*<sup>(26)</sup>.

La Figura 1 muestra la distribución de los 145 ecotipos con base en los CP1 y CP2. El grupo I ubicó a 60 ecotipos con cuatro subgrupos y fueron ubicados en el cuadrante I. Estos ecotipos fueron similares entre si, ya que no presentaron relación con las variables evaluadas. El grupo II agrupó 20 ecotipos y se localizaron en el cuadrante IV. Estos ecotipos también fueron similares entre si, sin embargo, tampoco mostraron relación con las variables evaluadas. El grupo III integró 44 ecotipos, los cuales se ubicaron en los cuadrantes I y IV. Lo anterior significa que estos ecotipos de acuerdo a las variables evaluadas, tienen similitud entre ellos, pero sin mostrar ninguna relación con las variables estudiadas. El grupo IV integró 21 ecotipos, los cuales se ubicaron principalmente en el cuadrante II y III. Estos ecotipos se caracterizaron por presentar el mayor potencial de producción de semilla, ya que las variables grosor de espigas, longitud de inflorescencia y número de espigas fueron las que presentaron los valores más altos. Además, en los subgrupo IV-2 y IV-3, se ubicaron las variables rendimiento de forraje, densidad de tallos y altura de forraje, las cuales presentaron los valores mas altos y reflejan los ecotipos que tiene un mejor potencial para la producción de forraje (Figura 1, Cuadro 4). El ecotipo 647 se ubicó en el cuadrante III y fue uno de los ecotipos con mayor potencial forrajero de acuerdo a la evaluación de los descriptores. La aplicación de descriptores morfológicos en la definición de estos grupos, es congruente con otros estudios realizados<sup>(27)</sup>, donde trabajaron con recursos genéticos de *Brachiaria*. Además, se ha usado el análisis multivariado para integrar accesiones y cultivares dentro de grupos<sup>(28)</sup>.

#### *Análisis de conglomerados jerárquicos*

Al efectuar el análisis de conglomerados jerárquicos, se observan (Figura 2) los grupos que integran a

Cuadro 3. Vectores característicos de las variables de mayor valor descriptivo para cada variable original, respecto a su componente principal, en la diversidad genética del zacate navajita recolectado en Chihuahua, México

Table 3. Characteristic Vectors for variables showing greater descriptive value for each original variable, relative to its principal component, in genetic diversity of blue grama grass collected in Chihuahua, México

Variable	Characteristic vectors		
	CP1	CP2	CP3
Forage height, cm	-0.383	-0.105	-0.192
Plant height, cm	-0.350	-0.180	-0.229
Tiller density	-0.384	-0.327	-0.122
Tiller thickness (medium height), mm	-0.157	0.323	0.568
Leaf width (center), mm	-0.177	0.008	0.444
Leaf length (center), cm	-0.271	0.077	-0.114
Inflorescence length, cm	-0.265	0.285	0.174
Spike number	-0.248	0.166	0.231
Spike length, cm	-0.158	0.480	-0.375
Spike thickness, mm	-0.113	0.597	-0.304
Tiller diameter, cm	-0.304	-0.052	0.211
Forage yield, g/plant*	-0.438	-0.202	-0.023

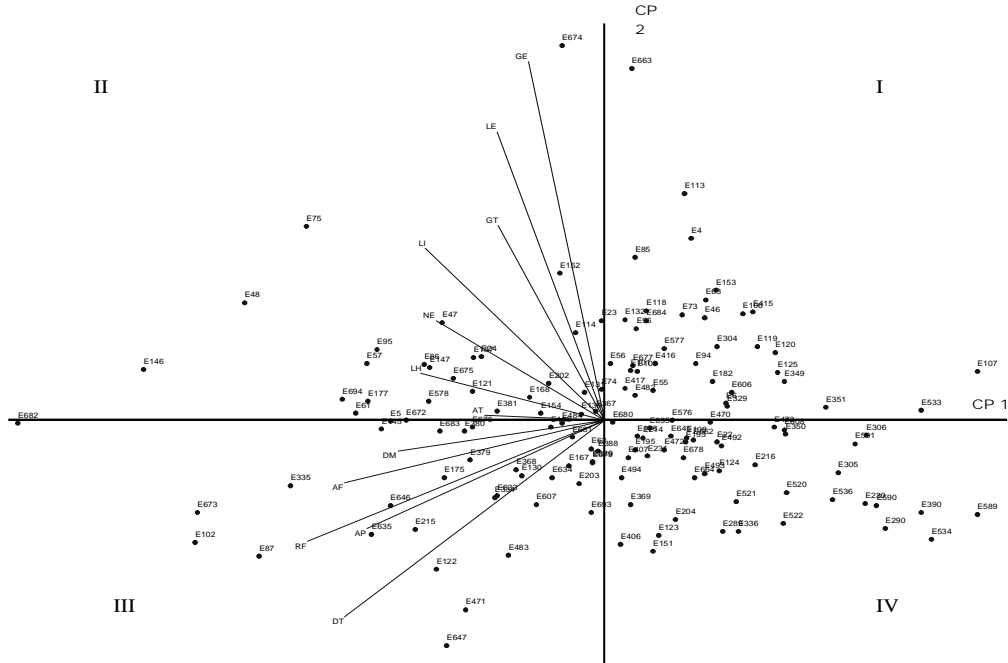
\*Dry matter yield (g/plant)

includes variables related to seed production, which reflect dispersion and propagation characteristics. The CP3 puts together variables related to forage quality, reflecting biomass allocation roles. Similar results were obtained with 415 *Sorghum bicolor* (L.) Moench accessions<sup>(15)</sup> where extent and distribution patterns of morphological variation of 15 quantitative characters were evaluated and the first five principal components explained 79 % of total variance. Furthermore, variables as plant height, leaf length and inflorescence, among others, were grouped in CP1 and stem thickness, leaf length and number were included in CP2<sup>(15)</sup>. Evaluation of these variables has allowed a better characterization and assessment of diversity in other species of the genera *Lolium*<sup>(24,25)</sup>, *Sorghum*<sup>(16)</sup>, *Panicum*<sup>(11,12)</sup> and *Bromus*<sup>(26)</sup>.

Figure 1 shows distribution of the 145 ecotypes based on CP1 and CP2. In group 1, sixty ecotypes and four subgroups are placed in quadrant 1. These

Figura 1. Distribución de la diversidad de 145 ecotipos de pasto navajita en función de los dos primeros componentes principales, obtenidos con la matriz de correlación de 12 variables

Figure 1. Diversity distribution of 145 blue grama grass ecotypes in function of the two principal components obtained through a 12 variables correlation matrix



los 145 ecotipos. El grupo I integró a 59 ecotipos, los cuales se agruparon en tres subgrupos. Los 20 ecotipos que integró el subgrupo I-1 provienen principalmente de la sierra de Chihuahua (Balleza, Parral, Guachochi, Creel). El subgrupo I-2 que agrupó a 26 ecotipos, se recolectaron rumbo a Cd. Juárez, Ojinaga y Cuauhtemoc. El subgrupo I-3 agrupó 13 ecotipos, los cuales procedían de todo el estado de Chihuahua. Todos estos ecotipos fueron similares entre ellos, aunque no mostraron relación con las variables evaluadas. El grupo II integró a 24 ecotipos. El subgrupo II-1 reunió a 11 ecotipos que procedían principalmente de la sierra y del norte del estado. El subgrupo II-2 integró 11 ecotipos, recolectados en la sierra, Janos y el Sauz. Estos ecotipos también fueron similares entre si, a pesar de que tampoco mostraron relación con las variables evaluadas. El subgrupo II-3 integró 2 ecotipos. El grupo III reunió 19 ecotipos. El subgrupo III-1 reunió a 10 ecotipos, procedentes de Balleza, Parral, Flores Magón y el Sauz. El subgrupo III-2 integró 9 ecotipos, recolectados principalmente en Creel, Suco, Flores

ecotypes are similar among themselves as they do not show any connection with the assessed variables. In group 2, twenty ecotypes similar among them are found, and are placed in quadrant II, however, they do not show any relation to evaluated variables. Group 3 is made up by 44 ecotypes, placed in quadrants I and IV. This means that these ecotypes show similitude according to the evaluated variables but they do not have any relation with the variables being analyzed. Group 4 includes 21 ecotypes, placed mainly in quadrants II and III. These ecotypes are characterized by showing the higher seed production potential, since variables such as spike thickness, inflorescence length and spike number show the greater values. In addition, the variables forage yield, tiller density and forage height which show the higher values and are a sign of those ecotypes having greater forage production potential are placed in subgroups IV-2 and IV-3 (Figure 1). Table 4 shows exactly which ecotypes are grouped in Figure 1. Ecotype 647 is placed in quadrant III and is one of the ecotypes having greater forage production potential

Cuadro 4. Número y origen de ecotipos del zacate navajita, derivados del análisis de agrupamiento de 145 ecotipos  
 Table 4. Number and origin of blue grama grass ecotypes, derived from group analysis of 145 ecotypes

Group	Ecotype identification *
I (59)	Subgroup I-1. 4, 106, 153, 113, 85, 132, 114, 119, 125, 120, 416, 664, 608, 695, 23, 96, 101, 100, 484, 369. Subgroup I-2. 46, 73, 94, 55, 63, 684, 56, 195, 406, 681, 62, 231, 74, 152, 176, 494, 492, 349, 470, 493, 415, 214, 576, 577, 482, 662. Subgroup I-3. 6, 329, 193, 417, 166, 389, 388, 368, 138, 154, 167, 203, 634.
II (24)	Subgroup II-1. 22, 216, 305, 289, 336, 472, 108, 124, 130, 151, 680. Subgroup II-2. 24, 131, 407, 118, 204, 645, 678, 367, 679, 304, 677. Subgroup II-3. 663, 674.
III (19)	Subgroup III-1. 107, 390, 533, 520, 521, 536, 590, 534, 591, 589. Subgroup III-2. 182, 351, 473, 306, 350, 608, 230, 290, 522.
IV (43)	Subgroup IV-1. 5, 177, 694, 75, 86, 147, 168, 381, 334, 578, 47, 137, 57, 95, 48, 61. Subgroup IV-2. 87, 175, 122, 215, 145, 335, 102, 146, 635, 646, 673, 682. Subgroup IV-3. 121, 202, 379, 633, 380, 123, 607, 471, 647, 483, 693, 672, 675, 683, 676.

Magón y Ojinaga. Lo anterior significa que estos ecotipos de acuerdo a las variables evaluadas, tienen similitud entre ellos, pero sin mostrar ninguna relación con las variables estudiadas. El grupo IV integró a 43 ecotipos. El subgrupo IV-1 agrupó 16 ecotipos, procedentes principalmente de la región de Parral y Cuauhtemoc. Estos ecotipos se caracterizaron por presentar el mayor potencial de productividad de semilla, ya que las variables grosor de espigas, longitud de inflorescencia y número de espigas fueron las que presentaron los valores más altos y reflejan los ecotipos que tienen un mejor potencial para la producción de semillas. El subgrupo IV-2 agrupó 12 ecotipos, los cuales proceden de Cuauhtemoc, Buenaventura, Sueco, Conchos y carretera el Sauz-Namiquipa. El subgrupo IV-3 reunió a 15 ecotipos, los cuales proceden de Cuauhtemoc y Parral. En los subgrupos IV-2 y IV-3, se ubicaron las variables rendimiento de forraje, densidad de tallos y altura de forraje, las cuales presentaron los valores más altos y reflejan los ecotipos que tienen un mejor potencial para la producción de forraje (Figura 2, Cuadros 3,4). Al analizar y evaluar los diferentes descriptores, se observa la influencia que han ejercido los factores externos sobre la gran variabilidad encontrada. Estudios conducidos en especies del género *Sorghum*<sup>(15)</sup>, *Bouteloua* y *Schizachyrium*<sup>(29)</sup>, coinciden con los resultados obtenidos en la presente

in accordance with variable assessment. Use of morphological variables for defining these groups is congruent with what is reported in other studies<sup>(27)</sup> performed on *Bracchiaria*. Moreover, multivariate analysis has been used to include accessions and cultivars in groups<sup>(28)</sup>.

#### *Hierarchical clusters analysis*

When hierarchical clusters analysis is performed, groups made up by the 145 ecotypes can be observed (Figure 2). Group 1 includes 59 ecotypes, grouped in three subgroups. The 20 ecotypes that constitute subgroup 1-I come from the Chihuahua mountain zone (Balleza, Creel, Parral, Guachochi). Subgroup 1-II includes 26 ecotypes collected near Cd. Juárez, Ojinaga and Cuauhtemoc. Subgroup 1-III groups 13 ecotypes from every corner of the State of Chihuahua. Group 2 includes 24 ecotypes. Subgroup 2-I includes ecotypes from the hills and the northern area of the State of Chihuahua. Subgroup 2-II includes 11 ecotypes collected in the hills, Janos and El Sauz. These ecotypes are very similar even though they do not show relationship with the evaluated variables. Subgroup 2-III is made up by 2 ecotypes. Group 3 includes 19 ecotypes. Subgroup 3-I is made up by 10 ecotypes from Balleza, Flores Magón, Parral and El Sauz. Subgroup 3-II is made up by 9 ecotypes collected mainly in Creel, Sueco, Flores Magón and Ojinaga.



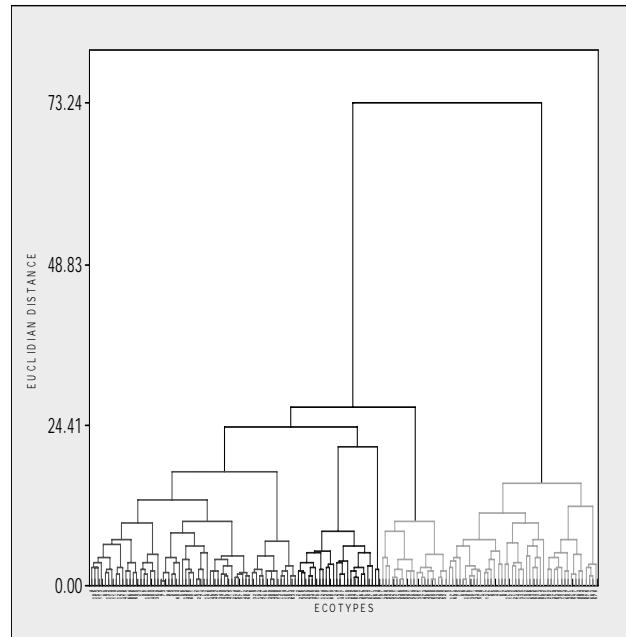
ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE LA DIVERSIDAD DEL PASTO NAVAJITA

investigación, ya que indican que la variación morfológica, observada entre los individuos recolectados, estuvo influenciada por factores ambientales, latitudinales, fenológicos, entre otros.

Los valores de los descriptores morfológicos evaluados se observan en el Cuadro 5. La altura de forraje en la diversidad genética de zacate navajita, promedió 19.8 cm con un rango de 5 a 45 cm. Sin embargo, el promedio en altura de planta fue de 63.8 cm con un rango de 17 a 89 cm. Otro de los descriptores importantes fue la densidad de tallos, la cual promedió 52.7 y varió de 3 a 186 tallos por macollo. El grosor de tallos promedió 1.64 mm y fluctuó de 0.70 a 14.0 mm. El ancho y largo de hoja promedió 1.89 mm y 12.9 cm., respectivamente. Los rangos observados fueron de 1.0 a 4.0 mm de ancho y 4.5 a 30.0 cm de largo, respectivamente. De los cinco descriptores relacionados con la inflorescencia, se describen los sobresalientes: longitud de inflorescencia mantuvo un promedio de 8.8 cm y un rango de 2.0 a 17.0 cm. El número de espigas por inflorescencia promedió 2.8 pero fluctuó de 2.0 a 4.0. La longitud de espiga promedió 4.2 mm, con un rango de 1.5 a 3.6 cm. El último descriptor fue ancho de la

Figura 2. Dendrograma del análisis de 12 variables morfológicas cuantitativas para los 145 ecotipos de zacate navajita con base en el método de ligamiento Ward

Figure 2. Dendrogram of the analysis of 12 quantitative morphological variables in 145 ecotypes of blue grama grass based on Ward's method for cluster analysis



Cuadro 5. Estadísticos de 12 características utilizadas para la descripción de 145 ecotipos del zacate navajita  
Table 5. Statistical data for 12 characteristics used to describe 145 blue grama grass ecotypes

Variable	Average	Minimum – maximum	Standard deviation
Forage height, cm	19.8	5.0 – 45.0	7.8
Plant height, cm	63.8	17.0 – 89.0	10.3
Tiller density	52.7	3.0 – 186.0	31.4
Tiller thickness (medium height), mm	1.57	0.7 – 3.0	0.60
Leaf width (center), mm	1.89	1.0 – 4.00	0.68
Leaf length (center), cm	12.9	4.5 – 30.0	4.9
Inflorescence length, cm	8.8	2.0 – 17.0	2.8
Spike number	2.8	2.0 – 4.0	0.56
Spike length, cm	3.9	1.5 – 9.0	1.04
Spike thickness, mm	4.6	3.0 – 16.0	1.4
Plant diameter, cm	11.0	2.0 – 27.0	4.4
Forage yield, g/plant*	12.3	0.3 – 48.0	10.1

\* Dry matter yield (g/plant/35 days/25 cm<sup>2</sup>).

espiga, el cual promedió 4.6 mm con un rango de 3 a 16 mm. Además, se midió el diámetro de macollo en toda la diversidad de Navajita, el cual promedió 11.0 cm pero su rango fue de 2.0 a 27 cm. La última variable que se midió fue el rendimiento de forraje, el cual mantuvo un promedio de 12.3 g planta<sup>-1</sup> en un solo corte. Este rendimiento varió de 0.3 a 48 g planta<sup>-1</sup> en un solo corte.

Al analizar las variables, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) en casi todas las variables evaluadas (Cuadro 6). Esta amplia variación fenotípica y forrajera detectada en los ecotipos recolectados, es favorable para implementar programas de mejoramiento con estas poblaciones nativas. El potencial forrajero y la gran variabilidad que se detectó en las diferentes regiones y condiciones ambientales, servirá de base para realizar una eficiente selección de ecotipos de acuerdo a los objetivos que se propongan. Estos resultados son congruentes con los obtenidos en otros estudios, donde evaluaron características morfológicas en 20 variedades de *Trichloris crinita*<sup>(29)</sup> y diferentes variedades de géneros como *Sorghum*<sup>(15)</sup>, *Bouteloua* y *Schizachyrium*<sup>(30)</sup>, entre otros.

This means that these ecotypes in accordance with the evaluated variables show similarities among them but do not show any relationship with the variables being studied. Group 4 is made up by 43 ecotypes. Subgroup 4-I groups 16 ecotypes, mainly from the areas near Parral and Cuauhtemoc. These ecotypes are characterized by showing a greater seed production potential because the variables spike thickness, inflorescence length and number of spikes show high values. Subgroup 4-II is made up by 12 ecotypes gathered in Cuauhtemoc, Buenaventura, Conchos and the El Sauz–Namiquipa highway. Subgroup 4-III includes 15 ecotypes from Parral and Cuauhtemoc. In Subgroups 4-II and 4-III the variables forage yield, tiller density and forage height show the higher values and reflect ecotypes with better forage production potential (Figure 2, Tables 3,4). When different variables are analyzed and assessed, the influence of external factors on the great variability found can be observed. Studies carried out in species of the genera *Sorghum*<sup>(15)</sup>, *Bouteloua* and *Schizachyrium*<sup>(29)</sup> concur with results obtained in the present study, as they indicate that morphological variation observed among the collected individuals is influenced among others by the environment, latitude and phenological factors.

Cuadro 6. Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para cada variable original, respecto a su componente principal, en la diversidad genética del zacate navajita recolectados en el estado de Chihuahua

Table 6. Determination coefficients ( $R^2$ ) for each original value relative to its principal component for each original variable, in genetic diversity of blue grama grass collected in Chihuahua, México

Variable	Determination coefficient ( $R^2$ )		
	CP1	CP2	CP3
Forage height, cm	0.79**	-0.49ns	-0.10ns
Plant height, cm	0.73**	-0.19*	-0.17*
Tiller density	0.81**	-0.37**	0.006ns
Tiller thickness (medium height), mm	0.13ns	0.16*	0.87**
Leaf width (center), mm	0.35**	0.0013ns	0.36**
Leaf length (center), cm	0.54**	-0.10ns	0.16*
Inflorescence length, cm	0.52**	0.59**	-0.09ns
Spike number	0.51**	0.41**	-0.28**
Spike length, cm	0.23*	-0.51**	-0.14ns
Spike thickness, mm	0.23*	0.51**	-0.19*
Tiller diameter, cm	0.61**	0.20*	0.20*
Forage yield, g/plant*	0.91**	-0.12ns	0.04ns

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los recursos genéticos de zacate Navajita recolectados en el estado de Chihuahua, presentaron alta variabilidad morfológica. Las variables densidad de tallos, rendimiento de forraje, grosor de espiga y longitud de espiga, fueron las que presentaron mayor valor descriptivo y pueden ser consideradas para diferenciar genotipos de pasto Navajita. La caracterización morfológica empleada puede ser una herramienta confiable para comparar ecotipos en poblaciones nativas del pasto Navajita. Se detectaron ecotipos con alto potencial forrajero de acuerdo a su variabilidad morfológica, por lo que se dispone de riqueza genética de este pasto, con atributos forrajeros sobresalientes para ser incluidos en programas de mejoramiento.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y a FOMIX-Gobierno del Estado-CONACYT, por el apoyo financiero para la realización de este trabajo. Al personal técnico del Sitio Experimental Campana-Madera del INIFAP.

## LITERATURA CITADA

1. Do Valle BC. Genetic resources for tropical areas: achievements and perspectives. In: Proceed of the XIX International Grassland Congress. São Pedro, São Paulo, Brazil. Brazilian Soc Anim Husb. Sociedade Brasileira de Zootecnia. 2001:477-482.
2. Quero CA, Morales NCR, Miranda L, Enríquez QJF. Recursos genéticos de gramíneas forrajeras nativas. El complejo de zacate banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr [resumen]. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. UNAM. 2003:424.
3. González-Andrés F. Caracterización de germoplasma vegetal. Curso intensivo de posgrado. En: Nieto AR. Coordinador del Curso. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Modulo 1. 2004.
4. Steiner JJ, Piccioni E, Falcinelli M, Liston A. Germplasm diversity among cultivars and the NPGS crimson clover collection. *Crop Sci* 1998;38:263-271.
5. Wu KK, Jain SK. A note on germplasm diversity in the world collection sunflower. *Economic Botany* 1977;31:72-75.
6. Tolbert DM, Qualset, CO, Jain SK, Craddock JC. A diversity analysis of a world collection of Barley. *Crop Sci* 1979;19:789-794.

Evaluated morphological variables values can be observed in Table 5. Forage height in blue grama grass averaged 19.8 cm, ranging from 5 to 45 cm. However, a 63.8 cm plant height average was obtained, ranging from 17 to 89 cm. Another important variable is tiller density, which averaged 52.7 tillers per plant (3 to 186 range). Tiller thickness averaged 1.64 mm ranging from 0.70 mm to 14.0 mm. Leaf length and width averaged 12.9 cm and 1.89 mm, respectively. Leaf width ranged from 1.0 mm to 4.0 mm and leaf length from 4.5 cm to 30.0 cm. Of the five variables linked to inflorescence, only the outstanding are described: inflorescence length averaged 8.8 cm going from 2.0 to 17.0 cm. Average number of spikes per inflorescence was 2.8, ranging between 2.0 and 4.0. Spike length averaged 3.9 mm, ranging from 1.5 to 9.0 cm. The last variable is spike width which averaged 4.6 mm, going from 3.0 to 16 mm. Also, plant diameter was measured in all the blue grama grass diversity, which averaged 11.0 cm and ranged between 2.0 and 27 cm. The last variables measured was forage yield which averaged 12.3 g plant<sup>-1</sup> in one cut, and ranged from 0.3 g to 48 g plant<sup>-1</sup>.

Significant differences were observed ( $P < 0.01$ ) in most of the evaluated variables (Table 6). The wide phenotypic and forage variation detected in the collected ecotypes, is favorable for setting seeding programs or genetic improvement programs in this species. Forage production potential and the great variability detected in different areas and environments are helpful for ecotype selection in accordance with our objectives. These results are congruent with those obtained in other studies, which evaluated morphological characteristics in 20 varieties of *Trichloris trinita*<sup>(29)</sup> and different varieties of the genera *Sorghum*, *Bouteloua* and *Schizachyrium*<sup>(30)</sup>, among others.

## CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Blue grama grass genetic resources gathered in the State of Chihuahua show high morphologic variability. The variables tiller density, forage yield, spike thickness and spike length, showed greater descriptive value and can be considered as useful for differentiating blue grama grass genotypes. The

7. Kéller-Grein G, Maass B, Hanson J. Variación natural de *Brachiaria* y bancos de germoplasma existentes. En: Miles JW, Maass BL, Do Valle CB. *Brachiaria: Biología agronomía y mejoramiento*. Publicación CIAT 1998;(295):18-45.
8. Savidan YH, Jank L, Costa JCG, Do Valle CB. Breeding *Panicum maximum* in Brazil: I Genetic resources, modes of reproduction and breeding procedures. *Euphytica* 1989;41: 107-112.
9. Morales NCR, Quero CAR, LeBlanc O, Hernández GA, Pérez PJ y González S. Caracterización de la diversidad del pasto nativo *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., mediante marcadores de AFLP. *Agrociencia* 2006;40(6):711-720.
10. Smart AJ, Moser LE, Vogel KP. Morphological characteristic of big bluestem and switchgrass plants divergently selected for seedling tiller number. *Crop Sci* 2004;44:607-613.
11. Casler MD. Ecotypic variation among switchgrass populations from the Northern USA. *Crop Sci* 2005;45:388-398.
12. Das MK, Fuentes RG, Taliaferro CM. Genetic variability and trait relationships in switchgrass. *Crop Sci* 2004;44:443-448.
13. González-Andrés F, Chávez J, Montañés G, Ceresuela JL. Characterisation of woody *Medicago* (sect. *Dendrotelis*) species, on the basis of seed and seedling morphometry. *Gen Res and Crop Evol* 1999;46:505-519.
14. Bulinska-Radomska S. Morphological relationships among 15 species of the *Trifolium* occurring in Poland. *Gen Res Crop Evol* 2000;47:267-272.
15. Ayana A, Bekele E. Multivariate analysis of morphological variation in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] germplasm from Ethiopia and Eritrea. *Gen Res Crop Evol* 1999;46:273-284.
16. Grenier C, Bramel PJ, Dahlberg JA, Ahmadi AE, Mahmoud M, Peterson GC, Rosenow DT, Ejeta G. Sorghums of the Sudan: analysis of regional diversity and distribution. *Gen Res Crop Evol* 2004;51:489-500.
17. Herrera AY. Las gramíneas de Durango. Instituto Politécnico Nacional. CONABIO. Durango, Dgo. 2001.
18. Morales NCR. Características de los principales zacates forrajeros para zonas áridas. 1ra ed. Campo Exp. La Campana. CIRNOC-INIFAP. Chihuahua, Chih. 1994.
19. Lebgue KT. Gramíneas de Chihuahua. Manual de Identificación. 3ª ed. Chihuahua, México: Textos Universitarios. Universidad Autónoma de Chihuahua; 2002.
20. Morales NCR, Quero CAR, 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.
21. SAS. SAS User's guide: Statistics (Version 8 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1999.
22. McCune B, Mefford MJ. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data version 3.0. MjM software Design. Glenden Beach, OR. 1997.
23. Johnson RA. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. México. International Thomson editores; 2000.
24. Bennett SJ. A phenetic analysis and lateral key of the genus *Lolium* (Gramineae). *Gen Res Crop Evol* 1997;44:93-102.

morphological characterization used in this study can be a reliable tool for comparing blue grama grass ecotypes in native populations. Ecotypes showing high forage potential in accordance with their morphological variability were detected. Therefore, genetic variability for this grass is available having enough outstanding forage attributes that can be profited in range improvement programs.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thanks the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) and FOMIX-Gobierno del Estado de Chihuahua-CONACYT for funding this study. They also are grateful to the technical staff of INIFAP's Campana-Madera Experimental Site for their invaluable support.

*End of english version*

- 
25. Bennett SJ, Hayward MD, Marshall DF. Morphological differentiation in four species of the genus *Lolium*. *Gen Res Crop Evol* 2000;47:247-255.
  26. Fernandez YSN, Coulman BE. Genetic relationships among smooth brome grass cultivars of different ecotypes detected by AFLP markers. *Crop Sci* 2004;44:241-247.
  27. Do Valle CB. Colecao de germoplasma de especies de *Brachiarias*. NO CIAT: Estudos básicos visando ao melhoramento genético. Campo Grande, EMBRAPA-CNPQC. 1988.
  28. Casler MD. Patterns of variation in a collection of perennial ryegrass accessions. *Crop Sci* 1995;35:1169-1177.
  29. Cavagnano PF, Cavagnano JB, Lemes JL, Masuelli RW, Passera CB. Genetic diversity among varieties of the native forage grass *Trichloris crinita* based on AFLP markers, morphological characters, and quantitative agronomic traits. *Genome* 2006;49:906-918.
  30. Phan AT, Smith SR. Seed yield variation in blue grama and little bluestem plant collections in southern Manitoba, Canada. *Crop Sci* 2000;40:555-561.