



LA APTITUD COMBINATORIA ESPECÍFICA EN EL MAÍZ (*Zea mays* L. ssp. *mays*) PARA DOBLE PROPÓSITO EN RÍO CUARTO, CÓRDOBA, ARGENTINA.

Di Santo H.¹, Castillo E.¹, Ferreira A.¹, Grassi E.¹, Ferreira V.¹

¹Genética, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.

egrassi@ayv.unrc.edu.ar

ABSTRACT

The dual purpose maize is useful in mixed farming establishments because they are suitable to the purposes of grain crop and direct or deferred feed for livestock. A breeding plan to improve land maize populations for forage use is carried out at the National University of Río Cuarto. The aim of this work was to determine the Specific Combining Ability of inbred lines through the productive performance of their single-cross hybrids. A diallel cross was performed, and eighteen traits of the single cross hybrids were studied during three years. A completely randomized block design with three replicates was used, and ANOVA for data analysis was carried out. Specific combining ability trials showed significant positive values for most traits. This allowed identifying and classifying single-cross hybrids according to their potential usability. Seven single-cross hybrids were chosen: one for dual purpose aptitude, three for grain yield or high deferred forage production and three for silage in milk-dough grain stage. It is considered necessary to confirm the performance and productivity of promising single-cross hybrids varying regional environments and agronomic conditions set against commercial simple cross hybrids to verify the production potential and stability.

Key words: maize, inbred lines, single cross-hybrids, agronomic uses.

RESUMEN

Los maíces doble propósito son útiles en los establecimientos de producción mixta ya que se adaptan a los propósitos de cosecha de grano y alimento directo o diferido para el ganado. En la Universidad Nacional de Río Cuarto se ejecuta un proyecto de mejoramiento de maíz forrajero a partir de poblaciones locales. El objetivo fue determinar la aptitud combinatoria específica (ACE) de líneas endocriadas. Se realizó el cruzamiento dialélico y durante tres campañas se analizó la ACE de las líneas a través de sus híbridos, empleando 18 caracteres; el diseño fue en bloques completos al azar con tres repeticiones y los datos se analizaron mediante ANOVA. Los ensayos de ACE mostraron valores positivos y significativos para la mayoría de los caracteres evaluados. Esto permitió identificar y clasificar los híbridos simples según su potencial aptitud de uso. Del total de híbridos simples se eligieron siete, uno por su aptitud para doble propósito, tres por su alta producción de forraje diferido o grano y tres para ensilado en estado lechoso-pastoso. Se considera necesario confirmar el comportamiento y productividad de los híbridos simples promisorios variando ambientes regionales y condiciones agronómicas contrastándolos con testigos comerciales a fin de verificar el potencial de producción así como su estabilidad.

Palabras clave: maíz, líneas endocriadas, híbridos simples, usos agronómicos.

INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays* L. ssp. *mays* (Iltis y Doebley, 1980), es uno de los cultivos más antiguos, ocupa el segundo lugar a nivel mundial en volumen de producción y tiene gran importancia socio-económica ya sea para alimento humano o animal o como fuente de un gran número de productos industriales (Watson, 1988; Fussell, 1999).

La planta de maíz es un excelente forraje para el ganado bovino de carne y de leche. Se utiliza como forraje en varias etapas del crecimiento, desde estado juvenil de pasto hasta la emisión de la panoja o más adelante. Para obtener la máxima producción de Materia Seca (MS) digestible por hectárea con la máxima energía (forraje energético), el estado de grano lechoso-pastoso es el más adecuado y supera a cualquier otro cultivo anual. En ese estado es el cultivo ideal para ensilar (Gallais *et al.*, 1976; Paliwal *et al.*, 2001).

El cultivo está ampliamente difundido en los establecimientos de producción mixta de la región subhúmeda-semiárida argentina. En la alimentación animal se emplea como grano, forraje verde, silaje en estado de grano lechoso-pastoso y pastoreo en pie cuando se prevé mala cosecha de grano o del rastrojo. La obtención de materiales con diferentes aptitudes de utilización para los sistemas mixtos regionales debería combinar la producción de grano con caracteres de gramíneas forrajeras, tales como alta cantidad de materia seca total, tolerancia a sequía, macollamiento, rebrote y plasticidad (Reynoso, 1996). La definición más simple para un maíz doble propósito es el que considera la producción de grano y como alternativa el pastoreo en estado vegetativo y reproductivo temprano, el picado y el pastoreo del cultivo diferido.

La superficie sembrada en la Argentina fue de aproximadamente $4,56 \times 10^6$ has en la campaña 2010/11, mientras que en la región subhúmeda-semiárida fue de $1,657 \times 10^6$ has, de las cuales, 68,9 % correspondieron a la provincia de Córdoba, 8,4 % a San Luis y 22,6 % a La Pampa. La región mencionada aportó el 29,7 % de la producción nacional (SIIA, 2012). Los registros históricos indican que el 90 % del maíz se cosecha como grano para consumo humano o animal y el resto se destina a silaje o consumo directo o diferido por el ganado; este último destino ocupa alrededor de 468.000 has

en la región subhúmeda-semiárida (INDEC, 2005). Sin embargo, en las últimas dos campañas se estima una superficie de maíz picado para silaje de entre 750.000 y 850.000 has (CACF, 2012; Maizar, 2012).

En 1908, G.H. Shull fue el primero que sugirió la utilización de los híbridos F_1 producto de la cruce entre líneas endocriadas (en Crow, 1998). Sprague y Tatum (1942) definieron los términos aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) en relación al comportamiento relativo de las líneas al ser cruzadas, donde ACG designa el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, y ACE designa la desviación de cada combinación con respecto a la ACG de los progenitores (Hallauer y Miranda Filho, 1988; Quemé de León *et al.*, 1991).

El conocimiento de la aptitud combinatoria de los progenitores permite seleccionar aquellos de buen comportamiento en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas de comportamiento superior (Gutiérrez del Río *et al.*, 2004; Castañón-Nájera *et al.*, 2005; De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2010). Una vez que se han seleccionado las líneas endocriadas teóricamente mejores basándose en su buena aptitud combinatoria general, es necesario identificar los cruzamientos simples, de tres vías o dobles que producirán los mayores rendimientos (Sprague y Tatum, 1942; Allard, 1978). El desarrollo de cultivares híbridos simples requiere analizar los resultados de los cruzamientos dialélicos (Russel, 1973; Allard, 1978; Hallauer y Miranda Filho, 1988).

La Argentina posee como antecedentes la creación de una variedad de maíz doble propósito y macolladora en la EEA Bordenave, donde se obtuvo el cultivar "Don Faustino INTA" (Gorostegui, 1971) y se realizaron varios trabajos con distinto germoplasma de maíz y sus parientes silvestres en el Instituto Fitotécnico Santa Catalina de la UN de La Plata, EEA Pergamino-INTA, UN de La Pampa, UN de Lomas de Zamora (Magoja y Pischedda, 1988; Troiani *et al.*, 1988; Paccapelo y Molas, 1996; Torrecillas y Bertoia, 2000).

A partir de un proyecto destinado al mejoramiento de maíz para uso forrajero iniciado con tres poblaciones locales macolladoras, en la UN Río Cuarto se efectuaron seis ciclos de selección recurrente de medios hermanos (Lonnquist, 1964),

obteniendo el Grado de Determinación Genética y los coeficientes de variación genética de líneas S_1 y S_2 (Grassi *et al.*, 2006). En base a una prueba *top cross* se evaluó la ACG y se eligieron cinco líneas para la formación de híbridos simples y estudiar su validación agronómica (Grassi *et al.*, 2009; Grassi, 2009).

El objetivo propuesto en este trabajo fue determinar la aptitud combinatoria específica de líneas endocriadas de maíz, seleccionadas por su aptitud combinatoria general, a través de los híbridos simples obtenidos a partir del cruzamiento dialélico, identificando los más aptos para doble propósito en base a caracteres morfofisiológicos y de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos de aptitud combinatoria específica (ACE) se realizaron en el Campo de Docencia y Experimentación de la UN de Río Cuarto (33° 06' 22" S; 64° 17' 52" O) ubicado a 443 msnm en la localidad de Las Higueras, Departamento Río Cuarto, Córdoba. El suelo es un Haplustol típico con 1,6 % de materia orgánica. El área cuenta con una temperatura media anual de 16,5° C. El período libre de heladas es de 240 días (entre septiembre y mayo). Las precipitaciones poseen un valor medio de 800 mm anuales con un régimen monzónico irregular con aproximadamente 80 % de las precipitaciones concentradas en el semestre más cálido (octubre a marzo).

Durante las campañas agrícolas 2004/2005, 2006/07 y 2007/08 se sembraron cinco líneas endocriadas, elegidas en base a una prueba *top cross* para la determinación de la ACG, y los 20 híbridos simples obtenidos a partir del cruzamiento dialélico completo de dichas líneas. Los ensayos se sembraron el día 19 de octubre de 2004, 10 de noviembre de 2006 y 7 de noviembre de 2007. Los materiales de dispusieron en un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Cada parcela consistió en dos surcos a 0,70 metros de separación y una longitud de 3 metros (4,20 m²). Se sembraron a razón de cinco semillas por metro lineal, con doble golpe, para (con un raleo posterior) garantizar una densidad de cosecha de aproximadamente 71.000 plantas ha⁻¹. La unidad experimental consistió en

plantas individuales realizándose tres submuestreos por parcela.

Se evaluaron caracteres morfofisiológicos, en estado R_3 - R_4 y al final del ciclo del cultivo:

- Morfofisiológicos: altura total (m) de la planta, número de tallos por planta, número de espigas por planta, número de espigas por tallo.

- En estado R_3 - R_4 : peso verde (g) de planta entera, peso verde (g) de espigas sin chala por planta, porcentaje de espiga verde sin chala por planta, porcentaje de espiga seca sin chala por planta, porcentaje de materia seca de espiga sin chala por planta, peso seco (g) de planta entera, peso seco (g) de espigas sin chala por planta, porcentaje de materia seca total.

- Al final del ciclo del cultivo: peso seco (g) de planta entera, peso seco (g) de espigas sin chala por planta, número de granos por planta, peso (g) de granos por planta, peso (g) de 1000 granos, índice de cosecha.

Los valores obtenidos de los ensayos de ACE se analizaron mediante un análisis dialélico conjunto (Griffins, 1956) utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + a_k + ga_{ik} + ga_{jk} + sa_{ijk} + r_1 + \epsilon_{ij}$$

donde, μ = media general del ensayo; g_i = efectos de la aptitud combinatoria general asociada al progenitor i; g_j = efectos de la aptitud combinatoria general asociada al progenitor j; s_{ij} = efectos de la aptitud combinatoria específica entre los progenitores i y j; a_k = efecto del ambiente k; ga_{ik} y ga_{jk} = efectos de la interacción entre la ACG de los progenitores i y j y el ambiente k; sa_{ijk} = interacción de la aptitud combinatoria específica entre los progenitores i y j y el ambiente k; r_1 = efecto de la repetición l; ϵ_{ij} = error experimental. Se aclara que en este modelo Y_{ij} y ϵ_{ij} son, respectivamente, la media experimental y el error aleatorio medio asociados a los tratamientos de orden ij (Cruz, 2006).

Este modelo, correspondiente al modelo experimental I propuesto por Griffins (1956), incluye los progenitores, híbridos F_1 con recíprocos, aleatorizados en los bloques respectivos. El análisis se llevó a cabo utilizando el aplicativo computacional en genética y estadística GENES (Cruz, 2006). Los

significados de los efectos genéticos de ACG y ACE de las variables medidas se evaluaron con una prueba “t”, a través de su error estándar. El error estándar de una media de tratamiento se calculó a partir de la raíz cuadrada del cociente entre el cuadrado medio del error del residuo y el número de repeticiones (Steel y Torrie, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos se desarrollaron bajo condiciones hídricas adecuadas, donde las precipitaciones de los tres ciclos superaron al promedio histórico correspondiente. Las campañas 2004/05 y 2006/07 se iniciaron con menor recarga hídrica en el perfil del suelo debido a un atraso en el inicio de las lluvias primaverales. Durante el período crítico del cultivo, las precipitaciones fueron abundantes por lo que el cultivo no experimentó periodos de deficiencia de humedad edáfica.

Los valores medios y desvíos para los caracteres considerados en los tres años de ensayo se resumen en la Tabla 1. Algunos de los caracteres de producción medidos en R_3 - R_4 y fin de ciclo se proyectaron a hectárea con el objetivo de dimensionar los valores obtenidos. La materia seca total en estado lechoso-pastoso ($62.900 \text{ kg ha}^{-1}$) fue similar y en algunos casos superior a los encontrados por Arias *et al.* (2003), Centeno *et al.* (2009; 2010), Di Nucci de Bedendo *et al.* (2009) y De León *et al.* (2011) empleando distintos híbridos comerciales.

Los valores de MS total observada a fin de ciclo ($24.345 \text{ kg ha}^{-1}$) se corresponden con los valores observados en ensayos sobre maíz para uso como pastura diferida para la alimentación de ganado bovino (Maresca *et al.*, 2006; Castaldo *et al.*, 2009). El peso de grano promedio registrado ($10.106 \text{ kg ha}^{-1}$) fue superior o similar al obtenido en diferentes localidades de la provincia de Buenos Aires, en suelos con 2,5-3% de materia orgánica y 180 - 200 kg ha^{-1} de urea (Cirilo, 2004; Ferraris, 2004; Ventimiglia y Torrens Baudrix, 2012).

Los valores de F y el significado obtenido de los análisis de varianza conjuntos de los caracteres medidos en los híbridos simples se presentan en las Tablas 2, 3 y 4. La ACG fue altamente significativa para los caracteres altura de planta y espigas por

planta y significativa para espigas por tallo y peso verde de espigas en estado R_3 - R_4 . La ACE fue muy altamente significativa en altura de planta, peso verde de planta entera y peso verde de espigas en estado R_3 - R_4 ; los caracteres tallos por planta y espigas por tallo presentaron ACE significativa. La ACE recíproca fue no significativa en los cuatro caracteres (Tabla 2). No se observaron interacciones con el año, salvo para altura de planta donde la ACG tuvo interacción altamente significativa.

Los efectos de ACG fueron altamente significativos para porcentaje de espiga verde y porcentaje de espiga seca en estado R_3 - R_4 . Los efectos de ACE fueron significativos para los seis caracteres (muy altamente significativos en porcentaje de espiga seca, porcentaje de materia seca de espiga, peso seco de planta entera y peso seco de espigas en estado R_3 - R_4). El ER presentó significación únicamente en porcentaje de espiga verde en estado R_3 - R_4 .

La interacción ACG x Año fue altamente significativa en % de materia seca total y la interacción de ER x Año fue significativa en los caracteres peso seco de planta entera y peso seco de espigas. Los caracteres de fin de ciclo (Tabla 4) mostraron efectos de ACG muy altamente significativos en el peso de 1000 semillas, mientras que los efectos de ACE fueron muy altamente significativos en todos ellos, salvo para índice de cosecha que se mostraron altamente significativos. Los efectos de ACE recíproca y las interacciones de aptitud combinatoria y año fueron no significativos en todos los casos.

Caracteres morfofisiológicos

Los valores de ACE para los caracteres morfofisiológicos evaluados previo al corte en R_3 - R_4 se presentan en la Tabla 5. Trece híbridos simples presentaron efectos significativos para altura de planta, donde se destacan 4×20 , 20×4 , 20×26 y 26×3 como los de mayor ACE para este carácter. Los híbridos 3×4 , 4×3 , 26×4 y 26×20 acompañan ese efecto con la relación espiga/tallo y 28×4 con número de espigas por planta, respectivamente. No existen valores significativos de efecto de ACE para tallos por planta.

Caracteres evaluados en estado R_3 - R_4 (grano lechoso-pastoso)

En la Tabla 6 se resumen los valores de ACE de los híbridos analizados para los caracteres antes descritos. En total, 10 HS muestran un efecto de ACE significativa en al menos un carácter. Se destaca el HS 3x26 por tener la mayor cantidad de caracteres con valores significativos de ACE positivos; éste y 28x4 son los híbridos de mayor efecto de ACE para peso verde de espiga. El HS 26x3 sobresalió en los caracteres peso seco de planta entera y peso seco de espigas, mientras que 20x4 se destaca en porcentaje de materia seca de espiga y ambos pesos secos.

Se observa que el híbrido 28x4, que involucra como progenitor femenino una línea con ACG negativa (línea 28), presentó un alto valor de ACE para peso verde de planta entera. Este efecto fue descrito en maíces tropicales y subtropicales donde progenitores con efectos bajos o negativos de ACG produjeron cruza con alto valores en los caracteres respectivos (Guillén-de la Cruz *et al.*, 2009; De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2010).

Caracteres evaluados en fin de ciclo del cultivo

Los efectos de la ACE para los caracteres de fin de ciclo se muestran en la Tabla 7. Nueve híbridos simples presentaron valores positivos y significativos de ACE. El híbrido 28x4 sobresalió por tener los mayores valores de ACE para peso seco de planta entera y espigas y número y peso de granos; 20x26 se destacó en el mayor número de caracteres positivos incluyendo peso seco de planta

entera y espiga, número y peso de granos e índice de cosecha. 4x20 y 4x28 revelan valores aceptables para peso seco de planta entera, aunque el segundo destaca en peso seco de espigas, número y peso de granos.

La importancia de cada híbrido simple se cuantificó en relación a sus efectos de aptitud combinatoria específica posicionándolos de acuerdo a la cantidad de caracteres en donde dicho efecto de ACE fue positivo y significativo. De esta manera se identificaron ocho híbridos simples que reúnen las características buscadas, tanto para uso como forraje para ensilar en estado lechoso-pastoso, como para pastoreo diferido o producción de grano en fin de ciclo (Tabla 8).

El híbrido 28x4 se destaca como posible genotipo para uso doble propósito; los híbridos 20x26, 4x28, 4x20 y 4x3 tienen tendencia a la producción de forraje diferido o grano; y los híbridos 20x4, 3x26 y 26x3 resultan favorables para la producción de forraje para ensilar en estado R_3 - R_4 .

El HS 26x3, incluido en el listado anterior, debió eliminarse del programa de mejoramiento debido a la escasa semilla existente y a la gran dificultad de producción de semilla viable que presenta el mismo. Esto es debido a que la línea 26, involucrada en este híbrido como progenitor femenino, posee grandes inconvenientes a nivel de fertilidad y sanidad.

Si bien se pudieron detectar híbridos de los diferentes tipos forrajeros considerados y en especial del tipo doble propósito, será necesario confirmar su comportamiento y productividad en diferentes ambientes regionales contrastándolos con testigos comerciales.

Variable	2004/05	2006/07	2007/08	Media
AP	210,00 ± 23,75	112,80 ± 26,38	206,31 ± 23,40	176,37±51,27
TP	1,47 ± 0,38	1,10 ± 0,20	2,06 ± 0,68	1,54±0,61
EP	1,51 ± 0,44	1,48 ± 0,43	2,46 ± 0,86	1,81±0,76
ET	1,06 ± 0,24	1,36 ± 0,32	1,30 ± 0,37	1,24±0,34
PVTLP	762,27 ± 242,15	803,22 ± 234,65	1093,65 ±	886,38±319,63
PVELP	257,50 ± 84,48	170,74 ± 56,80	225,82 ± 91,72	218,02±86,56
% EVLP	35,20 ± 7,52	21,28 ± 5,63	20,68 ± 3,68	25,72±8,90
% ESLP	51,20 ± 10,40	29,28 ± 8,72	34,44 ± 8,61	38,31±13,19
% MSELP	66,01 ± 9,15	37,13 ± 10,45	32,09 ± 8,74	45,08±17,70
PSTLP	302,17 ± 123,38	215,54 ± 64,83	198,28 ± 62,76	238,67±98,97
PSELP	157,75 ± 76,79	68,45 ± 31,92	72,42 ± 30,11	99,54±65,49
% MSLP	43,44 ± 7,16	27,02 ± 6,48	18,25 ± 2,57	29,57±11,94
PSTFC	251,48 ± 72,84	304,60 ± 99,09	472,62 ± 216,36	342,90±171,42
PSEFC	156,81 ± 51,32	175,68 ± 64,23	197,33 ± 93,62	176,61±73,51
NG	551,19 ± 184,29	640,35 ± 250,07	598,68 ± 267,65	596,74±238,49
PG	129,59 ± 46,92	142,71 ± 56,25	154,73 ± 73,32	142,34±60,45
P1000	234,47 ± 31,52	229,99 ± 30,14	258,74 ± 31,79	241,07±33,50
IC	0,54 ± 0,21	0,45 ± 0,11	0,32 ± 0,08	0,43±0,17

Tabla 1. Valores medios y desvíos estándares para caracteres analizados en Ensayos de Aptitud Combinatoria Específica (EACE) de líneas endocriadas e híbridos simples de maíz en tres ciclos de producción (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

Ref.: AP= altura de planta (cm); TP= número de tallos por planta; EP= número de espigas por planta; ET= número de espigas por tallo; PVTLP= peso verde (g) de planta entera en R3-R4; PVELP= peso verde (g) de espigas sin chala por planta en R3-R4; %EVLP= % de espiga verde por planta en R3-R4; % ESLP= % de espiga seca por planta en R3-R4; % MSELP= % de materia seca de espigas sin chala en R3-R4; PSTLP= peso seco (g) de planta entera en R3-R4; PSELP= peso seco (g) de espigas sin chala/planta en R3-R4; % MSLP= % de materia seca total en R3-R4; PSTFC= peso seco (g) de planta entera en fin de ciclo; PSEFC= peso seco (g) de espigas sin chala por planta en fin de ciclo; NG= número de granos por planta; PG= peso (g) de granos por planta; P1000= peso (g) de 1000 granos; IC= índice de cosecha.

Fuente de Variación	AP	TP	EP	ET
Híbrido	12,04 ns	2,20 ns	2,68 ns	2,10 ns
ACG.	8,04 **	3,48 ns	7,96 **	6,87 *
ACE.	32,48 ***	2,42 *	2,20 ns	2,53 *
ER	0,56 ns	1,21 ns	0,61 ns	0,51 ns
Híbrido x Año	1,06 ns	0,76 ns	0,13 ns	0,38 ns
ACG x Año	2,54 **	0,82 ns	0,17 ns	0,23 ns
ACE x Año	0,67 ns	0,88 ns	0,08 ns	0,43 ns
ER x Año	0,85 ns	0,62 ns	0,15 ns	0,40 ns

Tabla 2. Valores de F y significación del análisis de varianza conjunta para caracteres morfofisiológicos en los Ensayos de Aptitud Combinatoria Específica (EACE) de híbridos simples y líneas endocriadas de maíz (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

REF: AP= altura de planta (cm); TP= número de tallos por planta; EP= número de espigas por planta; ET= número de espigas por tallo; ACG= aptitud combinatoria general; ACE.= aptitud combinatoria específica directa; ER= ACE efecto recíproco. *, **, *** = significativo para p<0,05, p<0,01 y p<0,001, respectivamente; ns = no significativo.

Fuente de Variación	PVTLP	PVELP	%EVLP	%ESLP	%MSELP	PSTLP	PSELP	%MSLP
Híbrido	4,04ns	4,68ns	4,69ns	7,12ns	4,20ns	3,14ns	2,87ns	2,24ns
ACG.	3,56ns	4,34*	7,67**	9,62**	3,33ns	1,20ns	1,85ns	2,74ns
ACE.	8,85***	11,30***	2,61*	11,34***	7,64***	11,06***	6,23***	2,51*
ER	0,38ns	0,31ns	3,48**	1,17ns	1,97ns	0,46ns	0,49ns	1,31ns
Híbrido x Año	0,57ns	0,55ns	0,44ns	0,49ns	0,76ns	1,12ns	1,34ns	1,29ns
ACG x Año	0,52ns	0,38n	0,99ns	0,83ns	1,77ns	0,85ns	0,88ns	3,22**
ACE x Año	0,52ns	0,47n ^S	0,45ns	0,41ns	0,54ns	0,66ns	1,25ns	0,88ns
ER x Año	0,65ns	0,69ns	0,21ns	0,43ns	0,56ns	1,69*	1,62*	0,93ns

Tabla 3. Valores de F y significación del análisis de varianza conjunta para caracteres en estado R3-R4 en los Ensayos de Aptitud Combinatoria Específica (EACE) de híbridos simples y líneas endocriadas de maíz (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

Ref: PVTLP= peso verde (g) de planta entera en R3-R4; PVELP= peso verde (g) de espigas sin chala por planta en R3-R4; % EVLP= % de espiga verde por planta en R3-R4; % ESLP= % de espiga seca por planta en R3-R4; % MSELP= % de materia seca de espigas sin chala en R3-R4; PSTLP= peso seco (g) de planta entera en R3-R4; PSELP= peso seco (g) de espigas sin chala/planta en R3-R4; % MSLP= % de materia seca total en R3-R4; ACG= aptitud combinatoria general; ACE= aptitud combinatoria específica directa; ER= ACE. efecto recíproco. *, **, *** = significativo para $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$, respectivamente; ns= no significativo.

Fuente de Variación	PSTFC	PSEFC	NG	PG	P1000	IC
Híbrido	3,70 ns	5,62 ns	3,16 ns	5,27 ns	4,97 ns	3,43 ns
ACG	2,74 ns	1,59 ns	0,23 ns	0,88 ns	16,83 ***	2,86 ns
ACE	6,63 ***	11,01 ***	5,65 ***	9,36 ***	5,67 ***	4,93 **
ER	1,22 ns	1,37 ns	1,15 ns	1,56 ns	0,44 ns	1,02 ns
Híbrido x Año	0,74 ns	0,62 ns	1,11 ns	0,77 ns	0,62 ns	0,42 ns
ACG. x Año	0,96 ns	0,70 ns	1,24 ns	0,68 ns	0,53 ns	0,33 ns
ACE x Año	0,71 ns	0,65 ns	1,29 ns	0,91 ns	0,62 ns	0,56 ns
ER x Año	0,69 ns	0,56 ns	0,88 ns	0,68 ns	0,65 ns	0,32 ns

Tabla 4. Valores de F y significación del análisis de varianza conjunta para caracteres en fin de ciclo en los Ensayos de Aptitud Combinatoria Específica (EACE) de híbridos simples y líneas endocriadas de maíz (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

Ref.: PSTFC= peso seco (g) de planta entera en fin de ciclo; PSEFC= peso seco (g) de espigas sin chala por planta en fin de ciclo; NG= número de granos por planta; PG= peso (g) de granos por planta; P1000= peso (g) de 1000 granos; IC= índice de cosecha; ACG= aptitud combinatoria general; ACE= aptitud combinatoria específica directa; ER= ACE efecto recíproco. *, **, *** = significativo para $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$, respectivamente; ns= no significativo.

Material Genético	AP	TP	EP	ET
3x3	-24,44**	-0,06	-0,18	0,09
3x4	5,37	-0,01	-0,01	-0,17*
3x20	9,2*	0,04	0,06	-0,002
3x26	9,17*	0,04	0,22	0,02
3x28	0,7	-0,01	-0,01	0,06
4x3 ⁽¹⁾	1,11	0,01	-0,01	-0,17*
4x4	-36,11**	-0,09	0,16	0,46**
4x20	15,78**	0,02	-0,1	-0,06
4x26	5,09	0,06	-0,17	-0,11
4x28	9,87*	0,02	0,11	-0,13
20x3 ⁽¹⁾	8,37*	0,02	0,04	-0,06
20x4 ⁽¹⁾	15,41**	0,05	-0,16	-0,14
20x20	-46,96**	-0,09	-0,22	-0,01
20x26	13,18**	0,01	0,24	0,06
20x28	8,8*	0,02	0,01	0,01
26x3 ⁽¹⁾	13,89**	0,03	0,03	0,07
26x4 ⁽¹⁾	7,41 ^a	0,05	-0,28	-0,15 ^a
26x20 ⁽¹⁾	7,99 ^a	0,03	0,11	0,18 ^a
26x26	-32,96**	-0,12	-0,2	0,06
26x28	5,52	0,01	-0,09	-0,04
28x3 ⁽¹⁾	0,89	0,01	0,12	0,11
28x4 ⁽¹⁾	8,85*	0,02	0,31 ^a	-0,06
28x20 ⁽¹⁾	7,04 ^a	0,04	-0,05	0
28x26 ⁽¹⁾	3,48	0,013	-0,09	0
28x28	-24,89**	-0,05	0,06	0,01

Tabla 5. Valores de aptitud combinatoria especifica para caracteres morfofisiológicos en 20 híbridos simples y 5 líneas endocriadas progenitoras de maíz (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

Ref.: AP= altura de planta (cm); TP= número de tallos por planta; EP= número de espigas por planta; ET= número de espigas por tallo. Significación a través de una prueba t: asinificativo al 10 %; *significativo al 5 %; **significativo al 1 %. (1) híbrido simple analizado a través de su efecto recíproco.

Material Genético	PVTLP	PVELP	%EVLP	%ESLP	%MSELP	PSTLP	PSELP	%MSLP
3x3	-	-84,14**	-0,02	-0,06 ^a	-2,87	-70,42*	-	-1,52
3x4	262,89**	14,5	-0,01	-0,01	0,31	0,02	44,08**	0,07
3x20	120,07	27,2	0,01	0,04	2,77	30,15	18,03	-0,64
3x26	92,93	53,08**	0,03*	0,04	2,78	52,23 ^a	36,89**	3,01 ^a
3x28	-46,77	-10,62	-0,003	-0,01	-2,98	-11,98	-6,06	-0,93
4x3 ⁽¹⁾	69,56	8,09	0	0,01	1,04	-14,55	-5,827	0,093
4x4	-	-87,05**	-0,03*	-0,09**	-9,36**	-74,21*	-	-3,28*
4x20	279,86**	24,37	0,02	0,02	0,52	22,8	42,64**	1,55
4x26	53,8	10,68	0,01	0,06 ^a	5,36*	13,89	14,57	1,5
4x28	122,05	37,5 ^a	0,01	0,02	3,18	37,5	21,58	0,17
20x3 ⁽¹⁾	158,81*	24,7	-0,01	0,02	1,79	17,01	8,07	-0,52
20x4 ⁽¹⁾	31,73	21,56	0,03*	0,05 ^a	6,51*	46,62 ^a	29,09*	2,62
20x20	-	-	-0,02	-0,09**	-7,87**	-	-	-1,55
20x26	412,02**	112,81**	32,23	0,01	1,14	118,33*	54,78**	-0,37
20x28	139,86 ^a	29,03	0,001	0,02	3,44	36,64	12,21	1,02
26x3 ⁽¹⁾	98,29	36,76 ^a	-0,01	0,03	1,45	28,73	13,28	0,02
26x4 ⁽¹⁾	108,06	27,55	0,005	0,05 ^a	2,76	79,67*	51,11**	0,03
26x20 ⁽¹⁾	88,13	28,6	-0,004	0,03	-0,86	17,02	12,98	-1,11
26x26	121,05	-97,07**	-0,04**	-0,12**	-8,82**	-	-	-4,38**
26x28	-269**	1,08	0,01	0,01	-0,47	111,94*	68,55**	0,24
28x3 ⁽¹⁾	28,87	1,86	0,007	0,01	-1,23	9,19	4,88	0,84
28x4 ⁽¹⁾	-13,27	183,01*	53,21*	0,015	0,02	-7,96	-0,99	0,41
28x20 ⁽¹⁾	89,42	39,29*	0,021	0,04	3,3	28,17	16,46	0,88
28x26 ⁽¹⁾	-10,41	-3,31	0,02	0,007	-0,99	17,21	13,11	1,88
28x28	-	-56,99**	-0,02	-0,05	-3,17	-19,01	-11,1	-
	202,44**	-	-	-	-	-63,43*	33,68**	-0,49

Tabla 6. Valores de aptitud combinatoria específica para caracteres en estado R3-R4 en 20 híbridos simples y 5 líneas progenitoras de maíz (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

Ref: PVTLP= peso verde (g) de planta entera en R3-R4; PVELP= peso verde (g) de espigas sin chala por planta en R3-R4; % EVLP= % de espiga verde por planta en R3-R4; % ESLP= % de espiga seca por planta en R3-R4; % MSELP= % de materia seca de espigas sin chala en R3-R4; PSTLP= peso seco (g) de planta entera en R3-R4; PSELP= peso seco (g) de espigas sin chala/planta en R3-R4; % MSLP= % de materia seca total en R3-R4. Significación a través de una prueba t: significativo al 10 %; *significativo al 5 %; **significativo al 1 %. (1) híbrido simple analizado a través de su efecto recíproco.

Material genético	PSTFC	PSEFC	NG	PG	P1000	IC
3x3	-75,35 ^a	-51,42**	-149,35**	-46,28**	-	23,79**
3x4	34,75	21,06	32,54	15,65	10,33	-0,01
3x20	16,83	11,34	59,86	12,71	7,71	0,04
3x26	19,15	15,63	36,26	13,52	0,77	0,03
3x28	4,61	3,39	20,69	4,4	4,99	-0,003
4x3 ⁽¹⁾	46,68	37,84*	79,33	29,77*	12,97 ^a	0,01
4x4	-170,67**	-103,5**	-276,5	-87,63**	-	39,76**
4x20	65,63 ^a	24,17	89,71 ^a	23,65 ^a	9,25	0,06 ^a
4x26	-3,12	18,02	11,18	11,19	13,95 ^a	0,03
4x28	73,42 ^a	40,26*	143,08*	37,15**	6,23	0,04
20x3 ⁽¹⁾	0,98	-0,7	13,8	2,52	4,83	0,03
20x4 ⁽¹⁾	58,52	22,33	96,26 ^a	21,25	0,68	0
20x20	-180,59**	-109,67**	-403,64**	-94,9	-	26,23**
20x26	72,94 ^a	47,47**	156,9**	40,9**	6,9	0,11**
20x28	25,2	26,69	97,17 ^a	17,64	2,37	0,02
26x3 ⁽¹⁾	24,73	-1,8	-37,39	-2,14	4,32	-0,01
26x4 ⁽¹⁾	19,42	21,72	30,71	19,69	13,86 ^a	0,06 ^a
26x20 ⁽¹⁾	4,38	14,86	27,49	8,88	5,56	0,16**
26x26	-107,35**	-85,44**	-194,03**	-69,79**	-	29,75**
26x28	18,39	4,32	-10,32	4,18	8,13	0,01
28x3 ⁽¹⁾	3,57	3,84	21,9	9,85	10,84	0,007
28x4 ⁽¹⁾	133,24**	56,39 ^a	199,54**	48,51**	5,23	0,03
28x20 ⁽¹⁾	0,46	23,45	61,18	8,85	-0,08	0,04
28x26 ⁽¹⁾	-21,87	-20,87	-67,27	-16,3	-0,79	-0,01
28x28	-121,61**	-74,65**	-250,62**	-63,37**	-	21,73**

Tabla 7. Valores de aptitud combinatoria especifica para los caracteres analizados en fin de ciclo en 20 híbridos simples y 5 líneas endocriadas progenitoras de maíz (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

Ref: PSTFC= peso seco (g) de planta entera en fin de ciclo; PSEFC= peso seco (g) de espigas sin chala por planta en fin de ciclo; NG= número de granos por planta; PG= peso (g) de granos por planta; P1000= peso (g) de 1000 granos; IC= índice de cosecha. Significación a través de una prueba t: asinificativo al 10 %; *significativo al 5 %; ** significativo al 1 %. (1) híbrido simple analizado a través de su efecto recíproco.

Híbrido	Nº de caracteres según su significación				Nº de caracteres según el estado fenológico		
	0,01	0,05	0,1	Total	MF	LP	FC
28x4	4	2	2	8	2	2	4
20x26	5		2	7	1	1	5
20x4	1	4	2	7	1	5	1
3x26	2	3	1	6	1	5	
4x28	2	2	2	6	1	1	4
4x20	1		4	5	1		4
26x3	3		1	4	1	3	
4x3		2	1	3	1		2

Tabla 8. Número de caracteres con valor positivo y significativo de aptitud combinatoria especifica para los híbridos simples de maíz seleccionados (2004/05, 2006/07, 2007/08). Río Cuarto, Córdoba.

Ref.: MF= caracteres morfofisiológicos; LP= caracteres medidos en estado R3-R4; FC= caracteres medidos a fin de ciclo.

CONCLUSIONES

Los ensayos permitieron determinar la aptitud combinatoria específica de cinco líneas endocriadas de maíz a través de los 20 híbridos simples originados en el cruzamiento dialélico. Se identificaron materiales con diferentes aptitudes de uso.

El híbrido simple 28x4 fue seleccionado por su ACE presentando valores promisorios como doble propósito. Los híbridos simples 20x26, 4x28, 4x20 y 4x3 mostraron un comportamiento similar, mejor adaptados a la producción de forraje diferido y grano. Por último, el análisis dialélico detectó a los híbridos simples 20x4 y 3x26 como materiales mejor adaptados a la producción de forraje en estado R_3 - R_4 .

BIBLIOGRAFÍA

- Allard R.W. (1978) Principios de la mejora genética de las plantas. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Arias S., Freddi A.J., Sánchez O., Arzadún M. (2003) Rendimiento de materia seca y composición morfológica de híbridos de sorgo y maíz para silaje de planta entera. XXVI Congr. Arg. Prod. Animal, RAPA 23 Supl. 1: 221-222. Mendoza.
- CACF (2012) Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros.
- Castaldo A., Pariani A., Bulnes N., Illuminati H. (2009) Evaluación de un cultivo de maizal en estado diferido. Ciencia Veterinaria 11 (1): 37-41.
- Castañón-Nájera G., Latournerie-Moreno L., Mendoza-Elos M. (2005) Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffins. Universidad y Ciencia 21: 27-35.
- Centeno A., Cortés E., Gallo E. (2009) Evaluación de híbridos de maíz para silo. Campaña 2008-09. Hoja de Información Técnica. UEE-INTA San Francisco-IPEM N° 222.
- Centeno A., Cortés E., Ciacci M.B. (2010) Evaluación de híbridos de maíz para silo. Campaña 2009-10. Hoja de Información Técnica. UEE San Francisco. INTA. http://www.produccion-Animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/148informe_maices_sileros_09-10.pdf (acceso julio 2012).
- Cirilo A.G. (2004) Fecha de siembra y rendimiento en maíz. IDIA XXI 6: 122-127.
- Crow J.F. (1998) 90 Years Ago: The Beginning of Hybrid Maize. Genetics 148: 923-928.
- Cruz C.D. (2006) Programa Genes: Biometría. Editora UFV. Viçosa (MG), Brasil.
- De la Cruz-Lázaro E., Castañón-Najera G., Brito-Manzano N., Gómez-Vásquez A., Robledo-Torres V., Lozano del Río A. (2010) Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical Φ YTON (Buenos Aires) 79 (1): 11-17.
- De León M., Giménez R.A., Ruolo M.S. (2011) Caracterización y variabilidad de distintos genotipos de maíz para ensilaje. EEA INTA Manfredi. <http://www.inta.gov.ar/documentos/caracterizacion-y-variabilidad-de-distintos-genotipos-de-maiz-para-ensilaje/> (acceso julio 2012).
- Di Nucci de Bedendo E., Firpo M.V., Martínez M. Del H. (2009) Aptitud silera de híbridos de maíz (Campaña 2008/09). INTA EEA Paraná. <http://inta.gov.ar/parana/info/documentos/aptitud-silera-de-hibridos-de-maiz-campaña-2008-09/> (acceso julio 2012).
- Ferraris G. (2004) Ensayo comparativo de híbridos comerciales de maíz en el área de Colón-Wheelwright. Campaña 2003/04. Proyecto Regional Agrícola. INTA Pergamino. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/ferraris/EnsayocomparativodehibridoscomercialesdeMaizenelareadeColon-Wheelwright.asp> (acceso junio 2012).
- Fussell B. (1999) The story of corn. North Point Press, NY, USA.

- Gallais A., Pollacsek M., Huguet L. (1976) Possibilites de selection du maïs en tant que plant fourragere. Ann. Amelior. Plantes 26: 591-605.
- Gorostegui J. (1971) Variedades vegetales del INTA, cultivares creados e introducidos desde 1958. Serie: Colección agropecuaria del INTA 19. Buenos Aires.
- Grassi E. (2009) Caracterización genética de maíz local con fines forrajeros. Tesis Maestría en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba.
- Grassi E., Szpiniak B., Ferreira V. (2006) Estimación de la productividad y variación de líneas endocriadas de maíz para doble propósito. Rev. Univ. Nac. Río Cuarto 26 (1-2): 3-13.
- Grassi E., Reynoso L., Brun A., Ferreira A., Castillo E., Ferreira V. (2009) Líneas endocriadas de maíz: materia seca, aptitud combinatoria y agrupamiento según posibilidades de uso. Rev. Univ. Nac. de Río Cuarto 29 (1-2): 19-36.
- Griffins B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. Jour. Biol. Sci. 9: 463-493.
- Guillén-De la Cruz E., De la Cruz-Lázaro E., Castañon-Nájera G., Osorio-Osorio R., Brito-Manzano N.P., Lozano-Del Río A., López-Noverola U. (2009) Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. Tropical and Subtropical Agroecosystems 10: 101-107.
- Gutiérrez del Río E., Espinoza Banda A., Palomo Gil A., Lozano García J., Antuna O. (2004) Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca Lagunera. Rev. Fitotecnia Mexicana 27 (1): 7-11.
- Hallauer A.R., Miranda Filho J.B. (1988) Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa. U.S.A.
- Iltis H., Doebley J. (1980) Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. Amer. J. Bot. 67 (6): 994-1004.
- INDEC (2005) Instituto Nacional de Estadística y Censos. Encuesta Nacional Agropecuaria. Buenos Aires. Argentina.
- Lonnquist J. (1964) A modification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. Crop Sci. 4: 227-228.
- Magoja J., Pischedda G. (1988) Aptitud combinatoria de progénies S1 derivadas de una población con introgresión de germoplasma silvestre. XIX Congreso Argentino de Genética. UNJujuy. 28 de agosto-1 de septiembre. p.78.
- Maizar (2012) Asociación Maíz Argentino.
- Maresca S., Echeverri D., Quiroz J.L. (2006) Ensayo comparativo de sorgo y maíz diferido para vacas de cría. EEA INTA Cuenca del Salado; EEA INTA Balcarce. <http://www.inta.gob.ar/documentos/ensayo-comparativo-de-sorgo-y-maiz-diferido-para-vacas-de-cria.pdf> (acceso abril 2012).
- Paccapelo H., Molas M. (1996) Caracterización de una población de maíz forrajero con introgresión de *Zea diploperennis*. Revista de investigaciones Agropecuarias Vol. 27 (1): 33-38.
- Paliwal R.L., Granados G., Lafitte H.R., Violic A.D., Marathe J.P. (2001) El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Usos del maíz. En: Colección FAO: Producción y Protección Vegetal, N° 28. FAO, Rome (Italy).
- Quemé de León J., Larios Bobadilla L., Pérez Rodas C., Soto León N. (1991) Aptitud combinatoria y predicción de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano amarillo a partir de cruza dialélicas, evaluadas en dos localidades de la zona baja de Guatemala, 1989. Agronomía Mesoamericana 2: 24-30.

- Reynoso L. (1996) Variabilidad genética para macollamiento y rebrote en el género *Zea*. MSc. Tesis Posgrado en Mejoramiento Genético Vegetal. Fac. Cs. Agrarias, UN Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Russell A.W. (1973) Desarrollo y evaluación de líneas endocriadas de maíz. Fundación Cargill, Publicación N° 2, Buenos Aires, Argentina.
- SIIA (2012) Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina.
- Sprague G.F., Tatum L.A. (1942) General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- Steel D., Torrie J. (1988) Bioestadística: Principios y procedimientos. Editorial McGraw-Hill/Interamericana, México.
- Torrecillas M., Bertoia L. (2000) Aptitud combinatoria para caracteres forrajeros en poblaciones nativas y compuestos raciales de maíz en Argentina. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 15: 80-90.
- Troiani H., Paccapelo H., Golberg A. (1988) Descripción botánica del híbrido interespecífico entre *Zea mays* x *Zea diploperennis*. *Rev. Fac. Agronomía. UNLPam.* Vol 3 N° 2: 53-58.
- Ventimiglia L., Torrens Baudrix L. (2012) Ensayo híbridos de maíz 2011/12 (9 de Julio B. Aires). EEA Pergamino. AER 9 de Julio. INTA Pergamino. http://inta.gob.ar/documentos/ensayo-hibridos-de-maiz-2011-12-9-de-julio-bs.as1/atmultidownload/file?name=Ensayo_Híbridos_maíz_2011_12_9_Julio.pdf (acceso julio 2012).
- Watson S.A. (1988) Corn marketing, processing, and utilization. In: Sprague G.F., Dudley J.W. (Eds.) *Corn and corn improvement*. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA, pp. 882-940.