

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final presentado para optar al Grado
de Ingeniero Agrónomo”

APTITUD COMBINATORIA EN LÍNEAS
ENDOCRIADAS DE MAÍZ

Alumno: Torello, Arístides Pedro
DNI: 29.630.608

Director: Di Renzo, Miguel A.
Co-Director: Ibáñez, Mercedes A.

Río Cuarto-Córdoba
Diciembre de 2006

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Titulo del Trabajo Final: Aptitud combinatoria en líneas
endocriadas de maíz

Autor: Torello, Arístides P.

DNI: 29630608

Director: Di Renzo, Miguel A.

Co-Director: Ibañez, Mercedes A.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del

Jurado Evaluador:

Fecha de Presentación: ___ / ___ / ___.

Aprobado por Secretaria Académica: ___ / ___ / ___.

Secretario Académico

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Características del cultivo de maíz	1
1.2. Mejoramiento genético	2
1.3. Líneas endocriadas e híbridos comerciales	3
1.4. Evaluación de líneas endocriadas por su aptitud combinatoria	4
1.5. Cruzamientos dialélicos	5
1.6. Hipótesis	7
1.7. Objetivo general	7
1.8. Objetivos específicos	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1. Material genético	8
2.2. Descripción regional de los recursos naturales	8
2.3. Experimento de campo y observaciones	9
2.4. Análisis estadístico	10
3. RESULTADOS	12
4. DISCUSIÓN	17
5. CONCLUSIONES	20
6. BIBLIOGRAFÍA CITADA	21
7. ANEXO	24

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1.	Origen y descripción de las líneas.....	8
Cuadro 2.	Análisis de la varianza de la aptitud combinatoria general y específica para los caracteres relacionados a la morfología de la planta, evaluados en los 15 híbridos de maíz.....	12
Cuadro 3.	Análisis de la varianza de la aptitud combinatoria general y específica para los caracteres relacionados con el rendimiento y características del grano, evaluados en 15 híbridos de maíz.....	12
Cuadro 4.	Efectos de aptitud combinatoria general de las líneas para los caracteres evaluados.....	13
Cuadro 5.	Efectos de aptitud combinatoria específica de los híbridos para los caracteres evaluados, en 15 híbridos de maíz.....	15
Figura 1.	Biplot para los 8 caracteres evaluados en 15 híbridos de maíz.....	15

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Autovalores y autovectores del análisis de componentes principales de los 8 caracteres evaluados.....	24
-----------------	---	----

RESUMEN

En la evaluación de líneas endocriadas para la producción de híbridos de maíz dos factores son considerados importantes: las características de las líneas y el comportamiento de las mismas en combinaciones híbridas. Los cruzamientos dialélicos son utilizados para obtener la aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas y la aptitud combinatoria específica (ACE) de los híbridos. En el presente estudio fueron evaluados 15 híbridos experimentales derivados del cruzamiento entre seis líneas endocriadas, en un ensayo realizado en el campo experimental de la UNRC, con el objeto de encontrar variabilidad genética entre las líneas endocriadas y respuestas diferenciales entre los híbridos experimentales. El cruzamiento dialélico fue implantado utilizando un diseño en bloques completos aleatorizados de 15 tratamientos con dos repeticiones. Los caracteres evaluados fueron: altura de planta, altura de inserción de espiga, número de espigas por plantas, porcentaje de grano, profundidad de grano, peso de mil semillas, peso hectolítrico y rendimiento de grano. El análisis de aptitud combinatoria se realizó empleando el modelo IV de Griffing, donde los parentales y los cruzamientos recíprocos fueron excluidos. Se utilizó la prueba *t* para estimar la significancia de la ACG y ACE. La correlación fenotípica de los caracteres evaluados se realizó mediante el análisis multivariado de componentes principales. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las seis líneas endocriadas para los efectos de ACG y entre las combinaciones híbridas para los efectos de ACE, salvo algunas excepciones. La significancia estadística hallada para la ACG muestra el distinto comportamiento de las líneas en las combinaciones híbridas y la importancia de los efectos genéticos aditivos para estos caracteres, siendo factible realizar selección en generaciones tempranas. El cruzamiento BxD presentó valores de ACE positivos y significativos en tres de las cuatro variables evaluadas y el cruzamiento AxD tuvo el mayor efecto positivo y significativo de ACE para rendimiento de grano, sugiriendo que estos cruzamientos específicos pueden ser utilizados para producir futuros híbridos comerciales.

Palabras clave: híbridos, aptitud combinatoria, líneas endocriadas, cruzamientos dialélicos, correlación fenotípica.

SUMMARY

COMBINING ABILITY OF INBRED LINES IN MAIZE

Two factors are considered important for the evaluation of an inbred line in the production of hybrid maize; characteristics of the line itself and performance of the line in a particular hybrid combination. Diallel crosses have been used to investigate general combining ability (ACG) of the parents and specific combining ability (ACE) of the crosses. In this experiment, which was carried out in the UNRC experimental field, were evaluated 15 hybrids derived from six inbred lines crossing. The objectives of this study were to find genetic variability among the lines and to detect differential responses among hybrid. Diallel crosses were implanted using a randomized complete block design of 15 treatments with two replications. The traits measured were: plant height; ear height; ear number; seed percentage, grain depth, 1000-kernel weight, test weight and grain yield. The combining ability analysis was based on Griffing's method IV, where parental and reciprocals were excluded. Test *t* was used to estimate the significant of the ACG and ACE. Phenotypic correlation between the evaluated traits was carried out by means of principal components. Analysis of variance showed significant differences among six inbred lines for ACG effects and among hybrid combinations for ACE effects, except for some exceptions. General combining ability effects were significant, indicating the different performance between lines and the importance of the additive genetic effects for these traits, being feasible to carry out selection in early generations. The cross BD showed significant positive ACE values in 3 of 4 traits analyzed and cross AD had the highest positive ACE value for grain yield. Therefore it is suggested that these specific crosses can be used in the hybrid production.

Keys words: hybrid, combining ability, lines, diallel crosses, phenotypic correlation.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Características del cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.), es el único cereal cultivado originario de América. Comenzó a ser utilizado hace unos 7000 años por los Mayas y los Aztecas, siendo especialmente desarrollado durante el imperio Inca. Posteriormente fue introducido a Europa en 1492, tras la expedición de Cristóbal Colón a América (Paliwal, 2001).

Luego de ingresar al viejo mundo, se extendió tanto para alimentación humana, como para forraje. En la actualidad tiene difusión mundial, a tal punto que es cultivado en una amplia diversidad de ambientes, siendo uno de los aportes más valiosos a la seguridad alimentaria mundial junto con el arroz y el trigo, los cuales son considerados como las tres gramíneas más cultivadas en el mundo (Paliwal, 2001).

El maíz cultivado es una planta completamente domesticada, no crece en forma silvestre y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre (Wilkes, 1985; Dowsell *et al.*, 1996).

Entre las principales características de este cultivo se destacan: la producción de frutos almidonosos aptos para el consumo, su gran plasticidad ecológica, la elevada producción, la facilidad de cultivo, cosecha y conservación y su equilibrada composición química (Cubero, 1999). Es la materia prima de diversos productos como bebidas, alcohol, azúcares, grano para consumo y harinas de extracción, como así también de variados subproductos.

En el aspecto productivo, todos los años se siembran a nivel mundial alrededor de 138 millones de ha que producen casi 600 millones de tn de grano (FAO, 2003), aumentando significativamente la producción debido en parte al aumento de las tierras cultivadas con el cereal, a las mejoras genéticas, a la aplicación de técnicas más eficientes y a la utilización de fertilizantes, así como a la introducción de variedades nuevas con mayor capacidad de producción.

Los principales productores mundiales son: EEUU y China, en tanto que Argentina se encuentra en el quinto lugar consolidándose en los últimos años como el segundo exportador mundial de maíz (SAGPYA, 2005), exportando el 70% de su producción a países como Chile, Brasil y Unión Europea, quienes transforman los granos en productos de alto valor.

La notable intensificación de la agricultura en la región pampeana se encuentra motivada entre otros factores por una mejor rentabilidad de los cultivos con respecto a la

ganadería, la permanente superación de nuevos materiales genéticos, la disponibilidad de propuestas biotecnológicas y el importante aumento de la siembra directa.

Ante este nuevo escenario, la presencia del maíz en las rotaciones debe ser tenida en cuenta porque le asigna mayor estabilidad al sistema, mejora el balance físico de los suelos, atenúa la caída de materia orgánica manteniendo altos los niveles de estabilidad estructural y disminuye el riesgo comercial por una mayor diversificación, tanto a nivel país como en la empresa (Sarlangue, 2005).

Es previsible que la demanda de maíz con destino a la alimentación humana y animal crezca en las próximas décadas. Por lo tanto, este cultivo debe ser debidamente explotado a fin de alimentar la creciente población mundial, sumándose a todo esto las promisorias perspectivas que presenta el cultivo en la producción de biocombustibles.

1.2. Mejoramiento genético

El cambio en la forma de vida del hombre, de recolector-cazador al agrícola, pudo realizarse porque algunas plantas y animales se modificaron en su contacto permanente con el hombre, sometiéndolas a una fuerte presión de selección. Así surgió el mejoramiento genético de las especies cultivadas, aplicando modificaciones continuas a las mismas a favor de las necesidades del hombre. Estas modificaciones se transmitieron de generación en generación mediante cambios en la información hereditaria del material que se cultiva (Cubero, 1999).

Esta mejora genética incipiente e intuitiva se basó en la selección de individuos que presentaban características agronómicas sobresalientes, llamada selección masal, permitiendo la obtención de diferentes razas o variedades locales. El mejoramiento se basó en metodologías de selección usando caracteres fisiológicos y morfológicos en lugar del rendimiento como criterio de selección (Blum, 1988).

En el siglo XX ocurre un desarrollo espectacular de la mejora genética a causa del conocimiento de las leyes de la herencia, junto con el desarrollo y aplicación de ciencias como la bioquímica, la biometría y la citología. Con ello se describen y explican los efectos de cosanguinidad y de heterosis logrando la obtención de líneas endocriadas e híbridos. El aprovechamiento de la heterosis o vigor híbrido permitió el incremento del rendimiento, la mejora de caracteres agronómicos y la producción de grandes volúmenes de semilla híbrida a un costo razonable (Cubero, 1999). Con la introducción de los híbridos de maíz, se lograron incrementos en la productividad, mejoras en el sistema radical, aumento en la firmeza del tallo y en la sanidad de la planta.

1.3. Líneas endocriadas e híbridos comerciales

Un hito importante en la agricultura mundial fue la producción de híbridos, entendiéndose por híbrido al material vegetal resultante del cruzamiento entre individuos de diferentes poblaciones o líneas endocriadas, que permitieron el aumento de producción (expresión del vigor híbrido) y la homogeneidad fenotípica y genética del cultivo que se obtiene. Esta ventaja de homogeneidad de los híbridos simples, es al mismo tiempo su mayor debilidad por su vulnerabilidad ante estreses bióticos y abióticos.

Para la obtención de los híbridos, es muy importante el uso de la consanguinidad para la purificación de caracteres no deseables en una población y el aprovechamiento del fenómeno opuesto, la heterosis, no sólo por el aumento en rendimiento que se consigue, sino por la posibilidad de obtener un producto comercial homogéneo y repetible en el tiempo (Cubero, 1999). La semilla de maíz destinada al cultivo, es producto del cruzamiento entre dos líneas endocriadas que difieren sustancialmente en su composición genética. Al cruzarse, la combinación genética que resulta se traduce en un rendimiento mucho mayor que el de las líneas endocriadas. Este incremento de rendimiento con respecto a las líneas padres se denomina vigor híbrido o heterosis (Valentinuz y Papparotti, 2004). Los cruzamientos entre líneas endocriadas derivadas de diferentes poblaciones incrementa la respuesta heterótica haciendo más productivos los cruzamientos que entre líneas derivadas de las mismas o similares poblaciones de polinización abierta (Allard, 1975).

El utilizar líneas de diferente origen permite aprovechar la gran diversidad genética presente en el maíz. Manejando adecuadamente este material se puede incrementar la respuesta heterótica entre ellas. Pero es necesario conocer a que grupo heterótico pertenece cada línea para determinar la relación que existe entre ellas y así poder aprovechar el fenómeno de la heterosis. La clasificación de las líneas dentro de grupos heteróticos es esencial para determinar el potencial y utilidad de dichas líneas en el desarrollo de híbridos. Una forma de clasificación utilizada es a través de la aptitud combinatoria, la cual ha presentado importantes resultados (Fan *et al.*, 2003).

Las teorías de dominancia y sobredominancia tratan de explicar conjuntamente el fenómeno de heterosis, ya que ambas contribuyen a la manifestación del fenómeno, aunque existe cierta controversia en cuanto a su importancia relativa. Hayman (1954) expresa que la dominancia y la sobredominancia pueden existir simultáneamente y contribuir a la heterosis. Grafius (1959) dice que a los efectos de dominancia y epistasis se los puede considerar como mecanismos capaces de producir heterosis y los considera como mutuamente no excluyentes. Russell *et al.* (1972) compararon la importancia de la dominancia y sobredominancia y concluyen que la última no fue importante en el rendimiento.

De lo anterior se desprende la importancia de las líneas en la obtención de híbridos comerciales, siendo necesaria la evaluación de las mismas, su mantenimiento garantizando su identidad a lo largo del tiempo y la posterior producción de la semilla comercial.

Estas líneas endocriadas se obtienen por autofecundaciones sucesivas, siendo sometidas a selecciones basadas en caracteres deseables para el trabajo de mejora de que se trate. Para ello es importante contar con información sobre grupos de materiales que exhiben una consistente respuesta heterótica en sus cruzamientos (Nestares *et al.*, 1999), lo cual nos permite asignar mejor los recursos y concentrar esfuerzos en combinaciones híbridas con mayor probabilidad de resultar promisorias (Ordas, 1991). El conocimiento de la constitución del germoplasma y la comprensión de las relaciones entre las líneas contribuyen al progreso genético (Smith y Smith, 1987), para lo cual son de suma importancia las diversas evaluaciones existentes que nos permiten obtener información sobre el comportamiento de los materiales con los cuales trabajamos. Dentro de estas técnicas la aptitud combinatoria general (ACG) y la específica (ACE) son de suma importancia y utilización como herramientas de evaluación y selección de líneas endocriadas. La información obtenida sobre aptitud combinatoria (AC) y patrones heteróticos de compuestos de base amplia, poblaciones de cría y líneas es esencial para maximizar su uso en el desarrollo de híbridos (Beck *et al.*, 1991).

1.4. Evaluación de líneas endocriadas por su aptitud combinatoria.

Dos factores son considerados importantes para la evaluación de líneas endocriadas en la producción de híbridos de maíz; las características de las mismas y el comportamiento de la línea en una combinación híbrida particular (Malik *et al.*, 2004). Este carácter denominado aptitud combinatoria (AC), se divide en ACG y ACE. Los términos de ACG y ACE fueron originalmente definidos por Sprague y Tatum (1942). Estos autores definen a la ACG como el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, lo que es equivalente al valor reproductivo de un individuo, y el término de ACE para designar aquellos casos concretos en que ciertas combinaciones se comportan relativamente mejor o peor de lo que debería esperarse en base al comportamiento promedio de las líneas consideradas, siendo necesario determinar la AC no sólo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar los que exhiban la más alta AC (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2005).

Los efectos de AC han sido utilizados para estimar los tipos de acción genética que controlan a los diferentes caracteres (Gutiérrez del Río *et al.*, 2004) ya que la ACG está asociada a efectos aditivos mientras que las diferencias de ACE son debidas a efectos genéticos no aditivos comprendiendo a la dominancia, sobredominancia y epistasis

(Falconer, 1986). Al respecto Hoegenmeyer y Hallauer (1976) señalaron que la ACE es más importante que la ACG en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, ya que con la ACE se puede hacer mejor uso de los efectos no aditivos como la dominancia y la epistasia. La selección de las líneas endocriadas por AC y la elección de la mejor combinación híbrida, son las fases que presentan mayores dificultades en la producción de híbridos. Algunas veces la prueba de líneas para la evaluación de híbridos comienza recién en la generación S_4 o aún más tarde, momento en que el número de líneas se reduce a un número manejable. Otras veces se utiliza un sistema de desarrollo de líneas endocriadas basado en la evaluación de las líneas para el comportamiento de los híbridos en generaciones de autofecundación tempranas, para descartar un gran número de líneas indeseables que probablemente no se usen. Las pruebas por AC permiten detectar el potencial de las plantas seleccionadas como eventuales progenitores de híbridos, ya que la buena AC de las plantas S_0 (línea base a partir de la cual se obtienen las líneas endocriadas), permanece bastante estable en las sucesivas generaciones, siendo las AC caracteres que se pueden seleccionar y transmitir por cruzamiento, ya que los individuos de una población difieren en ACG y en sus ACE con otros individuos. Es utilizado para tal fin, el procedimiento de la doble evaluación, por ACG y por ACE, realizada mediante los cruzamientos dialélicos que nos permiten realizar comparaciones entre los descendientes obteniendo una evaluación preliminar del comportamiento de las líneas en base a ACG. Vega y Bejarano (1972), trabajando con líneas endocriadas de maíz encontraron que, salvo pocas excepciones, las mejores combinaciones híbridas involucran siempre líneas con alto efecto para ACG y viceversa.

Los cruzamientos simples entre líneas de interés son utilizados para evaluar la ACE, observando si existe interacción entre líneas. Según Vencovsky y Barriga (1992) ésta interacción es indicadora de la existencia de efectos de ACE. La cual es de mayor importancia en la actualidad debido al desarrollo y producción de una mayor cantidad de híbridos simples ante las buenas características agronómicas de las muchas líneas endocriadas producto del mejoramiento genético de las mismas.

1.5. Cruzamientos dialélicos

En mejoramiento vegetal, el cruzamiento dialélico es un método muy valioso para el estudio de las propiedades genéticas de líneas endocriadas, ya que cuando son pocas las líneas a evaluar, este diseño nos permite determinar la ACG y ACE de las líneas de forma precoz o anticipada y además de forma simultánea, mediante el cruzamiento de todas las líneas entre sí. La utilidad de los diseños dialélicos se debe a que permiten realizar una predicción del comportamiento de diferentes variedades de híbridos producidos por fecundación cruzada, siendo muy utilizado en el mejoramiento vegetal para la obtención de

nuevos híbridos comerciales de maíz. Fundamentalmente son utilizados para el estudio del rendimiento siendo aplicables a otros caracteres (Morata *et al.*, 2003). También permite realizar estudios sobre el control genético de la variación cuantitativa de determinados caracteres (Malik *et al.*, 2004).

El cruzamiento dialélico fue definido por Hayman (1954) como el conjunto de todos los cruzamientos posibles entre “p” genotipos de líneas endocriadas. Griffing (1956) presentó cuatro métodos de análisis de los cruzamientos dialélicos, en donde el método I o dialélico completo considera todos los cruzamientos posibles, incluyendo las autofecundaciones y los recíprocos. El método II excluye los cruzamientos recíprocos implicando el resto de los mismos e incluso las autofecundaciones. El método III alcanza todos los cruzamientos aleatorios incluyendo a los recíprocos, descartando las autofecundaciones. Mientras que el método IV o dialélico incompleto no considera las autofecundaciones y los cruzamientos recíprocos.

Además, Griffing (1956) definió dos modelos de cruzamiento dialélico que incluyen a los cuatro métodos enunciados, el modelo I o de efectos fijos y el modelo II o de efectos aleatorios. El modelo I o de efectos fijos permite obtener información cuando los padres no son elegidos al azar, siendo los genotipos de interés inmediato. El modelo II o de efectos aleatorios se aplica cuando las líneas son tomadas al azar de una población y en base a éstas se determina ACG, ACE, heterosis y parámetros genéticos de la población, seleccionando mediante estos parámetros los padres y cruza superiores.

En el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se han realizado diversos estudios sobre aptitud combinatoria para establecer patrones heteróticos entre poblaciones de maíz y pools génicos y para maximizar la producción en el desarrollo de híbridos (Beck *et al.*, 1991).

En Argentina, los diseños dialélicos en maíz para grano fueron realizados principalmente por equipos del INTA y fueron orientados al rendimiento. Pero también estos diseños fueron aplicados para analizar otro tipo de variables como resistencia a Mal de Río Cuarto (Morata *et al.*, 2003). También se han realizado estudios de la AC del germoplasma para clasificación por grupos heteróticos (Nestares *et al.*, 1999). Simultáneamente se han realizado estudios de AC en maíces forrajeros para estimar las mejores líneas y combinaciones en el carácter materia seca digestible por investigadores de la UNLP (Funaro *et al.*, 1999) y de la UNLZ (Bertoia *et al.*, 2006).

1.6. Hipótesis

La existencia de variabilidad genética presente en líneas endocriadas de maíz de diferentes procedencias, permitirá detectar respuestas diferenciales ante evaluaciones por ACG y ACE.

1.7. Objetivo general

- Valorar líneas endocriadas de maíz en cuanto a su ACG y ACE, mediante un cruzamiento dialélico.

1.8. Objetivos específicos

- Establecer grupos de líneas con comportamiento similar.
- Valorar los híbridos simples resultantes de las diferentes combinaciones entre las líneas evaluadas.
- Identificar la interrelación entre caracteres.
- Examinar la relación entre caracteres e híbridos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material genético

En el presente trabajo fueron evaluados 15 híbridos productos del cruzamiento entre 6 líneas endocriadas pertenecientes al Criadero y Semillero Falco R. C. (4758 A, Cba., Río Cuarto), las cuales son líneas elite, que fueron utilizadas para la obtención de nuevos híbridos. En el Cuadro 1 se presenta el grupo heterótico al que pertenecen las líneas y las principales características morfológicas de las mismas.

Cuadro 1. Origen y descripción de las líneas.

Línea	Grupo heterótico	Descripción
A	Lancaster	Altura de planta media y de espiga alta, grosor del tallo fino, hoja semierecta de color verde claro, panoja de tamaño chica, espiga larga y de grosor fino, grano duro y colorado.
B	Lancaster	Altura de planta alta y de espiga media, grosor del tallo medio, hoja en posición normal de color verde oscuro, panoja de tamaño grande, espiga de largo medio y gruesa, grano duro y colorado.
C	Reid	Altura de planta media y de espiga alta, grosor del tallo medio, hoja en posición normal de color verde normal, panoja de tamaño grande, espiga de largo y grosor medio, grano duro y colorado.
D	Iodent	Altura de planta media y de espiga baja, tallo grueso, hoja erecta de color verde claro, panoja de tamaño chica, espiga largo medio y gruesa, grano semidentado y de color amarillo.
E	Reid	Altura de planta y espiga baja, grosor del tallo medio, hoja semierecta de color verde normal, panoja de tamaño chica, espiga de largo medio y gruesa, grano semidentado y de color amarillo.
F	Iodent	Altura de planta y espiga media, grosor del tallo medio, hoja semierecta de color verde oscuro, panoja de tamaño medio, espiga largo medio y de grosor fino, grano semiduro y de color naranja.

El cruzamiento dialélico incompleto entre líneas dio como producto 15 híbridos, cuya cantidad se define mediante la función $p(p-1)/2$, donde p = número de líneas a probar, por lo que se incluyen sólo los cruzamientos simples (excluyendo los cruzamientos recíprocos y las autofecundaciones).

2.2. Descripción regional de los recursos naturales

El ensayo se realizó en el campo experimental de la UNRC, Río Cuarto provincia de Córdoba (33° 8'S, 64° 20'O; 334 msnm). La región se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo con invierno seco. El régimen de precipitaciones es monzónico y concentra el 80% de las lluvias entre los meses de octubre y abril, con una precipitación anual que ronda los 700-800 mm. El período libre de heladas, en promedio, comprende

desde el 11 de septiembre hasta el 11 de mayo (240 días). Las heladas extremas ocurren entre el 16 de abril y el 29 de octubre. La dirección predominante de los vientos es NE-SO desde julio a noviembre y N-S durante los meses restantes y en relación a la intensidad de los mismos, los mayores registros han sido relevados entre los meses de julio y noviembre, con ráfagas que superan los 100 km/h (Cantero *et al.*, 1986). El suelo es un haplustol típico de textura franca, con aptitud de uso agrícola.

2.3. Experimento de campo y observaciones

Para la realización del ensayo fue asignada una parcela en la cual el cultivo antecesor era una pastura en base a alfalfa (*Medicago sativa*), el cual brinda una serie de ventajas principalmente con lo referente a fertilidad, ya que es un cultivo fijador de nitrógeno atmosférico y que favorece la estructura del suelo.

Para la preparación de la cama de siembra se realizaron dos labores con doble acción durante el mes de septiembre con el suelo en estado friable. La segunda labor fue acompañada con una rastra de dientes. Esta labranza nos permitió lograr las condiciones deseadas, de buena granulometría, siendo firme y pareja, lo que garantizó una correcta emergencia del cultivo.

El ensayo fue implantado el 23 de octubre del 2004 en un surco de 7 m de largo con un espaciamiento de 52 cm, sembrando 5 semillas por m. Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizado de 15 tratamientos con dos repeticiones y dos surcos de bordura de cada lado.

La densidad sembrada fue de 96.000 plantas/ha, sembrando una semilla por golpe y luego se raleó, ajustando a una densidad final de 68.000 plantas/ha.

La parcela presentó elevadas infestaciones con malezas en donde las especies predominantes eran alfalfa y cebollín, tanto *Cyperus rotundus* como *C. sculentus*. Para su control se realizaron aplicaciones de herbicidas. En presiembra, específicamente 15 días antes de realizar la misma, se aplicó 2 l/ha de Atrazina 50%, 2 l/ha de Acetoclor 84% y 3 l/ha de Glifosato para el control de hoja ancha y fina y 150 cc/ha de Cipermetrina para el control de lepidópteros. En post emergencia, cuando el cultivo se encontraba en tres hojas, se realizó un control de cebollín con 150 g/ha de Halosulfurón.

En estado de 6^{ta} hoja desplegada se realizó una fertilización con urea granulada a razón de 200 kg/ha y no se fertilizó con fósforo. La aplicación de nitrógeno fue realizada en esta etapa del ciclo con la finalidad de que dicho nutriente se encuentre disponible en el estadio de 8^{ta} hoja desplegada, etapa en la que el cultivo comienza su crecimiento exponencial, y durante el período crítico para la definición del rendimiento que ocurre alrededor de floración.

En cuanto a la medición de los caracteres, se hizo principal hincapié en la determinación del rendimiento y de aquellos que directa y/o indirectamente hacen a la definición del mismo.

Las variables o caracteres evaluados relacionados a la morfología de la planta fueron: altura total de planta (AP) en cm; altura de inserción de espiga (AE) en cm; número de espigas por plantas (NE); porcentaje de grano (PO) (%). Mientras que los caracteres relacionados con el grano fueron: profundidad de grano (PG) en mm, peso de mil semillas (PM) en gr, peso hectolítrico del grano (PH) en kg/hl y rendimiento de grano (RG) en qq/ha.

La AP y la AE se midieron en cinco plantas tomadas al azar por parcela desde la base del tallo hasta el extremo distal de la panoja, en el primer carácter, y hasta la altura de inserción de la espiga superior, en el segundo. El NE fue determinado contando las espigas de cada tratamiento. En cuanto al PO se estableció tomando el peso total de todas las mazorcas cosechadas por híbrido a lo que se le asigna un valor del 100%, determinando a posterior el PO mediante el peso de los granos de la espiga con relación al peso total de la misma, conformada por el grano más el marlo. La PG se midió mediante una regla desde la parte superior hasta la inferior del mismo, el PM fue determinado pesando una muestra representativa de 300 semillas, mientras que para medir el PH se utilizó una balanza de peso hectolítrico de Schopper y el RG se determinó en base al peso de semillas cosechadas por híbrido en relación a la superficie, llevando tal peso a una humedad constante del 14,5%.

2.4. Análisis estadístico

En el análisis de la varianza para AC, el efecto de genotipo fue descompuesto en su efecto para ACG y ACE. Estos efectos fueron obtenidos mediante el uso del programa desarrollado por Magari y Kang (1994) basado en los modelos planteados por Griffing (1956).

Para el análisis de AC se empleó el modelo IV Griffing (1956), que utiliza la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + bl_k + e_{ijk}$$

donde:

$i, j = 1 \dots p$ (p = número de líneas a probar),

$k = 1 \dots r$ (r = número de repeticiones).

Y_{ijk} = valor fenotípico observado del cruzamiento con los progenitores i y j en el bloque k .

μ = es el efecto promedio de la población.

g_i y g_j = son los efectos de aptitud combinatoria general de las líneas parentales i y j .

S_{ij} = es el efecto de la aptitud combinatoria específica del cruzamiento ij .

bl_k = es el efecto del bloque k .

e_{ijk} = es el efecto ambiental aleatorio correspondiente a la observación i, j y k .

El modelo IV de Griffing (1956), fue elegido ya que se trata de un cruzamiento dialélico simple con un solo juego de combinaciones biparentales que excluye los recíprocos y los padres, en razón de que los efectos de genotipos recíprocos generalmente no existen para los caracteres evaluados (Vega y Bejarano, 1972), por lo tanto no es necesario complicar el estudio con la inclusión de estos genotipos. Además, solamente nos interesa estimar los parámetros genéticos relacionados con la aptitud de combinación de las “p” líneas, en donde la AC promedio de los cruzamientos simples en los que interviene una línea estima la ACG de dicha línea.

Las líneas parentales fueron elegidas específicamente, por lo que el modelo a aplicar resulta de efectos fijos o Modelo I (Griffing, 1956). La significancia de los efectos de ACG y ACE fueron estimados con la prueba de t , cuyo estadístico se obtuvo de dividir el valor estimado del efecto con su error estándar (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2005).

La correlación fenotípica de los caracteres evaluados fue analizada mediante el análisis multivariado de componentes principales (Johnson, 2000), utilizando el programa estadístico Infostat (2004). Este método de análisis permite hallar una representación gráfica o biplot de la variabilidad de los caracteres estandarizados, lo que facilita la interpretación del comportamiento de un gran número de líneas respecto a las variables y la interrelación entre variables y líneas obtenidas sobre la base del patrón total de los datos.

En el biplot, se grafican las líneas como puntos y las variables como vectores desde el origen. La distancia entre líneas y variables no tiene interpretación, pero las direcciones de los vectores desde el origen sí pueden ser interpretadas. Las líneas que se grafican en una misma dirección que una variable tienen valores relativamente altos para esa variable y valores bajos en variables que se grafican en dirección opuesta.

Por otro lado, los ángulos entre los vectores que representan las variables, pueden ser interpretados en términos de las correlaciones entre variables. Un ángulo próximo a 90° indica que dos variables no se encuentran correlacionadas. Alejamientos de este valor tanto sea en valores menores como mayores a 90° implican correlaciones positivas o negativas, respectivamente. Es decir, un ángulo cercano a cero implica que ambas variables están fuertemente correlacionadas en forma positiva y un ángulo llano indica que dos variables muestran fuerte correlación negativa.

3. RESULTADOS

En los Cuadros 2 y 3, se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza para los caracteres medidos en los 15 híbridos productos del cruzamiento de las 6 líneas de maíz evaluadas.

Cuadro 2. Análisis de la varianza de la aptitud combinatoria general y específica para los caracteres relacionados a la morfología de la planta, evaluados en los 15 híbridos de maíz. Río Cuarto, 2004-2005.

Fuente de Variación	AP		AE		NE		PO	
	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM
Bloque	1	61,52	246,54		32,03		28,23	
Híbrido	14	264,76 ns	588,49 **		126,27 **		14,57 **	
ACG	5	281,20 ns	1396,43 **		237,73 **		33,34 **	
ACE	9	255,64 ns	139,63 ns		64,35 *		4,15 **	
Error	14	301,28	84,31		23,39		0,37	
CV (%)		7,88	9,74		7,90		0,74	

*, **: Significativo para $p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 3. Análisis de la varianza de la aptitud combinatoria general y específica para los caracteres relacionados con el rendimiento y características del grano, evaluados en los 15 híbridos de maíz. Río Cuarto, 2004-2005.

Fuente de Variación	PG		PM		PH		RG	
	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM
Bloque	1	2,77E ⁻⁴	985,83		87,92		69,29	
Híbrido	14	1,12 *	1092,50 **		7,56 ns		143,29 **	
ACG	5	1,62 *	569,89 ns		17,76 **		82,83 ns	
ACE	9	0,84 ns	1382,94 **		1,90 ns		143,43 **	
Error	14	0,35	269,69		3,52		31,39	
CV (%)		5,25	5,28		2,44		6,21	

*, **: Significativo para $p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

En el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para la mayoría de los caracteres en los efectos de híbrido, ACG y ACE, con excepción de la AP que no presentó diferencias significativas en ninguno de los efectos analizados (Cuadros 2 y 3).

En cuanto a los híbridos se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$) para los caracteres de AE, NE, PO, PM y RG y diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para PG (Cuadros 2 y 3). El PH no mostró diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre híbridos por lo que se lo excluyó de los análisis de ACG y de ACE (Cuadro 3).

La ACG mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$) en AE, NE, PO y diferencias significativas ($p < 0,05$) para PG, mientras que PM y RG no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) (Cuadros 2 y 3).

La ACE mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para PO, PM y RG, significativas ($p < 0,05$) para NE y no significativas ($p > 0,05$) en AE y PG (Cuadros 2 y 3).

El rango de los coeficientes de variación en los análisis de varianza (Cuadros 2 y 3) estuvo entre 0,74 y 9,74%, correspondiendo a PO y a AE, respectivamente.

En virtud de que los análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre los híbridos evaluados, se procedió a efectuar los análisis de ACG y ACE.

En los Cuadros 4 y 5 se presentan las estimaciones de los efectos de ACG de las líneas y de ACE para los cruzamientos, solamente de aquellos caracteres donde el ANOVA mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre híbridos. Los signos indican si las líneas (Cuadro 4) o los híbridos (Cuadro 5) presentaron efectos positivos o negativos de AC.

Cuadro 4. Efectos de aptitud combinatoria general de las líneas para los caracteres evaluados en 15 híbridos de maíz. Río cuarto, 2004-2005.

Línea	ACG			
	AE	NE	PO	PG
A	17,29 **	4,83 **	-0,91 **	-0,72 **
B	8,04 **	-7,29 **	-3,15 **	-0,07 ns
C	7,79 *	2,58 ns	0,08 ns	-0,17 ns
D	-18,46 **	-4,29 **	2,88 **	0,44 *
E	-7,08 *	-2,29 ns	-0,21 ns	0,02 ns
F	-7,58 *	6,45 **	1,31 **	0,51 **

*, **: Significativo para $p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente. ns: No significativo.

Como puede observarse en el Cuadro 4, para el carácter AE las líneas A, B y C mostraron efectos positivos y significativos para ACG, en tanto que las líneas D, E, F mostraron efectos negativos y significativos. El mayor efecto positivo correspondió a la línea A.

En cuanto al NE las líneas A y F mostraron efectos positivos y altamente significativos ($p < 0,01$), B y D negativos y altamente significativos ($p < 0,01$), mientras que

C y E mostraron efectos no significativos ($p > 0,05$). En este carácter la línea F mostró el mayor efecto positivo para ACG.

En el carácter PO la mayoría de las líneas mostraron efectos estadísticos altamente significativos ($p < 0,01$) para ACG, a excepción de la línea C y E que mostraron efectos estadísticos no significativos ($p > 0,05$) para tal carácter. Las líneas D, F mostraron valores positivos y significativos y las líneas A y B valores negativos y significativos para tal carácter. La línea D fue la que presentó el valor positivo más alto para ACG en este carácter.

En el carácter PG las líneas D y F mostraron efectos positivos y significativos, la línea A mostró efectos negativos y significativos, mientras que las líneas B, C y E mostraron efectos estadísticos no significativos ($p > 0,05$). La línea F fue la que presentó el valor positivo más alto para ACG.

Como puede observarse en el Cuadro 5, los híbridos con valores positivos más altos de ACE y diferentes significativamente de cero ($p < 0,01$) para NE fueron los cruzamientos BxD, CxF y DxE, siendo CxF el de mejor comportamiento.

En cuanto a la ACE en el carácter PO los híbridos con efectos positivos y significativos ($p < 0,01$) fueron AxD, AxE, BxE, CxD, CxE y CxF, sobresaliendo el híbrido AxD.

Para PM los cruzamientos con mayor efecto positivo y significativo de ACE fueron AxC, BxD, BxF, CxE, DxF y ExF, destacándose el híbrido AxC por su efecto más alto.

Por último en RG los híbridos con mayores efectos positivos y significativos ($p < 0,01$) fueron AxD, AxE, BxD, CxD, CxE y ExF, presentando AxD y BxD los mayores valores positivos.

Cuadro 5. Efectos de aptitud combinatoria específica de los híbridos para los caracteres evaluados en 15 híbridos de maíz. Río Cuarto 2004-2005.

Híbridos	ACE			
	NE	PO	PM	RG
AxB	-2,27 ns	-1,03 **	-13,84 *	-7,43 **
AxC	2,35 ns	-1,93 **	39,04 **	-8,17 **
AxD	-2,27 ns	1,83 **	4,63 ns	8,88 **
AxE	0,72 ns	0,90 **	-5,02 ns	6,29 **
AxF	1,47 ns	0,24 ns	-24,80 **	0,43 ns
BxC	-1,52 ns	-0,58 **	3,01 ns	-2,04 ns
BxD	5,35 **	0,07 ns	22,94 **	8,54 **
BxE	2,85 ns	1,08 **	-23,32 **	0,55 ns
BxF	-4,40 **	0,45 ns	11,21 *	0,38 ns
CxD	-3,52 *	0,84 **	-35,01 **	4,53 **
CxE	-7,02 **	1,03 **	14,97 **	3,67 **
CxF	9,72 **	0,63 **	-22,02 **	2,01 ns
DxE	5,35 **	-2,22 **	-7,39 ns	-14,83 **
DxF	-4,90 **	-0,53 **	14,84 **	-7,12 **
ExF	-1,90 ns	-0,79 **	20,77 **	4,31 **

*, **: Significativo para $p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente. ns: No significativo.

En la Figura 1 y Anexo 1, se muestran los resultados del análisis de componentes principales de los 15 híbridos y las 8 variables en estudio.

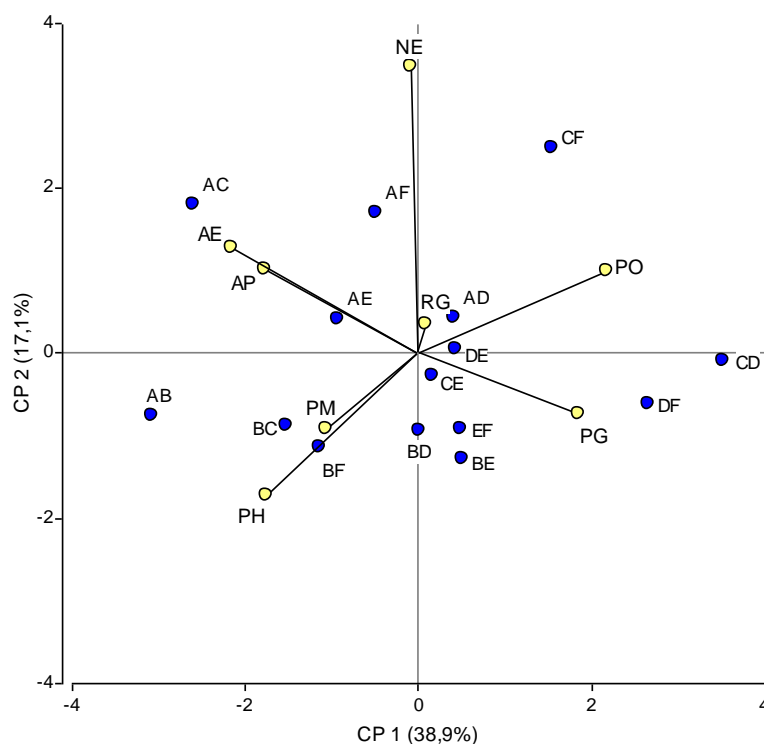


Figura 1. Biplot para los 8 caracteres evaluados en 15 híbridos de maíz. Río Cuarto, 2004-2005.

Los tres primeros componentes principales explicaron 73% de la variabilidad total de las observaciones (Figura 1 y Anexo 1). En la CP1 las variables PO y PG tuvieron los pesos positivos más altos, por lo tanto son las que más influyen positivamente en esta componente, mientras que las variables PH, AE y AP tienen el peso negativo más alto. En la CP2 la variable NE es la que mayor influencia tienen sobre los valores positivos de esta componente y la variable PH sobre los valores negativos (Fig. 1 y Anexo 1).

Las componentes representadas en los dos primeros ejes explicaron el 56% de la variabilidad, y se formaron grupos de variables correlacionadas positivamente (Fig. 1). Se observó una alta correlación entre PM y PH, entre AE y AP y entre NE y RG. Este último grupo también se correlacionó, aunque en menor medida con PO. La variable PG aparece en la figura separada de las restantes variables, presentando una baja correlación con PO. Los grupos opuestos mostraron correlaciones negativas, interpretándose que la CP1 opone al grupo que reúne a PH, PM, AE y AP, con respecto al formado por PO y PG y la CP2 opone al grupo formado por AP, AE, NE y PO al formado por PG, PH y PM.

En lo que respecta al comportamiento de los híbridos se observa un grupo separado del conjunto con altos valores positivos de la CP1, estos híbridos son CxD y Dx F y otro grupo con altos valores negativos de esta componente, los híbridos Ax B y Ax C. En tanto que en CP2 se destacan los híbridos Ax C, Ax F y Cx F por presentar valores positivos alejados del resto. No se observan híbridos destacándose del resto por valores negativos, sino que se observa un conjunto conformado por Ax B, Bx C, Bx D, Bx E, Bx F, Dx F y Ex F. Los híbridos Ax D, Ax E, Cx E y Dx E no se destacan en la CP1 y en la CP2 por encontrarse en la parte central del gráfico.

En cuanto a la asociación entre variables e híbridos, los que mostraron mejor comportamiento para RG fueron Ax D, Ax F y Cx F. Contrariamente los híbridos de peor comportamiento para este carácter fueron los que tuvieron los más altos valores de PM, PH tratándose de los híbridos Ax B, Bx C y Bx F.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre los genotipos evaluados. Resultados semejantes fueron obtenidos para los caracteres evaluados por Vega y Bejarano (1972) y Nestares *et al.* (1999) en sus estudios de AC en líneas de maíz a través de cruzamientos dialélicos.

Las diferencias estadísticas observadas para el efecto de híbridos en los caracteres, a excepción de AP, reflejan la existencia de diferencias entre los cruzamientos en los distintos caracteres evaluados. En cuanto al carácter AP, la falta de significancia sugiere que la variación genética para el carácter es mínima debido a que no se halló diferencias significativas en ninguna de las fuentes de variación (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2005).

En AC, se encontraron diferencias significativas tanto para ACG y para ACE entre las líneas y sus cruzamientos, salvo algunas excepciones como AP, PM y RG que no mostraron diferencias significativas para ACG, mientras que AP, AE, PG y PH no mostraron diferencias significativas para ACE. Por esta razón estos caracteres se excluyeron de los análisis de ACG y de ACE. Similares resultados fueron encontrados por Malik *et al.* (2004) observando efectos significativos para ACG y ACE en la mayoría de los caracteres evaluados mediante análisis dialélico de AC entre líneas de maíz.

Los bajos valores que presentaron los coeficientes de variación en los análisis de varianza, indica la confiabilidad de los datos de las variables estudiadas, ya que según De la Cruz-Lázaro *et al.* (2005) un coeficiente de variación del 15% es típico de experimentos de maíz en bloques completos al azar, siendo el mayor coeficiente de variación encontrado del 9,74% correspondiendo a AE, estando por debajo del valor mencionado.

La significancia estadística hallada para ACG en AE, NE, PO y PG indica el distinto comportamiento entre las líneas endocriadas y la importancia de los efectos aditivos para estos caracteres, según lo indicado por Griffing (1956). Autores como Antuna *et al.* (2003) y Malik *et al.* (2004) señalaron la importancia de los efectos aditivos en los caracteres relacionados con la altura (AP y AE). La significancia de la ACG indica que es factible realizar selección en generaciones tempranas para mejorar estos caracteres y que las líneas con los efectos más altos pueden ser utilizadas en el desarrollo de variedades sintéticas.

Por otro lado, en el análisis de la varianza para ACG no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) para RG, carácter al cual le asignamos mayor relevancia por su implicancia económica, coincidiendo con los resultados hallados por Malik *et al.* (2004).

En cuanto a los efectos de ACE de los cruzamientos para los diferentes caracteres evaluados se manifestaron diferencias significativas en NE, PO, PM, y RG,

indicando que los efectos no aditivos (dominancia y/o epistasia) son los más importantes en la expresión de estos caracteres. Los resultados obtenidos para RG coinciden con los obtenidos por Nestares *et al.* (1999) y para NE y RG por Malik *et al.* (2004). Según Griffing (1956) los altos valores de ACE, indican los híbridos que fueron superiores al promedio de la ACG de sus dos progenitores.

Los cruzamientos AxD, AxE, BxD, CxD, CxE y ExF presentaron un comportamiento sobresaliente, ya que tuvieron los mayores efectos de ACE para el carácter RG. De estos cruzamientos BxD presentó valores de ACE positivos y significativos para tres de las cuatro variables evaluadas y AxD presenta el mayor valor positivo en RG, por lo tanto se sugiere que estas cruza específicas pueden ser utilizadas para producir híbridos (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2005). También se observó que los cruzamientos que presentaron mejor rendimiento son los que tienen mayores efectos positivos para ACE y los de peor rendimiento son los que presentan mayores valores negativos para el mismo efecto, estos resultados también fueron observado por Vega y Bejarano (1972). Estos autores también encontraron que, salvo pocas excepciones, las mejores combinaciones híbridas involucran siempre líneas con alto efecto para ACG y viceversa. Esta afirmación no es tan concordante con los resultados obtenidos ya que las mejores combinaciones híbridas fueron AxD y BxD, presentando las líneas involucradas efectos de ACG no sobresalientes.

Los resultados de esta experiencia y la información obtenida pueden aplicarse sólo para los materiales evaluados, por trabajar con un modelo de efectos fijos, y en el ambiente que se realizó el estudio, concordando con lo indicado por Morata *et al.* (2003) trabajando en AC entre líneas de maíz resistentes a Mal de Río Cuarto, en donde los datos analizados correspondieron a un año de evaluación. Los resultados obtenidos por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2005) evaluando líneas de maíz con alto contenido proteico para características forrajeras mediante análisis dialélico, concluyeron que los análisis de varianza arrojaron diferencias entre años. Lo que significa que el ambiente constituido por clima, suelo y manejo no es uniforme de un año a otro ni en localidades distintas, por lo que en un programa de mejoramiento genético vegetal es común y aconsejable establecer el mismo experimento en diferentes ambientes y años, con el fin de estimar con mayor precisión el valor de los componentes genéticos y separar el efecto de la interacción genotipo-ambiente (Gutiérrez del Río *et al.*, 2004). Sin embargo Nestares *et al.* (1999) evaluando líneas flint colorado por AC observaron que la interacción genotipo por ambiente en general no revistió importancia, indicando que los resultados podrían ser repetibles a través de los años y por lo tanto un año podría ser adecuado para evaluar el comportamiento de los cruzamientos.

En cuanto a la correlación fenotípica entre caracteres realizada mediante análisis de componentes principales, se observa una alta correlación entre PM y PH, entre AE y AP y entre NE y RG. Gutiérrez del Río *et al.* (2004) trabajando en AC con híbridos de maíz

encontraron una fuerte correlación lineal entre AE y AP. También a sido observada correlación positiva entre ambos caracteres en líneas e híbridos por Betrán *et al.* (2003) analizando el comportamiento de híbridos de maíz ante condiciones de estrés hídrico.

La alta correlación encontrada entre los caracteres NE y RG también fue observada por San Vicente *et al.* (1999) analizando el comportamiento de líneas precoces de maíz en condiciones de sequía, indicando que NE fue el único carácter que arrojó una correlación positiva alta con RG ya sea en condiciones normales de humedad edáfica, como así también ante estrés hídrico.

5. CONCLUSIONES

Se detectó variabilidad genética para los caracteres AE, NE, PO, PG, PM y RG entre los híbridos a excepción de AP. Los caracteres AE, NE, PO y PG estuvieron determinados por efectos aditivos; siendo los efectos no aditivos el componente principal de la expresión fenotípica de los caracteres PM y RG. La significancia de la ACG indica que es factible realizar selección en generaciones tempranas para estos caracteres y que las líneas de mejor comportamiento pueden ser utilizadas en la formación de variedades sintéticas.

En el análisis de la varianza para ACG no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) para RG, mientras que para ACE los cruzamientos AxD, AxE; BxD, CxD, CxE y ExF presentaron un comportamiento sobresaliente, ya que tuvieron los mayores efectos de ACE para este carácter.

De estos cruzamientos BxD presentó valores de ACE positivos y significativos para tres de las cuatro variables evaluadas respectivamente y AxD el mayor valor positivo para ACE en RG, presentando ambos cruzamientos un comportamiento sobresaliente en tal carácter, por lo tanto se sugiere que estas cruzas específicas pueden ser utilizadas para producir híbridos.

Los resultados indicaron que las mejores combinaciones híbridas pertenecieron a cruzamientos con líneas pertenecientes a distintos grupos heteróticos (Lancaster x Iodent).

En cuanto a la correlación entre caracteres realizada mediante análisis de componentes principales, se observa una correlación negativa tanto en la CP1 como en la CP2 entre RG con PM y PH y una alta correlación entre las variables PM y PH, AE y AP, NE y RG.

En la asociación entre RG e híbridos, los cruzamientos AxD, AxF y CxF mostraron un comportamiento sobresaliente, no concordando con lo encontrado en los análisis de ACE ya que los cruzamientos AxF y CxF manifestaron efectos no significativos para RG.

6. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALLARD, R. W. 1975 **Principios de la Mejora Genética de las Plantas**. 2^{da} ed. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- ANTUNA, O. A.; R. S. FROYLÁN; E. GUTIÉRREZ DEL RÍO; N. A. RUIZ TORRES Y L. BUSTAMANTE GARCÍA 2003 Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de maíz. **Rev. Fitotec. Mex.** 26: 11-17.
- BECK, L. D.; S. K. VASAL y J. CROSSA 1991 Heterosis and combining ability among subtropical and temperate intermediate-maturity maize germoplasm. **Crop Sci.** 31: 68-73.
- BETRÁN, F.J., D. BECK, M. BÄNZIGER y G. EDMEADES 2003 Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize. **Field Crops Res.** 83: 51-65.
- BERTOIA, L.; C. LOPEZ y R. BURAK 2006 Análisis biplot de aptitud combinatoria en materiales de maíz forrajero. **Crop Sci.** 46: 1346-1353.
- BLUM, A. 1988 **Plant Breeding for Stress Environments**. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- CANTERO, A.; E. BRICCHI; V. BECERRA; J. M. CISNEROS y H. GIL 1986 **Zonificación y Descripción de las Tierras del Departamento Río Cuarto (Córdoba)**, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- CUBERO, J. I. 1999 **Introducción a la Mejora Genética Vegetal**. Ediciones Mundi-prensa, Madrid.
- DE LA CRUZ-LÁZARO, E.; S. A. RODRIGEZ- HERRERA; M. A. ESTRADA-BOTELLO; J. D. MENDOZA-PALACIOS y N. P. BRITO-MANZANO 2005 Análisis dialélico de líneas de maíz con alto contenido proteico para características forrajeras. **Fitotec. Mex.** 41: 19-26.
- DOWSWELL, C. D.; R. L. PALIWAL y R. P. CANTRELL 1996 **Maize in the Third World**. Westview Press, Boulder Co., USA.
- FALCONER, F. A. 1986 **Introducción a la Genética Cuantitativa**. 2^{da} ed. Compañía Editorial Continental, S.A., México.
- FAN, X. M., J. TAN, H. M. CHEN Y J. Y. YANG. 2003. Heterotic grouping for tropical and temperate maize inbreds by analyzing combining ability and SSR markers. **Maydica** 48:251-257.

- FAO 2003 Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. **Anuario producción**. Roma, Italia.
- FUNARO, D.; L. SALUZZI y H. A. PECCOPELO 1999 Líneas forrajeras de maíz originadas en la cruce con *Zea diploperennis*: aptitud combinatoria. **Rev. Tec. Agron.** 14: 1-2.
- GRAFIUS, J. W. 1959 Heterosis in barley. **Agron. Jour.** 51: 551-554.
- GRIFFING, B. 1956 Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Aust. Jour. Biol. Sci.** 9: 463-493.
- GUTIÉRREZ DEL RÍO, E.; A. ESPINOZA BANDA; A. PALOMO GIL; J. LOZANO GARCÍA Y O. ANTUNA GRIJALVA 2004 Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera, México. **Rev. Fitotec. Mex.** 27: 7-11.
- HAYMAN, B. I. 1954 The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics** 39: 789-809.
- HOEGENMEYER, T. C. y A. R. HALLAUER 1976 Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. **Crop Sci.** 16: 76-80.
- INFOSTAT 2004 InfoStat versión 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- JOHNSON, D. E. 2000 **Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos**. International Thomson Editores, México.
- MAGARI, R. y M. S. KANG 1994 Interactive BASIC program for Griffing's Diallel analysis. **J. Hered.** 85: 336.
- MALIK, S. I.; H. N. MALIK.; M. N. MINHAS Y M. MUNIR 2004. General and specific combining ability studies in maize diallel crosses. **Int. J. Agr. Biol.** 5: 856-859.
- MORATA, M.; D. A. PRESELLO; M. GONZALES y E. FRUTOS 2003 Aptitud combinatoria entre líneas de maíz resistentes a Mal de Río cuarto. **Fitopatol. Bras.** 28: 236-244.
- NESTARES, G.; E. FRUTOS y G. EYHERABIDE 1999 Evaluación de líneas de maíz flint colorado por aptitud combinatoria. **Pesq. Agrop. Bras.** 34: 1399-1406.
- ORDAS, A. 1991 Heterosis in crosses between american and spanish populations of maize. **Crop Sci.** 31: 931-935.
- PALIWAL, R. L. 2001 Origen, evolución y difusión del maíz. En: Paliwal, R. L.; G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. **El Maíz En los Trópicos. Mejoramiento y Producción**. En: www.fao.org. Consultado: 14-11-2006.

- RUSSELL, W. A.; S. A. EBERHART y U. VEGA 1972 Recurrent selection for specific combining ability for yield in two maize populations. **Crop Sci.** 13: 257-261.
- SAGPYA 2005 Indicadores del sector maicero En: www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/granos/maiz Consultado: 05-09-2005.
- SAN VICENTE F., S.K. VASAL, S.D. MCLEAN, S. KUMARRAMANUJAM y M. BARANDIARAN 1999 Comportamiento de líneas tropicales precoces de maíz en condiciones de sequía. **Agron. Tropical** 49(2): 135-154.
- SARLANGUE, H. 2005 La importancia del maíz en la rotación. Unidad Integrada Balcarce INTA EEA - FCA UNMdP. En: www.inta.gov.ar. Consultado: 15-04-2006.
- SMITH, J. S. y O. S. SMITH 1987 Associations among inbred lines of maize using electrophoretic, chromatographic and pedigree data. Multivariate and cluster análisis from Lancaster Sure Crop derived lines. **Theor. Appl. Genet.** 73: 654-664.
- SPRAGUE, G. F. y L. A. TATUM 1942 General vs specific combining ability in single crosses of corn. **J. Am. Soc. Agron.** 34: 923-932.
- VALENTINUZ, O. y O. PAPANOTTI 2004 Rendimiento potencial y tolerancia la estrés en maíz. En: www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/analisis_economico/renpot_maiz.htm. Consultado: 05-09-2005.
- VEGA, U. y A. BEJARANO 1972 Estudio de la aptitud combinatoria en líneas de maíz (*Zea mays* L.) a través de cruzamientos dialélicos. **Agron. Trop.** 25(5): 419-434.
- VENCOVSKY, R. y P. BARRIGA 1992 **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**. Ribeirao preto: Sociedade Brasileira de Genética. 486p.
- WILKES, H. G. 1985 Teosinte: the closest relative of maize revisited. **Maydica** 30: 209-223. En: www.fao.org. Consultado: 05-09-2005.

ANEXO

ANEXO 1. Autovalores y autovectores del análisis de componentes principales de los 8 caracteres evaluados, en 15 híbridos de maíz. Río Cuarto, 2004-2005..

Análisis de componentes principales

Datos estandarizados

Autovalores

<u>Lambda</u>	<u>Valor</u>	<u>Proporción</u>	<u>Prop Acum</u>
1	3,11	0,39	0,39
2	1,37	0,17	0,56
3	1,35	0,17	0,73
4	1,07	0,13	0,86
5	0,48	0,06	0,92
6	0,38	0,05	0,97
7	0,18	0,02	0,99
8	0,05	0,01	1,00

Autovectores

<u>Variables</u>	<u>e1</u>	<u>e2</u>	<u>e3</u>	<u>e4</u>
PM	-0,24	-0,20	0,44	0,61
PH	-0,39	-0,38	0,25	-0,38
NE	-0,02	0,77	0,11	-0,08
AP	-0,40	0,23	0,24	0,44
AE	-0,48	0,28	-0,08	-0,19
PG	0,41	-0,16	0,30	0,02
PO	0,48	0,22	0,25	0,16
RG	0,02	0,08	0,72	-0,47