

# Aptitud Combinatoria entre Líneas de Maíz Resistentes a Mal de Río Cuarto\*

Mónica M. Morata<sup>1</sup>, Daniel A. Presello<sup>2</sup>, Miriam Del P. Gonzalez<sup>3</sup> & Edith Frutos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ADVANTA Semillas S.A.I.C., Casilla de Correo 30, (7620) Balcarce, BA, fax 54 2266 430002, e-mail: monica.morata@ar.advantaseeds.com; <sup>2</sup>Departamento Maíz, <sup>4</sup>Departamento Estadística, Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino, Casilla de Correo 31 (2700) Pergamino, BA, fax 54 2477 431250, e-mail: pergami@inta.gov.ar; <sup>3</sup>Cátedra Fitopatología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Casilla de Correo 14, (2123) Zavalla, SF, fax: 54 341 4970080, e-mail: mgonzalez@fcagr.unr.edu.ar.

(Aceptado para su publicación 10/12/2002)

Autor para correspondencia: Mónica M. Morata

MORATA, M. M., PRESELLO, D. A., GONZALEZ, M. P. & FRUTOS, E. Aptitud combinatoria entre líneas de maíz resistentes a Mal de Río Cuarto. *Fitopatología Brasileira* 28:236-244. 2003.

## RESUMEN

Se realizó un experimento dialélico entre nueve líneas de maíz (*Zea mays*) (Método 4, modelo I de Griffing (1956)) con el objeto de determinar Aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE) para Resistencia a Mal de Río Cuarto (MRC). Los ambientes seleccionados fueron Pergamino, Junín, Ferré (región maicera VI) y Sampacho y Holmberg (región maicera IV). La severidad de la enfermedad, evaluada a través del Grado Medio de Ataque (GMA), resultó nula en Pergamino y Junín, y de 0,14 en Ferré, con diferencias significativas entre tratamientos. En Holmberg fue de 0,59 y en Sampacho 1,57. El análisis de variancia para esta región detectó diferencias significativas entre ambientes y entre tratamientos, no detectándose interacción. El GMA promedio de los híbridos experimentales no se diferenció del promedio los

testigos resistentes, si lo hizo de los testigos comerciales (más susceptibles). Veinticinco materiales experimentales no se diferenciaron del mejor de los testigos resistentes. La selección por pedigrí fue efectiva para mejorar este carácter. Los materiales experimentales en general demostraron poseer características que les darían competitividad en el mercado. Por su ACG, las líneas más resistentes a MRC fueron la 2526 y la 2378 (con efectos significativos y negativos: resistentes) por los efectos de ACE, se destacaron los híbridos: 2378 x 2600, 2335 x 2600, LP561 x 2568-2 y 2526 x 2600. En Sampacho el 42% de la disminución en el rendimiento pudo atribuirse al MRC, en Holmberg el 8%.

**Palabras claves adicionales:** virosis, resistencia genética, selección por pedigrí.

## ABSTRACT

### Combining ability among corn lines resistant to Mal de Río Cuarto

A diallel experiment (Method 4 of Griffing's model I) was performed among nine corn (*Zea mays*) lines in order to estimate general and specific combining ability (GCA & SCA) to Mal de Río Cuarto (MRC) disease resistance. The selected environments were: Pergamino, Junín, Ferré (corn region VI); Sampacho and Holmberg (corn region IV). The severity of the disease, evaluated as attack average degree (AAD), was null in Pergamino and Junín, and 0.14 in Ferré, with significant differences between treatments. In Holmberg, it was 0.59 and in Sampacho it was 1.57. The analysis of variance for this region showed significant differences between environments and treatments. It did not show interactions. Average AAD of experimental

hybrids did not differentiate from resistant control and it was different from commercial control (more susceptible). Twenty-five experimental materials did not differentiate from the better resistant control. Pedigree selection was effective in order to improve resistance to MRC. The single cross hybrids showed characteristics that would give high competitiveness in the seed market. The most resistant lines to MRC according to their GCA (the average performance of a line in hybrid combination) were 2526 and 2378. According to their SCA (cases in which certain combinations do relatively better, or worse, than would be expected on the basis of the average performance of the lines involved) the most resistant to MRC single cross hybrids were: 2378 x 2600, 2335 x 2600, LP561 x 2568-2 and 2526 x 2600. In Sampacho 42% of yield loss was for MRC, in Holmberg: 8%.

## INTRODUCCION

Durante los últimos años, la producción de maíz (*Zea mays* L.) en la región maicera templada de nuestro país se ha visto significativamente reducida a causa de la incidencia de enfermedades, especialmente el Mal de Río Cuarto (MRC). Por

esta razón la mayoría de los criaderos locales mantienen entre los objetivos de mejoramiento la selección de germoplasma resistente a enfermedades. Mediante mejoramiento tradicional, se ha incorporado resistencia genética a una serie de cultivares con los que el productor puede reducir los niveles de daño.

El MRC es una de las enfermedades más importantes en la región maicera argentina, afecta 1.000.000 de ha y ocasiona pérdidas de más de U\$S 9.000.000 en la producción de granos

\*Parte de la Tesis de maestría del primer autor. Universidad Nacional de Rosario.(2000)

y forraje (Truol *et al.*, 1997). Su área de difusión alcanza las provincias de Córdoba, San Luis, Santa Fe, La Pampa, Buenos Aires, Entre Ríos y Río Negro. También sur de Brasil y Salta, Jujuy, norte de Santa Fe y Mendoza (Laguna & Giménez Pecci, 1997).

Si bien la sintomatología es variada y compleja, debido al estado de desarrollo en que es infectada la planta y al distinto comportamiento entre genotipos, en todas las plantas infectadas pueden detectarse: intensificación de la coloración verde; pérdida de la elasticidad en los tejidos, apariencia frágil y quebradiza; y enaciones en el envés de las hojas (Martínez & Botta, 1982).

El agente etiológico es el virus del mal de Río Cuarto, éste se halla relacionado con el virus del enanismo rugoso del maíz (*Maize rough dwarf virus-Río Cuarto*, MRDV-RC), familia *Reoviridae*, género *Fijivirus*. Es un virus circulativo propagativo (Muñoz *et al.*, 1991). El agente transmisor del MRDV-RC es *Delphacodes kuscheli* Fennah, un Homóptero, de la familia Delphacidos, conocido como "chicharrita" (Remes Lenicov & Virla, 1993). El virus se multiplica en su interior, y se perpetúa de una estación de cultivo a otra (Truol *et al.*, 1997). *Delphacodes kuscheli* es el único vector natural que se conoce del MRDV-RC aunque suelen mencionarse como posibles vectores *Toya propinqua* Fieber, *D. haywardi* Muir (Ornaghi *et al.*, 1993), *D. variabilis* entre otros.

Entre los cultivos hospedantes del virus pueden citarse: maíz, *Panicum milliaceum* L., *Setaria italica* (L.) Beauvois, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Avena sativa* L., *Triticum aestivum* L. y *Secale cereale* L. (Truol *et al.* 1997). Malezas hospedantes: *Arundo donax* L., *Cenchrus echinatus* L., *Cenchrus pauciflorus* Benth, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Cyperus cayennensis* (Lam.) Britt., *C. rotundus* L., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop, *Echinochloa colonum* (L.) Link, *Eleusine indica* (L.) Gaerth, *Eragrostis virescens* Presl, *Setaria geniculata* (L.) Beauv., *Setaria italica* (L.) Beauv., *Setaria verticillata* (L.) Beauv. y *Sorghum halepense* (L.) Pers. Estas plantas cultivadas, silvestres y malezas, actúan como reservorios del virus, desde donde el vector puede adquirirlo para transmitirlo al cultivo. Muchas son además hospedantes del insecto (Laguna & Giménez Pecci, 1997).

Dentro del manejo de la enfermedad se mencionan: la utilización de cultivares resistentes, la época de siembra adecuada, el manejo de las malezas, el control químico y biológico de los vectores y los sistemas de predicción de presiembra y siembra. La alternativa más eficiente es el uso de cultivares con resistencia genética. En la actualidad se dispone de materiales resistentes (Presello & Céliz, 1996) pero muchas veces no asociados a materiales con buenos rendimientos.

Los genotipos resistentes a MRC presentan una barrera a la multiplicación del patógeno, acumulando una menor cantidad de partículas virales (PROMARC, 1997).

Primeramente se observó que la resistencia a la enfermedad se heredaba en forma dominante (Marino & Teyssandier, 1982). Luego se vio que el comportamiento de los materiales estudiados frente al MRC podía ser

eficientemente descrito por un modelo de aditividad - dominancia y que el efecto neto de los alelos dominantes contribuía a la resistencia (Eyhérbide *et al.*, 1987). En estudios posteriores, se detectaron efectos epistáticos pero a pesar de ello, los efectos de aditividad dominancia parecen ser más importantes que los de epistasis (Presello *et al.*, 1995).

La aptitud o habilidad combinatoria de las líneas endocriadas es el factor determinante esencial de la utilidad futura de las líneas para híbridos. Inicialmente fue un concepto general y se lo utilizaba para clasificar las líneas en función de su comportamiento en cruza (Hallauer & Miranda, 1988). Sprague & Tatum (1942) definieron a la aptitud combinatoria general (ACG) como el comportamiento medio de una línea en combinaciones híbridas y a la aptitud combinatoria específica (ACE) como aquel comportamiento relativamente mejor o peor que el esperado sobre la base del comportamiento promedio de las líneas involucradas (Griffing, 1956). Estos autores sostuvieron también que la ACG está relacionada a factores genéticos con efecto aditivo y la ACE a los con efecto no aditivo (dominancia y epistasis).

Las cruza dialélicas constituyen un procedimiento estándar de investigación en la genética de plantas y animales. Su empleo tiene origen en el desarrollo de los conceptos de ACG y ACE. Las cruza dialélicas se emplean para estimar las componentes genéticas de la variación entre los rendimientos de las propias cruza, como así también su capacidad productiva (Martínez Garza, 1988). Fundamentalmente fueron utilizadas para el estudio del rendimiento, pero se aplican también a otros atributos o variables.

Se pueden utilizar diferentes versiones de experimentos dialélicos, una de las alternativas más comúnmente usada en plantas es el dialélico simple, que consiste en un sólo juego de combinaciones biparentales y que excluye a los cruzamientos recíprocos y a los padres.

Una medida relativa de la ACG y de la ACE es el IRG ésta variable toma valores de 0 a 1. A mayor IRG es mayor la importancia relativa de la ACG respecto de ambas. Es una medida de los valores de ACG y ACE como predictora de híbridos (Baker, 1978).

Los objetivos de este trabajo fueron: a) Evaluar ACG y ACE, para resistencia a Mal de Río Cuarto en nueve líneas, derivadas de seis diferentes compuestos, seleccionadas por su buen comportamiento frente a la enfermedad; b) Establecer el grado de efectividad de la selección por pedigrí para mejorar la resistencia en los compuestos que dieron origen a las líneas; c) Determinar el nivel de competitividad de los híbridos experimentales con relación a los difundidos por el mercado; d) Evaluar la interacción genotipo x ambiente de los materiales utilizados, bajo diferente presión de selección en condiciones de infección natural (diferentes localidades).

## MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron 36 híbridos experimentales formados mediante el cruzamiento de nueve líneas de maíz resistentes

al MRC. Las 36 F<sub>1</sub> fueron logradas en la campaña 1997/98 mediante polinizaciones manuales. Los cruzamientos fueron obtenidos en forma recíproca y luego se mezcló la semilla de modo que cada híbrido estuvo representado por el citoplasma de ambos progenitores.

Las poblaciones de las cuales se obtuvieron las líneas fueron formadas utilizando como donantes de resistencia materiales empleados en tesis anteriores (Lorenzo, 1993; Basso, 1995). Según esos resultados, tanto las líneas endocriadas, como las variedades locales utilizadas en los experimentos, poseen un alto nivel de resistencia, con herencia predominantemente aditiva.

Las fuentes de resistencia fueron recombinadas o introgresadas a germoplasma mejorado y posteriormente seleccionados por el método de pedigrí tanto para resistencia a MRC, como para caracteres agronómicos. Las mismas se encontraban entre S4 y S7 dependiendo del año en que se comenzó su endocria.

Se utilizó como testigo altamente susceptible a MRC al híbrido B73 x P578. Se incluyeron también otros cinco testigos, tres de ellos fueron utilizados como “testigos resistentes”: LP2 x LP138; LP116 x LP138; LP2 x LP116 (Lorenzo, 1993) y dos testigos comerciales ambos considerados de excelente potencial de rendimiento, Dekalb 752 con un nivel de resistencia a MRC moderado - alto y Pioneer 3162, con resistencia moderada.

Las evaluaciones se realizaron durante la campaña 1998/99. Los ensayos fueron implantados en localidades de las Regiones Maiceras IV y VI, donde se llevó a cabo la selección de las líneas. Ambas regiones presentan diferencias no solo desde el punto de vista del clima y suelo, sino también en la presencia de MRC.

Los materiales fueron sembrados en cinco localidades, dos en la provincia de Córdoba (región maicera IV) y tres en la provincia de Buenos Aires (región maicera VI). Las localidades de la región IV fueron Sampacho y Holmberg y las de la región VI, Pergamino, Junín y Ferré. En los lotes de la región IV se practicó fertilización nitrogenada, con una dosis de 120 Kg/ha urea (46% de nitrógeno); el cultivo antecesor fue maíz. En la región VI, el cultivo antecesor fue soja [*Glycine max* (L.) Merril].

Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 40 plantas cada una, representadas por dos surcos de 4 m. Se sembraron dos granos/golpe y luego se raleo, ajustando a una densidad final de 68.000 plantas por hectárea.

El control de malezas en todos los casos se realizó en forma química con herbicida de presembrado incorporado: Butilato 58% + Atrazina 14,5 % + antídoto y preemergente: Atrazina 50% + Acetoclor 84%. Las dosis fueron variables según el tipo de suelo.

Para establecer la resistencia al MRC se evaluaron los síntomas de las plantas mediante la escala propuesta por Sanguinetti *et al.* (1984). Los síntomas se dividen en grados según la severidad: Grado 0: planta sana; Grado 1 - planta con leves síntomas en hojas superiores y panoja; Grado 2 -

planta con síntomas más marcados, altura algo reducida, acortamiento de entrenudos superiores y en espiga; Grado 3 - planta de altura más reducida aún que el grado anterior, espigas múltiples, cónicas, planta aún productiva pero en escaso grado; Grado 4 - planta severamente enanizada, con espigas múltiples y con escasa o nula productividad por malformaciones y reducción de la espiga; Grado 5 - plantas muertas o si vivas, con ausencia de producción y severamente dañadas, escasa altura, sin panoja, hojas superiores casi ausentes y espigas reducidas.

Sobre la base de la lectura por planta individual se estimó el porcentaje de plantas enfermas, el Grado Medio de Ataque o GMA y el porcentaje de plantas con ataque severo.

- %E, Porcentaje de plantas enfermas. Plantas enfermas sobre el total del número de plantas.
- GMA, grado medio de ataque, definido por Sanguinetti *et al.* (1984).

$$GMA = \sum_{i=0}^5 f_i \cdot x_i$$

dónde  $f_i$  es la frecuencia de las plantas en la  $i$ ésima clase de la escala;  $x_i$  es el valor de la  $i$ ésima clase de la escala.

- %AS, porcentaje de ataque severo. Es el porcentaje de las plantas que presentan grado 4 y grado 5 de MRC.

Los análisis de varianzas fueron realizados de acuerdo con un modelo lineal aditivo:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij}$$

dónde,  $y_{ij}$ : valor del carácter en estudio;  $\mu$ : media general;  $\tau_i$ : efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $i = 1, \dots, t$ ;  $\beta_j$ : efecto del  $j$ -ésimo bloque,  $j = 1, \dots, r$ ;  $e_{ij}$ : error experimental.

Se realizó la prueba de “no aditividad de Tukey” para las variables evaluadas. Los análisis de varianza por localidad se realizaron con la función ANOVA-2 del programa MSTAT-C (Michigan State University, 1992) versión 1.42. En primer lugar se realizó el análisis de varianza de un diseño en bloques completos aleatorizados independientemente de la naturaleza genética de los materiales. Luego se realizó otro análisis excluyendo los testigos. El objetivo de este último fue estimar el error experimental sin los grados de libertad adicionales debidos a los testigos. Este error fue utilizado para verificar las hipótesis respecto a la habilidad combinatoria de las líneas. Dentro de cada una de las regiones se comprobó la homogeneidad de varianzas mediante la Prueba de Box (Pimentel Gomes, 1978). Cuando la prueba resultó no significativa se realizó el análisis combinado cuyo modelo se describe a continuación.

Modelo lineal:

$$y_{ijk} = \mu + \pi_i + \beta_j + \tau_k + (\pi\tau)_{ik} + e_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, q, j = 1, \dots, r, k = 1, \dots, t$$

dónde,  $\mu$ : es el efecto común a todas las observaciones,  $\pi_i$ : es el efecto de la localidad  $i$ ,  $\beta_j$ : es el efecto del bloque  $j$  dentro de la localidad  $i$ ,  $\tau_k$ : es el efecto del tratamiento  $k$ ,  $(\pi\tau)_{ik}$ : es el efecto de la interacción entre el tratamiento  $k$  y la localidad  $i$ ,  $y_{ijk}$ : es el valor de la característica en estudio observado en la localidad  $i$ , en el bloque  $j$  y con el tratamiento  $k$  y  $e_{ijk}$ : es el error de la

observación sobre la unidad experimental (ijk) (Martínez Garza, 1988).

Dado que las localidades no fueron elegidas al azar y que por su escaso número, no representan la variabilidad ambiental de cada una de las regiones, al igual que para tratamientos, los efectos asociados a localidades fueron considerados como fijos.

Para las comparaciones de medias de tratamientos se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS). El nivel de significación utilizado fue  $\alpha = 0,05$ .

En una primera instancia se agrupó el material experimental y los testigos resistentes, los cuales quedaron representados por una única media cada uno. Se compararon de a pares las medias de: Híbridos experimentales; Testigos resistentes; Testigo susceptible; Dekalb 752; Pioneer 3162.

Luego se compararon de a pares, las medias de todos los materiales en forma individual, para identificar cruzamientos destacados dentro del grupo de los experimentales.

Para investigar la aptitud combinatoria de las nueve líneas se utilizó el Método 4 de Griffing (Griffing, 1956). Se trata de un experimento dialélico simple con un solo juego de combinaciones biparentales que excluye los recíprocos y los padres. La elección del método se basa en investigaciones anteriores, las cuales sostienen que pueden obtenerse buenas estimaciones de la aptitud combinatoria sin incluir los padres. En la resistencia a MRC, se ha demostrado la no existencia de efectos maternos (Presello *et al.*, 1995), por lo que no es esperable la ocurrencia de sesgos en el nivel de resistencia de las  $F_1$  por no incluir los recíprocos. Los padres fueron seleccionados específicamente, por lo que el modelo a aplicar resulta de efectos fijos [Modelo I (Griffing, 1956)].

El modelo para el análisis de la aptitud combinatoria fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$$

$$i, j = 1 \dots p$$

dónde,  $\mu$ : es la media de la población (común a todas las observaciones);  $g_i$  y  $g_j$ : son los efectos de la aptitud combinatoria general (del padre  $i$  y  $j$ );  $s_{ij}$ : el efecto de la actitud combinatoria específica de la cruce (tal que,  $s_{ij} = s_{ji}$ ) y  $e_{ij}$ : es el error medio asociado a la observación  $y_{ij}$ . (Griffing, 1956).

El análisis dialélico se realizó con el programa GENES (Cruz, 1994).

Con el objetivo de conocer en que medida la resistencia a MRC incidió sobre la productividad de los híbridos, se estimaron los coeficientes de correlación lineal ( $r$ ) y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) entre los valores de GMA y el rendimiento (los datos correspondientes a rendimiento no fueron incluidos en este trabajo).

## RESULTADOS

El test de Tuckey no arrojó evidencias de falta de aditividad entre los factores principales.

Segundo los análisis de varianza individuales por localidad y para cada variable (Tabla 1).

En la región IV, dada la homogeneidad de varianzas se realizó el análisis combinado para el grado medio de ataque de MRC.

Considerando el comportamiento de los materiales frente al MRC, el GMA promedio, por localidad resultó: 0 en Pergamino y en Junín, 0,14 en Ferré, de 0,59 en Holmberg y de 1,57 en Sampacho; estos últimos valores indicaron que existió un gradiente de presión de la enfermedad entre las localidades.

Se realizó el análisis de varianza combinado para Sampacho-Holmberg. Las diferencias entre ambientes fueron altamente significativas al igual que las observadas entre tratamientos, no se detectó significancia en la interacción tratamiento x localidad. El coeficiente de variación, medida relativa de la variabilidad, tomó un valor del 31%.

En la región VI Pergamino y Junín no presentaron enfermedad, en Ferré, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y entre repeticiones. (CV= 75%).

En las localidades de Sampacho y Holmberg, con alta presión de la enfermedad, el GMA promedio de los híbridos experimentales no difirió estadísticamente del promedio de los testigos resistentes (Tabla 2). Los testigos comerciales (DK752 y PIO3162) mostraron valores intermedios de GMA y se presentaron como más susceptibles que los híbridos experimentales. El testigo susceptible fue el más afectado por la enfermedad, su GMA fue más alto que para el resto de los materiales ( $P < 0,05$ ), indicando la severidad de las condiciones de evaluación.

En la localidad de Ferré (Tabla2), debido a la baja presión de la enfermedad no se evidenciaron diferencias entre los híbridos experimentales, los testigos resistentes y los testigos comerciales. El testigo susceptible y Pioneer 3162 resultaron ser los materiales mas afectados ( $P < 0,05$ ).

Las medias para el GMA de los distintos materiales en forma individual (Tabla 3), para la serie Sampacho-Holmberg, las pruebas de DMS, indicaron que el testigo susceptible (B73 x P578) presentó mayor grado de susceptibilidad que el resto de los materiales. El mejor testigo comercial fue Dekalb 752, a pesar de ser más susceptible que los híbridos experimentales, presentó mayor resistencia que Pioneer 3162. Respecto de los híbridos experimentales, 25 presentaron la mayor resistencia (letra K) y no difirieron significativamente del testigo más resistente LP2 x LP116 (37). Los testigos resistentes (LP116 x LP138, LP2 x LP116, LP2 x LP138) manifestaron un comportamiento intermedio y pudieron agruparse junto con 18 de los materiales experimentales (letra F). En la localidad de Ferré, se presentaron diferencias estadísticas en la comparación de medias de algunos materiales del ensayo respecto al testigo susceptible. Sin embargo estas diferencias fueron de escasa magnitud e importancia biológica, especialmente cuando se compararon los híbridos experimentales entre sí, por lo que se decidió no presentar las comparaciones entre las medias individuales y sólo considerar

**TABLA 1** - Media, Cuadrado Medio del error (CM error),  $F_{calculada}$  para los tratamientos y nivel de significación para cada variable en las distintas localidades

Variable		Localidad		
		Ferré	Sampacho	Holmberg
GMA	Media	0,14	1,57	0,59
	CM. error	0,011	0,117	0,113
	F trat.	2,66	11,55	10,82
	P (Ft>Fc)	0,000	0,000	0,000
% AS	Media	0,26	6,58	3,71
	CM. error	0,328	26,379	46,953
	F trat.	7,75	34,87	7,55
	P (Ft>Fc)	0,000	0,000	0,000
% E	Media	8,98	81,62	27,13
	CM. error	48,2	184,5	130,1
	F trat.	2,73	1,39	6,24
	P (Ft>Fc)	0,000	0,103	0,000

**TABLA 2** - Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) para la comparación de las medias de los distintos grupos de tratamientos para GMA en Sampacho-Holmberg y en Ferré

Tratamiento	Sampacho-Holmberg		Ferré	
	GMA	Diferencias	GMA	Diferencias
HE	0,92	A	0,13	A
TC (DK752)	2,20	B	0,13	A
TC (PIO3162)	3,17	C	0,29	A B
TS	4,05	D	0,33	B
TR	0,98	A	0,12	A
		DMS <sub>0,05</sub> = 0,729		DMS <sub>0,05</sub> = 0,169

las comparaciones entre grupos de materiales (Tabla 2).

El análisis combinado de las localidades Sampacho-Holmberg para los 36 híbridos experimentales detectó diferencias altamente significativas entre materiales, por lo cual se decidió analizar la aptitud combinatoria.

El análisis dialélico en la región IV indicó efectos significativos tanto para la aptitud combinatoria general como para la específica.

En las estimaciones de los efectos de ACG correspondientes a cada línea (Tabla 4) puede observarse que cuatro de las líneas, presentaron efectos de ACG significativos, dos de ellas, 2378 y 2526, presentaron efectos menores a cero, es decir que su aptitud combinatoria general confirió buen comportamiento frente a la enfermedad (manifestaron resistencia) y los dos restantes 2580 y 2600 presentaron efectos mayores a cero, es decir que los cruzamientos en los que participaron estas líneas fueron, en general, más susceptibles que el resto.

El híbrido más resistente fue 2378 x 2600 presentó el menor efecto de ACE para GMA de la enfermedad (Tabla 5) y se diferenció en forma altamente significativa de cero. También presentaron efectos de ACE negativos y significativos los cruzamientos 2335 x 2600, LP561 x 2568-2, 2526 x 2600 y 2378 x 2600.

Las correlaciones entre rendimiento y Grado Medio

**TABLA 3** - Valores de GMA para el combinado Holmberg-Sampacho en los 42 materiales analizados. Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS)

Rango	Tratamiento	GMA	
40	TS B73 x P578	4,05	A
42	TC* PIO3162	3,17	B
41	TC DK752	2,21	C
19	2580 x 2600	1,62	D
25	2600 x LP561	1,32	D E
34	2568-2 x 2561	1,26	D E F
23	2600 x 2561	1,19	E F G
21	2580 x 2431	1,10	E F G H
38	TR LP2 x LP138	1,07	E F G H I
36	2568-2 x 2600	1,06	E F G H I
2	2335 x 2526	1,06	E F G H I
20	2580 x 2561	1,05	E F G H I
27	2561 x LP561	1,04	E F G H I
32	2568-2 x 2580	1,02	E F G H I J
28	2431 x LP561	1,02	E F G H I J
39	TR LP116 x LP138	0,99	E F G H I J
33	2568-2 x 2335	0,97	E F G H I J K
3	2335 x 2580	0,96	E F G H I J K
35	2568-2 x 2431	0,95	E F G H I J K
1	2335 x 2378	0,93	F G H I J K
30	2568-2 x 2378	0,93	F G H I J K
24	2600 x 2431	0,92	F G H I J K
13	2378 x LP561	0,92	F G H I J K
9	2378 x 2580	0,90	F G H I J K
22	2580 x LP561	0,90	F G H I J K
37	TR LP2 x LP116	0,87	F G H I J K
12	2378 x 2431	0,87	G H I J K
11	2378 x 2561	0,87	G H I J K
6	2335 x 2431	0,82	G H I J K
17	2526 x 2431	0,81	G H I J K
5	2335 x 2561	0,81	G H I J K
26	2561 x 2431	0,79	H I J K
16	2526 x 2561	0,75	H I J K
4	2335 x 2600	0,75	H I J K
29	2568-2 x LP561	0,75	H I J K
18	2526 x LP561	0,74	H I J K
7	2335 x LP561	0,74	H I J K
8	2378 x 2526	0,72	I J K
14	2526 x 2580	0,69	I J K
15	2526 x 2600	0,65	J K
10	2378 x 2600	0,64	J K
31	2568-2 x 2526	0,59	K
		DMS <sub>0,05</sub> = 0,387	CV=31,37%

\*TC: testigo comercial, TR: testigo resistente, TS: testigo susceptible. CV: coeficiente de variación.

**TABLA 4** - Efectos de aptitud combinatoria general de GMA para las líneas en Sampacho-Holmberg

Línea	ACG	signif.
2335	-0,05	ns
2378	-0,08	*
2526	-0,19	**
2580	0,13	**
2600	0,11	**
2561	0,06	ns
2431	-0,01	ns
LP561	0,01	ns
2568-2	0,02	ns

**TABLA 5** - Efectos de aptitud combinatoria específica de GMA para las líneas en Sampacho-Holmberg

Línea	ACE							
	2378	2526	2580	2600	2561	2431	LP561	2568-2
2335	ns	0,38**	ns	-0,23*	ns	ns	ns	ns
2378		ns	ns	-0,31**	ns	ns	ns	ns
2526			ns	-0,19*	ns	ns	ns	ns
2580				0,46**	ns	ns	ns	ns
2600						ns	0,28**	ns
2561								0,26*
2431								ns
LP561								-0,20*
2568-2								

de Ataque de MRC, fueron significativas y negativas para Sampacho y Holmberg. En Sampacho, donde la presión de la enfermedad fue elevada la correlación fue de -0,65, mientras que en Holmberg, con moderada presión el coeficiente fue de sólo -0,29. Dada la significancia de las correlaciones se calcularon los coeficientes de determinación; los mismos fueron de: 42 y 8% respectivamente. Los coeficientes dieron cuenta del porcentaje de la variación del rendimiento que pudo ser atribuido a la incidencia de la enfermedad. En las localidades de Sampacho el 42% de la disminución del rendimiento respecto del promedio, pudo atribuirse al ataque de MRC, en Holmberg el 8%. En Ferré, donde el GMA de la enfermedad fue muy bajo con relación a las localidades de la región IV, el valor de la correlación fue no significativo.

## DISCUSIÓN

Los resultados de esta experiencia son caracterizados a partir de modelo de efectos fijos y la información obtenida puede aplicarse sólo para los materiales evaluados en los ambientes en que se realizó el estudio. Los datos analizados corresponden a un solo año de evaluación, pero los resultados concordaron con la fundamentación de los antecedentes.

Las condiciones hídricas y climáticas generales de la

campaña fueron favorables para el desarrollo del cultivo viéndose reflejadas en una producción a nivel nacional de aproximadamente 19 millones de toneladas de maíz, lo que significó un rendimiento promedio de 5950 Kg/ha.

El MRC IV se manifestó conforme a campañas anteriores. Las localidades de Sampacho y Holmberg (región IV) fueron seleccionadas para implantar parte de los ensayos debido a que se encuentran dentro del área de mayor incidencia de la enfermedad. Para favorecer la epifitía estas localidades se sembraron coincidiendo con el pico poblacional del insecto vector y en cercanías de cultivos de avena (*Avena sativa* L.), que son los principales reservorios invernales del mismo.

Los resultados obtenidos para los diferentes materiales coinciden con los predichos comprobándose su adecuada elección. La reacción al MRC, en la serie Sampacho-Holmberg evaluada a través del GMA de los materiales experimentales no difirió significativamente de la de los testigos resistentes, y en promedio, los materiales experimentales presentaron mejor comportamiento (Tabla 2). Esto indica que las nuevas líneas poseen un nivel de resistencia al menos similar al de las fuentes de resistencia utilizadas para formar las poblaciones que le dieron origen. Entre estas líneas es posible elegir progenitores que aportarán una resistencia importante a las cruas.

El nivel de enfermedad de los híbridos experimentales fue inferior además al de los testigos comerciales de los cuales se diferenciaron, demostrando competitividad con relación a los híbridos difundidos actualmente en el mercado.

Todos los tratamientos superaron al testigo susceptible (Tabla3) demostrando que materiales como B73 x P578, formados por líneas altamente susceptibles son severamente afectados por MRC. En estas condiciones no sería posible llevar a cabo un cultivo exitoso sin disponer de resistencia para esta enfermedad.

En la localidad de Ferré (Tabla 2), donde la presión de la enfermedad fue muy baja, se diferenció el testigo susceptible del resto de los materiales. El testigo comercial Dekalb 752, los materiales experimentales y los testigos resistentes presentaron igual comportamiento, fueron muy poco afectados. Pioneer 3162 presentó un comportamiento intermedio.

El análisis del GMA de los distintos tipos de materiales en las distintas localidades permite una mejor visualización de la situación (Figura 1). Cuando se analizaron por separado las localidades de Sampacho y Holmberg (área endémica), el ambiente de Sampacho permitió que se diferenciaron Dekalb 752 de Pioneer 3162. En Holmberg no se diferenciaron los dos testigos comerciales entre sí, ni lo hicieron del testigo susceptible. El comportamiento promedio del material experimental en las localidades de Sampacho y Holmberg consideradas en forma individual o combinadas (Tabla 2) no se diferenció del comportamiento promedio de los testigos resistentes y fue en general muy bueno; los peores no alcanzaron el grado 2.

En la localidad de Ferré debido a la baja presión de la

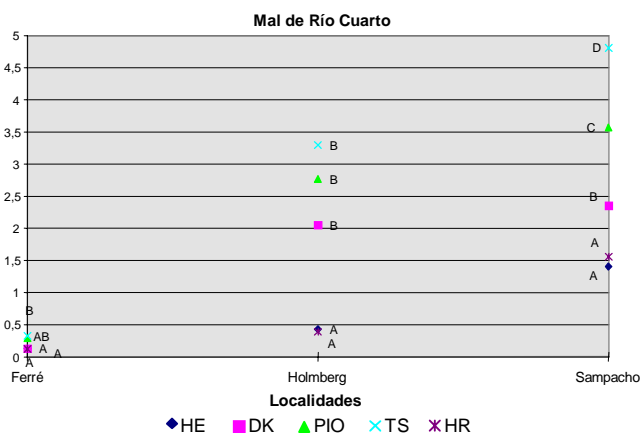
enfermedad se diferenci6 el testigo susceptible del resto de los materiales (Figura 1). Pioneer 3162, si bien no se diferenci6 del resto de los materiales, tampoco lo hizo del testigo susceptible.

Como puede observarse (Figura 1), si bien algunas diferencias resultaron no significativas, existi6 una clara tendencia de los materiales a diferenciarse entre s3, a medida que la presi6n de la enfermedad aument6. En Holmberg por ejemplo, el GMA promedio de Dekalb 752, no se diferenci6 del promedio de Pioneer 3162, pero la diferencia entre ambos se hizo m3s importante que en Ferr3; para luego diferenciarse, con mayor presi6n de enfermedad en Sampacho.

Entre los materiales experimentales y los testigos resistentes si bien las diferencias resultaron no significativas en todos los casos, a medida que aument6 la presi6n, las diferencias se hicieron mayores. En la evaluaci6n de MRC referida como GMA diferencias estad3sticamente no significativas pueden implicar diferencias agron6micas de gran importancia; as3 por ejemplo, mientras el grado 3 expresa malformaciones y algo de producci6n, en el grado 4 las plantas son enanas y pr3cticamente improductivas.

En la regi6n IV los materiales utilizados no mostraron interacci6n genotipo x ambiente. Los 25 materiales experimentales con buen comportamiento en la serie Sampacho-Holmberg (Tabla 3), pudieron considerarse promisorios, ya que presentaron una severidad muy baja (de 0,59 a 0,97).

Presello *et al.* (1997) evaluaron la resistencia a MRC de 23 cultivares en la localidad de Sampacho. Los mismos fueron seleccionados de entre los recomendados por las empresas, por su resistencia a esta enfermedad. Los h3bridos experimentales evaluados en este trabajo mostraron mayor resistencia que 20 de estos h3bridos comerciales y s6lo 3 tuvieron un comportamiento similar. De lo expuesto se desprende que los h3bridos experimentales ensayados pueden considerarse una fuente de resistencia superior, frente al MRC.



**FIG. 1** - Grado Medio de Ataque para Mal de Río Cuarto. Medias para los distintos grupos de tratamientos. HE: híbridos experimentales; DK: Dekalb 752; PIO: Pioneer 3162; TS: Testigo susceptible; HR: híbridos resistentes. Letras distintas significan DMS  $\alpha=0,05$ .

En la campaña 1995/96 Presello & C3liz (1996) hab3an evaluado tambi3n el comportamiento de cultivares comerciales en el 3rea end3mica (este y noroeste de la localidad de Sampacho). Los h3bridos simples evaluados en esa oportunidad presentaron menor resistencia que los materiales experimentales m3s susceptibles aqu3 ensayados.

Las cruzas formadas por la l3nea 2378, fueron todas de muy buen comportamiento, demostrando el mayor aporte de resistencia de esta 3ltima. Las l3neas que menos aportaron a la resistencia fueron: 2580, 2600 y 2561, ya que fueron las m3s frecuentes en las cruzas susceptibles.

Con los datos aportados por el an3lisis dial3lico pudo calcularse la Importancia Relativa de la ACG y de la ACE, los resultados demostraron que los efectos de ambas aptitudes fueron igualmente importantes. Se calcul6 un  $IR_g=0,42$ , d6nde el  $IR_g=2\sigma_g^2/(2\sigma_g^2+\sigma_s^2)$  (Baker, 1978), dado que se utiliz6 un modelo de efectos fijos se emplearon para el c3lculo las componentes equivalentes de cuadrados medios.

Estos resultados concordaron con los de Sanguinetti *et al.* (1984). Lorenzo (1993) calcul6 un  $IR_g$  de 0,70 con los resultados presentados en el trabajo de Sanguinetti *et al.* (1984) y asever6 que en esa experiencia fueron igualmente importantes tanto la aptitud combinatoria general como la espec3fica. Sin embargo, no estuvieron de acuerdo con otros autores citados en la bibliograf3a. Eyh3rabide *et al.* (1987) presentaron un an3lisis dial3lico en el que destacan como importantes tanto los efectos aditivos como dominantes debido a la significancia de los efectos, pero al comparar ACG con ACE, la primera es la que result6 de inter3s. Lorenzo *et al.* (1992) en un experimento similar pero evaluando incidencia como medida de la enfermedad dan cuenta tambi3n de la alta importancia relativa de la ACG para la predicci6n de h3bridos. Basso (1995), en su trabajo de tesis, afirma que si bien la herencia de la resistencia a MRC est3 determinada por efectos gen3ticos aditivos y de dominancia, los primeros poseen mayor incidencia.

Se asumi6 que lo expuesto en el p3rrafo anterior posiblemente se deba al mayor grado de mejora que presentaban los compuestos a partir de los cuales se obtuvieron las l3neas para las cruzas de los ensayos reportados, ya que Jensen (1988) asevera que: "A medida que se mejoran las poblaciones de las cuales provienen las l3neas progenitoras, la varianza gen3tica se "desplaza" en el sentido de aumentar los efectos no aditivos" (aumenta la importancia de la ACE). Hallauer & Miranda, (1988) trabajando en selecci6n por rendimiento y buen comportamiento a vuelco, encontraron que la ACG era de mayor importancia para l3neas endocriadas no seleccionadas, mientras que la ACE era m3s importante en l3neas previamente seleccionadas.

De acuerdo al an3lisis dial3lico, las l3neas 2526 y la 2378 presentaron efectos de aptitud combinatoria general para la resistencia a la enfermedad (Tabla 4) esto concuerda con los resultados, correspondiente a la prueba de DMS (Tabla 3), donde se muestran como las l3neas m3s frecuentes en cruzas resistentes. En ACG, las l3neas 2580 y 2600 aportaron susceptibilidad.

Que los efectos de AC de las líneas resulten menores a cero implica que su aptitud combinatoria le confiere buen comportamiento frente a la enfermedad (resistencia), en consecuencia efectos positivos hablan de aptitud combinatoria a favor de la susceptibilidad.

Los efectos de aptitud combinatoria específica muestran como cruza más resistentes a 2378 x 2600, 2335 x 2600, 2568-2 x LP561 y 2526 x 2600, estas cruza fueron consideradas como los materiales más promisorios ya que se ubicaron entre las menos afectadas, se debe destacar que si bien la línea 2600 no presentó buen comportamiento *per se*, si lo hizo en estas últimas combinaciones híbridas.

Las correlaciones realizadas entre el rendimiento y MRC, explicaron la importancia de esta última como determinante del rendimiento. En la región IV, el MRC fue uno de los factores de mayor incidencia como determinante de los rendimientos. En Holmberg que pudo considerarse un ambiente con una presión de la enfermedad intermedia, la correlación rendimiento-enfermedad fue de -0,29 y en la localidad de Sampacho donde la presión fue alta, la correlación fue de -0,65, mostrando que cuando la presión de la enfermedad fue mayor, los rendimientos mermaron en mayor proporción. En la localidad de Ferré el rendimiento no se vio correlacionado con el MRC, debido a que la presión de la enfermedad fue lo suficientemente baja como para no influir en la determinación de los rendimientos.

Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) en las distintas localidades para la enfermedad mencionada y los rendimientos, fueron: para Sampacho 0,42 y para Holmberg 0,08. Explicando un 42 y un 8% respectivamente de la pérdida de rendimientos.

Los valores de  $R^2$ , indican que porcentaje de la variación de los rendimientos es atribuible a la resistencia genética de los cultivares y ponen en evidencia la importancia de utilizar germoplasma resistente.

Presello & Céliz (1996) evaluaron el uso de cultivares con resistencia genética a MRC recomendados para el área endémica bajo condiciones de epifitía en dos ensayos, al este y al noroeste de la localidad de Sampacho, los híbridos simples ensayados presentaron rendimientos promedios muy por debajo de los obtenidos con los materiales experimentales logrados en esta campaña, en la localidad mencionada. La presión de la enfermedad en la campaña 1995/96 fue similar a la evaluada en este trabajo de tesis (sí se compara el GMA de B73 x P578).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, R.J. Issues in Diallel Analysis. *Crop Science* 18:533-536. 1978.

BASSO, C.M. Caracterización de fuentes de resistencia genética a "Mal de Río Cuarto" (MRDV-RC) en poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de infección natural. (Tesis de Maestría). Pergamino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Universidad Nacional de Rosario. 1995.

CRUZ, C.D. Programa de análisis de Modelos Biométricos Aplicado

ao Fitomelhoramento Genético. UFV-CNPQ. Versión 1.0. Minas Gerais. Brasil. 1994.

EYHÉRABIDE, G.H., FERRER, M.E., DAMILANO, A.L. & COLAZO, J.C. Genetic resistance to "Enfermedad de Río Cuarto", a new virosis affecting corn in Argentina. A review. INTA EEA Pergamino. BA. Agosto, 1987.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Science* 9:463-493. 1956.

HALLAUER, A.R. & MIRANDA FILHO J.B. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd. ed. Ames. Iowa State University Press. 1988.

JENSEN, N.F. Plant Breeding Methodology. New York. John Wiley & Sons, Inc. 1988.

LAGUNA, I.G. & GIMÉNEZ PECCI, M.P. El Mal de Río Cuarto. PROMARC. Hoja informativa n° 1. 1997.

LORENZO, N.J.A., PRESELLO, D., CASTELLANOS, S., GIORDA, L. & LEGASA, A. Aptitud Combinatoria entre ocho líneas selectas de maíz: Resistencia al Mal de Río Cuarto y Rendimiento. V Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. BA. 1992. pp.39-49.

LORENZO, N.J.A. Aptitud Combinatoria entre líneas de maíz por respuesta al Mal de Río Cuarto (MRCV), Rendimiento, Vuelco y Quebrado. (Tesis de Maestría). Pergamino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Universidad Nacional de Rosario. 1993.

MARINO, E.A. & TEYSSANDIER, E.E. Estudios Preliminares sobre el modo de herencia de la resistencia al Mal de Río Cuarto en maíz. Congreso anual de la Sociedad Argentina de Genética, Buenos Aires. 1982.

MARTÍNEZ, C.A. & BOTTA, G.L. Observaciones sobre el Mal de Río Cuarto. Carpeta de Producción Vegetal, INTA Pergamino, BA. Inf. n°42. Tomo IV. 1982.

MARTÍNEZ GARZA, A. Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría. 1° ed. Chapingo. México. Ed. Trillas. 1988.

MICHIGAN STATE UNIVERSITY. MSTAT - C. (Paquete estadístico) Freed, R.D. & Eisensmith, S.P. Directors. *Crop and Soil Sciences Department*. M. S. U. EEUU. Version 1:42. 1992.

MUÑOZ, J., ORNAGHI, J.A., MARINELLI, A., MARTINO, C. & BOITO, G.T. Detección de partículas de reovirus en glándulas salivales de *Delphacodes Kuscheli* Fennah. Actas del taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto, Pergamino, BA. 1991. pp.97-99.

ORNAGHI, J., BOITO, G., SÁNCHEZ, G., MARCH, G. & BEVIACQUA, J. Studies on the populations of *Delphacodes Kuscheli* Fennah in different years and agricultural areas. *Journal of Genetics & Breeding* 47:277-282.1993.

PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estadística Experimental. Buenos Aires. Ed. Hemisferio Sur. 1978.

PRESELLO, D., CÉLIZ, A. & FRUTOS, E. Efectos genéticos asociados con la resistencia a la enfermedad Mal de Río Cuarto en líneas endocriadas de maíz. Memorias de la III Reunión Latinoamericana y XVI Reunión de la zona andina de Investigación en Maíz, Cochabamba, SC, Bolivia, 1995. I:407-417.

PRESELLO, D. & CÉLIZ, A. Comportamiento de Cultivares de Maíz Bajo Infección Natural de Mal de Río Cuarto, campaña 1995/96. *Tecnología Agropecuaria INTA Pergamino* I:6-8. 1996.

PRESELLO, D.A., ALVAREZ, M.P., COLAZO, J.C., DAMILANO,



A., EYHÉRABIDE, G., FERNÁNDEZ, A. & HOURQUESCOS, M.J. Comportamiento de Cultivares de Maíz en el Norte de la provincia de Buenos Aires y Área endémica del Mal de Río Cuarto. Ciclo 1996/97. Tecnología Agropecuaria INTA Pergamino II:1-6. 1997.

PROMARC. Informe anual del Proyecto INTA "Mal de Río Cuarto" sobre el período 1996. 1997.

REMES LENICOV, A.M.M. de & VIRLA, E.G. Homópteros auquenorrincos asociados al cultivo de trigo en la República Argentina. I Análisis preliminar de la importancia relativa de las especies. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 28:221-

222. 1993.

SANGUINETTI, A., DAMILANO, A., VAN BECELAERE, R. & EYHÉRABIDE, G. Efectos genéticos que condicionan la herencia de la resistencia a Mal de Río Cuarto en Maíz. III Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, BA. 1984. pp.48-52.

TRUOL, G., USUGI, T., SHOHARA, K. & LAGUNA, G. Obtención, multiplicación y mantenimiento mediante transmisión por vectores de aislamiento del virus del Mal de Río Cuarto (MRCV) provenientes de diferentes áreas de cultivo. Compendio de Trabajos Presentados, VI Congreso Nacional MAÍZ, Pergamino, BA. Tomo I, pp. II 88-II 94. 1997.