

VARIACIÓN EN CARACTERES DE INTERÉS AGRONÓMICO EN POBLACIONES DE *Setaria lachnea* (Nees) Kunth

VARIATION IN CHARACTERS OF AGRONOMIC INTEREST IN *Setaria lachnea* (Nees) Kunth POPULATIONS

José F. Pensiero*, Hugo F. Gutiérrez, Eliana Exner, Juan M. Zabala

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Luis Kreder 2805, Esperanza,
Santa Fe, Argentina. (jfpensi@fca.unl.edu.ar)

RESUMEN

Setaria lachnea es recomendada para su introducción al cultivo debido a sus cualidades como forrajera nativa, por lo cual se analizó la variación de rasgos con importancia agronómica en nueve poblaciones nativas de Argentina. Las variables fueron la altura del vástago y longitud y anchura de las hojas; la fenología de la floración a través de la fecha de emergencia de panojas, la fecundidad, la variabilidad y capacidad de germinación de las semillas. Los datos se procesaron mediante análisis de la varianza y comparación de medias (Tukey; $p \leq 0.05$). El análisis de las variables estudiadas mostró variación entre poblaciones. La altura del vástago varió entre 46 y 104 cm, la longitud de hoja entre 23 y 34 cm y la anchura de hoja entre 1.1 y 1.9 cm. Las poblaciones difirieron entre sí en el número de días desde el comienzo de emergencia de panojas hasta alcanzar 50 % y 100 % de emergencia de panojas. El promedio de fecundidad fue 49 %, con diferencias significativas entre poblaciones. La germinación de las semillas de todas las poblaciones fue escasa o nula, aunque su viabilidad fue superior a 80 %, lo que confirmó la presencia de latencia que impidió su germinación. Las variaciones morfológicas no estuvieron asociadas al origen geográfico de las poblaciones.

Palabras claves: *Setaria lachnea*, emergencia de panojas, fecundidad, viabilidad, germinación.

INTRODUCCIÓN

Setaria lachnea (Nees) Kunth, conocida en Argentina como moha perenne, es una gramínea forrajera nativa estival con distribución amplia en la región meridional de Sudamérica. En Argentina habita en el norte desde las áreas

ABSTRACT

Setaria lachnea is recommended for its introduction to cultivation due to its qualities as native forage, for which variation of traits with agronomic importance in nine native populations of Argentina was analyzed. The variables were height of shoot and length and width of leaves, flowering phenology through the date of panicle emergence, fertility, variability and germination ability of seeds. Data were processed using a variance analysis and mean comparison (Tukey; $p \leq 0.05$). The analysis of the variables studied showed variation between populations. Shoot height ranged between 46 and 104 cm, leaf length, between 23 and 34 cm and width leaf between 1.1 and 1.9 cm. The populations differed from each other in the number of days since the beginning of panicle emergence up to reach 50 % and 100 % of emergence of panicles. The average fertility rate was 49 %, with significant differences between populations. The germination of seeds of all populations was scarce or zero, although its viability was above 80 %, which confirmed the presence of dormancy which prevented germination. The morphological variations were not associated with the geographical origin of populations.

Key words: *Setaria lachnea*, emergence of panicles, fertility, viability, germination.

INTRODUCTION

Setaria lachnea (Nees) Kunth, known in Argentina as moha perenne, is a summer native forage grass with wide distribution in southern South America. In Argentina, it occurs in the north from areas bordering Bolivia and Paraguay to 36° 00' S and from sea level to 2250 m altitude, grows in xeric environments with annual rainfall of 450 mm, and humid environments with rainfall exceeding 1200 mm, with average annual

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: diciembre, 2010. Aprobado: agosto, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 699-709. 2011.

límites con Bolivia y Paraguay, hasta 36° 00' S y desde el nivel del mar hasta 2250 m de altitud, crece en ambientes xerofíticos con precipitaciones de 450 mm anuales, y húmedos con precipitaciones superiores a 1200 mm, con temperaturas medias anuales de 16 °C (en el sur) a 22 °C (en el norte) y en una variedad amplia de suelos (Pensiero, 1999). Debido a su distribución extensa y sus cualidades como forrajera (Covas y Frecentese 1983; Pensiero *et al.*, 1995; Pensiero, 1999) esta especie se incluye en programas de domesticación para su introducción al cultivo.

Kunst *et al.* (2007) señalan a esta especie como indicadora de pastizales de buena condición en sitios altos de un sector del Distrito Occidental de la Provincia fitogeográfica Chaqueña. El estudio de tres poblaciones correspondientes a un gradiente latitudinal (norte, centro y sur de Argentina) revela que las plantas procedentes de latitudes mayores se destacan por un período vegetativo más prolongado y una producción de forraje significativamente superior, presentando además variabilidad dentro de las poblaciones para dicho carácter (Giavedoni *et al.*, 1996). Sin embargo, esos mismos materiales presentan menor fecundidad y deficiente germinación de sus semillas. El análisis de poblaciones correspondientes a un gradiente de altitud permitió hallar variabilidad entre y dentro de poblaciones en la fenología de la floración y en la fecundidad de esta especie (Exner *et al.*, 2010).

En dos estudios los porcentajes de fructificación de *S. lachnea* fueron altos para una especie no domesticada; Pensiero *et al.* (2005) reportan una fecundidad promedio de 67 % en cinco poblaciones, mientras que Exner *et al.* (2010) señalan 41 % promedio para tres poblaciones. Un inconveniente principal de esta especie para su introducción al cultivo es la baja capacidad de germinación de sus semillas; según Pensiero (1995) la capacidad de germinación de siete poblaciones de Argentina varía de 5.5 a 38 %.

La hipótesis de este estudio fue que en poblaciones argentinas de *S. lachnea* hay variaciones entre y dentro de poblaciones para caracteres de interés agronómico que permitirán la identificación de materiales para programas de domesticación. El objetivo fue analizar la variación de rasgos con importancia agronómica en nueve poblaciones de *S. lachnea* nativas de Argentina.

temperatures of 16 °C (south) at 22 °C (north) and a wide variety of soils (Pensiero, 1999). Due to its widespread distribution and qualities as forage (Covas and Frecentese 1983; Pensiero *et al.* 1995; Pensiero, 1999) this species is included in programs of domestication for their introduction into cultivation.

Kunst *et al.* (2007) point out this species as indicator of good condition grasslands in high sites of a sector of the Western District of the Phytogeographic Chaco Province. The study of three populations corresponding to a latitudinal gradient (north, central and southern Argentina) indicates that plants from higher latitudes stand out for a longer vegetative period and a significantly higher forage production, also presenting variability within the populations for that trait (Giavedoni *et al.*, 1996). However, these same materials show lower fertility and poor seed germination. The analysis of populations corresponding to an altitude gradient allowed finding variability between and within populations in flowering phenology and fertility of this species (Exner *et al.*, 2010).

In two studies fruit percentages of *S. lachnea* were high for a nondomesticated species; Pensiero *et al.* (2005) report an average fertility of 67 % in five populations, while Exner *et al.* (2010) show 41 % average for three populations. One of the main drawbacks of this species for its introduction to cultivation is the low germination ability of seeds; according to Pensiero (1995) the ability of seven populations of Argentina range between 5.5 and 38 %.

The hypothesis of this study was that in Argentine populations of *S. lachnea* there are variations between and within populations for traits of agronomic interest that will allow the identification of materials for domestication programs. The objective was to analyze the variation of traits with agronomic importance in nine population of *S. lachnea* native from Argentina.

MATERIALS AND METHODS

Origin of populations

Nine Argentine populations of *S. lachnea* (Table 1) were analyzed which were maintained in cultivation in the Experimental Field of the Faculty of Agrarian Sciences,

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedencia de las poblaciones

Se analizaron nueve poblaciones argentinas de *S. lachnea* (Cuadro 1) que se mantuvieron en cultivo en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, Esperanza, Santa Fe, Argentina (31° 27' S, 60° 56' O). Las semillas se recolectaron en febrero de 2005 en una cosecha masal, se conservaron en bolsas de papel a temperatura ambiente (15-25 °C) hasta su siembra, la cual se realizó en cámara de crecimiento en julio de 2005 en bandejas (30×4 cm) con una mezcla de tierra y arena (1:1, v/v); en septiembre de 2005 las plántulas fueron trasplantadas. En el campo cada población estuvo representada por 30 plantas dispuestas en un diseño completamente aleatorizado.

Caracterización morfológica

La variación morfológica se cuantificó mediante la altura del vástago (desde la base de la planta hasta la inserción de la última hoja, en cm), la longitud de la lámina foliar (desde la inserción con la vaina hasta el ápice, en cm) y la anchura de la lámina foliar (en su sección media, en cm). Cada población estuvo representada por una muestra de 10 plantas tomadas al azar; se evaluaron tres vástagos y cinco hojas por planta (n=270 vástagos; n=450 hojas).

Emergencia de panojas

Desde octubre para cada población se registraron con tres observaciones semanales las fechas de inicio, mitad y fin de emergencia de panojas, que corresponden a los estados 5.0, 5.4 y 5.9 del Código decimal de Zadoks *et al.* (1974). Se consideró inicio de emergencia de panojas cuando en la población

Esperanza, province of Santa Fe, Argentina (31° 27' S, 60° 56' W). Seeds were collected in February, 2005 in a bulked harvest, they were kept in paper bags at environmental temperature (15-25 °C) until sowing, which was carried out in a growth chamber in July, 2005 in trays (30×4 cm) with a mixture of land and sand (1:1, v/v); seedlings were transplanted in September, 2005. In the field each population was represented by 30 plants arranged in a completely randomized design.

Morphological characterization

Morphological variation was quantified by the shoot height (from the base of the plant to the insertion of the last leaf, in cm), length of the leaf blade (from the insertion of the sheath to the apex, in cm) and width of the leaf blade (in its medium section, in cm). Each population was represented by a sample of 10 plants taken at random; three shoots and five leaves per plant (n=270 stems; n=450 leaves) were evaluated.

Emergence of panicles

For each population starting in October, the dates of beginning, middle and end of panicle emergence were recorded with three weekly observations; they correspond to the states 5.0, 5.4 and 5.9 of Zadoks *et al.* (1974) decimal code. It was considered beginning of panicle emergence when in the population of 30 plants, one plant had at least one panicle fully emerged, half panicle emergence when 15 plants of the population had at least one panicle fully emerged, and end of panicle emergence when all plants had at least one tiller with a panicle fully emerged. A descriptive analysis of two variables was carried out: time to half of panicle emergence (days from start to mid-panicle emergence) and total time of panicle emergence (days from beginning to end of panicle emergence).

Cuadro 1. Origen de las poblaciones de *S. lachnea* analizadas. Id: indica el número de recolección de cada población.
Table 1. Origin of populations of *S. lachnea* analyzed. Id: indicates the number of collection of each population.

Id	Sitio (Provincia, Departamento, Localidad)	Altitud (m)	Provincia Fitogeográfica (Distrito) [†]
6159	Santa Fe, 9 de Julio, G. Pérez de Denis	50	Chaqueña (Occidental)
6221	Santiago del Estero, Aguirre, Malbrán	81	Chaqueña (Occidental)
6227	Tucumán, Trancas, Vipos	795	Chaqueña (Serrano)
6233	Salta, Güemes, entre Lumbrera y Palomitas	900	Chaqueña (Serrano)
6234	Salta, Chicoana, Escoipe	1000	Yungas (Selva Montana)
6238	Salta, Chicoana, Escoipe	1000	Yungas (Selva Montana)
6239	Salta, Chicoana, Escoipe	1250	Yungas (Selva Montana)
6242	Salta, Chicoana, Escoipe	2250	Prepuneña
6246	Salta, Anta, Joaquín V. González	800	Chaqueña (Occidental)

[†] De acuerdo a Cabrera (1994) ❖ According to Cabrera (1994).

de 30 plantas, una planta presentaba al menos una panoja totalmente emergida, mitad de emergencia de panojas cuando 15 plantas de la población presentaban como mínimo una panoja totalmente emergida, y fin de emergencia de panojas cuando todas las plantas presentaban al menos un macollo con una panoja totalmente emergida. Se realizó un análisis descriptivo de dos variables: tiempo hasta mitad de emergencia de panojas (días transcurridos desde inicio hasta mitad de emergencia de panojas) y tiempo total de emergencia de panojas (días transcurridos desde inicio hasta fin de emergencia de panojas).

Fecundidad

La fecundidad de cada población, mantenida en polinización libre, se evaluó con una cosecha masal de espiguillas realizada en forma secuenciada a medida que se observaba la madurez. De la cosecha de semillas de cada población se obtuvieron seis muestras de 100 espiguillas cada una (n=600 por población).

La fecundidad se expresó como porcentaje de las flores que produjeron fruto, analizando con microscopio estereoscópico la presencia o ausencia de cariósido en todas las espiguillas (Gutiérrez *et al.*, 2006). En el género *Setaria*, como en la mayoría de las Paniceae, las espiguillas tienen dos antecios, uno basal, reducido y generalmente asexual, y otro apical, hermafrodita y fructífero.

Capacidad de germinación

Para determinar la viabilidad de los embriones se utilizó la prueba de viabilidad con tetrazolio, adaptando la técnica de Aranguren (1997) propuesta para *Setaria italica*. El tiempo de tinción necesario para esta especie fue 48 h a 30 °C, obtenido con un ensayo preliminar realizado en muestras de cariósidos provenientes de cosechas masales. El tamaño de la muestra fue de 40 cariósidos de cada población (n=40).

La germinación se evaluó con una muestra masal de 50 espiguillas fructificadas (con cariósido) con cuatro repeticiones (n=200 por población). Para un mejor control del error experimental se colocaron dos poblaciones en cada caja petri; las cajas petri se mantuvieron con temperatura constante (27 °C). La germinación se evaluó después de 3, 7, 10, 14, 21, 28 y 35 d. Cuando la raíz alcanzó 2 mm de longitud se consideró que la germinación ocurrió y se expresó en porcentaje de semillas germinadas en cada recuento.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con 30 repeticiones por población. Para las variables altura del

Fertility

Fertility of each population, maintained in open pollination, was evaluated with a bulked harvest of spikelets carried out in a sequenced way according to observed maturity. Of the harvest of seeds from each population were collected six samples of 100 spikelets each (n=600 per population).

Fertility was expressed as percentage of flowers having produced fruit, analyzing with a stereoscopic microscope the presence or absence of caryopsis in all spikelets (Gutiérrez *et al.*, 2006). In genus *Setaria*, like most Paniceae, spikelets have two florets, a basal one, reduced and generally asexual, and an apical one, hermaphrodite and fruitful.

Germination ability

To determine the viability of the embryos the tetrazolium viability test was used, adapting the technique of Aranguren (1997) proposed for *Setaria italica*. The time for staining required for this species was 48 h at 30 °C, obtained with a preliminary test conducted on samples of caryopses from bulked harvest. The sample size was 40 caryopses for each population (n=40).

Germination was estimated from a bulked sample of 50 fruiting spikelets (with caryopsis) with four replicates (n=200 per population). For better control of the experimental error two populations were placed in each Petri dish; the Petri dishes were maintained with constant temperature (27 °C). Germination was evaluated after 3, 7, 10, 14, 21, 28, and 35 d. When the root reached 2 mm in length it was considered that germination occurred and was expressed as a percentage of germinated seeds in each recount.

Statistical analysis

The experimental design was completely randomized with 30 replicates per population. For the variables shoot height, length and depth of the leaf blade, proportion of flowers that produced fruits and percentage of germination, an analysis of variance was carried out to determine the existence of population differences. The statistical model was as follows:

$$y_{ij} = \mu + a_i + \varepsilon_{ij}$$

where y_{ij} = effect of j replication in the i population, μ = overall mean, a_i = effect of population i , and ε_{ij} effect associated with the experimental error.

Means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$). Fertility values were transformed to arcsine square root. For all analysis the INFOSTAT (2009) package was used.

vástago, longitud y anchura de la lámina foliar, proporción de flores que produjeron frutos y porcentaje de germinación, se realizó un análisis de la varianza para determinar la existencia de diferencias poblacionales. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + a_i + \varepsilon_{ij}$$

donde, y_{ij} = efecto de la repetición j en la población i , μ = media general, a_i = efecto de la población i , y ε_{ij} = efecto asociado al error experimental.

Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los valores de fecundidad fueron transformados a la raíz cuadrada del arcoseno. Para todos los análisis se utilizó el paquete INFOSTAT (2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica

Los caracteres morfológicos analizados presentaron diferencias significativas (Figura 1A, B y C). Los valores extremos fueron 46 a 104 cm para altura del vástago, 23 y 34 cm para longitud de la lámina, y 1.1 a 1.9 cm para anchura de lámina. La variación de los caracteres vegetativos permitió reconocer, tres grupos arbitrarios dentro de las nueve poblaciones. Las plantas de las poblaciones 6233, 6234 y 6238 presentaron mayor altura y láminas foliares más largas y anchas, las de las poblaciones 6159 y 6246 mostraron menor altura y hojas más cortas y angostas, y las de las poblaciones 6221, 6227, 6242 y 6239 presentaron características intermedias (Figura 1A, B, C). La notable variación de las variables evaluadas entre las poblaciones no estuvo asociada con su origen geográfico, ya que poblaciones procedentes del mismo Distrito fitogeográfico presentaron diferencias significativas en las variables analizadas (6238 y 6239; 6227 y 6233).

La altura del vástago y la anchura de la lámina foliar son indicadores de la proporción de hojas de las plantas, y por esta razón son caracteres importantes usados en programas de domesticación o mejoramiento, por estar asociados con la producción de forraje y su composición nutricional. En otras especies de *Setaria* hay una correlación positiva entre la altura del vástago y la acumulación de biomasa forrajera (Karyudi y Fletcher, 2003; Siles *et al.*, 2004; Jank *et al.*, 2007). Casler (1998) sugiere que

RESULTS AND DISCUSSION

Morphological characterization

The morphological traits analyzed showed significant differences (Figure 1A, B and C). The extreme values were 46 to 104 cm for shoot height, 23 and 34 cm for length of the blade, and 1.1 to 1.9 cm for blade width. The variation of vegetative traits allowed recognizing three arbitrary groups within the nine populations. The plants of the populations 6233, 6234 and 6238 showed higher height and longer and wider leaf blades; those of the populations 6159 and 6246 showed lower height and shorter and thinner leaves, and those of the population 6221, 6227, 6242 and 6239 showed intermediate characteristics (Figure 1A, B, C). The remarkable variation of the variables evaluated among populations was not associated with their geographical origin, as populations from the same phytogeographical district presented significant differences in the variables analyzed (6238 and 6239, 6227 and 6233).

Shoot height and width of the leaf blade are indicators of the proportion of plant leaves, and for this reason they are important traits used in domestication or breeding programs, to be associated with forage production and its nutritional composition. In other species of *Setaria* there is a positive correlation between shoot height and accumulation of forage (Karyudi and Fletcher, 2003; Siles *et al.*, 2004; Jank *et al.*, 2007). Casler (1998) suggests that the high heritability of the plant height trait would allow for selecting indirectly by less heritable traits such as forage production. In *Setaria sphacelata* the width of the leaf blade was also a trait with high heritability and the selection by such a trait was positively correlated with forage protein content and with the leaf/stem ratio without occurring significant variations in total biomass production (Jank *et al.* (2007). The variation of the morphological traits quantified in this study contributed original information of great use to design domestication programs of this species.

Emergence of panicles

The emergence of the panicles was synchronic between populations. Most populations started

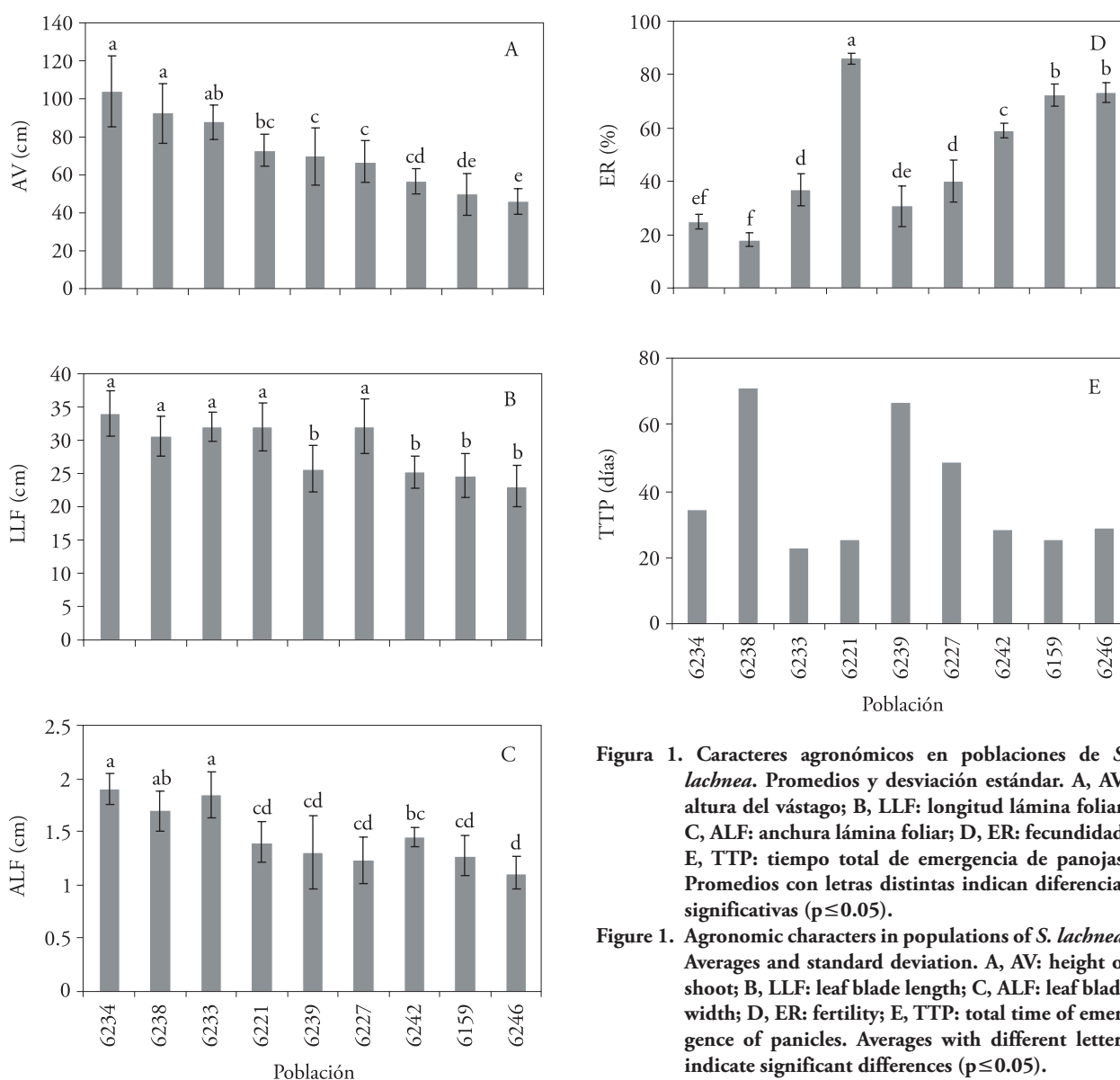


Figura 1. Caracteres agronómicos en poblaciones de *S. lachnea*. Promedios y desviación estándar. A, AV: altura del vástago; B, LLF: longitud lámina foliar; C, ALF: anchura lámina foliar; D, ER: fecundidad; E, TTP: tiempo total de emergencia de panojas. Promedios con letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figure 1. Agronomic characters in populations of *S. lachnea*. Averages and standard deviation. A, AV: height of shoot; B, LLF: leaf blade length; C, ALF: leaf blade width; D, ER: fertility; E, TTP: total time of emergence of panicles. Averages with different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

la alta heredabilidad del carácter altura de planta permitiría seleccionar indirectamente por caracteres menos heredables como la producción de forraje. En *Setaria sphacelata* la anchura de la lámina foliar fue también un carácter con alta heredabilidad y la selección por dicho carácter tuvo una correlación positiva con el contenido de proteína del forraje y con la relación hoja/tallo sin que ocurrieran variaciones significativas en la producción total de biomasa (Jank *et al.* (2007). La variación de los caracteres morfológicos cuantificada en el presente estudio aportó información original de suma utilidad para diseñar programas de domesticación de esta especie.

simultáneamente their flowering (October 30) and later populations (6234, 6233 and 6239) only delayed 4-6 d the start of panicle emergence (Figure 2). Based on the time in days elapsed to reach the middle of emergence of panicles, populations could be grouped into three arbitrary classes: 1) concentrated emergence of panicles, 6 d: 6159 and 6246; 2) middle emergence of panicles, 12 to 16 d: 6242, 6234, 6221 and 6227; and 3) extended emergence of panicles, 21 to 29 d: 6233, 6238 and 6239. In relation to the total time of panicle emergence, in the populations there are three phenological groups: 1) concentrated emergence of

Emergencia de panojas

La emergencia de las panojas fue sincrónica entre las poblaciones. La mayoría de las poblaciones iniciaron simultáneamente su floración (30 de octubre) y las poblaciones más tardías (6234, 6233 y 6239) sólo retrasaron 4 a 6 d el inicio de emergencia de panojas (Figura 2). Con base al tiempo en días que transcurrió hasta alcanzar la mitad de emergencia de panojas, las poblaciones se podrían agrupar en tres clases arbitrarias: 1) emergencia de panojas concentrada, 6 d: 6159 y 6246; 2) emergencia de panojas intermedia, 12 a 16 d: 6242, 6234, 6221 y 6227; y 3) emergencia de panojas extendida, 21 a 29 d: 6233, 6238 y 6239. En relación al tiempo total de emergencia de panojas, en las poblaciones hay tres grupos fenológicos: 1) emergencia de panojas concentrada, 25 a 29 d: 6159, 6221, 6233, 6242 y 6246; 2) emergencia de panojas intermedia, 38 a 49 d: 6234 y 6227; y 3) emergencia de panojas extendida, 71 a 73 d: 6238 y 6239 (Figura 2). El tiempo total de emergencia de panojas mostró un intervalo amplio de variación entre poblaciones, 25-73 d (Figura 1E).

Existió variación en el período de emergencia de panojas dentro de cada población analizada, lo que

panicles, 25 to 29 d: 6159, 6221, 6233, 6242 and 6246; 2) middle emergence of panicles, 38 to 49 d: 6234 and 6227, and 3) extended emergence of panicles, 71 to 73 d: 6238 and 6239 (Figure 2). The total time of emergence of panicles showed a wide interval among populations, 25-73 d (Figure 1E).

There was variation in the period of emergence of panicles within each population analyzed, which coincided with what was found by Exner *et al.* (2010). An extended period of panicle emergence would indicate variation in the beginning of the reproductive period within each population. For example, within populations 6238 and 6239 it was found a difference of approximately 70 d between the first and last plant that showed a panicle fully emerged. This variation within each population is likely to have an important genetic component, since the time of flowering has been shown to be highly heritable in grasses (Elzinga *et al.*, 2007). The beginning of the reproductive period and the extension of flowering are traits subject to selection for breeding programs of forage species (Allard, 1999). This is due to the fact that the beginning of the reproductive stage reduces the digestibility and quality of forage (Guaita *et al.* 1989; West and Pitman, 2001). Also, it has been shown a negative correlation between length of reproductive

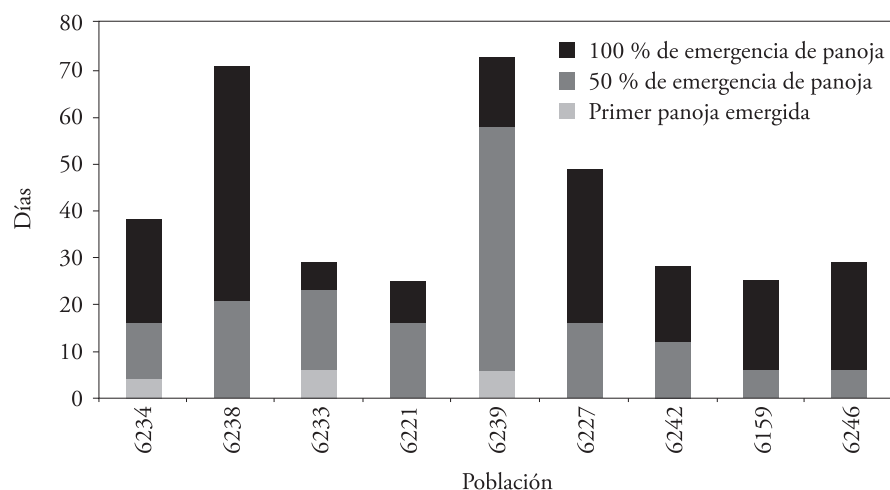


Figura 2. Fenología de emergencia de panojas en poblaciones de *S. lachnea*. Cada barra superpuesta indica los días transcurridos después del 30 de octubre 2005 hasta llegar a principio de emergencia de panojas (primera panoja emergida), mitad de emergencia de panojas (50 % panojas emergidas) y fin de emergencia de panojas (100 % panojas emergidas).

Figure 2. Phenology of emergence of panicles in populations of *S. lachnea*. Each overlapped bar indicates the days after October 30, 2005 until reaching the start of emergence of panicles (first panicle emerged), middle of emergence of panicles (50 % panicles emerged) and end of emergence of panicles (100 % panicles emerged).

coincidió con lo hallado por Exner *et al.* (2010). Un período extendido de emergencia de panojas indicaría variación en el comienzo del período reproductivo dentro de cada población. Por ejemplo, dentro de las poblaciones 6238 y 6239 se encontró una diferencia aproximada de 70 d entre la primera y última planta que mostró una panoja totalmente emergida. Esta variación dentro de cada población es probable que tenga un importante componente genético, debido a que el momento de floración ha mostrado ser altamente heredable en gramíneas (Elzinga *et al.*, 2007). El comienzo del período reproductivo y la extensión de la floración son caracteres objeto de selección en programas de mejoramiento de especies forrajeras (Allard, 1999). Esto se debe a que el comienzo de la etapa reproductiva reduce la digestibilidad y calidad del forraje (Guaita *et al.*, 1989; West y Pitman, 2001). También se ha mostrado una correlación negativa entre extensión del período reproductivo y producción de semilla (Fang *et al.*, 2004). En *Setaria sphacelata* (Hacker y Cuany, 1997) y en *Panicum maximum* (Maschietto, 1981; Oliveira y Humphreys, 1986), la floración extendida provocó falta de uniformidad en la aparición de panojas, menor retención de frutos y por consiguiente menor rendimiento de semillas. En función de estos antecedentes, los resultados del presente estudio indicarían que es factible seleccionar por esta característica en planes de mejoramiento.

Fecundidad

La fecundidad promedio fue 49 %, similar a la obtenida por Exner *et al.* (2010), hallándose diferencias significativas entre procedencias con valores extremos de 18.2 % (6238) y 86 % (6221). Las poblaciones 6221, 6246 y 6159 destacaron por presentar los mayores porcentajes de fecundidad, difiriendo significativamente de las otras poblaciones. Las poblaciones 6234 y 6238 presentaron menor fecundidad (Figura 1D).

La fecundidad obtenida se consideró alta por tratarse de una gramínea nativa C4, sobre la que no se ha realizado selección antrópica, pero en distintas especies del género se ha registrado variaciones importantes en la fructificación o producción de semillas (Peters *et al.*, 1963; Vanden Born, 1971; Steel *et al.*, 1983). Según Kawano y Miyake (1983) y Forcella *et al.* (2000) en el género *Setaria* la producción

period and seed production (Fang *et al.*, 2004). In *Setaria sphacelata* (Hacker and Cuany, 1997) and in *Panicum maximum* (Maschietto, 1981; Oliveira and Humphreys, 1986), the extended flowering caused lack of uniformity in the emergence of panicles, lesser retention of fruits, and consequently, lower seed production. Based on this background, the results of this study would indicate that it is feasible to select this feature for breeding programs.

Fertility

The average fertility rate was 49 %, similar to that obtained by Exner *et al.* (2010), finding significant differences among origins with extreme values of 18.2 % (6238) and 86 % (6221). The populations 6221, 6246 and 6159 stood out by having the highest percentages of fertility, differing significantly from other populations. The populations 6234 and 6238 showed lower fertility (Figure 1D).

Fertility obtained is considered to be high because it is a native C4 grass, on which there has been no anthropical selection, but in different species of the genus significant variations in fruiting or seed production have been recorded (Peters *et al.*, 1963; Vanden Born, 1971; Steel *et al.*, 1983). According to Kawano and Miyake (1983) and Forcella *et al.* (2000) in the genus *Setaria* seed production is very plastic and heavily dependent on biomass accumulation in the plant, forming level of tillers and inflorescence architecture.

Viability and ability of seed germination

The analysis of seeds with tetrazolium revealed that the percentages of viability were above 80 % in the nine populations studied (Table 2). However, seed germination was from scarce to zero and only two populations showed minimum values of germination: 0.5 % (6234) and 1.5 % (6221). This suggests that within populations evaluated there is no variability for seminal dormancy, a trait already noted for this species (Pensiero *et al.*, 1995; Schrauf *et al.*, 1998). Although the mechanisms that affect or impede the germination of species of this genus are varied (Hilhorst, 1995; Schrauf *et al.*, 1995; Muller 1996), in *S. lachnea* there are inhibitors in structures that enclose the caryopsis (glumella: lemma and palea) which could be the cause of dormancy of seeds

de semillas es muy plástica y fuertemente dependiente de la acumulación de biomasa en la planta, nivel de formación de macollos y arquitectura de sus inflorescencias.

Viabilidad y capacidad de germinación de las semillas

El análisis de las semillas con tetrazolio reveló que los porcentajes de viabilidad fueron superiores al 80 % en las nueve poblaciones estudiadas (Cuadro 2). Sin embargo, la germinación de las semillas fue escasa a nula y sólo dos poblaciones mostraron valores mínimos de germinación: 0.5 % (6234) y 1.5 % (6221). Esto indicaría que dentro de las poblaciones evaluadas existe nula variabilidad para la latencia seminal, una característica ya señalada para esta especie (Pensiero *et al.*, 1995; Schrauf *et al.*, 1998). Si bien los mecanismos que afectan o impiden la germinación de las especies de este género son variados (Hilhorst, 1995; Schrauf *et al.*, 1995; Muller 1996), en *S. lachnea* hay inhibidores en las envolturas de la cariósida (glumelas: lemma y pálea) que sería la causa de la latencia de sus semillas (Schrauf *et al.*, 1998). La presencia de mecanismos que promueven la latencia de las semillas es un fenómeno frecuente en las especies silvestres (Heise, 1988) y este mecanismo permitiría garantizar mejores condiciones ambientales para el éxito de su perpetuación (Harper, 1977). Si bien la producción y viabilidad de las semillas fueron elevadas, los resultados del presente estudio muestran que la latencia seminal fue un factor limitante y que se debe considerar en la domesticación de esta especie. La ausencia de variación dentro de las poblaciones analizadas para el carácter latencia seminal, hace necesario ampliar la recolección para determinar si es factible hallar variabilidad para este carácter. En el futuro es posible que la escarificación mejore la germinación y permita un establecimiento exitoso en materiales mejorados por caracteres relacionados con la productividad y calidad forrajera.

(Schrauf *et al.*, 1998). The presence of mechanisms that promote seed dormancy is a common phenomenon in wild species (Heise, 1988) and this mechanism would ensure better environmental conditions for the success of their continuation (Harper, 1977). While production and viability of the seeds were high, the results of the present study show that the seminal dormancy was a limiting factor and should be considered in the domestication of this species. The lack of variation within populations analyzed for the dormancy seminal trait makes it necessary to expand the collection to determine whether it is feasible to find variability for this trait. In the future it is possible that scarification improves germination and allows a successful establishment of improved materials by traits related to forage productivity and quality.

Correlation among traits

The traits AV, ALF and LLF (associated with biomass) were negatively correlated with fertility (Table 3). In forage species breeding it is necessary to select for traits related to the quantity and quality of forage, but taking into account the production of seed; but this trait has shown negative correlation with forage production in C4 species (West and Pitman, 2001). The significant negative correlation found between the TTP and ER coincided with that recorded by Mullins and Marks (1987) for *Spartina anglica*.

The 6238 population showed a period of very extended emergence of panicle, which would enable select genotypes showing a longer vegetative stage and therefore a longer period of supply of higher quality forage. In this regard, Elzinga *et al.* (2007) point out that the extension of flowering is a trait highly heritable in grasses. Therefore, it will be necessary to explore the existence of variability in fertility within the populations or evaluate the effect of management techniques that allow increasing that trait, such as nitrogen fertilization (Hacker, 1994; Dwivedi *et al.*, 1999; Cole and Johnston, 2006).

**Cuadro 2. Promedio y desviación estándar (entre paréntesis) de la viabilidad de las semillas en poblaciones de *S. lachnea*.
Table 2. Mean and standard deviation (in parenthesis) of seed viability in populations of *S. lachnea*.**

Poblaciones	6159	6221	6227	6233	6234	6238	6239	6242	6246
Viabilidad (%)	94 (2.4)	100 (0)	89.5 (0.4)	85.7 (1.3)	86.8 (1.1)	82.6 (1.5)	87.2 (2)	100 (0)	100 (0)

Correlación entre caracteres

Los caracteres AV, ALF y LLF (asociados con la biomasa) se correlacionaron negativamente con la fecundidad (Cuadro 3). En el mejoramiento de especies forrajeras es necesario seleccionar por caracteres relacionados con la cantidad y calidad del forraje, pero teniendo en cuenta la producción de semilla; sin embargo, este carácter ha mostrado correlación negativa con la producción de forraje en especies C4 (West y Pitman, 2001). La correlación negativa significativa hallada entre el TTP y ER coincidió con la registrada por Mullins y Marks (1987) para *Spartina anglica*.

La población 6238 mostró un período de emergencia de panojas muy extendido, lo que posibilitaría seleccionar genotipos que presenten una etapa vegetativa más prolongada y por tanto un período más extenso de oferta de forraje de mayor calidad. Al respecto, Elzinga *et al.* (2007) señalan que la extensión de la floración es un carácter altamente heredable en gramíneas. Por tanto, será necesario explorar la exis-

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre altura del vástago, longitud de lámina foliar, ancho de lámina foliar; fecundidad y tiempo total de emergencia de panojas de poblaciones de *S. lachnea*. Las probabilidades se indican entre paréntesis.

Table 3. Correlation coefficient among height of shoot, length of leaf blade; width of leaf blade; fertility and total time of emergence of panicle of populations of *S. lachnea*. Probabilities are indicated in parenthesis.

	AV	LLF	ALF	ER	TTP
AV					
LLF	0.84 (0.005)				
ALF	0.90 (0.0008)	0.36 (0.04)			
ER	-0.73 (0.027)	-0.44 (0.23)	-0.6 (0.08)		
TTP	0.36 (0.35)	0.11 (0.78)	0.07 (0.85)	-0.75 (0.02)	

AV: altura del vástago; LLF: longitud lámina foliar; ALF: ancho lámina foliar; ER: fecundidad; TTP: tiempo total de emergencia de panojas ❖ AV: height of shoot; LLF: length leaf blade; ALF: width leaf blade; ER: fertility; TTP: total time of emergence of panicles.

CONCLUSIONS

The morphological variations of *S. lachnea* were not associated to the geographical origin of populations. The period of emergence of panicles presented variation within populations, which can allow the selection of materials at different times of flowering. The fertility of some populations was high, considering that it was an undomesticated grass. The seeds showed dormancy which prevented germination, so it is necessary to expand the collection to determine if it is possible to find variability in this trait.

—End of the English version—



tencia de variabilidad en la fecundidad dentro de las poblaciones o evaluar el efecto de técnicas de manejo que permitan incrementar dicho carácter, como la fertilización nitrogenada (Hacker, 1994; Dwivedi *et al.*, 1999; Cole y Johnston, 2006).

CONCLUSIONES

Las variaciones morfológicas de *S. lachnea* no estuvieron asociadas al origen geográfico de las poblaciones. El período de emergencia de panojas presentó variación dentro de las poblaciones, lo que puede permitir la selección de materiales en diferente momento de floración. La fecundidad de algunas poblaciones fue alta, tomando en cuenta que se trató de una gramínea no domesticada. Las semillas presentaron latencia que impidió su germinación, por lo que es necesario ampliar la recolección para determinar si es posible hallar variabilidad en este carácter.

LITERATURA CITADA

- Allard, R. W. 1999. Principles of Plant Breeding. 2a. ed. J. Wiley and Sons. N. York. 254 p.
- Aranguren, M. B. 1997. Tetrazolium test procedure for *Setaria italica*. ISTA Tetrazolium workshop. 3-7 november, Buenos Aires, Argentina. National Seed Institute Oficial Seed Testing Station Argentina. Group Agric. Species 1:1-8.
- Cabrera, A. L. 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II, fascículo 1. ACME, Buenos Aires. 85 p.
- Casler, M. D. 1998. Genetic variation within eight populations of perennial forage grasses. Pl. Breed. 117: 243-249.

- Cole, I. A., and W. H. Johnston. 2006. Seed production of Australian native grass cultivars: an overview of current information and future research needs. *Austral. J. Exp. Agric.* 46: 361-373.
- Covas, G. M., y M. Frecentese, 1983. *Setaria leiantha* Hackel, un pasto nativo para integrar pasturas perennes en la región semiárida. *Agrarius* 1: 16-17.
- Dwivedi, G. K., D. Kumar, and P. S. Tomer. 1999. Effect of cutting management and nitrogen levels on growth, seed yield attributes and seed production of *Setaria sphaelata* cv. Nandi. *Trop. Grasslands* 33: 146-149.
- Elzinga, J. A., A. Atlan, A. Biere, L. Gigord, A. E. Weis, and G. Bernasconi. 2007. Time after time: flowering phenology and biotic interactions. *Trends Ecol. Evolution* 22: 432-439.
- Exner, E., J. M. Zabala, y J. F. Pensiero. 2010. Variación en la fenología de la floración y en el éxito reproductivo en *Setaria lachnea*. *Agrociencia* 44: 779-789.
- Fang, X., P. K. Subudhi, B. C. Venuto, S. A. Harrison, and A. B. Ryan. 2004. Influence of flowering phenology on seed production in smooth cordgrass (*Spartina alterniflora* Loisel.). *Aquatic Bot.* 80: 139-151.
- Forcella, F., N. Colbach, and G. O. Kegode. 2000. Estimating seed production of three *Setaria* species in row crops. *Weed Sci.* 48: 436-444.
- Giavedoni, J., J. Pensiero, G. Schrauf, A. Genero, y D. Michelini. 1996. Evaluación forrajera de poblaciones de *Setaria lachnea* (Moha Perenne). *Rev. Argentina Prod. Anim.* 16 (Supl. 1): 197-198.
- Guaita, M. S., H. H. Fernández, y I. N. Tiranti. 1989. Calidad forrajera de *Setaria leiantha* en estado reproductivo. *Revista Universidad Nacional de Río Cuarto* 9: 105-108.
- Gutiérrez, H. F., D. Medan, and J. F. Pensiero. 2006. Factors limiting pre-emergent reproductive success of *Bromus auleticus* Trin. ex Nees (Poaceae). 2. Fruit production under different pollination regimes, pollen viability and incompatibility reactions. *N Z J. Bot.* 44 (1): 57-63.
- Hacker, J. B. 1994. Seed production and its components in bred populations and cultivars of winter-green *Setaria sphaelata* at two levels of applied nitrogen fertiliser. *Austral. J. Expe. Agric.* 34: 153-60.
- Hacker, J. B., and R. L. Cuany. 1997. Genetic variation in seed production and its components in four cultivars of the pasture grass *Setaria sphaelata*. *Euphytica* 93: 271-282.
- Harper, J. L. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press, London. 892 p.
- Heise, C. B. 1988. Aspects of unconscious selection and the evolution of domesticated plants. *Euphytica* 37: 77-81.
- Hilhorst, H. W. M. 1995. A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy. *Seed Sci. Res.* 5: 61-73.
- INFOSTAT 2009. Software estadístico InfoStat. Grupo Infostat. Estadística y Biometría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba (FCA. UNC). CD.
- Jank, L., K. H. Quesenberry, L. E. Sollenberger, D. S. Wofford, and P. M. Lyrene. 2007. Selection of morphological traits to improve forage characteristics of *Setaria sphaelata* grown in Florida. *New Zealand J. Agric. Res.* 50: 73-83.
- Karyudi, and R. J. Fletcher. 2003. Osmoregulation in birdseed millet under conditions of water stress II. Variation in F₃ lines of *Setaria italica* and its relationship to plant morphology and yield. *Euphytica* 132: 191-197.
- Kawano, S., and S. Miyake. 1983. The productive and reproductive biology of flowering plants. X. Reproductive energy allocation and propagule output of five congeners of the genus *Setaria* (Gramineae). *Oecologia* 57: 6-13.
- Kunst, C., R. Ledesma, E. Monti, J. Casillo, y J. Godoy. 2007. Gramíneas indicadoras de condición en sitios de pastizal del sudoeste de Santiago del Estero. *Rev. Investigaciones Agrop.* 36: 33-61.
- Maschietto, J. C. 1981. Problems of seed production in Guinea grass. *Rev. Bras. Sementes* 3: 117-121.
- Muller, D. M. 1996. Germination and root growth of four osmoconditioned cool-season grasses. *J. Range Manag.* 49: 117-120.
- Mullins, P. H., and T. C. Marks. 1987. Flowering phenology and seed production of *Spartina anglica*. *J. Ecol.* 74: 1037-1048.
- Oliveira, P. R. P., and L. R. Humphreys. 1986. Formation of seed yield in *Panicum maximum* cv Gatton. *Trop. Grassland* 20: 52-58.
- Pensiero, J. F. 1995. *Setaria* en Paniceae, parte a, Fascículo 12, parte 1, Flora Fanerogámica Argentina 19: 98-115.
- Pensiero, J. F. 1999. Las especies sudamericanas del género *Setaria* (Poaceae, Paniceae). *Darwiniana* 37: 37-151.
- Pensiero, J. F., G. D. Marino, y G. E. Schrauf. 1995. Características reproductivas de *Setaria lachnea* (Nees) Kunth (Poaceae, Paniceae). *Rev. Fac. Agr. Univ. Buenos Aires* 15: 59-66.
- Pensiero, J. F., H. F. Gutiérrez, y E. Exner. 2005. Sistema de polinización y su efecto sobre la producción y el peso de semillas en nueve especies sudamericanas del género *Setaria*. *Interciencia* 30: 495-500.
- Peters, R. A., J. A. Meade, and P. W. Santelman. 1963. Life history studies as related to weed control in the northeast. 2. Yellow foxtail and giant foxtail. *Agric. Exp. Sta.* 18, Univ. Rhode Island, Kingston. 18 p.
- Schrauf, G. E., P. S. Cornaglia, y V. A. Deregibus. 1995. Adaptación a bajas temperaturas en cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. *Rev. Argent. Prod. Animal* 15: 83-85.
- Schrauf, G. E., A. Martino, J. Giavedoni, y J. F. Pensiero. 1998. Efectos genéticos y ambientales sobre el comportamiento germinativo de poblaciones de Moha perenne. *Ecología Austral* 8: 49-56.
- Siles, M. M., K. W. Russell, D. D. Baltensperger, L. A. Nelson, B. Johnson, L. D. Van Vleck, S. G. Jensen, and G. Hein. 2004. Heterosis for grain yield and other agronomic traits in foxtail millet. *Crop Sci.* 44: 1960-1965.
- Steel, M. G., P. B. Cavers, and S. M. Lee. 1983. The biology of Canadian weeds. 59. *Setaria glauca* (L.) Beauv. and *S. verticillata* (L.) Beauv. *Can. J. Plant Sci.* 63: 711-725.
- Vanden Born, W. H. 1971. Green foxtail: seed dormancy, germination and growth. *Can. J. Plant Sci.* 51: 53-59.
- West, S. H., and W. D. Pitman. 2001. Seed Production Technology of Tropical Forages. *In: Sotomayor-Rios S. A., and W. D. Pitman* (eds). *Tropical Forage Plants: Development and Use*. CRC Press, pp: 143-166.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang, and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415.