

Líneas forrajeras de maíz originadas en la cruce con *Zea diploperennis* L.: aptitud combinatoria.

*Forage corn lines originated from the cross with *Zea diploperennis* L.: combining ability.*

Recibido:20/11/02 Aceptado:05/08/03

Funaro, D., L. Saluzzi & H.A. Paccapelo¹

Resumen

Los maíces forrajeros se diferencian de los graníferos por el desarrollo de la parte aérea, el llenado del grano, el mantenimiento de la planta verde en el momento de corte, el porcentaje de materia seca, la digestibilidad y el consumo animal. El silaje de maíz es considerado como un alimento energético y su valor nutritivo está en función de la digestibilidad y de los factores que la afectan. Un criterio de selección es el uso del carácter materia seca digestible. El valor forrajero de las líneas endocriadas está determinado no sólo por su rendimiento, sino también por su capacidad de producir combinaciones híbridas superiores al cruzarse entre sí, siendo la prueba de la aptitud combinatoria general la que determina dicho valor. La heterosis manifiesta en cada cruce representa la aptitud combinatoria específica.

El propósito de la presente investigación fue estudiar siete líneas endocriadas de maíz forrajero con introgresión de genes silvestres. Las siguientes variables fueron medidas: relación hoja/tallo, altura de la planta, número de tallos por planta, número de mazorcas por planta, diámetro del tallo principal, digestibilidad *in vitro* de la materia seca total y sus componentes (hoja y mazorca). Las variables fueron analizadas para determinar los efectos de aptitud combinatoria general y específica.

El híbrido 3 (760 x 779) presentó el mayor valor de aptitud combinatoria específica y sus líneas componentes los mayores valores de aptitud combinatoria general. Este híbrido se destacó en la altura de la planta y en la producción total de materia seca digestible y en su componente mazorca.

Palabras clave: maíz, *Zea diploperennis* L., aptitud combinatoria, materia seca digestible.

¹ Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. C.C. 300, 6300 Santa Rosa, La Pampa. E-mail: paccapelo@agro.unlpam.edu.ar

Abstract

The forage corns are different from the grain corns in the development of the aerial part, filling grain, maintenance of the vegetative quality of the plant at the harvest moment, percentage of dry matter content and animal uptake. The corn silage was considered as a power food and its nutritive value based on the digestibility and other factors that affect it, and the parameter of the *in vitro* digestible dry matter of the complete plant and its component (leaf and spike) is used as a selection criterion.

The forage value of the inbred lines were not only by its yield, but also through its capacity to produce superior hybrids combinations when crossing each to other. The general combining ability test determine that value. The heterosis of each cross represent the specific combining ability.

The purpose of the present research was to study the general and specific combining ability of seven corn forage inbred lines with wild genes Introgression. The following variables were measured: leaf/stem relation, plant height, number of stems by plant, number of spikes by plant, diameter of the main stem and *in vitro* digestible dry matter. The hybrid 3 (760 x 779) show the greater value of specific combining ability and its component lines the greatest values of general combining ability in plant height, total and spike digestible dry matter production.

Key words: corn, *Zea diploperennis* L., forage, combining ability, digestible dry matter.

Introducción

Roth *et al.* (1970) consideran al silo de maíz como un alimento energético y su valor nutritivo está en función de la digestibilidad y de los factores que lo afectan. Barrière *et al.* (1992) sugieren como criterio de selección el uso del parámetro de la materia seca digestible, obtenida a partir de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de la planta completa.

Bruno y Romero (1994) evaluaron la calidad de la materia seca digestible en híbridos comerciales y registraron una mayor producción (30-35%) cuando el endosperma sólido del grano ocupaba entre la mitad y las tres cuartas partes del grano, compensando la disminución de la calidad de las hojas.

Los maíces forrajeros se diferencian de los graníferos por el desarrollo de la parte aérea, el llenado del grano, el mantenimiento de la planta verde en el momento de corte, el porcentaje de materia

seca, la digestibilidad y el consumo animal.

En la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa se han desarrollado líneas endocriadas (S_3) de maíces con características forrajeras provenientes de la cruce original entre *Zea mays* L. x *Zea diploperennis* L. Estas líneas se diferencian en cuanto al ciclo a madurez, la altura de la planta, el número de tallos por planta, el diámetro del tallo, el número de mazorcas por tallo y la relación hoja/tallo (Paccapelo *et al.*, 1999; Saluzzi *et al.*, 2000).

El valor forrajero de las líneas está determinado no sólo por su rendimiento, sino también por su capacidad de producir combinaciones híbridas superiores al cruzarse entre sí o con un probador de amplia base genética, siendo la prueba de aptitud combinatoria general la que determina dicho valor (Johnson y Hayes, 1940; Cress, 1966)

La expresión ACG (aptitud

combinatoria general) se usa para designar "el comportamiento promedio de las líneas en combinaciones híbridas" y la ACE para designar aquellos casos en los cuales "ciertas combinaciones son relativamente mejores o peores que aquellas que se esperarían en base al comportamiento promedio de las líneas consideradas" (Sprague y Tatum, 1942).

La evaluación temprana de líneas endocriadas fue propuesta por Jenkis (1935) y Sprague (1946) para eliminar anticipadamente líneas productivas y con características agronómicas aceptables pero que no presentaban buena aptitud combinatoria general. Burak y Bertoia (2001) analizaron la aptitud combinatoria para rendimiento y calidad de forraje en líneas endocriadas de maíz de diferente ciclo vegetativo, concluyendo que el mismo es importante en la determinación del rendimiento y la calidad del forraje.

La determinación de la acción genética aditiva (ACG) y del componente no aditivo (ACE) permitirían plantear estrategias más eficaces en el desarrollo de cultivares con características netamente forrajeras.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la aptitud combinatoria general de siete líneas endocriadas de maíz para características morfológicas y la producción de la materia seca digestible y la aptitud combinatoria específica correspondientes a las cruza dialélicas.

Materiales y Métodos

Veintiún progenies originadas de la cruz entre siete líneas endocriadas (S_3) de maíz forrajero en todas sus combinaciones simples (dialélico), se sembraron el 5 de noviembre de 1999 en un suelo Haplustol éntico del Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UN

de La Pampa. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar; las unidades experimentales consistieron en 2 surcos de 2 m de longitud separados a 0,70 m. La densidad de siembra fue de 5,7 plantas/m².

Las referencias de cada híbrido son:

1(760 x 791), 2(760 x 788), 3(760 x 779), 4(760 x 774), 5(760 x 770), 6(760 x 767), 7(767 x 791), 8(767 x 788), 9(767 x 779), 10(767 x 774), 11(767 x 770), 12(770 x 791), 13(770 x 788), 14(770 x 779), 15(770 x 774), 16(774 x 791), 17(774 x 788), 18(774 x 779), 19(779 x 791), 20(779 x 788) y 21(788 x 791).

Las variables medidas fueron:

- Altura de la planta (cm) desde la superficie del suelo hasta la base de la panoja.

- Número de tallos por planta

- Número de mazorcas por planta

- Diámetro del tallo principal (cm)

- Relación hoja/tallo: peso seco de las hojas dividido el peso seco del tallo.

- Materia seca digestible (kg/m²): Se cosechó 1,4 m² por parcela. Luego, se secó en estufa hasta peso constante. Se determinó la producción total de la materia seca digestible (DIVMS) y sus componentes: hoja (lámina + chala) y mazorca (grano + marlo) según el método de Tilley y Terry (1968) modificado por Minson y McLeod, (1972).

Se realizó el Análisis de Variancia a todas las variables. Para la determinación de la aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas y la aptitud combinatoria específica (ACE) de las cruza se utilizó el modelo de Griffing (1956): $Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$, siendo Y_{ij} = expre

sión de la media correspondiente a la combinación ij ; m = promedio general de las observaciones; g_i y g_j = efectos de aptitud combinatoria general correspondiente a los parentales i y j ; s_{ij} = efecto de la aptitud combinatoria específica presente en el cruzamiento ij y el e_{ij} = error experimental. Se utilizó el programa estadístico GENES (Cruz, 1997). Valores positivos y más altos de aptitud combinatoria general y específica indican un mejor comportamiento de las líneas e híbridos, respectivamente, respecto a los otros participantes involucrados en la evaluación.

Resultados y Discusión

El análisis de la aptitud combinatoria para las características: relación hoja/tallo (H/T), número de tallos, número de mazorcas, diámetro del tallo principal, altura de planta y los componentes de la materia seca digestible (total, hoja y mazorca) se presentan en el Cuadro 1, donde se puede observar que los cuadrados medios de la ACG para el diámetro del tallo, la altura de la planta, la materia seca digestible de mazorca y total resultaron estadísticamente significativos. Por otro lado, la ACE resultó significativa para la altura de la planta, la materia seca digestible total y de las mazorcas. Burak y Bertoia (2001), contrariamente, no encontraron efectos significativos en ACG y ACE en líneas endocriadas de maíz forrajero en la digestibilidad de la espiga y del tallo+hojas.

Además, en la tabla 1, se incluyen los componentes aditivos y no aditivos de la variancia, siendo el primero una estimación del componente de la ACG y el segundo una estimación de la ACE. Sprague y Tatum (1942) consideran que los componentes aditivos (ACG) son más

importantes si los genotipos no han sido anteriormente probados.

Se aprecia que aunque el cuadrado medio de la ACE para la altura de la planta es significativo ($p < 0,05$), el cuadrado medio para ACG es 1,5 veces mayor y que para materia seca digestible (mazorca y total) los cuadrados medios de ambas aptitudes son similares. Dhillon et al. (1990b) concluyeron que la variación en el rendimiento de espiga entre los genotipos que evaluaron, en general, fue debida a la ACE y para el rendimiento de tallo+hoja, a la ACG. Es importante conocer el aporte de los diferentes componentes al rendimiento y a la calidad total de esos componentes, puesto que las estrategias de mejoramiento genético difieren para dichos componentes.

El la tabla 2 muestra el análisis de la ACG de las siete líneas participantes, para todas las variables consideradas. Se observa que la línea 767 presentó el mayor valor para diámetro de tallo y la línea 774, para altura de planta. La línea 791, presentó el mayor valor de ACG en la producción de materia seca digestible total, mientras que la 760, la 788 y la 791 resultaron las de mayor ACG en la producción de materia seca digestible de mazorca y tuvieron un comportamiento similar entre sí. El mejoramiento genético para el valor alimenticio del maíz forrajero debe estar dirigido a la digestibilidad de la planta entera (Dhillon et al., 1990 a ; Barrière et al., 1992). La merma de la calidad de las hojas en estadios avanzados de la planta se compensa con una mejora en la calidad de la espiga (Josifovich et al., 1990).

En la tabla 3 se indican los estimadores de los efectos de ACE para la relación hoja/ tallo, para el número de tallos, el número de las mazorcas, el diámetro del tallo principal, la altura de la

Tabla 1: Cuadrados medios del análisis de Aptitud Combinatoria y componentes de la variancia en las características botánicas, la producción de Materia Seca Digestible y sus componentes en líneas de maíz forrajero provenientes de la cruce entre maíz y *Zea diploperennis* I.

Fuente de Variación	G. L.	Cuadrado Medio							
		Relación hoja/tallo	Nº de tallos	Nº de mazorcas	Diámetro de tallo (cm)	Altura (cm)	Materia Seca Digestible (kg m ⁻²)		
							Hoja	Mazorca	Total
A. C. G	6	0.0714	0.5079	0,5979	0.2205*	275,35**	0.0117	0.0784**	0.2017*
A. C. E	14	0.0329	0.2971	0,6134	0.0742	185,88*	0.0127	0.0915**	0.2042*
Error	20	0.0400	0.3060	0,4817	0.0727	68,49	0.0083	0,0177	0.0760
Componentes de variancia									
1/6 $\sum g^2_i$		0.0000	0.0019	0,0034	0.0003	604,1	0.0000	0,0000	0.0003
1/14 $\sum S_j SS^2_{fj}$		0.0002	0.0155	0,0500	0.0009	2937.1	0.0000	0,0006	0.0035
S^2		0.0001	0.0093	0,0232	0.0005	469,1	0.0000	0,0000	0.0005

* :p<0,05; ** p<0,01

Tabla 2: Estimación de los efectos de Aptitud Combinatoria General (g_j) de siete líneas endocriadas de maíz forrajero con introgresión de genes de *Zea diploperennis* I. en los componentes morfológicos y la producción de materia seca digestible

Líneas progenitoras (S _{3j})	Componentes morfológicos					Producción de materia seca digestible		
	Relación hoja/tallo	Número de tallos	Número de mazorcas	Diámetro de tallo	Altura de Planta	Total	Hoja	Mazorca
760	0,11	0,11	0,24	-0,14	-0,92	0,052	0,013	0,070
767	-0,06	-0,11	-0,04	0,25	3,28	-0,084	-0,034	0,001
770	0,03	0,14	-0,19	-0,12	-5,02	-0,198	-0,048	-0,081
774	0,00	-0,37	-0,44	0,09	8,45	-0,119	0,017	-0,155
779	0,10	0,17	0,23	0,10	-7,45	0,078	0,036	0,017
788	-0,07	-0,19	0,08	-0,12	0,61	0,050	-0,020	0,077
791	-0,10	0,25	0,11	-0,07	1,05	0,221	0,035	0,070
E.E. (g _i - g _j)	0,089	0,247	0,310	0,120	3,701	0,123	0,040	0,059

planta y la producción de materia seca digestible (total, hoja y mazorca), incluyendo una estimación del error estándar para la diferencia entre dos efectos, ya sea, cuando tienen un padre en común y cuando todos los padres son diferentes.

Se puede observar que hay diferencias entre los híbridos simples; las combinaciones que exhibieron los valores positivos más altos de la relación hoja/tallo son el 3, 10, 17 y 18; en el número de tallos, los híbridos 16, 14, 21 y 9; en el

número de mazorcas, los híbridos 15, 20 y 2; en el diámetro del tallo, los híbridos 2 y 9; en la altura de la planta fueron los híbridos 7, 2, 19 y 18. Las combinaciones

más destacadas en cuanto a la producción de materia seca digestible total y de mazorca fueron la 3, la 11 y la 17.

Tabla 3: Estimación de los efectos de Aptitud Combinatoria Específica (S_{ij}) de maíz forrajero derivado de la cruce con *Zea diploperennis* L., en los componentes morfológicos y la digestibilidad de la planta.

Híbridos	Componentes morfológicos					Producción de materia seca digestible		
	Relación hoja/tallo	Número de tallos	Número de mazorcas	Diám. del tallo	Altura de la Planta	Total	Hoja	Mazorca
1 (760x791)	0,06	-0,08	0,42	0,19	-3,09	-0,036	-0,051	0,085
2 (760x788)	0,04	0,10	0,53	0,25	11,51	0,095	0,0390	-0,003
3 (760x779)	0,10	0,09	0,39	-0,09	-2,09	0,646	0,179	0,361
4 (760x774)	-0,28	0,28	-0,28	-0,28	-2,16	-0,183	-0,068	-0,162
5 (760x770)	0,05	-0,39	-0,87	-0,06	-1,19	-0,545	-0,115	-0,339
6 (760x767)	0,02	0,00	-0,19	0,01	-2,99	0,234	0,016	0,058
7 (767x791)	0,06	0,22	0,29	-0,08	16,04	0,221	0,039	0,140
8 (767x788)	-0,06	-0,18	-0,51	-0,09	-6,02	-0,262	-0,080	-0,158
9 (767x779)	-0,12	0,31	0,17	0,25	-7,12	-0,250	-0,048	-0,240
10 (767x774)	0,10	-0,16	0,17	-0,07	-0,52	-0,018	-0,002	-0,012
11 (767x770)	0,00	-0,19	0,09	-0,01	0,61	0,285	0,075	0,212
12 (770x791)	-0,18	-0,20	-0,24	0,01	6,01	0,238	0,038	0,079
13 (770x788)	0,07	0,14	0,06	0,16	-0,22	0,138	0,053	0,117
14 (770x779)	0,09	0,39	0,15	-0,04	-8,83	-0,303	-0,074	-0,167
15 (770x774)	-0,04	0,25	0,81	-0,05	3,61	0,186	0,022	0,097
16 (774x791)	0,01	0,48	0,35	0,08	-17,45	-0,328	-0,021	-0,258
17 (774x788)	0,10	-0,58	-0,12	0,23	7,14	0,233	0,040	0,233
18 (774x779)	0,10	-0,27	-0,93	0,10	9,38	0,109	0,030	0,101
19 (779x791)	0,01	-0,72	-0,31	0,07	9,78	-0,045	-0,019	0,043
20 (779x788)	-0,19	0,22	0,55	-0,28	-1,12	-0,156	-0,067	-0,098
21 (788x791)	0,03	0,30	-0,51	-0,26	-11,29	-0,048	0,015	-0,090

El híbrido 3 provino de la cruce de dos líneas con alta ACG para las características mencionadas; sus estimaciones reflejaron la acción dominante de los genes que las controlan. Las líneas progenitoras de éste híbrido se destacaron por los efectos aditivos y al cruzarlas manifestaron gran heterosis o vigor híbrido. Cress (1966) puntualizó que la divergencia genética es necesaria para la manifestación de la heterosis pero no es suficiente para garantizarla. Las líneas analizadas en el presente trabajo provinieron de una única cruce original entre un híbrido de maíz y una especie silvestre (*Zea diploperennis* L.) a la cual le siguieron dos generaciones de retrocruza con maíz y luego tres generaciones de autofecundación. En estas líneas endocriadas se ha encontrado gran variabilidad en las características morfológicas y la digestibilidad de la materia seca de la planta entera, y sus componentes hojas y tallo (Saluzzi *et al.*, 2000)

El híbrido 11 presenta ambos progenitores de baja ACG, mientras que en el híbrido 17 sólo uno de los progenitores registró alta aptitud. Jonhson y Hayes (1940) acotaron que al cruzar una línea de baja aptitud combinatoria con otra de alta aptitud, los híbridos rinden tanto como si se derivara del cruzamiento de dos líneas de alta aptitud combinatoria.

Conclusiones

La información emergente del análisis de los estimadores genéticos permiten la identificación de los genotipos más aptos para ser utilizados en diferentes métodos de mejoramiento genético.

Las líneas con elevada ACG para materia seca digestible total y sus componentes podrían integrar una variedad sintética.

El vigor híbrido manifestado por el híbrido 3 (760 x 779) ofrece la posibilidad de desarrollar un híbrido simple forrajero de maíz.

Bibliografía

- Barrière, Y., R. Traineau, J.C. Emile & Y. Hébert. 1992. Variation and covariation of silage maize digestibility estimated from digestion trials with sheep. *Euphytica* 59: 61-72.
- Bruno, O.A & L.A. Romero. 1994. Efecto del momento de corte sobre la producción de materia seca y calidad de las especies forrajeras. Actualización Técnica sobre Producción de Forrajes Conservados de Alta Calidad. Rafaela, 10 pág.
- Burak, R. & L.M. Bertoia. 2001. Aptitud combinatoria en líneas endocriadas de maíz para caracteres forrajeros. VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, Buenos Aires. Actas en CD.
- Cress, C.E. 1966. Heterosis of the hybrid related to gene frequency differences between populations. *Genetics* 53:269-274.
- Cruz, C.D. 1997. Programa GENES, Aplicativo computacional em genética e estatística. Editora Universidad Federal de Vicosia (Brasil). 442 p.
- Dhillon, B.S., C. Paul, E. Zimmer, P.A. Gurrath, D. Klein & W.G. Pollmer. 1990. Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. *Crop. Sci.* 30:931-936.
- Dhillon, B.S., P.A. Gurrath, E. Zimmer, M. Wermke, W.G. Pollmer & D. Klein. 1990b. Analysis of diallel crosses of maize for variation and covariation in agronomic traits at silage and grain harvest. *Maydica* 35: 297-302.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Jenkins, M.T. 1935. The effects of inbreeding and selection within inbred lines of

- maize upon the hybrids made after successive generations of selfing. Iowa State Col. Jour. Sci. 9: 429-450.
- Johnson, I.J. & Hayes H.K. 1940. The value in hybrid combinations of inbred lines of corn selected from single crosses by the pedigree method of breeding. J. A. Soc. Agr. 32 : 479-485.
- Minson, D.J. & M.N. McLeod. 1972. The *in vitro* digestibility of large number of tropical pastures samples. Tech. Pap. Div. Trop. Past. 8: 1-15. CSIRO, Australia.
- Paccapelo, H.A., M.L. Molas & L. Saluzzi. 1999. Aptitud forrajera de líneas S₂ originadas del híbrido *Zea mays* L. x *Zea diploperennis* l. Rev. Fac. Agr. UNLPam. 10: 59-64.
- Roth, L.S., G.C. Marten, A. Compton & D.D. Stuthman. 1970. Genetic variation of quality traits in maize (*Zea mays* L.) forage. Crop. Sci. 10:365-367.
- Saluzzi, L., D.O. Funaro & H.A. Paccapelo. 2000. Evaluación preliminar de líneas endocriadas obtenidas de la crucea entre *Zea mays* x *Zea diploperennis*. Rev. Fac. Agr. UNLPam. 11:61-70.
- Sprague, G.F. 1946. Early testing of inbred lines of corn. Jour. Amer. Soc. Agron. 38:108-117.
- Sprague, G.F. & L.A. Tatum. 1942. Genral vs. especific combining ability in single cross of corn. J. Am. Soc. Agron. 34: 923-932.
- Tilley, J.M.A. & Terry, R.A. 1968. Procedure for *in vitro* digestion of herbage samples. The Grassland Research Institute, Urley, Berkshire, U.K.