

Determinación de componentes de la varianza y heredabilidad en cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.)

Abbott, L. y S. Pistorale

RESUMEN

Trece genotipos de *Bromus catharticus* Vahl. (cebadilla criolla) se evaluaron, durante 3 años, utilizando un diseño experimental completamente aleatorizado con seis repeticiones para estimar parámetros estadísticos y genéticos. Por planta individual se analizaron los siguientes caracteres: número de macollos, número de panojas, número de espiguillas por espiga, número de semillas llenas, número de semillas totales, peso de 1000 semillas, largo de la panoja, ancho de hoja bandera y largo de hoja bandera. Las pruebas multivariadas mostraron diferencias significativas para todos los caracteres en estudio. La varianza genética fue superior a la ambiental en los tres años para todos los caracteres. La heredabilidad en sentido amplio varió de 0,48 a 0,90. La relación entre el coeficiente de variación genética y ambiental varió de 1,14 a 3,21 para todos los caracteres, lo que indica que la selección tiene las mejores condiciones en términos de ganancia genética inmediata. La alta variabilidad detectada en todos los genotipos, la alta heredabilidad y la relación coeficiente de variación genética y ambiental mayor a uno, resultan promisorios para la realización de programas de selección orientados a la mejora genética de cebadilla criolla.

Palabras clave: *Bromus catharticus*, componentes de la varianza, heredabilidad, mejoramiento genético, variabilidad genética

Abbott, L. and S. Pistorale, 2009. Determination of variance components and heritability in prairie grass (*Bromus catharticus* Vahl.) Agriscientia XXVII (2): 115-123

SUMMARY

Over a three-year period, 13 genotypes of *Bromus catharticus* Vahl. (prairie grass) were evaluated in a completely randomized design with six replications to estimate statistical and genetic parameters. Individual plants were analyzed in relation to the following characters: number of tillers, number of panicles, number of spikelets per spike, total number of seeds and number of full seeds, weight of 1000 seeds, length of panicle, flag leaf length and flag leaf width. Multivariate tests were conducted which showed significant differences for all characters. The genetic variance was higher than the environmental variance in the

three years for all characters. Broad-sense heritability ranged from 0.48 to 0.90. The relationship between the coefficient of genetic and environmental variation ranged from 1.14 to 3.21 for all traits, indicating that the selection has the best conditions in terms of immediate genetic gain. The high variability detected in all genotypes, the high heritability and the relationship of coefficient of genetic and environmental variation greater than one, are promising for the implementation of selection programs aimed at genetic improvement of prairie grass

Key words: *Bromus catharticus*, variance components, heritability, genetic improvement, genetic variability.

L. Abbott y S. Pistorale. Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. CC 221 (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina. Correspondencia a L. Abbott: genetica@unlu.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl., sinónimos *B. willdenowii* Kunth, *B. unioloides* Kunth, también llamada o praire-grass o rescue grass) es una especie forrajera nativa muy cultivada en Argentina cuyo potencial no se ha evaluado totalmente y es poco lo que se conoce y explota.

Es una especie hexaploide ($6n = 42$) cromosomas y posee dos tipos de floración, cleistógama y chasmógama, aunque es considerada una especie autógena facultativa por su baja tasa de allogamia, (Cladera & Pahlen, 1984; Naranjo, 1985; Pahlen, 1986; Morant, 1990; Aulicino & Arturi, 2002). Es una especie anual o bianual de ciclo otoño-invierno-primaveral. Posee numerosas ramificaciones basales (macollos), algunas de las cuales producen cañas floríferas en cuyo extremo está la inflorescencia, que es una panoja laxa con espiguillas achatadas, cada una de las cuales contiene de 6 a 12 semillas grandes. La cebadilla se consocia muy bien con otras especies forrajeras formando pasturas de óptima calidad en las cuales perdura por muchos años a causa de su gran producción de semillas y su destacado comportamiento en la resiembra natural (Wolff *et al.*, 1996).

La variabilidad natural es una característica fundamental de las especies, que les permite sobrevivir y reproducirse mejor en un mayor rango ambiental. Por otra parte, la existencia de variabilidad, que previamente debe ser cuantificada, es un requisito indispensable para todo programa de mejoramiento. Esta variabilidad puede ser natural o inducida, pero la natural es más eficiente y económica.

En el mejoramiento genético, además de conocer los aspectos agronómicos de la especie, es

necesario conocer las características genéticas de la población en estudio. La genética de un carácter métrico se basa en el estudio de su variación y su partición en componentes atribuibles a diferentes causas. La cantidad de variación se mide y se expresa como la varianza.

La varianza total o fenotípica es una medida de la variabilidad fenotípica entre los individuos de la población, y sus componentes son la varianza genotípica, la varianza ambiental y la varianza de la interacción genotipo-ambiente. La varianza genotípica se origina por las diferencias que existen entre los genotipos, por lo que cuando mayor sea el número de *loci* segregantes, mayor será el número de genotipos diferentes en la población (Molina, 1992). La varianza ambiental comprende toda la variación de origen no genético, y gran parte de ésta se encuentra fuera del control del investigador; la varianza de la interacción genotipo-ambiente mide el comportamiento diferencial de los genotipos según el ambiente en el que se desarrollan (Chaves, 2001). Cuando la varianza ambiental es alta en relación a la variabilidad total, tiende a reducir la variabilidad genética, lo que implica mayor dificultad en la obtención de ganancia genética, es decir, cuanto mayor sea su proporción en relación a la variabilidad total, más difícil es una selección eficaz (Hartwig *et al.*, 2007).

Los componentes de la varianza fenotípica se pueden estimar con las esperanzas de los cuadrados medios generadas por los análisis de varianza, conforme la metodología propuesta por Vencovsky y Barriga (1992).

Para los caracteres métricos, la heredabilidad es una de sus propiedades más importantes, y expresa la proporción de la varianza total que es atribuible a los efectos medios de los genes, o

sea, expresa la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor genotípico. En sentido amplio, la heredabilidad (H^2) es el cociente de la varianza genotípica y la fenotípica y puede variar en distintos caracteres del mismo organismo, para el mismo carácter en organismos distintos e incluso para el mismo carácter en poblaciones distintas del mismo organismo. La precisión de la heredabilidad depende de una adecuada estimación de los componentes de varianza asociados. La utilidad de su estimación radica en el sentido predictivo de la respuesta a la selección (Nyquist, 1991).

El análisis de los parámetros genéticos es de gran importancia, pues la información proveniente de los componentes de la varianza genética y la heredabilidad son esenciales para hacer inferencias acerca de los beneficios que pueden obtenerse con la selección (Sonierajski *et al.*, 2006)

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar la diversidad en caracteres cuantitativos morfológicos y reproductivos de 13 genotipos de cebadilla criolla y determinar a nivel fenotípico, genotípico y ambiental, los componentes de la varianza, los coeficientes de variación y la heredabilidad en sentido amplio. Mediante la estimación de estos parámetros genéticos se espera contribuir a diseñar estrategias de mejoramiento genético en cebadilla criolla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

En 1990 comenzaron los estudios en poblaciones naturales de cebadilla criolla ubicadas en tres localidades de la provincia de Buenos Aires, Argentina: Luján (34°34' S, 59°60' O), Gowland (34°41' S, 59°23' O) y Alberti (35°10' S, 60°16' O), con el objetivo de estudiar el comportamiento reproductivo de la especie.

De cada una de esas poblaciones se seleccionaron *in situ* las plantas que mostraron el mejor comportamiento en los caracteres: número de macollos por planta, número de panojas por planta, capacidad de supervivencia y semillas de calidad en peso y poder germinativo. Las progenies de estas plantas fueron sometidas a pruebas de progenie entre 1994 y 1998, para estimar parámetros genéticos (Wolff *et al.*, 2006).

Para este trabajo fueron seleccionados 13 genotipos y por planta individual se evaluaron, durante 3 años, los siguientes caracteres: 1) número de macollos, 2) número de panojas, 3) largo de panoja, 4) número de espiguillas por panoja, 5) lar-

go de hoja bandera, 6) ancho de hoja bandera, 7) número de semillas totales por panoja, 8) número de semillas llenas por panoja y 9) peso de 1000 semillas. El número de macollos se contó antes de que éstos se transformen en macollos reproductivos, el número de panojas se contó a medida que iban madurando, el largo de panoja (cm) se midió desde la inserción hasta el extremo, el largo de la hoja bandera (cm) se midió desde la inserción hasta el extremo y el ancho de la hoja bandera (cm) se midió en su parte media. Las panojas se guardaron en bolsas de papel (una planta por bolsa) para hacer luego los recuentos en gabinete. Las mediciones de largo de panoja, largo y ancho de hoja bandera y número espiguillas se realizaron sobre tres panojas por planta y se estimó el valor promedio. Estas panojas fueron trilladas manualmente y se contaron todas las semillas para obtener el número de semillas totales por panoja; de este total se desecharon las vanas para obtener el número de semillas llenas por panoja. Se contaron 200 semilla llenas, se pesaron y se estimó el peso de 1000 semillas (g).

Diseño, análisis estadísticos y genéticos

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Universidad Nacional de Luján (Buenos Aires) en un diseño experimental completamente aleatorizado con 13 tratamientos (genotipos) y 6 repeticiones, donde la unidad experimental estuvo representada por una planta.

Los caracteres se analizaron utilizando el programa estadístico InfoStat (2008). Con un análisis de la varianza multivariado (MANOVA) se realizaron inferencias simultáneas sobre todas las variables estudiadas durante los tres años. InfoStat provee cuatro estadísticos para pruebas de análisis multivariado: Lambda de Wilks, Traza de Pillai, Traza de Hotelling-Lawley y máximo autovalor de Roy. Con un análisis de varianza univariado (ANOVA), se particionó la variabilidad total o fenotípica en componentes asociados a una fuente de variación conocida. A partir de este análisis se obtuvieron las varianzas, los coeficientes de variación y la heredabilidad en sentido amplio, según las siguientes fórmulas:

$$\text{Varianza genotípica}(\sigma_G^2) = CM_P - CM_E / r$$

$$\text{Variancia ambiental}(\sigma_A^2) = CM_E / r$$

$$\text{Variancia fenotípica}(\sigma_F^2) = \sigma_G^2 + \sigma_E^2 / r$$

donde, CM_P = cuadrado medio de las poblaciones

CM_E = cuadrado medio del error experimental

r = número de repeticiones

σ_E^2 = varianza del error experimental

Los coeficientes de variación genético, fenotípico y ambiental se estimaron según:

Coeficiente de variación genético

$$(CV_G) = \frac{\sqrt{\sigma_G^2}}{\bar{x}} \times 100$$

Coeficiente de variación fenotípico

$$(CV_F) = \frac{\sqrt{\sigma_F^2}}{\bar{x}} \times 100$$

Coeficiente de variación ambiental

$$(CV_A) = \frac{\sqrt{\sigma_A^2}}{\bar{x}} \times 100$$

Con las estimaciones de los componentes de varianzas, se calculó la heredabilidad en sentido amplio o grado de determinación genético (Burton & De Vane, 1953; Shing *et al.*, 1993) a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Heredabilidad } (H^2) = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_A^2}$$

Con un análisis de varianza univariado (ANOVA), particionado por años, se estimó la interacción G x A para cada carácter.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la variabilidad

Para evaluar la variabilidad de los caracteres estudiados en los 13 genotipos durante los 3 años, se realizaron pruebas multivariadas. Estas mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$) en número de macollos por planta, número de panojas por planta, número de espiguillas por panoja, número de semillas totales por planta, número de semillas llenas por planta, peso de 1000 semillas y ancho de hoja bandera, lo que indica

Tabla 1. Media, rango (mínimo-máximo), coeficiente de variación (CV) e intervalos de confianza (LI y LS) para diferentes caracteres en cebadilla criolla (*Bromus catharticus*) en 3 años de estudio.

Variable	Año	Media	Rango	CV (%)	LI (95%)	LS (95%)	p
N° de macollos	1	10,92 A	6-20	26,05	10,29	11,53	0,0001
	2	18,09 B	5-30	27,72	17,08	19,14	0,0028
	3	20,49 C	9-36	29,96	19,21	21,69	<0,0001
N° de panojas	1	5,83 A	3-14	28,63	5,45	6,17	<0,0001
	2	9,59 B	3-15	25,68	9,05	10,07	<0,0001
	3	11,71 C	3-25	46,04	10,48	12,84	<0,0001
N° de espiguillas	1	37,17 A	21-70	26,21	25,16	39,23	0,0005
	2	40,53 A	27-71	20,33	39,01	42,50	<0,0001
	3	40,14 A	17-89	28,70	37,66	43,00	<0,0001
N° de semillas llenas	1	160,75 A	52-269	23,90	153,58	168,73	0,0809
	2	162,00 A	57-280	31,52	151,98	173,52	<0,0001
	3	144,31 A	38-290	38,51	133,27	155,90	<0,0001
N° de semillas totales	1	211,44 A	129-348	21,42	201,82	221,89	0,2988
	2	198,72 B	78-380	30,52	184,82	212,59	0,0007
	3	169,38 B	41-325	38,79	154,57	182,36	0,0192
Peso de 1000 semillas (g)	1	8,27 A	5,7-11,5	16,55	7,95	8,56	<0,0001
	2	9,94 B	6,6-13,6	16,75	9,57	10,30	<0,0001
	3	10,43 B	6,1-15,6	16,92	10,11	10,83	<0,0001
Largo hoja bandera (cm)	1	24,51 A	18,3-30,8	11,14	23,94	25,04	0,0002
	2	23,45 B	17,7-31,2	10,68	22,91	23,99	0,0394
	3	19,88 B	13,0-31,5	17,98	18,79	20,62	0,0448
Ancho hoja bandera (cm)	1	0,67 A	0,50-0,90	14,15	0,65	0,69	0,0035
	2	0,67 A	0,43-0,93	15,83	0,65	0,70	0,0002
	3	0,68 A	0,43-1,03	19,91	0,65	0,70	<0,0001
Largo de panoja (cm)	1	33,30 A	28,0-40,2	8,16	32,70	33,90	0,0384
	2	28,69 B	23,3-38,2	9,98	28,09	29,32	<0,0001
	3	24,41 C	15,7-31,8	14,15	23,68	25,16	0,0004

Letras distintas indican diferencias significativas ($p = 0,05$)

gran variabilidad en estos caracteres. Presentaron menor variabilidad el largo de panoja ($p = 0,0042$) y el largo de hoja bandera ($p = 0,0206$).

Estadísticos descriptivos

Los valores medios, las pruebas de comparaciones múltiples de Bonferroni, el coeficiente de variación y los intervalos de confianza para los diferentes caracteres en los tres años se observan en la Tabla 1. En el primer año, los valores medios del número de macollos por planta y el número de panojas por planta fueron más bajos que en los dos años siguientes, y las diferencias fueron estadísticamente significativas. En el primer año, el largo de la panoja fue mayor, lo que produjo un número de semillas llenas por panoja similar al de los otros años, pero con un peso de 1000 semillas más bajo. Los valores más bajos del coeficiente

de variación se observan en el largo de panoja y en el largo de la hoja bandera, especialmente en los dos primeros años, y los valores más altos se obtuvieron para el número de panojas por planta, el número de semillas totales por panoja y el número de semillas llenas por panoja en el tercer año, caracteres reproductivos muy influenciados por el ambiente (Wolff *et al.*, 1996). Los valores de probabilidad que aparecen tabulados en la última columna de la tabla, muestran si hubo diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos para cada carácter en cada año.

Componentes de la varianza y heredabilidad

En la Tabla 2 se muestran los valores de varianza genética, fenotípica y ambiental y sus correspondientes coeficientes de variación. Cuando la varianza genética es mayor que la varianza am-

Tabla 2. Varianza genética (σ_G^2), ambiental (V_A) (σ_A^2) y fenotípica ($(V_F) \sigma_F^2$), heredabilidad en sentido amplio (H^2) y coeficientes de variación genético (CV_G), ambiental (CV_A) y fenotípico (CV_F) para diferentes caracteres en cebadilla criolla (*Brassica catharticus*) en 3 años de estudio.

Variable	Año	σ_G^2	σ_A^2	σ_F^2	H^2	CV_G	CV_A	CV_F	CV_G/CV_A
N° de macollos	1	2,83	0,91	3,73	0,76	15,39	8,73	17,69	1,76
	2	6,18	3,23	9,41	0,66	13,74	9,93	16,95	1,38
	3	14,08	4,09	18,17	0,78	18,32	9,87	20,81	1,86
N° de panojas	1	1,20	0,28	1,48	0,81	18,81	9,02	20,86	2,09
	2	3,05	0,54	3,59	0,85	18,21	7,63	19,75	2,39
	3	11,33	3,07	14,41	0,79	28,76	14,98	32,43	1,92
N° de espiguillas	1	28,72	11,34	40,06	0,72	14,42	9,06	17,03	1,59
	2	36,85	5,54	42,38	0,87	14,98	5,81	16,06	2,58
	3	56,37	13,33	69,71	0,81	18,71	9,10	20,80	2,06
N° de semillas llenas	1	160,85	220,91	381,76	0,42	7,89	9,25	12,16	0,85
	2	1363,65	222,06	1585,71	0,86	22,80	9,20	24,58	2,48
	3	1071,71	347,58	1419,29	0,76	22,69	12,92	26,11	1,76
N° de semillas totales	1	68,04	331,36	399,40	0,17	3,90	8,61	9,45	0,74
	2	1070,49	446,19	1516,68	0,71	16,46	10,63	19,60	1,55
	3	749,13	602,51	1351,63	0,55	16,16	14,49	21,71	1,12
Peso de 1000 semillas (g)	1	1,41	0,09	1,51	0,94	14,37	3,67	14,83	3,92
	2	1,32	0,26	1,58	0,84	11,56	5,09	12,64	2,27
	3	2,15	0,18	2,33	0,92	14,07	4,10	14,66	3,43
Largo hoja bandera (cm)	1	2,45	0,86	3,31	0,74	6,39	3,78	7,43	1,69
	2	0,90	0,91	1,80	0,50	4,04	4,06	5,72	1,00
	3	1,75	1,86	3,61	0,49	6,66	6,85	9,56	0,97
Ancho hoja bandera (cm)	1	0,002	0,001	0,003	0,67	6,70	4,73	8,20	1,41
	2	0,004	0,001	0,005	0,80	9,37	4,69	10,48	2,00
	3	0,008	0,002	0,010	0,80	13,23	6,62	14,79	2,00
Largo de panoja (cm)	1	1,06	1,06	2,12	0,50	3,10	3,09	4,37	1,00
	2	3,05	0,89	3,94	0,77	6,10	3,29	6,92	1,85
	3	3,68	1,42	5,10	0,72	7,86	4,87	9,25	1,61

Los coeficientes de variación genético, ambiental y fenotípico están expresados en porcentaje.

biental indica que la varianza genética fue la que más contribuyó a la variación fenotípica del carácter en comparación con la varianza ambiental.

Vencovsky (1987) afirma que existe una situación muy favorable para la ganancia por selección cuando la relación entre el coeficiente de variación genética y ambiental tiende a uno o es superior a uno, ya que en estos casos la variación genética es mayor que la ambiental, lo que indica que la selección para estos caracteres tiene las mejores condiciones en términos de ganancia genética inmediata.

De acuerdo con Stanfield (1971), los caracteres se consideran de heredabilidad alta cuando ésta es mayor que 0,50, de heredabilidad media entre 0,20 y 0,50 y de heredabilidad baja si es menor a 0,20. En la Tabla 2 se observan los valores de heredabilidad para cada carácter y para cada año. Valores altos de heredabilidad sugieren que la variación existente es de naturaleza genética, lo que permite prever avances mediante selección. La heredabilidad en sentido amplio tiene validez para fines de comparación entre caracteres e interesa para considerar las expectativas de selección (Vencovsky y Barriga, 1992).

En forma conjunta el coeficiente de variación genético y la heredabilidad da idea del potencial para efectuar una posible selección en los genotipos analizados.

Número de macollos

El número de macollos vegetativos es un carácter importante para la determinación del rendimiento de forraje y que luego se transformarán en macollos reproductivos importantes para el rendimiento de semilla (Jewis, 1972). Todos los genotipos variaron significativamente ($p < 0,0001$) en el número de macollos por planta. La prueba de Bonferroni, de diferencia de medias, destacó a los genotipos 9 y 11 con el valor mayor (21 y 20 respectivamente) y el genotipo 1 con el valor menor (13). Para este carácter, en los tres años la varianza genética fue mayor a la ambiental, lo que indica que la varianza genética fue la que más contribuyó a la varianza fenotípica en comparación con la varianza ambiental. La heredabilidad fue alta, 0,73 en promedio de los 3 años, y esto sugiere que la variación existente es de naturaleza genética, lo que permite prever avances en la producción mediante selección; el cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental fue mayor que uno lo que también es favorable para la ganancia por selección.

Número de panojas

El número de panojas (macollos reproductivos) es uno de los componentes más importante del rendimiento de semilla y en la mayoría de las especies forrajeras está altamente correlacionado a la cantidad de macollos vegetativos (Smith *et al.*, 1994). Wolff *et al.* (1996) señalan que en cebadilla criolla el número de panojas por planta es generalmente un 50% del número de macollos por planta. Los genotipos mostraron alta variabilidad ($p < 0,0001$) en el número de panojas, destacándose los genotipos 9 y 13 con 13 y 11 panojas por planta, mientras que el menor valor fue el del genotipo 7 con 6 panojas por planta. La varianza genética fue superior a la ambiental, la heredabilidad alta -0,82 en promedio de los 3 años- y el cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental mayor que uno.

Número de espiguillas

El número de espiguillas por espiga es otro de los componentes importantes del rendimiento de semillas (Abbott *et al.*, 2007). Todos los genotipos presentan gran variabilidad, destacándose el genotipo 10 con un promedio de 55 espiguillas por panoja y los genotipos 8 y 13 con 44 espiguillas por panoja. El genotipo 7 sólo presentó 21 espiguillas por panoja. La varianza genética fue superior a la ambiental, la heredabilidad promedio alta (0,80) y el cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental mayor que uno.

Número de semillas llenas

El número de semillas llenas es otro carácter de gran interés en todos los programas de mejoramiento de especies forrajeras, y es indicativo del éxito en la difusión de nuevos cultivares. Este carácter está altamente influenciado por el ambiente y es el resultado de la expresión total del genotipo desde que la semilla se siembra hasta la cosecha, o sea, es la expresión combinada del genotipo y el ambiente a lo largo de todo el período de crecimiento y desarrollo. En el presente estudio todos los genotipos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$). La media de este carácter fue de 156 semillas por planta, destacándose los genotipos 10 y 8 con 212 y 202 semillas llenas por planta respectivamente, y el valor más bajo correspondió al genotipo 2 con sólo 122 semillas llenas por planta. La varianza genética fue superior a la ambiental en el segundo y tercer año, la heredabilidad promedio 0,68 y excepto para el primer año el cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental mayor que uno.

Número de semillas totales

La relación entre el número de semillas llenas y el número de semillas totales da una idea de la eficiencia en el llenado del grano. Las diferencias entre los genotipos para el número de semillas totales por planta fueron estadísticamente significativas ($p < 0,0001$). El porcentaje de semillas llenas en función de las semillas totales fue de 80% en promedio de los 3 años, y como en el caso de semillas llenas la varianza genética fue mayor a la ambiental en el segundo y tercer año. La heredabilidad fue baja en el primer año (0,17) y alta en los otros dos (0,71 y 0,55). El cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental menor a uno en el primer año y mayor que uno en los dos años siguientes.

Peso de 1000 semillas

El peso de 1000 semillas es otro componente importante para la determinación del rendimiento de semilla. En algunas especies la asociación entre el peso de 1000 semillas y el vigor inicial de las plántulas y su sobrevivencia es directa (Twamley, 1967; Raja & Bean, 1979; Schaal & Smith, 1980). En otras especies, como agropiro alargado, esta relación no es directa (Andrés y Guillen, 2001). En el presente estudio se encontró variabilidad estadísticamente significativa entre genotipos ($p < 0,0001$). El peso promedio de las 1000 semillas fue de 9,54 g; el mayor peso fue para el genotipo 2 con 12,11 g y el menor valor de 8,05 g correspondió al genotipo 6. La heredabilidad del carácter fue muy alta (0,90), con mayor varianza genética que ambiental. El cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental fue muy alto, con un valor promedio de 3,21.

Largo de hoja bandera

El largo de la hoja bandera se puede considerar un componente secundario del rendimiento en semilla (Abbott *et al.*, 2007). Para este carácter los genotipos mostraron la menor variabilidad ($p = 0,0206$). El largo promedio de hoja bandera fue de 22,6 cm con un máximo de 31,5 cm y un mínimo de 13 cm. La heredabilidad promedio en los 3 años fue de 0,58. La varianza genética fue superior a la ambiental en el primer año, igual en el segundo año e inferior en el tercero. El cociente entre el coeficiente de variación de estas dos varianzas fue, por lo tanto, superior a uno en el primer año, igual a uno en el segundo e inferior a uno en el tercer año.

Ancho de hoja bandera

El ancho de hoja es un componente importan-

te que contribuye al rendimiento de materia seca en cebadilla criolla (Edwards & Cooper, 1963; Sugiyama *et al.*, 1985). Es utilizado como criterio de selección para el rendimiento de materia seca y para su digestibilidad (Cooper & Edwards, 1961; Lentz & Buxton, 1991). En este estudio los genotipos variaron significativamente en el ancho de hoja ($p < 0,0001$), con valores máximos de 0,83 y 0,72 mm para los genotipos 2 y 9 respectivamente, y como valor menor, 0,60 mm para el genotipo 3. Presentó una heredabilidad de 0,76 en promedio; el cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental fue superior a uno y la varianza genética fue mayor a la varianza ambiental.

Largo de la panoja

El largo de la panoja es considerado un componente secundario del rendimiento de semilla (Abbott *et al.*, 2007) y generalmente está asociado al peso de semilla. Este carácter presentó menor variabilidad ($p = 0,0042$). El largo promedio de los 3 años fue de 28,8 cm con valores máximos de 31,2 y 30,7 cm para los genotipos 5 y 9 respectivamente, y 25,5 cm como valor menor para el genotipo 4. En el primer año la heredabilidad fue de 0,50; la varianza genética fue igual a la varianza ambiental y el cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental fue uno. En el segundo y tercer año la heredabilidad fue superior a 0,70, la varianza genética fue mayor que la ambiental y el cociente entre el coeficiente de variación genético y el ambiental fue superior a 1,60.

La interacción G x A fue estadísticamente significativa en los tres años para el número de panojas por planta y el largo de hoja bandera; por el contrario, para número de espiguillas por panoja, el número de semillas totales por planta y el largo de panoja no fue estadísticamente significativo en ninguno de los tres años. El peso de 1000 semillas mostró interacción estadísticamente significativa en los años 2 y 3 mientras que ancho de hoja bandera lo fue para los años 1 y 2. El número de macollos por planta expuso interacción estadísticamente significativa sólo en el tercer año, mientras que largo de hoja bandera sólo en el primer año. Cuando la interacción G x A es significativa puede estar sobrestimado el componente genético y consecuentemente la heredabilidad. Esto debe ser tenido en cuenta en la formulación de planes de mejoramiento, ya que conocida la heredabilidad del carácter se puede predecir el progreso por selección y estimar la intensidad con que los cambios ambientales pueden afectar su expresión.

Los numerosos trabajos realizados sobre cebadilla criolla se refieren, en general, a aspectos agro-

nómicos como producción de forraje, respuesta a la fertilización nitrogenada y fosfatada, calidad del forraje, producción de semilla y manejo del pastoreo, pero son escasos los estudios que abarcan el aspecto de la variación genética de la especie. El presente trabajo permitió detectar una elevada variabilidad y un componente genético alto para los caracteres evaluados, que resultan promisorios para su aplicación en programas de selección orientados a la mejora genética de cebadilla criolla. El genotipo 9 se destacó para la producción de forraje aunque no tanto para la producción de semilla, y el genotipo 13 para el rendimiento de semilla, pero será necesario evaluar otros caracteres como producción y calidad de forraje antes de generar nuevos cultivares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento recibido del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Luján para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L.; S. Pistorale y O. Filippini, 2007. Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semillas en *Bromus catharticus*. *Ciencia e Investigación Agraria* 34(2): 141-149.
- Andrés, A. y R. Guillen, 2001. Variabilidad en el crecimiento de plántulas de agropiro alargado con diferentes peso de mil semillas. *Journal of Basic and Applied Genetics*. Actas XXX Congreso Argentino de Genética. IV Jornadas Argentino Uruguayas de Genética. pp 106-107.
- Aulicino, M. and M. Arturi, 2002. Phenotypic diversity in Argentinean populations of *Bromus catharticus* (Poaceae). Genetic and environmental components of quantitative traits. *New Zealand Journal of Botany* 40:223-234.
- Burton, G.W. and R.W. De Vane, 1953. Estimating heritability in tall Fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal* 45:478-481.
- Chaves, L.J., 2001. Interação de genótipos com ambientes. In.: Nass, L.L.; Valois, A.C.C.; Melo, I.S.; Valadares-Inglis, M.C. (eds.) Recursos genéticos e melhoramento - Planta. Rondonópolis: Fundação MT. pp. 673 - 713.
- Cladera, J.L. and A. Pahlen von der, 1984. Genetic and population study of esterases on *Bromus catharticus* Vahl. *Boletín de Genética del Instituto Fitotécnico de Castelar (Argentina)* 12:25-30.
- Cooper, J.P. and K.J.R. Edwards, 1961. The genetic control of leaf development in Lolium: I. Assessment of genetic variation. *Heredity* 16:63-82.
- Edwards, K.J.R. and J.P. Cooper. 1963. The genetic control of leaf development in Lolium: II. Response to selection. *Heredity* 18:307-317.
- Hartwig, I.; J.A. González da Silva, F.I. Félix de Carvalho, A. Costa de Oliveira, I. Bertan, I. Pires Valério, G. Olegário da Silva, G. Ribeiro, T. Finatto, G. da Silveira, 2007. Variabilidade fenotípica de caracteres adaptativos de aveia branca (*Avena sativa* L.) em cruzamentos dialélicos. *Ciência Rural* 37:337-345
- InfoStat, 2008. Software estadístico. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Versión 2008.
- Jewis, O., 1972. Tillering in grass: its significance and control. *Journal British Grassland Society* 27:65-82.
- Lentz, E. and D. Buxton, 1991. Morphological traits and maturity Group relations with digestibility of orchard-grass. *Crop Science* 31 (6):1555-1560.
- Molina, G.J.D., 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnica). AGT Editores. México, DF. 349 pp.
- Morant, A., 1990. Determinación del porcentaje de fecundación cruzada en cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl). Tesis de Magíster, Universidad Nacional de Rosario, INTA Pergamino, Argentina. 99 pp.
- Naranjo, C.A., 1985. Estudios citogenéticos, bioquímicos y sistemáticos en algunas especies americanas del género *Bromus* (Gramineae). Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 243 pp.
- Nyquist, W.E., 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Reviews in Plant Science* 10(3):235-322.
- Pahlen, A.W. von der, 1986. Evaluation of genetic variability of some native forage plants. *Boletín de Genética del Instituto Fitotécnico de Castelar (Argentina)* 4:1-6.
- Raja, H. and E.W. Bean, 1979. Seed development and seed shedding in North Italian ecotypes of *Lolium multiflorum*. *Grass and Forage Science* 34:221-227.
- Schaal, B and W. Smith, 1980. The apportionment of genetic variation within and among populations of *Desmosium nudiflorum*. *Evolution* 34(2):214-221.
- Shing, M.; S. Ceccarelli and J. Hambling, 1993. Estimation of heritability from varietal trials data. *Theoretical and Applied genetics* 86:437-441.
- Smith, K.; C. Lee; P. Borg and P. Flinn, 1994. Yield, nutritive value, and phenotypic variability of tall wheatgrass grown in a nonsaline environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34:609-614.
- Sobierajski, G.R.; P.Y. Kageyama and A.M. Sebbenn, 2006. Estimates of genetic parameters in *Mimosa scabrella* populations by random and mixed reproduction

- models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 06:47-54.
- Stanfield, W.D., 1971. *Genética. Teoría y 400 problemas resueltos*. Serie Schaum, McGraw Hill, México. 405 pp.
- Sugiyama, S.; M. Yoneyama; N. Takahashi and K. Gotoh, 1985. Canopy structure and productivity of *Festuca arundinacea* Schreb. sward during vegetative and reproductive growth. *Grass and Forage Science* 40:40-55.
- Twamley, B., 1967. Seed size and seedling vigor in birds-foot trefoil. *Crop Science* 14:87-90.
- Vencovsky, R., 1987. Herança Quantitativa. In: E. Pateriani (ed.). *Melhoramento e Produção do Milho no Brasil*. Edição da Fundação Cargill. Instituto de Genética, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, Brasil. pp 122-199.
- Vencovsky, R. y P. Barriga, 1992. Genética Biométrica no fitomelhoramiento. Ribeirao Preto, *Revista Brasileira de Genética*, 496pp.
- Wolff, R.; L. Abbott and S. Pistorale, 1996. Reproductive behaviour of *Bromus catharticus* Vahl. (cebadilla criolla) in natural and cultivated populations. *Journal of Genetics and Breeding* 50:121-128.
- Wolff, R.; L. Abbott and S. Pistorale, 2006. Estimation of genetic parameters in *Bromus catharticus* Vahl. *Journal of Basic and Applied Genetics* 17:51-59.