

# APTITUD COMBINATORIA DE LINEAS DE MAÍZ TROPICAL CON DIFERENTE CAPACIDAD PARA TOLERAR EL ACHAPARRAMIENTO <sup>1</sup>

Guillermo Castañón<sup>2</sup>, Dan Jeffers<sup>3</sup>, Héctor Hidalgo<sup>4</sup>

## RESUMEN

**Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropical con diferente capacidad para tolerar el achaparramiento.** En el presente trabajo, se evaluó en maíz las  $F_1$ 's y los siete padres de éstas, para estudiar la respuesta de los híbridos y los padres al efecto del achaparramiento transmitido por la chicharrita (*Dalbulus maydis*). Para ello se aplicó el Método 2, modelo I de Griffing (1956). De los resultados obtenidos, se encontró como más importantes a los efectos aditivos (ACG), que a los no-aditivos (ACE). Así también, se observó que los mejores cruzamientos para rendimiento de grano (RG), resultaron ser aquellas cruizas donde participaron una línea resistente (R) x una susceptible (S). Las cruizas de menor RG, fueron entre progenitores R x R o bien S x S. Las líneas tres y cinco fueron las que presentaron los valores más altos de ACG para el carácter rendimiento de grano. Las estimas de las ACE, jugaron un papel importante en la estructura genética de los híbridos. La línea dos fue la que en combinaciones híbridas arrojó los valores más altos para ACE. Los progenitores uno y siete, fueron los peores en cuanto a ACG.

## ABSTRACT

**Combining ability of maize lines with different capacity tolerance to the maize bushy stunt.** This research was carried out to evaluate seven parents and their  $F_1$ 's progenies. The objective was to study the response of the hybrids and parents to infection with the bushy stunt, transmitted for *Dalbulus maydis*. The results showed that additive effects (GCA) were more important than non-additive effects (SCA). It was found that to grain yield (GY) the best crosses, were between one resistant (R) line x susceptible (S) line. The lowest yield grain crosses were observed between R x R or S x S parents or lines. The lines three and five, were the material that showed the greatest values of GCA to yield grain. The estimated values for SCA had important role in the hybrid genetic structure. The line two, was the parental that in hybrid combination presented highest SCA values. Lines one and seven, were the lowest materials to GCA.



## INTRODUCCIÓN

La planta de maíz durante su ciclo vital está expuesta a factores bióticos y abióticos. Entre los primeros, la enfermedad parasítica conocida como achaparramiento del maíz transmitido por la chicharrita (*Dalbulus maydis*), desde principios de los años 90's ha vuelto a ser importante económicamente en las áreas maiceras de la República Mexicana, Centro América y el Caribe (Henríquez y Jeffers, 1997).

Así se tiene, que en México, es común observar a la enfermedad citada en los estados de Sonora y Sinaloa (González, fitomejorador del Programa de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Tailandia, Asia, 1997), en la Mesa Central

y en la vertiente del Golfo de México, incluyendo a la Península de Yucatán, donde la enfermedad persiste en forma endémica. En el estado de Tabasco, se ha colectado una nueva cepa que es más agresiva a las conocidas (Jeffers, fitopatólogo del Programa de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Texcoco, México, 1997).

En la región sur de México, el maíz presenta un promedio de producción de 2,0 t/ha (INEGI, 1996). Ello se debe a que las siembras de maíz se realizan en temporal y que las condiciones climáticas durante el desarrollo de la planta de maíz son las adecuadas para la aparición de *Dalbulus maydis* (chicharrita), transmisora del achaparramiento del maíz.

<sup>1</sup> Presentado en la XLV Reunión anual del PCCMCA en Guatemala, 1999.

<sup>2</sup> Programa de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. A.P. 429 Veracruz., Ver. México .

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Guadalajara, Jal.

<sup>4</sup> Programa de maíz del Campo Experimental de Santiago Ixcuintla, Nay.

En todo programa de mejoramiento genético de plantas es importante seleccionar a los progenitores, que al ser cruzados produzcan buenas combinaciones híbridas. Diferentes métodos de evaluación se han propuesto para tal fin, pero los de mayor aplicación son los diseños dialélicos presentados por Griffing (1956).

Con el empleo de los diseños dialélicos se puede estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y la específica (ACE). Estos términos fueron establecidos por Sprague y Tatum (1942), aptitud combinatoria general (ACG) la definieron como el comportamiento promedio de un clon o una línea en combinaciones híbridas y a la aptitud combinatoria específica (ACE) como aquellos casos en que las combinaciones híbridas son mejores o peores que lo esperado con base al comportamiento promedio de los clones o líneas que intervienen en el cruzamiento. Los autores mencionados, consideran que la ACE está en función de los efectos no aditivos, como la dominancia y/o epistasia. Mientras que la ACG se debe a efectos de aditividad.

En cebada Arévalo *et al.* (1974), haciendo uso del método dos de Griffing (1956), encontraron de mayor importancia a la aptitud combinatoria general en ocho de los once caracteres estudiados por ellos. En rendimiento de grano, área foliar de la hoja bandera y espigas por planta, se observó efecto de sobredominancia y menores valores de heredabilidad.

De acuerdo con la literatura revisada, el complejo del achaparramiento volvió a tomar importancia a mediados de la década pasada. Así, Urbina (1997) indica que en Nicaragua se cuantificaron en ese año 27.682 ha con pérdida parcial y total por la enfermedad conocida como achaparramiento.

En la región de Azuero, Panamá en 1992 se observó el achaparramiento del maíz. Mayor infección de la enfermedad mostraron los híbridos nacionales que los importados. De una encuesta realizada por los mismos investigadores en diferentes predios de agricultores, se encontró a la enfermedad presente en todas las áreas maíceras de la región, aunque con diferente intensidad. La época de siembra es el factor que determina la presencia de la enfermedad. En siembras tempranas se observó mayor infección (75,36 %), el problema del achaparramiento disminuyó a medida que se sembró más tarde (Gordón *et al.*, 1993).

El achaparramiento se presenta desde el nivel del mar hasta zonas intermedias de altura y en latitudes desde 40° N, hasta los 30° S. Las condiciones que favorecen el desarrollo del vector que transmite la enfermedad (chicharrita) son: escasez de lluvia, altas temperaturas y baja humedad relativa del aire (De León, citado

por Urbina, 1997). Los riesgos de pérdidas por achaparramiento aumentan en regiones donde se retrasan las siembras por causa del inicio irregular de la lluvias. Lo anterior es muy común en la parte sur de México, es quizá por este motivo que se obtengan promedios de rendimiento como los señalados antes. Además, el maíz se maneja como monocultivo, hay alta infestación de zacate johnson, reservorio importante para el virus y áfidos (Henríquez y Jeffers, 1997).

Los objetivos que se plantearon para la realización de este trabajo fueron: a) Estimar la aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz con diferente capacidad de respuesta al achaparramiento. b) Definir la(s) mejor(s) combinación híbrida entre líneas evaluadas. c) Definir cual tipo de respuesta al achaparramiento es el que da mejores cruzamientos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron en la Estación Experimental Poza Rica del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Según Bazinger *et al.* (1997), Poza Rica se sitúa al norte del estado de Veracruz, cerca del Golfo de México, a 21 °N y a 60 m de altitud. En verano la temperatura máxima, mínima y radiación solar fluctúan de 32 °C, 22 °C y 22 MJm<sup>-2</sup>. El suelo es franco arcilloso (Tropofluvent) y clima Aw<sub>1</sub>(e).

### Material genético

El estudio lo formaron las 21 cruza resultantes del apareamiento manual de siete líneas de maíz: (1) AC8223-4-2-1-2, (2) AC8223-4-1-1-1, (3) AC7929-38-3-2-1, (4) AC7421-46-2-1-2, (5) AC8149-5-1-2-1, (6) 88-2-3-1-1 y (7) POB43C6HC232-2#-1-2-4. Las dos primeras son líneas resistentes al achaparramiento, la tercera presenta moderada resistencia a la misma enfermedad. Las últimas cuatro líneas (4, 5, 6 y 7) son susceptibles. La resistencia o susceptibilidad del material parental, se obtuvo de la evaluación previa llevada a cabo en la Estación Poza Rica del CIMMYT en el verano de 1996, donde a un ensayo en el que se encontraban las líneas del presente estudio, se infestó con chicharritas transmisoras del achaparramiento del maíz.

### Epoca de siembra e infestación

En la primera evaluación (1997B) el experimento se sembró el primero de agosto. Se pusieron cuatro chicharritas por planta transmisoras de CSS (*Spiroplasma kunkelii*) y MBS (*Maize bushy stunt*). La evaluación del daño se cuantificó en octubre 17 del mismo año.

El ensayo para la segunda evaluación por achaparramiento fue sembrado en diciembre de 1997. Al igual que en el ensayo del verano 1997B, se depositaron cuatro chicharritas por planta, pero éstas sólo portaban el MBS (*Maize bushy stunt*). La inoculación se realizó el seis de enero de 1998 y la evaluación de síntomas se llevó a cabo el cuatro de abril del mismo año.

El material experimental se sorteó y sembró en ambos años de prueba como alfa-látice (0,1) en parcelas de 2,5 m, 0,75 m la distancia entre surcos y 0,25 m entre plantas. El número de repeticiones fue de cuatro en cada experimento. Dos repeticiones recibieron infestación y dos no, como se indicó antes.

### Caracteres medidos

**Floración masculina (FM):** Medida en días, desde la siembra hasta que el 50% de las espigas producción polen.

**Floración femenina (FF):** Medida en días, contados desde la siembra hasta que el 50% de los estigmas tenían de dos a tres cm de longitud.

**Prolificidad (PRO):** Relación entre el número de mazorcas y el número de plantas por parcela.

**Sincronía de la floración (ASI):** Diferencia entre los días a FF y FM. Para normalizar los datos de ASI se transformó a  $\log_e \sqrt{ASI+10}$ .

**Rendimiento de grano (RG):** El rendimiento parcelar se transformó a toneladas por hectárea al 14% de humedad.

**Porcentaje de infección de achaparramiento (PoiA).**

### Diseño genético

Para el análisis de la información recabada de cada uno de los caracteres medidos se usó el método cuatro y modelo I (líneas como efecto fijo) de Griffing (1956). En este diseño, sólo se incluyen las cruzas  $F_1$  y los progenitores. Con el padre siete no se lograron todas las cruzas, para aquellas faltantes, se estimó el valor de cada variable con el método propuesto por Eckhardt (1951).

El modelo estadístico lineal que combina localidades fue:

$$y_{ijkl} = \mu + g_i + \frac{p(p-1)}{2s_{ij}} + r_k + a_l + (ga)_{il} + (ga)_{jl} + (s_{ij})_{al} + e_{ijkl}$$

donde:

$i, j = 1, 2, \dots, p$ , Progenitores.

$k = 1, 2, \dots, r$ , Repeticiones.

$l = 1, 2, \dots, a$ , Ambientes o Localidades.

$\mu$  = Media de la población.

$g_i$  = Efecto de ACG del  $i$ -ésimo progenitor.

$g_j$  = Efecto de ACG del  $j$ -ésimo progenitor.

$s_{ij}$  = Efecto de la ACE del  $i$ -ésimo progenitor con el  $j$ -ésimo progenitor.

$r_k$  = Efecto de la  $k$ -ésima repetición.

$a_l$  = Efecto de la  $l$ -ésima localidad.

$(ga)_{il}$  = Efecto de la interacción de la ACG del  $i$ -ésimo progenitor con el  $l$ -ésimo ambiente.

$(ga)_{jl}$  = Efecto de la interacción de la ACG con el  $j$ -ésimo progenitor con el  $l$ -ésimo ambiente.

$(s_{ij})_{al}$  = Efecto de ACE del  $i$ -ésimo progenitor con el  $j$ -ésimo progenitor con el  $l$ -ésimo ambiente.

$e_{ijkl}$  = Efecto aleatorio de la  $ij$ -ésima cruza en la  $k$ -ésima repetición del  $l$ -ésimo ambiente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado (Cuadro 1) para los seis caracteres medidos, mostró en ambientes (A) diferencias significativas para todos ellos. El factor cruza, sólo fue no significativo en el carácter sincronía de la floración (ASI). Diferencias significativas en los efectos aditivos (ACG) fueron observados para todos los caracteres cuantificados, excepto para PoiA (porcentaje de infección por achaparramiento), en el resto de caracteres se encontró significancia en los efectos no aditivos (ACE). Los resultados sugieren que ambos efectos aditivos (ACG) y no-aditivos (ACE) fueron importantes en el estudio. Pero la magnitud de los valores encontrados (Cuadro 1) hace pensar que los aditivos son más importantes. Lo anterior, en cierto modo era de esperarse debido a la divergencia en la respuesta de las líneas al achaparramiento. En la interacción de efectos de ambientes x ACG (AxACG), no se detectó significación en ASI y PRO, esto indica que la ACG en las líneas evaluadas, no se modificaron esos caracteres por los ambientes de prueba. Las otras cuatro variables analizadas, presentaron diferencias significativas en la interacción AxACG. Respecto a los efectos significativos de la interacción del ambiente x ACE (AxACE) en las variables PRO, PoiA y RG, pudieran atribuirse a la variación presentada por los ambientes de evaluación y al comportamiento diferencial de algunos de los progenitores usados.

Al revisar el Cuadro 2, en el que se dan los efectos positivos de ACG para cada uno de los progenitores, se observó que las líneas 5, 3, 6 y 2, presentaron la mayor variación genética aditiva para RG. Los efectos mayores y positivos en FM y FF los dieron las líneas 7 y 4, es decir son padres tardíos, mientras que el resto son padres precoces. Para el ASI, los efectos menores fueron arrojados por los padres 6 y 3, éste comportamiento guarda

**Cuadro 1.** Cuadrados medios, coeficientes de variación, promedios y significación de los caracteres estudiados en el dialélico combinado en maíz. PR, 1997 B y 1998A. Veracruz, México.

FV	GL	Floración masculina (FM)		Floración femenina (FF)		Sincronía de floración (ASI)		Prolificidad (PRO)		Renndimiento de grano (RG)		Rendimiento de grano (RG)	
A	3	16271,23	**	15754,32	**	2,43 <sup>-2</sup>	**	0,24	**	55740,07	**	226,45	**
R/A	4	2,74	ns	1,92	ns	2,49 <sup>-3</sup>	ns	7,73 <sup>-2</sup>	**	355,66	**	0,24	ns
C	27	64,05	**	74,63	**	1,19 <sup>-2</sup>	ns	0,13	**	611,55	**	13,00	**
ACG	6	157,75	*	149,01	**	3,66 <sup>-2</sup>	**	8,93 <sup>-2</sup>	*	2201,53	*	3,55	**
ACE	21	37,29	**	53,37	**	4,87 <sup>-3</sup>	**	0,15	**	157,27	ns	15,71	**
A x C	81	4,39	**	4,94	**	2,36 <sup>-3</sup>	ns	5,77 <sup>-2</sup>	**	310,69	**	1,78	**
A x ACG	18	13,99	**	14,98	**	3,61 <sup>-3</sup>	ns	4,23 <sup>-2</sup>	ns	788,15	**	2,41	**
A x ACE	63	1,66	ns	2,07	ns	2,00 <sup>-3</sup>	ns	6,21 <sup>-2</sup>	*	174,27	**	1,60	**
ERROR	108	1,43		2,15		2,30 <sup>-3</sup>		3,22 <sup>-2</sup>		86,12		0,34	
C. V		1,70		2,10		4,10		18,50		32,50		16,90	
$\bar{X}$		70,40		70,80		1,20		1,00		28,60		3,50	

**Cuadro 2.** Efecto de aptitud combinatoria general (gi) de los incluidos en el estudio de achaparramiento en maíz. PR, 1997B y 1998A. Veracruz, México.

Progenitor	Floración masculina FM	Floración femenina FF	Sincronía de floración ASI	Prolificidad PRO	% Infección achaparramiento PoiA	Prolificidad PRO
1	-0,24	0,18	2,09 <sup>-2</sup>	-4,15 <sup>-2</sup>	-5,60	-277,32
2	-0,29	0,43	3,26 <sup>-2</sup>	2,07 <sup>-2</sup>	-3,95	27,89
3	-2,15	-2,36	7,90 <sup>-3</sup>	2,88 <sup>-2</sup>	4,69	89,63
4	1,36	1,03	-1,56 <sup>-2</sup>	-4,87 <sup>-2</sup>	9,03	-30,03
5	-0,14	-0,68	-2,46 <sup>-2</sup>	2,80 <sup>-2</sup>	4,46	356,93
6	-0,68	-0,46	9,03 <sup>-3</sup>	-7,74 <sup>-3</sup>	4,15	48,39
7	2,14	1,87	-1,44 <sup>-2</sup>	2,05 <sup>-2</sup>	9,45	-215,49

asociación con aquel presentado por las mismas líneas en FM y FF. Para PRO, componente importante del rendimiento de grano, los efectos de ACG mayores fueron de las líneas 3, 5, 2 y 7. En PoiA sólo las líneas 1 y 2 (resistentes) dieron efectos negativos, mientras que el resto fueron efectos positivos, lo que era de esperarse, por la susceptibilidad de estos últimos al achaparramiento.

Por lo indicado antes, se establece que las líneas de mejor efecto de ACG para RG, presentaron también efectos aceptables en el resto de los caracteres evaluados.

La estructura genética de las mejores (Cuadro 3) y peores (Cuadro 4) cruzas para RG alto y bajo, coincidieron en los valores más altos para ACE. Así mismo, los peores valores de ACE los mostraron las cruzas con rendimiento más bajo. En forma general se puede apreciar que el comportamiento mejor o peor de las cruzas, se debió en cierto modo, al efecto de la ACE, ya que de acuerdo con la información mostrada en los Cuadros 3

y Cuadro 4, ésta (ACE) fue la de mayor importancia, pues al parecer la ACG, sólo fue importante en aquellos cruzamientos donde intervinieron las líneas cinco y dos, con efectos positivos de éste parámetro.

Lo anterior se reafirma al revisar las peores cruzas, en donde exceptuando la combinación híbrida 3x6 (ambos padres con efecto positivo de ACG para RG), en el resto de las cruzas por lo menos uno de los progenitores presentó efecto negativo de ACG.

El PoiA en cruzas y progenitores (datos no mostrados), presentó el mismo patrón de clasificación. De acuerdo con la respuesta de achaparramiento de cada craza, la información obtenida en estos experimentos no coincide totalmente con Grogan y Rosenkranz (1968), de que el achaparramiento es un carácter dominante y/o susceptible, pero si en que hay mayor heterosis al cruzar líneas tolerantes x susceptibles (Cuadro 3). Si se cruzan resistentes x resistentes, o susceptibles

**Cuadro 3.** Estructura genética de las mejores cruzas del cruzamiento dialélico de líneas de maíz con diferente nivel de resistencia al achaparramiento. PR 1997B y 1998A. Veracruz, México.

Cruza	x	$\mu$	$g_I$	$g_J$	$S_{IJ}$
2 x 6	5,382	3,473	0,028	0,048	1,833
2 x 5	5,051	3,473	0,028	0,357	1,193
2 x 7	4,960	3,473	0,028	-0,215	1,675
1 x 4	4,783	3,473	-0,277	-0,030	1,617
1 x 5	4,550	3,473	-0,277	0,357	0,997

**Cuadro 4.** Estructura genética de las peores cruzas del cruzamiento dialélico de líneas de maíz con diferente nivel de resistencia al achaparramiento. PR 1997B y 1998A. Veracruz, México.

Cruza	x	$\mu$	$g_I$	$g_J$	$S_{IJ}$
6 x 7	3,671	3,473	0,048	-0,215	0,365
1 x 7	3,452	3,473	-0,277	-0,215	0,471
3 x 6	3,452	3,473	0,090	0,048	-0,159
4 x 6	3,376	3,473	-0,030	0,048	-0,115
1 x 2	1,420	3,473	-0,277	0,028	-1,804

x susceptibles, se obtienen los rendimientos de grano más bajos (Cuadro 4). Para rendimiento de grano, los resultados de este trabajo coinciden con aquellos presentados por Obando *et al.* (1997), y Ortíz *et al.* (1993). El efecto heterótico observado es común que suceda cuando se cruza germoplasma de origen diferente (Gómez *et al.*, 1988) o bien con diferente capacidad de respuesta a enfermedades.

En el estudio resultó más importante la aptitud combinatoria general (ACG) que la específica (ACE). Por la estructura genética de las mejores cruzas, se establece que las líneas 2, 1 y 5, son las que combinaron bien con el resto de progenitores, exceptuando a la línea 3. De los resultados encontrados en este trabajo se establece, que deben cruzarse líneas resistentes x susceptibles para generar buenas combinaciones híbridas.

## LITERATURA CITADA

ARÉVALO, N. M.; MOLINA, G. D. J.; MARTÍNEZ G, A. 1974. Estimación de parámetros genéticos para once caracteres de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) mediante el análisis de cruzas dialélicas. *Agrociencia* 16:97-109.

BAZINGER, M.; EDMEADES, O. G.; BOLAÑOS, J. 1997. Relación entre el peso fresco y el peso seco del rastrojo de maíz en diferentes estados fenológicos del cultivo. *Agron. Mesoam* 8(1):20-25.

ECKHARDT, R. C. 1951. Predicting yields of missing single crosses of corn. *Agron. J.* 44:215-216.

GRIFFING, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.* 9:463-493.

GROGAN, C. O.; ROSENKRANZ, E. E. 1968. Genetics of host reaction to corn stunt virus. *Crop Sci.* 8:251-254.

GÓMEZ, M. N.; VALDIVIA B, R.; MEJÍA A, H. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11:103-120.

GORDÓN, M. R.; CAMARGO, I., DE GRACÍA, N.; GONZÁLEZ, A.; PÉREZ, D.; ALVARADO, A.; FRANCO, J. 1993. Situación del achaparramiento en el cultivo de maíz en la región de Azuero, Panamá. Reunión Anual de la Sociedad del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), Cd. Guatemala, Guatemala. pp. 62-68.

HENRÍQUEZ, P.; JEFFERS, D. 1997. El achaparramiento del maíz. Patógenos, síntomas y diagnóstico. Síntesis de resultados experimentales del PRM, 1993-1995. CIMMYT-PRM. Guatemala. Vol. 5:283-290.

INEGI. 1996. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguas Calientes, Ags. México.

OBANDO, R.; URBINA, R.; MIHM, A. J.; MENDOZA, M. 1997. Evaluación de materiales con resistencia múltiple a cogollero, barrenadores y achaparramiento. Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe. Síntesis de resultados experimentales 1993-1995. pp. 21-25.

ORTÍZ, J.; NAVARRO, F.; CELADO, R.; PIERRE, R.; GUERRA, F. 1993. Estudio de cultivares amarillos de maíz (*Zea mays* L.) para achaparramiento. Reunión Anual de la Sociedad del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), Cd. Guatemala, Guatemala. pp. 60-61.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, A. I. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.

URBINA, R. 1997. Desarrollo de dos poblaciones tropicales de maíz con resistencia al complejo del achaparramiento. Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe. Síntesis de resultados experimentales 1993-1995. pp. 15-20.