



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Sánchez Gutiérrez, Ricardo Alonso; Morales Nieto, Carlos Raúl; Hanson, Jean;
Santellano Estrada, Eduardo; Jurado Guerra, Pedro; Villanueva Avalos, José Francisco;
Melgoza Castillo, Alicia

Caracterización forrajera de ecotipos de zacate buffel en condiciones de temporal en
Debre Zeit, Etiopía

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 8, núm. 1, enero-febrero, 2017, pp. 13-24

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149891002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Caracterización forrajera de ecotipos de zacate buffel en condiciones de temporal en Debre Zeit, Etiopía*

Forage characterization of ecotypes of buffel grass under temporary conditions in Debre Zeit, Ethiopia

Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez^{1,2}, Carlos Raúl Morales Nieto^{1§}, Jean Hanson³, Eduardo Santellano Estrada¹, Pedro Jurado Guerra⁴, José Francisco Villanueva Avalos⁵ y Alicia Melgoza Castillo¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua- Facultad de Zootecnia y Ecología. Periférico Francisco R. Almada, kilómetro 1. Chihuahua, Chihuahua, México. CP. 31000. Tel. 614 1320298. ²Campo Experimental Zacatecas-INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km 24.5. Calera de V. R., Zacatecas. CP. 98500. ³ILRI- Forage Diversity, Addis Ababa, Ethiopia, PO. Box 5689. ⁴Campo Experimental Campana-Madera-INIFAP. Carretera Chihuahua-Ojinaga, km 33.3. ⁵ Campo Experimental Verdileño- INIFAP. Av. Insurgentes Núm. 1050. Col. Menchaca Tepic, Nayarit, México. [§]Autor de correspondencia: cnieto@uach.mx.

Resumen

Se evaluó la variabilidad del potencial de producción y calidad del forraje de 126 ecotipos de zacate buffel [*Pennisetum ciliare* (L.) Link], de temporal en Debre Zeit, Etiopía. La precipitación media anual es de 850 mm. La unidad experimental fue un surco de 5 m de longitud con 0.4 m entre plantas. Las variables evaluadas fueron: producción de forraje (PF), altura de planta (AP), largo y ancho de hoja (LH y AH), número de tallos (NT), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro y ácido (FDN y FDA) y digestibilidad in vivo de la materia orgánica (DIVMO). Se realizó análisis de correlación, componentes principales, análisis de agrupamiento, análisis discriminante y análisis multivariado de la varianza (Manova). Los valores máximos y mínimos fueron: PF de 1 302.37 a 7 442.7 kg MS ha⁻¹, AP de 47.7 a 104.48 cm, LH y AH de 12.1 a 33.5 cm y 0.45 a 2.06 cm, respectivamente. El NT fluctuó desde 30 hasta 125, FDN y FDA de 65.3 a 73.79% y 31.8 a 44.5%, respectivamente y DIVMO de 67.9 a 80.67%. Se presentó una correlación lineal directa entre PC y DIV ($r_{xy} = 0.75; p < 0.0001$). Los tres primeros componentes explicaron más de 76% de la variación total descrita por las nueve variables. Se encontró que ocho ecotipos y una variedad fueron los que presentaron mayor potencial de producción y calidad de forraje para condiciones de temporal.

Abstract

The variability in forage yield and quality of 126 buffel grass ecotypes [*Pennisetum ciliare* (L.) Link] was evaluated under temporary conditions in Debre Zeit, Ethiopia. The average annual rainfall is 850 mm. The experimental unit was a 5 m long furrow with 0.4 m between plants. The variables evaluated were: forage production (PF), plant height (AP), leaf length and width (LH and AH), number of stalks (NT), crude protein (PC), acid and neutral detergent fiber (FDN y FDA) and in vivo digestibility of organic matter (DIVMO). The correlation analysis, main components, cluster analysis, discriminant analysis and multivariate analysis of variance (Manova) were performed. The maximum and minimum values that were observed were: FP of 1 302.37 to 7 442.7 kg MS ha⁻¹, AP of 47.7 to 104.48 cm, LH and AH of 12.1 to 33.5 cm and 0.45 to 2.06 cm, respectively. The NT fluctuated from 30 to 125, FDN and FDA from 65.3 to 73.79% and 31.8 to 44.5%, respectively, and DIVMO from 67.9 to 80.67%. A direct linear correlation between PC and DIV was presented ($r_{xy} = 0.75; p < 0.0001$). The first three components explained more than 76% of the total variation described by the nine variables. It was found that eight ecotypes and one variety were those that presented greater production potential and forage quality for temporary conditions.

* Recibido: enero de 2017
Aceptado: febrero de 2017

Palabras clave: calidad forrajera, diversidad, fenotipo, pasto forrajero.

Keywords: diversity, forage grass, forage quality, phenotype.

Introducción

En la ganadería extensiva la diversidad de recursos forrajeros representa la principal fuente de alimentación para el ganado. Mantener y conservar la biodiversidad es importante, ya que su pérdida generaría problemas en la alimentación, tanto animal como humana (Heywood, 2008). Además, se ha estimado que el Continente Africano será más susceptible a los efectos del cambio climático y en especial, se tendrán impactos significativos en poblaciones de especies nativas (Hoffman y Vogel, 2008). Una especie perenne importante en los pastizales de África es el pasto buffel [*Pennisetum ciliare* (L.) Link]. En este país existe gran variabilidad genética y es considerado como centro de origen de varias especies de este género (Gutiérrez-Ozuna *et al.*, 2009; Burson *et al.*, 2012).

El zacate buffel es un pasto de crecimiento C₄ y es una de las mejores gramíneas forrajeras del subtrópico de África. Es ampliamente utilizada en regiones áridas, semiáridas y desérticas del mundo (Dixon y Coates, 2010; Carvalho de Silva *et al.*, 2011; Marshall *et al.*, 2012). Se caracteriza por tener buena producción de forraje (Gómez de la Fuente *et al.*, 2007), evita la erosión del suelo (Bhattarai *et al.*, 2008) y es tolerante a sequías (Quiroga *et al.*, 2013).

El zacate buffel crece bien en terrenos planos con lomeríos suaves y suelos profundos con buen drenaje. Se adapta a un amplio rango de tipo de suelos, con un pH desde neutro hasta ligeramente alcalino (Marshall *et al.*, 2012); sin embargo, existen variedades o ecotipos con alta tolerancia a suelos alcalinos (Griffa *et al.*, 2010). La temperatura óptima para el desarrollo es de 35 °C con un rango de 20 a 45 °C; sin embargo, se ha reportado que llega a tolerar los 50 °C (De la Barrera y Castellanos, 2007). Se considera un pasto con baja tolerancia a las heladas pero las plantas llegan a morir a temperaturas igual o menor a -2 °C (Ludlow, 1980). Se establece bien en regiones donde la precipitación mantiene un rango de 150 hasta 700 mm (Ward *et al.*, 2006).

Jorge *et al.* (2008), al caracterizar en Etiopía descriptores agro-morfológicos de 68 ecotipos de zacate buffel, sugirieron evaluar la diversidad de esta especie en condiciones de temporal e identificar ecotipos con buen

Introduction

In extensive livestock, the diversity of forage resources represents the main source of feed for livestock. Maintaining and conserving biodiversity is important, since its loss would lead to food problems, both animal and human (Heywood, 2008). In addition, it has been estimated that the African continent will be more susceptible to the effects of climate change and in particular, will have significant impacts on populations of native species (Hoffman and Vogel, 2008). An important perennial species in African grasslands is the buffel grass [*Pennisetum ciliare* (L.) Link]. In this country there is great genetic variability and is considered the center of origin of several species of this genus (Gutiérrez-Ozuna *et al.*, 2009; Burson *et al.*, 2012).

The buffel grass is a C₄ growth grass and is one of the best forage grasses in the subtropics of Africa. It is widely used in arid, semi-arid and desert regions of the world (Dixon and Coates, 2010; Carvalho de Silva *et al.*, 2011; Marshall *et al.*, 2012). It is characterized by good forage production (Gómez de la Fuente *et al.*, 2007), avoids soil erosion (Bhattarai *et al.*, 2008) and is tolerant to drought (Quiroga *et al.*, 2013).

The grass buffel grows well on flat terrain with soft hills and deep soils with good drainage. It adapts to a wide range of soil types, with a pH from neutral to slightly alkaline (Marshall *et al.*, 2012); however, there are varieties or ecotypes with high tolerance to alkaline soils (Griffa *et al.*, 2010). The optimum temperature for development is 35 °C with a range of 20 to 45 °C; however, it has been reported that it tolerates 50 °C (De la Barrera and Castellanos, 2007). It is considered a grass with low frost tolerance but plants die at temperatures equal to or lower than -2 °C (Ludlow, 1980). It is well established in regions where precipitation maintains a range ranging from 150 to 700 mm (Ward *et al.*, 2006).

Jorge *et al.* (2008), characterizing in agro-morphological descriptors of 68 ecotypes of buffel grass, in Ethiopia suggested to evaluate the diversity of this species in temporal conditions and to identify ecotypes with good forage potential for their livestock use. In addition, there is a germplasm bank in Ethiopia belonging to ILRI (International Livestock Research

potencial forrajero para su uso pecuario. Además, en Etiopía existe un banco de germoplasma que pertenece al ILRI (International Livestock Research Institute) que dispone de 126 ecotipos de zacate buffel. Por lo anterior, se planteó la presente investigación, cuyo objetivo fue evaluar la variabilidad en el potencial de producción y calidad del forraje de 126 ecotipos de pasto buffel, en condiciones de temporal en Debre Zeit, Etiopía.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Debre Zeit del International Livestock Research Institute (ILRI) en Etiopía, África. El sitio se localiza a 56 km al suroeste de la capital de Addis Abeba en las coordenadas 8° 44' latitud norte y 30° 58' E. La altitud es de 1 850 msnm. La precipitación media anual es de 850 mm con mayor presencia de junio a septiembre pero en el año 2014 solo se registró 86.6% (499 mm) de lo esperado (Figura 1). El tipo de suelo es vertizol con un pH de 7. En un banco de germoplasma *ex situ* localizado en la Estación Experimental Zwai del ILRI, se seleccionaron 126 ecotipos y variedades de pasto buffel. De cada planta se seleccionaron clones de una pulgada de diámetro y se trasplantaron el 25 de junio de 2014, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Se utilizaron tres repeticiones en surcos de 0.75 m de ancho por 5 m de largo, con base en la metodología recomendada por Morales (2009).

En plantas espaciadas a 0.4 m y con un total 12 plantas por surco, se utilizaron las ocho centrales para medición de descriptores. El primer corte se dio a los dos meses después del trasplante para homogeneizar parcelas y se mantuvieron en condiciones de temporal. Se aplicaron 200 kg de nitrógeno y 60 kg de fósforo ha⁻¹. La semilla utilizada procedía de Botswana, DR Congo, Etiopía, Kenia, Mauritania, Namibia, Nigeria, Somalia, Sudáfrica, Tanzania, Uganda, Zimbabwe. Además, se incluyeron las variedades American, Biloela, Boorara, Gayndah, Karasberg, Nunbank, Towoomba, Kongwa, Palsana y Viva (Cuadro 1).

Para evaluar las variables se realizaron dos cortes: el primero a los 45 d después del corte de homogeneización (7 octubre de 2014) y el otro a los 45 días después del primer corte (11 de noviembre de 2014). Las variables fueron: producción de forraje (PF), altura de planta (AP), largo de hoja (LH), ancho

Institute), which has 126 ecotypes of buffel grass. Due to the above, the present research was proposed, whose objective was to evaluate the variability in the production potential and forage quality of 126 ecotypes of buffel grass, under temporary conditions in Debre Zeit, Ethiopia.

Materials and methods

This research was carried out at the Debre Zeit Experimental Station of the International Livestock Research Institute (ILRI) in Ethiopia, Africa. The site is located 56 km southwest of the capital of Addis Ababa at coordinates 8° 44' north latitude and 30° 58' E. The altitude is 1 850 m. The average annual precipitation is 850 mm with a higher presence in the months of June to September, but in 2014 only 86.6% (499 mm) was recorded than expected (Figure 1). The soil type is vertisol with a pH of 7. In an *ex situ* germplasm bank located at the ILRI of Zwai Experimental Station, 126 ecotypes and buffel grass varieties were selected. From each plant, one-inch diameter clones were selected and transplanted on June 25, 2014, under a randomized complete block experimental design. Three replicates were used in furrows of 0.75 m wide by 5 m long, based on the methodology recommended by Morales (2009).

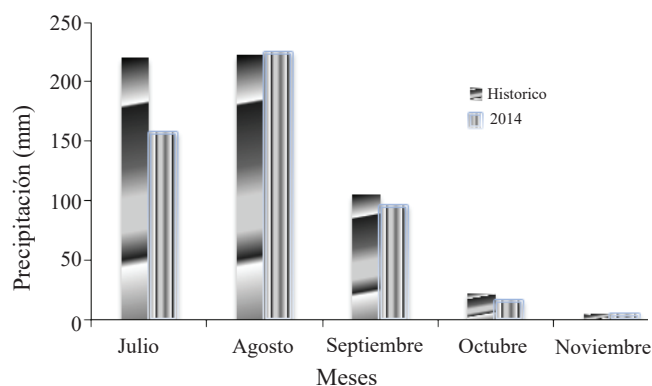


Figura 1. Precipitación (mm) media mensual histórica (1951-2003) y mensual de 2014 en la Estación Experimental Debre Zeit, Etiopía, África.

Figure 1. Historical monthly average precipitation (mm) (1951-2003) and monthly of 2014 at the Debre Zeit Experimental Station, Ethiopia, Africa.

In spice plants at 0.4 m and with a total of 12 plants per row, the eight plants were used to measure descriptors. The first cut was given two months after the transplant to homogenize

Cuadro 1. Datos de origen de los ecotipos y variedades de zacate buffel (*Pennisetum ciliare*), utilizados para la caracterización.**Table 1. Origin data of ecotypes and varieties of buffel grass (*Pennisetum ciliare*), used for characterization.**

E ¹	V ²	P ³	E ¹	V ²	P ³	E ¹	V ²	P ³	E ¹	V ²	P ³
715			13290		Kenia	19367		Botswana	19425		Tanzania
777		Tanzania	13292		Kenia	19368		Botswana	19431		
894		Tanzania	13299		Kenia	19369		Botswana	19432		Uganda
914		Tanzania	13404		Etiopía	19371		Botswana	19439		Kenia
2043		Etiopía	13406		Etiopía	19372		Botswana	19440		Kenia
2120		Etiopía	13407		Etiopía	19379	Viva	Uganda	19442		Zimbabwe
2122		Etiopía	13461		Etiopía	19380			19447		Sudáfrica
2125		Etiopía	13551		Etiopía	19382			19448		Sudáfrica
2136		Etiopía	13559		Etiopía	19387		Tanzania	19450		Sudáfrica
2150		Etiopía	13562		Etiopía	19388		Tanzania	19451		Botswana
6612	Nunbank	Uganda	13563		Etiopía	19389		Tanzania	19452		Botswana
6637		Zimbabwe	15687		Mauritania	19390		Tanzania	19453		Sudáfrica
6640		Tanzania	15688		Mauritania	19392		Tanzania	19454		Zimbabwe
6642		Tanzania	16570		Namibia	19394		Tanzania	19455		Namibia
6644	Kongwa	Tanzania	16583		Namibia	19395		Tanzania	19456		
6645	Gayndah	Kenia	16598		Namibia	19397		Tanzania	19457		
6646	Biloela	Tanzania	16609		Namibia	19398		Tanzania	19458		
6647		Zimbabwe	16630		Namibia	19400		Tanzania	19459		
6649	Boorara		16656		Namibia	19401		Tanzania	19460		
6652	American	Kenia	16660		Namibia	19404		Tanzania	19461		
7143	Molopo		16675		Nigeria	19405		Tanzania	19462		
7146	Palsana		16855		Nigeria	19406		Tanzania	19464		Sudáfrica
8306		Etiopía	16868		Nigeria	19409		Tanzania	19465		Somalia
9162		Etiopía	18066			19411		Tanzania	19467		Somalia
9759		Etiopía	18069		Botswana	19412		Tanzania	19470		Somalia
12769		Kenia	18071		Botswana	19413		Tanzania	19472		
12771		Kenia	18073		Botswana	19414		Tanzania	19473		Sudáfrica
12787		Kenia	18077		Botswana	19417		Tanzania	19474		Sudáfrica
12884		Kenia	18094		Botswana	19418		Tanzania	19476		Sudáfrica
13121		Kenia	18108		Botswana	19420		Tanzania	19479	Karasberg	Namibia
13284		Kenia	18123		Botswana	19421		Tanzania	19480	Towoomba	Sudáfrica
13288		Kenia	19366		RD Congo						

E¹= ecotipo; V²= variedad; P³= país.

de hoja (AH) y número de tallos (NT). Para la producción de forraje se cortó la parcela útil a 10 cm del suelo, se pesó y se tomaron 300 g de muestra. Éstas fueron colocadas en una estufa de aire forzado durante 72 h a 60 °C para su secado y así determinar el porcentaje de materia seca.

plots and were kept in temporary conditions. The 200 kg of nitrogen and 60 kg of ha⁻¹ phosphorus were applied. The seeds used came from Botswana, DR Congo, Ethiopia, Kenya, Mauritania, Namibia, Nigeria, Somalia, South Africa, Tanzania, Uganda, Zimbabwe.

Con el peso del forraje verde y el contenido de materia seca se determinó PF. La AP se midió desde el nivel del suelo hasta la punta de la inflorescencia en tres plantas de la parcela útil de cada repetición.

Para LH y AH se seleccionó la segunda o tercera hoja debajo de la hoja bandera y para LH la medición fue desde la lígula hasta la punta de la hoja. Para AH se midió la parte central de la hoja de las tres plantas por repetición donde se determinaron las alturas. Tres días después del corte se seleccionaron tres macollos de la parcela y se contó el NT cosechados. Las muestras de forraje se molieron en el Laboratorio de Nutrición del ILRI y se almacenaron en bolsas de papel. Para el análisis bromatológico se utilizó el NIRS® (Near Infrared Reflectance Spectroscopy; Park *et al.*, 1998) y las variables obtenidas fueron proteína cruda (PC), fibra detergente neutro y ácido (FDN y FDA) y digestibilidad in vivo de la materia orgánica (DIVMO).

Para observar relaciones entre variables se estimó el coeficiente de correlación de Pearson y se usó el procedimiento CORR del paquete SAS® (SAS, 2006). Además, se realizó un análisis de componentes principales utilizando el procedimiento PRINCOMP (SAS, 2006) y un análisis de conglomerados jerárquico, usando el procedimiento CLUSTER (SAS, 2006). El método de agrupamiento fue Ward y se eligieron los grupos con base en el PSt² (pseudo estadístico t²). También, para determinar las variables con mayor poder discriminante se utilizó el procedimiento STEPDISC (SAS, 2006) y mediante el procedimiento DISCRIM (SAS, 2006) se analizó una función discriminante para determinar la probabilidad de que un ecotipo perteneciera a su grupo. Por último, se realizó un análisis multivariado de la varianza (MANOVA) para observar si existieron diferencia ($p < 0.05$) entre grupos, la referencia fue el estadístico Lambda de Wilks.

Resultados y discusión

Los 126 ecotipos de zacate buffel presentaron amplia diversidad en descriptores agronómicos, morfológicos y nutricionales. Los rangos de producción de forraje fluctuaron desde 1 302.37 hasta 7442.7 kg MS ha⁻¹ y fue la variable que presentó mayor desviación estándar con 1 288.45 kg MS ha⁻¹. La segunda variable fue NT con un rango desde 30 hasta 125, con una desviación estándar de 21 tallos. Los rangos obtenidos en AH anduvieron desde 0.45 hasta

In addition were included varieties, American, Biloela, Boorara, Gayndah, Karasberg, Nunbank, Towoomba, Kongwa, Palsana and Viva (Table 1).

To evaluate the variables, two cuts were made: the first one at 45 d after the homogenization cut (october 7, 2014) and the other at 45 days after the first cut (november 11, 2014). The variables were: forage production (PF), plant height (AP), leaf length (LH), leaf width (AH) and number of stems (NT). For forage production the useful plot was cut to 10 cm from the ground, weighed and 300 g of sample were taken. These were placed in a forced air oven for 72 h at 60 °C for drying and to determine the percentage of dry matter. With the green forage weight and the dry matter content, PF was determined. The AP was measured from the soil level to the tip of the inflorescence in three plants of the useful plot of each replicate.

For LH and AH, the second or third leaf was selected under the flag leaf and for LH the measurement was from the ligule to the tip of the leaf. For AH, the central part of the leaf of the three plants was measured per repetition where the heights were determined. Three days after cutting three tillers were selected from the plot and NT harvested was counted. The forage samples were ground in the ILRI Nutrition Laboratory and stored in paper bags. For the bromatological analysis, the NIRS® (Near Infrared Reflectance Spectroscopy; Park *et al.*, 1998) and the variables obtained were crude protein (PC), neutral detergent fiber and acid (FDN and FDA) and in vivo digestibility of organic matter (DIVMO).

In order to observe relations between variables, the Pearson correlation coefficient was estimated and the procedure CORR of the SAS® package was used (SAS, 2006). In addition, a principal component analysis was performed using the PRINCOMP procedure (SAS, 2006) and a hierarchical cluster analysis using the CLUSTER procedure (SAS, 2006). The grouping method was Ward and groups were chosen based on PSt² (pseudo-statistical t²). Also, to determine the variables with the highest discriminant power, the STEPDISC procedure was used (SAS, 2006) and a discriminant function was analyzed through the DISCRIM procedure (SAS, 2006) to determine the probability of an ecotype belonging to its group. Finally, a multivariate analysis of the variance (MANOVA) was performed to observe if there were differences ($p < 0.05$) between groups, the reference was the Lambda statistic of Wilks.

2.06 cm y su desviación estándar fue de 0.18 cm. También, la proteína cruda mostró un rango desde 12.7 hasta 17.6% con una desviación estándar de 0.94% (Cuadro 2).

Estos rendimientos de forraje son congruentes con los reportados en distintas regiones agrológicas de México, donde las investigaciones realizadas reportan rendimientos de 1.2 hasta 11.4 t ha⁻¹ (Mariano *et al.*, 2011; Peña del Río *et al.*, 2011; Terrazas y Chávez, 2011). Pengelly *et al.* (1992) estudiaron 322 ecotipos de zacate buffel y obtuvieron alturas de planta que fluctuaron de 44 hasta 116 cm, que fueron similares a los resultados logrados en esta investigación.

Cuadro 2. Media, valor máximo y mínimo, varianza y desviación estándar de la colección de buffel (*Pennisetum ciliare*).

Table 2. Mean, maximum and minimum value, variance and standard deviation of the buffel collection (*Pennisetum ciliare*).

Características	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Varianza	Desviación estandar
PF (kg ha ⁻¹)	3575.24	7442.7	1302.37	1660111.36	1288.45
AP (cm)	71.76	104.48	47.73	116.87	10.81
LH (cm)	22.22	33.46	12.09	25.21	5.02
AH (cm)	0.85	2.06	0.45	0.03	0.18
NT	72.09	126.02	30.41	449.16	21.19
PC (%)	14.85	17.62	12.70	0.88	0.94
FDN (%)	68.85	73.39	65.31	2	1.41
FDA (%)	39.24	44.48	31.84	3.36	1.83
DIVMO (%)	73.34	80.65	67.93	8.55	2.92

PF= Producción de forraje; AP= altura de planta; NT= número de tallos; LH= largo de hoja; AH= ancho de hoja; PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácida; DIVMO= digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica.

Con respecto a largo y ancho de hoja, los resultados coinciden con los reportados en un estudio, donde se evaluaron la diversidad de 68 ecotipos de zacate buffel (Jorge *et al.*, 2008) y obtuvieron longitudes de hojas de 1.5 hasta 30 cm y ancho de hoja de 3 hasta 8 mm.

Al analizar las características nutricionales de estos ecotipos de zacate buffel durante el crecimiento, se obtuvieron resultados distintos a otros trabajos de investigación, ya que para PC los rangos que reportan fluctuaron de 6 a 9%, DIVMO de 55 a 60%, FDN desde 73.7 hasta 76% y FDA desde 46.05 hasta 47% (Jacobs *et al.*, 2004; Carvalho de Silva *et al.*, 2011). Estos bajos valores nutricionales se deben tal vez a que la dosis de fertilización utilizada fue menor. Sin embargo, estos resultados representan una oportunidad para su inclusión en programa de mejoramiento genético.

Results and discussion

The 126 ecotypes of buffel grass presented wide diversity in agronomic, morphological and nutritional descriptors. The forage production ranged from 1 302.37 to 7442.7 kg MS ha⁻¹ and was the variable with the highest standard deviation with 1 288.45 kg MS ha⁻¹. The second variable was NT with a range from 30 to 125, with a standard deviation of 21 stems. The ranges obtained in AH ranged from 0.45 to 2.06 cm and their standard deviation was 0.18 cm. Also, the crude protein showed a range from 12.7 to 17.6% with a standard deviation of 0.94% (Table 2).

These forage yields are congruent with those reported in different agronomic regions of Mexico, where yields are reported from 1.2 to 11.4 t ha⁻¹ (Mariano *et al.*, 2011; Peña del Río *et al.*, 2011; Terrazas and Chávez, 2011). Pengelly *et al.* (1992) studied 322 ecotypes of buffel grass and reported plant heights ranging from 44 to 116 cm, which were similar to those obtained in this research. With respect to leaf length and width, the results coincide with those reported in one study, where they evaluated the diversity of 68 ecotypes of buffel grass (Jorge *et al.*, 2008) and obtained leaf lengths of 1.5 to 30 cm and width of sheet from 3 to 8 mm.

When analyzing the nutritional characteristics of these ecotypes of buffel grass during the growth stage, different results were obtained from other research papers, since for PC the reported ranges fluctuated from 6 to 9%, DIVMO

Al realizar el análisis de correlación (Cuadro 3) se observaron relaciones significativas ($p < 0.05$) entre las variables. La producción de forraje (PF) se asoció positivamente con altura de planta (AP; $r_{xy} = 0.66$) y largo de hoja (LH; $r_{xy} = 0.62$). Además, altura de planta se asoció positivamente con LH ($r_{xy} = 0.58$). También, el coeficiente de correlación entre proteína cruda y DIVMO presentó una relación positiva alta ($r_{xy} = 0.75$). Sin embargo, la PC se relacionó negativamente con FDA ($r_{xy} = -0.596$) y para FDN esta relación resultó positiva con FDA ($r_{xy} = 0.62$). De acuerdo a lo anterior, Jorge *et al.*, 2008 reportaron una asociación positiva entre AP y LH en zacate buffel.

from 55 to 60%, FDN from 73.7 to 76% and FDA from 46.05 to 47% (Jacobs *et al.*, 2004; Carvalho de Silva *et al.*, 2011). These low nutritional values reported are probably due to the lower fertilization rate used. However, these results represent a good opportunity for inclusion in a genetic improvement program.

The correlation analysis (Table 3) revealed significant relationships ($p < 0.05$) between the variables. The forage production (PF) was positively associated with plant height (AP; $r_{xy} = 0.66$) and leaf length (LH; $r_{xy} = 0.62$). In addition, plant height was positively associated with LH ($r_{xy} = 0.58$).

Cuadro 3. Coeficiente de correlación entre variables agronómicas, morfológicas y nutricionales de 126 ecotipos de zacate buffel (*Pennisetum ciliare*).

Table 3. Coefficient of correlation between agronomic, morphological and nutritional variables of 126 ecotypes of buffel grass (*Pennisetum ciliare*).

Propiedades	PF	AP	LH	AH	NT	PC	FDN	FDA	DIV
PF	1								
AP	0.659**	1							
LH	0.618**	0.584**	1						
AH	0.479**	0.494**	0.543**	1					
NT	0.476**	0.171	0.152	0.031	1				
PC	-0.123	-0.268*	0.156	0.08	-0.097	1			
FDN	-0.043	0.255*	-0.144	-0.13	-0.18*	-0.51**	1		
FDA	0.108	0.434**	0.052	0.021	-0.078	-0.59**	0.616**	1	
DIVMO	0.044	-0.128	0.167	0.038	0.111	0.751**	-0.49**	-0.54**	1

PF= producción de forraje; AP= altura de planta; NT= número de tallos; LH= largo de hoja; AH= ancho de hoja; PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácida; DIVMO= digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica; * = ($p < 0.05$); ** = ($p < 0.0001$).

Con respecto a las características nutritivas, Jacobs *et al.* (2004) reportaron que en incrementos de PC la digestibilidad *in vivo* aumenta y se observa una disminución en FDN. Estos resultados son congruentes con los obtenidos en esta investigación, ya que muestran que ecotipos con mayor altura de planta y longitud de hoja, producen más forraje. Sin embargo, los materiales con mayor porcentaje de proteína cruda, contienen menos FDA y por tanto son más digestibles.

El análisis de componentes principales (ACP) mostró que los primeros tres explicaron 76% de la variación agronómica, morfológica y nutricional observada en 126 ecotipos de zacate buffel. Al obtener el coeficiente de correlación (r) las variables que se asociaron al CPI de manera positiva fueron: altura de planta, proteína cruda y digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica, mientras que fibra detergente neutro y ácida

Also, the correlation coefficient between crude protein and DIVMO showed a high positive relation ($r_{xy} = 0.75$). However, PC was negatively related to FDA ($r_{xy} = -0.596$) and for FDN this was found to be positive with FDA ($r_{xy} = 0.62$). According to the above, Jorge *et al.*, 2008 reported a positive association between AP and LH in buffel grass.

As regards nutritional characteristics, Jacobs *et al.* (2004) reported that in increments of PC the digestibility *in vivo* increases and is observed a decrease in FDN. These results are congruent with those obtained in this research, since they show that ecotypes with higher plant height and longer leaf length tend to produce more fodder. However, materials with higher percentage of crude protein, contain less FDA and therefore are more digestible.

se asociaron de forma negativa. En el CP2 se relacionaron variables como forraje seco y largo y ancho de hoja, sin embargo, el CP3 agrupó solo al número de tallos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Correlación de variables respecto a los componentes principales y la contribución de la varianza en 126 ecotipos de zacate buffel (*Pennisetum ciliare*).

Table 4. Correlation of variables with respect to the main components and the contribution of the variance in 126 ecotypes of buffel grass (*Pennisetum ciliare*).

Variables	Coeficiente de correlación (rxy)		
	CP1	CP2	CP3
PF	0.539**	0.693**	-0.248**
AP	0.762**	0.456**	0.125
LH	0.363**	0.757**	0.229*
AH	0.346**	0.632**	0.376**
NT	0.142	0.391*	-0.859**
PC	-0.717**	0.471**	0.282**
FDN	0.599**	-0.524**	0.148
FDA	0.771**	-0.352**	0.114
DIVMO	-0.622**	0.558**	0.042
Eigenvector	3	2.74	1.13
Acumulada	0.33	0.64	0.76

PF= producción de forraje; AP= altura de planta; NT= número de tallos; LH= largo de hoja; AH= ancho de hoja; PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácida; DIVMO= digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica; *=(*p*< 0.05); **=(*p*< 0.0001).

Las variables agrupadas por el CP1 relacionan al valor nutritivo de los ecotipos de buffel. Por lo tanto, este componente refleja un alto índice de calidad nutritiva en estos materiales. El CP2 incluye variables relacionadas con producción de biomasa, por lo tanto, este componente refleja un índice de potencial de forraje en estos ecotipos. Este comportamiento que mostraron los componentes principales, es similar a trabajos realizados por M’Seddi *et al.* (2002) y Griffa *et al.* (2012) en poblaciones de zacate buffel. Además, Morales *et al.* (2009) al evaluar la diversidad de 173 ecotipos de *Bouteloua gracilis* reportan que las variables de mayor contribución en la explicación de la variación morfológica fueron rendimiento de forraje, densidad de tallos y altura de forraje.

La Figura 2 muestra la distribución de los ecotipos de buffel en los dos primeros componentes principales. Se observa que en el cuadrante I están posicionados ecotipos con

The principal components analysis (ACP) showed that the first three explained 76% of the agronomic, morphological and nutritional variation observed in the 126 ecotypes of buffel grass. When the correlation coefficient (*r*) was obtained, the variables that were positively associated with CP1 were: plant height, crude protein and *in vivo* digestibility of organic matter, while neutral and acid detergent fiber were negatively associated. In CP2, variables such as dry and long forage and leaf width were related, however, CP3 grouped only the number of stems (Table 4).

The variables grouped by CP1 relate to the nutritional value of the buffel ecotypes. Therefore, this component reflects a high index of nutritional quality in these materials. The CP2 includes variables related to biomass production, therefore, this component reflects an index of forage potential in these ecotypes. This behavior, which showed the main components, is similar to works performed by M’Seddi *et al.* (2002) and Griffa *et al.* (2012) in populations of buffel grass. In addition, Morales *et al.* (2009) in evaluating the diversity of 173 ecotypes of *Bouteloua gracilis* report that the variables of greatest contribution in explaining the morphological variation were yield of forage, stem density and forage height.

In the Figure 2 shows the distribution of the buffel ecotypes in the first two main components. It is observed that in the quadrant I are positioned ecotypes with higher production of forage and with low content of PC. The ecotypes present in the quadrant II are characterized by being materials with forage production and low digestibility. The ecotypes located in the III quadrant are characterized by having the lowest stem density and higher crude protein content. Finally, in the IV quadrant ecotypes were found that contain the highest values of PC and DIVMO.

With the hierarchical grouping using the Ward linkage method, it integrated five large groups (Figure 2). The Manova ratified the previous one by means of the statistic of Lambda of Wilks’ that showed statistical multivariate difference between groups (*p*< 0.0001).

The group I integrated 28 materials of which 22 are ecotypes and the rest of varieties American, Gayndah, Karasberg, Kongwa, Towoomba and Viva. These materials were characterized by medium-low forage yields, as the average forage yield was 3.126 kg MS ha⁻¹, with a standard deviation of 196 kg. The mean plant height in this group was 69.76 cm, with a leaf length and width of 21.31 and 0.81 cm, respectively.

mayor producción de forraje y con bajo contenido de PC. Los ecotipos presentes en el cuadrante II se caracterizan por ser materiales con producción forrajera y digestibilidad baja. Los ecotipos ubicados en el cuadrante III se caracterizan por tener la menor densidad de tallos y mayor contenido de proteína cruda. Finalmente, en el cuadrante IV se localizaron los ecotipos que contienen los valores más altos de PC y DIVMO.

Con el agrupamiento jerárquico mediante el método de ligamiento Ward, integró cinco grandes grupos (Figura 2). El Manova ratificó lo anterior mediante el estadístico de Lambda de Wilks' que mostró diferencia estadística multivariada entre grupos ($p < 0.0001$).

El grupo I integró 28 materiales de los cuales 22 son ecotipos y el resto de las variedades American, Gayndah, Karasberg, Kongwa, Towomba y Viva. Estos materiales se caracterizaron por tener rendimientos de forraje medio-bajo, ya que la media en producción de forraje fue $3\,126\text{ kg MS ha}^{-1}$, con una desviación estándar de 196 kg . El promedio de altura de planta en este grupo fue de 69.76 cm , con un largo y ancho de hoja de 21.31 y 0.81 cm , respectivamente. El número de tallos promedio fue de 79. La proteína cruda en promedio fue de 14.8% . Para la fibra detergente neutro y acida los promedios fueron de 68.7 y 39.1% , respectivamente. Finalmente, la digestibilidad *in vivo* mantuvo un promedio de 72.8% en el grupo.

El grupo II estuvo formado por 37 ecotipos de los cuales solo la variedad Palsana estuvo presente. Este grupo se caracterizó por tener la producción de forraje más baja, ya que el rendimiento medio fue $2\,176\text{ kg MS ha}^{-1}$. Además, este grupo presentó el menor número de tallos, 55 por macollo. Sin embargo, fue el grupo con el contenido de proteína cruda (15%) más alto. La altura de planta promedió 63.2 cm , con un largo y ancho de hoja de 19.04 y 0.75 cm , respectivamente. En fibra detergente neutro y acida los valores en promedio fueron de 68.9 y 39.2% , respectivamente. Por último, la digestibilidad *in vivo* fue 73.3% .

El grupo III integró 32 ecotipos que presentaron valores medios de producción de forraje ($3\,881\text{ kg MS ha}^{-1}$). El promedio en altura de planta fue de 75.16 cm , con un largo y ancho de hoja de 22.59 y 0.89 cm , respectivamente. En densidad de tallos por macollo se registraron 77 por planta. El contenido promedio de proteína cruda fue de 14.93% . En fibra detergente neutro y acida se obtuvieron valores de 68.9 y 39.5% , respectivamente. Finalmente, en la digestibilidad *in vivo* se registró un valor medio de 73.96% .

The number of stems averaged 79. The crude protein averaged 14.8% . For neutral and acid detergent fiber the averages were 68.7 and 39.1% , respectively. Finally, *in vivo* digestibility maintained an average of 72.8% in the group.

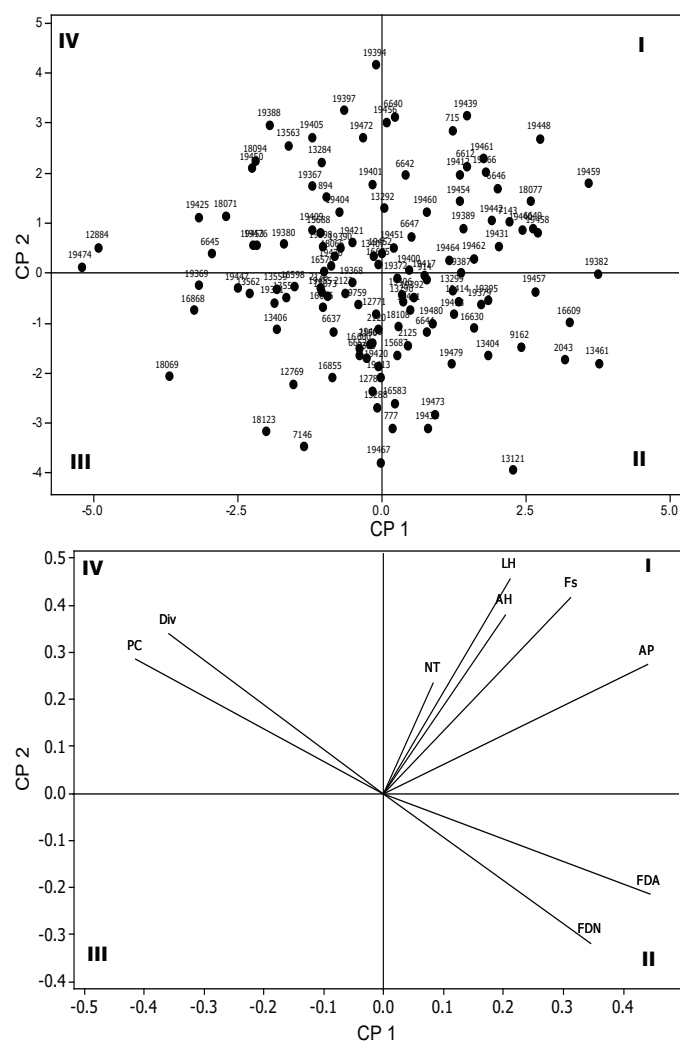


Figura 2. Distribución de la diversidad de 126 ecotipos de zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) con nueve variables en función de los dos primeros componentes principales. PF= producción de forraje; AP= altura de planta; NT= número de tallos; LH= largo de hoja; AH= ancho de hoja; PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente acida; DIVMO= digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica.

Figure 2. Distribution of the diversity of 126 ecotypes of buffel grass (*Pennisetum ciliare*) with nine variables depending on the first two main components. PF= Forage production; AP= plant height; NT= number of stems; LH= leaf length; AH= leaf width; PC= crude protein; FDN = neutral detergent fiber; FDA= acid detergent fiber; DIVMO= *in vivo* digestibility of organic matter.

El grupo IV estuvo formado por 20 ecotipos, caracterizados por tener un rendimiento medio-alto, con una media de producción de forraje de 5 048 kg MS ha⁻¹. Este grupo obtuvo valores relativamente altos (79.15, 26.13 y 0.95 cm) en AP, LH y AH, respectivamente. La densidad de tallos en este grupo mantuvo un promedio de 76. El contenido medio de proteína cruda fue de 14.49%. La fibra detergente neutro y ácido se mantuvieron valores medios de 68.7 y 39.1%, respectivamente. Finalmente, la digestibilidad *in vivo* obtuvo un promedio de 72.8%. En este grupo se ubicaron 17 ecotipos y las variedades Boorara, Molopo y Nunbank.

El grupo V incluyó nueve ecotipos de los cuales y la variedad Biloela. Este grupo se caracterizó por tener los materiales más altos en producción de forraje, ya que el rendimiento medio fue de 6 374 kg MS ha⁻¹. Este grupo presentó el tamaño de planta más alto (84.5 cm), la mayor longitud de hoja (28.21 cm) y ancho de hoja (0.97 cm). También, presentó la mayor densidad de tallos (92) por macollo. El contenido promedio de proteína cruda fue de 14.84% y el porcentaje más alto (74.2%) de digestibilidad *in vivo*. Los resultados del grupo I concuerdan con los reportados por Pengelly *et al.* (1992) al caracterizar 322 ecotipos de buffel, donde se integró las variedades American y Gayndah. Los descriptores que presentaron características similares fueron altura de planta y número de rizomas.

Además, Cook *et al.* (2005) mencionaron que las variedades American y Gayndah se caracterizan por presentar buena respuesta al pastoreo y soportar alta carga animal. Por tanto, los ecotipos que integraron el grupo I y II podrían representar una alternativa para su consideración en programas de resiembra en pastizales. Griffa *et al.* (2012) al evaluar la relación entre rendimiento de semilla y características morfológicas de variedades y ecotipos de buffel, agruparon a las variedades Boorara, Molopo y Biloela, las cuales se caracterizaron por tener un peso intermedio de espiga, mientras que las variedades Toowomba y American presentaron el peso más bajo de espigas.

Los resultados anteriores son congruentes con el comportamiento de algunas variedades integradas por el grupo I y IV. Por lo tanto, las variedades y ecotipos del grupo IV se pueden considerar como materiales de doble propósito (producción de semilla y forraje). Además, Hacker *et al.* (1995) evaluaron producción de forraje en diferentes variedades y ecotipos de buffel y los resultados que obtuvieron coinciden con los obtenidos en este trabajo, ya que las variedades American y Gayndah estuvieron ubicadas en el

The group II consisted of 37 ecotypes of which only the Palsana variety was present. This group was characterized by having the lowest forage production, since the average yield was 2 176 kg MS ha⁻¹. In addition, this group had the lowest number of stems, 55 per tillering. However, it was the group with the highest crude protein content (15%). Plant height averaged 63.2 cm, with a leaf length and width of 19.04 and 0.75 cm, respectively. In neutral and acid detergent fiber values on average were 68.9 and 39.2%, respectively. Finally, *in vivo* digestibility was 73.3%.

The group III included 32 ecotypes that presented mean values of forage production (3 881 kg MS ha⁻¹). The average plant height was 75.16 cm, with a leaf length and width of 22.59 and 0.89 cm, respectively. The density of stems per tiller was 77 per plant. The average crude protein content was 14.93%. Neutral and acid detergent fiber obtained values of 68.9 and 39.5%, respectively. Finally, in the *in vivo* digestibility was recorded an average value of 73.96%.

The group IV consisted of 20 ecotypes, characterized by medium-high yield, with an average forage yield of 5.048 kg MS ha⁻¹. This group obtained relatively high values (79.15, 26.13 and 0.95 cm) in AP, LH and AH, respectively. The stems density in this group maintained an average of 76. The mean crude protein content was 14.49%. The neutral and acid detergent fiber maintained mean values of 68.7 and 39.1%, respectively. Finally, *in vivo* digestibility averaged 72.8%. In this group were located 17 ecotypes and the varieties Boorara, Molopo and Nunbank.

The group V included nine ecotypes of which and the Biloela variety. This group was characterized by having the highest materials in forage production, since the average yield was 6 374 kg MS ha⁻¹. This group had the highest plant size (84.5 cm), the largest leaf length (28.21 cm) and leaf width (0.97 cm). Also, it presented the highest density of stems (92) per tillering. The average crude protein content was 14.84% and the highest percentage (74.2%) of digestibility *in vivo*. The results of group I agree with those reported by Pengelly *et al.* (1992) characterizing 322 buffel ecotypes, where the American and Gayndah varieties were integrated. The descriptors that presented similar characteristics were plant height and number of rhizomes.

In addition, Cook *et al.* (2005) mentioned that the American and Gayndah varieties are characterized by a good grazing response and high animal load. Therefore, the ecotypes that comprised the groups I and II could represent

grupo de bajo rendimiento de forraje. También, este autor reportó que la variedad Molopo superó a Biloela; sin embargo, se mantienen en los grupos de mayor producción de forraje.

Los ecotipos y variedades ubicados en los grupos IV y V se pueden recomendar para producción de forraje de corte o henificado. Sin embargo, sería importante continuar su evaluación por lo menos dos años más para validar la estabilidad de su comportamiento productivo. Por lo anterior, es necesario realizar trabajos sobre rendimiento y calidad de semilla para complementar y disponer de una colecta elite de zacate buffel.

Conclusiones

Se identificaron a los ecotipos 18077, 19366, 19389, 19394, 19397, 19439, 19448, 19459, con procedencias de Botswana, RD Congo, Tanzania, Tanzania, Tanzania, Kenia, Sudáfrica y la variedad Biloela como los de mayor potencial de producción y calidad del forraje para condiciones de temporal. Existe una gran diversidad de características agronómicas, morfológicas y nutricionales en la colección de ecotipos conservados en el Banco de Germoplasma del ILRI en Etiopía, África. Esta riqueza genética de zacate buffel representa una oportunidad para incluirla en programas de mejoramiento genético.

Literatura citada

- Bhattarai, S. P.; Fox, J. J. and Gyasi, A. Y. 2008. Enhancing buffel grass seed germination by acid treatment for rapid vegetation establishment on railway batters. *J. A. Env.* 72:255-262.
- Burson, B. L.; Actkinson, J. M.; Hussey, M. A. and Jessup, R. W. 2012. Ploidy determination of buffel grass accessions in the USDA national plant germplasm system collection by flow cytometry. *Sou. Afr. J. Bot.* 79:91-95.
- Carvalho, de S. T.; Loiola, E. R.; Oliveira, M. C. H.; Mauro, S. E.; Soares, de S. D. and Pereira, A. 2011. Morphological and chemical composition of buffel grass at different heights of cutting and waste. *Rev. Tróp. Cienc. Agr. Biol.* 5:30-39.
- Cook, B. G.; Pengelly, B. C.; Brown, S. D.; Donnelly, J. L.; Eagles, D. A.; Franco, M. A.; Hanson, J.; Mullen, B. F.; Partridge, I. J.; Peters, M. and Schultze, K. R. 2005. Tropical forages: an interactive selection tool. [CD-ROM], CSIRO, DPI and F(Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Australia.
- De la Barrera, E. and Castellanos, A. E. 2007. High temperature effects on gas exchange for the invasive buffel grass (*Pennisetum ciliare* [L.] Link). *W. Biol. M.* 7:128-131.

an alternative for their consideration in programs of planting in grasslands. Griffa *et al.* (2012) evaluated the relationship between seed yield and morphological characteristics of varieties and buffel ecotypes, grouped the varieties Boorara, Molopo and Biloela, which were characterized by having an intermediate spike weight, while the varieties Toowomba and American presented the lowest weight of spikes.

The previous results are congruent with the behavior of some varieties integrated by group I and IV. Therefore, varieties and ecotypes of group IV can be considered as dual-purpose materials (seed and forage production). In addition, Hacker *et al.* (1995) evaluated forage production in different varieties and buffel ecotypes and the results obtained were in agreement with those obtained in this work, since the American and Gayndah varieties were located in the group of low forage yield. Also, this author reported that the Molopo variety surpassed Biloela; however, they are maintained in the groups of higher forage production.

The ecotypes and varieties located in groups IV and V can be recommended for the production of cut or forage hay. However, it would be important to continue their evaluation for at least two more years to validate the stability of their productive behavior. Due to the above, it is necessary to perform work on seed quality and quality to complement and have an elite collection of buffel grass.

Conclusions

The ecotypes 18077, 19366, 19389, 19394, 19397, 19439, 19448, 19459, were identified, with provenances from Botswana, RD Congo, Tanzania, Tanzania, Tanzania, Kenya, South Africa and the Biloela variety as the most productive and Forage quality for temporal conditions. There is a great diversity of agronomic, morphological and nutritional characteristics in the collection of ecotypes preserved in the ILRI of Germplasm Bank in Ethiopia, Africa. This genetic wealth of buffel grass represents an opportunity to include it in genetic improvement program.

End of the English version



- Dixon, R. M. and Coates, D. B. 2010. Diet quality estimated with faecal near infrared reflectance spectroscopy and response to N supplementation by cattle grazing buffel grass pasture. *Anim. F. Sci. Tec.* 58:115-125.
- Gómez, de la F. E.; Díaz, S. H.; Saldivar, F. A.; Briones, E. F.; Vargas, T. V. and Grant, W. E. 2007. Patrón de crecimiento de pasto buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link) en Tamaulipas, México. *Rev. Tec. Pec. Méx.* 45:1-17.
- Griffa, S.; Ribbota, A.; López, C. E.; Tomassino, E.; Carloni, E.; Luna, C. and Grunberg, A. 2010. Evaluation seedling biomass and its components as selection criteria for improving salt tolerance buffel grass genotypes. *J. Bri. Gras. Soc.* 65:358-361.
- Griffa, S.; Quiroga, M.; Ribbota, A.; López, C. E.; Carloni, E.; Tommasino, E.; Luna, C. and Grunberg, K. 2012. Relationship between seed yield and its component characters in *Cenchrus* spp. *Elec. J. Plant. Sci.* 3:701-706.
- Gutierrez, O. R.; Eguiarte, L. E. and Molina, F. 2009. Genotypic diversity among pasture and roadside population of the invasive buffel grass (*Pennisetum ciliare* L. Link) in north western Mexico. *J. Ari. Env.* 73:26-32.
- Hacker, J. B.; Williams, R. J. and Coote, J. N. 1995. Productivity in late winter and spring of four cultivars and 21 accessions of *Cenchrus ciliaris* and *Digitaria eriantha* cv. Premier. *Trop. Grass.* 29:28-33.
- Heywood, V. H. 2008. Challenges of *in situ* conservation of crop wild relatives. *Turk. J. Bot.* 32: 421-432.
- Hoffman, T. and Vogel, C. 2008. Climate change on African Rangelands. *Rang.* 30(3):12-17.
- Jacobs, S. S., W. A. van Nieker and R. J. Coertze. 2004. Qualitative evaluation of *Cenchrus ciliaris* cv. Molopo and Gayndah as foggage. *Sou. Afr. J. Anim. Sci.* 34:65-68.
- Jorge, M. A. B.; Van de Wouw, M.; Hanson, J. and Mohammed, J. 2008. Characterization of a collection of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*). *Trop. Grass.* 42:27-39.
- Ludlow, M. M. 1980. Stress physiology of tropical pasture plants. *Trop. Grass.* 14:136-145.
- Mariano, F. C.; Garza, R. D. C.; Flores, J. T.; Zárate, P. F. e Ibarra, M. A. H. 2011. Evaluación de materiales alternativos al buffel común en San Fernando, Tamaulipas, México. *In: memorias del segundo congreso internacional de manejo de pastizales y XXI reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos.* Chihuahua, Chihuahua, México. 44 p.
- Marshall, V. M.; Lewis, M. M. and Ostendorf, B. 2012. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. *J. A. Env.* 78:1-12.
- Morales, N. C. R. 2009. Metodología para la recolecta y conservación de germoplasma de plantas forrajeras en la zonas áridas y semiáridas de México. S.E. Campana-Madera. INIFAP-SAGARPA. Folleto Técnico. 21:1-21.
- Morales, C.; Madrid, L.; Melgoza, A.; Martínez, M.; Arévalo, S.; Rascón, Q. y Jurado, P. 2009. Análisis morfológico de la diversidad de pasto navajita [*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Steud], en Chihuahua, México. *Téc. Pec. Méx.* 47:245-256.
- M'Seddi, K.; Visser, M.; Neffati, M.; Reheul, D. and Chaïeb, M. 2002. Seed and spike traits from remnant population of *Cenchrus ciliaris* L. in South Tunisia: high distinctiveness, no ecotypes. *J. A. Env.* 50:309-324.
- Park, R. S.; Agnew, R. E.; Gordon, F. J. and Steen, R. W. J. 1998. The use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) on undried samples of grass silage to predict chemical composition and digestibility parameters. *Anim. F. Sci. Tech.* 72:155-167.
- Pengelly, B. C.; Hacker, J. B. and Eagles, D. A. 1992. The classification of a collection of buffel grass and species. *Trop. Grass.* 26:1-6.
- Peña del Rio, M. A.; Días, F. A.; De la Fuente, S. H.; Sánchez, S. A. y de la Torre, T. I. 2011. Efecto de la biofertilización en praderas de temporal de pasto buffel var. Milenio en Nuevo León, México. *In: memorias del 2º congreso internacional de manejo de pastizales, y XXI reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos.* Chihuahua. México. 421 p.
- Ponsens, J.; Hanson, J.; Schellberg, J. and Moeseler, B. M. 2010. Characterization of phenotypic diversity, yield and response to drought stress in a collection of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) accessions. *Field Crops Res.* 118:57-72.
- Quiroga, M.; Grunber, K.; Ribbota, A.; Lopez, C. E.; Carloni, E.; Tommasino, E.; Luna, C. and Griffa, S. 2013. Obtaining sexual genotypes for breeding in buffel grass. *Sou. Afr. J. Bot.* 88:118-123.
- SAS. Institute Inc. 2006. SAS 91.3 User's guide. Cary, NC. USA.
- Terrazas, P. J. G. y Chávez, M. C. 2011. Rendimiento y calidad de semilla de materiales sobresalientes de zacate buffel en condiciones de temporal en la zona centro sur de Chihuahua. *In: memorias del 2º congreso internacional de manejo de pastizales, y XXI reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos.* Chihuahua, Chih. México. 65 p.
- Ubi, B. E.; Kolliker, R.; Fujimori, M. and Komatsu, T. 2003. Genetic diversity in diploid cultivars of Rhodesgrass determined on the basis of amplified fragment length polymorphism markers. *Crop. Sci.* 43:1516-1522.
- Ward, J. P.; Smith, S. E. and McClaran, M. P. 2006. Water requirements for emergence of buffel grass (*Pennisetum ciliare*). *W. Sci.* 54:720-725.