

## Estimación de efectos genéticos relacionados con el vigor de la semilla y de la plántula en maíces tropicales mexicanos

Genetic effect estimation related to seed and seedling vigor in Mexican tropical corns

Cervantes Ortiz F<sup>1</sup>, G García De los Santos<sup>2</sup>, A Carballo Carballo<sup>2</sup>, D Bergvinson<sup>3</sup>, JL Crossa<sup>3</sup>, M Mendoza Elos<sup>1</sup>, E Andrio Enríquez<sup>1</sup>, JG Rivera Reyes<sup>1</sup>, E Moreno Martínez<sup>4</sup>

**Resumen.** Se usó un diseño de cruza dialélicas involucrando seis líneas endogámicas de maíz tropical para determinar los componentes genéticos y la correlación entre las generaciones F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> para caracteres de vigor (1) de semilla y (2) de plántula. Dichas líneas endogámicas fueron producidas en Tlaltizapan, Mor. en Verano de 2004. Para producir la generación F<sub>2</sub>, las cruza F<sub>1</sub> fueron sembradas en Tepalcingo, Mor. e Iguala, Gro., usando polinización controlada (medios hermanos). Las semillas de las cruza F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> fueron evaluadas en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. En semilla se determinó el porcentaje de germinación estándar. El vigor se midió a través de la prueba de envejecimiento acelerado, la conductividad eléctrica y el peso de semilla. Mediante la prueba de emergencia en cama de arena, se determinaron el porcentaje, la velocidad y el índice de la tasa de emergencia, el peso seco de la parte aérea, la altura de plántula, y los índices de vigor I y II. Los efectos de la Aptitud Combinatoria General (ACG) en todos los caracteres evaluados en las dos generaciones (F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>) fueron significativos (p<0,01). Estos efectos fueron mayores a los de la Aptitud Combinatoria Específica (ACE), excepto para el vigor a través de la prueba de envejecimiento acelerado de semilla en la F<sub>1</sub>. Los efectos maternos en la F<sub>1</sub> fueron significativos (p<0,01) para todos los caracteres. Sin embargo en la F<sub>2</sub>, la altura de plántula, el peso seco de la parte aérea y los índices de vigor I y II no fueron afectados por el progenitor femenino. Los progenitores CML 396 y CML 407 presentaron la más alta ACG para vigor de semillas, mientras que la línea CML 245 manifestó la misma condición para caracteres de vigor de plántula en ambas generaciones para la mayoría de los caracteres evaluados. Estos materiales pueden ser considerados para integrarlos a un programa de mejoramiento genético para vigor de semilla y de plántula. Por otro lado, no existió asociación directa y significativa entre la ACG de las generaciones F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> para los caracteres evaluados.

**Palabras clave:** *Zea mays* L.; Aptitud combinatoria; Efectos genéticos; Vigor de semilla y de plántula.

**Abstract.** We determined the genetic components, and the correlation between the F<sub>1</sub> and the F<sub>2</sub> generations, for traits like seed and seedling vigor using a diallel crossing design. The study involved six tropical maize inbred lines from the CIMMYT. Crosses were formed in CIMMYT's Maize Research Station in Tlaltizapan, Morelos during the summer of 2004. In order to produce F<sub>2</sub> seeds, F<sub>1</sub> crosses were grown at Tepalcingo, Mor. and Iguala, Guerrero. This was accomplished by controlling pollinations (half sibs). Seeds from the F<sub>1</sub> and the F<sub>2</sub> crosses were evaluated at the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico. F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> seeds were used to perform a standard germination test. Seed vigor was evaluated after conducting a seed aging treatment, and conductivity and seed weight were also determined. A test for emergence on sand bed was also conducted. Variables recorded included percentage, speed and index of emergence; canopy dry weight; seedling height and vigor indexes I and II. Significant (p<0.01) effects of the General Combining Ability (GCA) were observed for all traits in both the F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> generations. GCA effects were greater than those of Specific Combining Ability (SCA). The only exception was vigor after the accelerating age treatment for the F<sub>1</sub> seed. Maternal effects in the F<sub>1</sub> generation were significant (p<0.01) for all characters. However, seedling height, canopy dry weight and vigor indexes I and II were not influenced by the female parent in the F<sub>2</sub> generation. Parents CML 396 and CML 407 had the highest GCA for seed vigor, while 245 CML expressed the same condition for seedling vigor traits in both generations for most traits evaluated. These materials might be considered for integrating a program of breeding for seed and seedling vigor. On the other hand, there was no direct and significant association of the GCA in the F<sub>1</sub> versus the F<sub>2</sub> generations for all evaluated traits.

**Keywords:** *Zea mays* L.; Combining ability; Genetic effects; Seed and seedling vigor.

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Agronomía, Instituto Tecnológico de Roque. Km. 8 Carretera Celaya-J. Rosas, C.P. 38110. México. Tel. 01 (461) 1 63 62 ext. 142.

<sup>2</sup> Producción de Semilla. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36,5 Carretera México-Texcoco. C.P. 56230 Montecillo, México.

<sup>3</sup> Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Apartado Postal 6-661, C.P. 06600. México D.F. México.

<sup>4</sup> UNIGRAS-UNAM. Apdo. Postal 20. Pabellón Ags. México.

Address Correspondence to: Francisco Cervantes Ortiz, e-mail: cervan74@yahoo.com.mx

Recibido / Received 10.IX.2010. Aceptado / Accepted 5.X.2010.

## INTRODUCCIÓN

Existen dos tipos de variación importantes en el mejoramiento genético de plantas: la ambiental y la hereditaria. Las variaciones hereditarias son el resultado de la constitución genética de un organismo o población, que determina caracteres o funciones en las plantas (Ram et al., 1991). Al respecto, Hartmann et al. (1990) mencionaron que tanto los factores genéticos como los ambientales son los que determinan la tasa de germinación, la velocidad de germinación y el vigor de semilla y de plántula. Ram et al. (1991) señalaron que la variabilidad genética en semilla es la de mayor interés para los fitomejoradores. Por lo tanto, la tarea principal de los mejoradores es ordenar esas variaciones heredables que puedan ser útiles para el mejoramiento de los cultivos. Sin embargo, el desarrollo de variedades mejoradas toma un tiempo considerable y es costoso. Una forma de realizar progresos rápidos en el mejoramiento de plantas puede ser mediante la determinación del potencial de crecimiento inicial y vigor de semillas en los genotipos (Ajala y Fakorede, 1988).

Se han reportado pocos trabajos sobre estudios de varianzas genéticas para vigor de semilla y de plántula en maíz (Eagles, 1982; Moreno-González, 1988; Revilla et al., 1999; Antuna et al., 2003), aunque existen algunos en diferentes cultivos (Egli y Tekrony, 1979; Bourland y Bird, 1985; Smith et al., 1990; Ram et al., 1991; Kharb et al., 1994; Sadeghian y Khodaii, 1998; Cano-Ríos et al., 2000; Cho y Scott, 2000).

Por otro lado, se ha reportado en maíz que los efectos de la varianza aditiva son más importantes que los de la varianza de dominancia en diferentes caracteres de semilla y de plántula. Sin embargo, los efectos de la varianza de dominancia también han sido significativos (Ajala y Fakorede, 1988; Bdliya y Burris, 1988; Antuna et al., 2003 y Revilla et al., 2003) en soja (Cho y Scott, 2000), en betabel (Smith et al., 1990) y en chícharo gaudul (Kharb et al., 1994). Cano-Ríos et al. (2000) informaron resultados contrarios en melón. Otros autores no han encon-

trado un efecto significativo de la varianza de dominancia para el vigor inicial de plántula en maíz (Moreno-González, 1988).

También se han informado ciertos niveles de heterosis en el vigor de semillas en maíz (Fakorede y Agbana, 1983) y de plántulas en sorgo (Yu y Tuinstra, 2001). Asimismo, se ha señalado que existen alelos recesivos con efectos pleiotrópicos capaces de afectar el vigor de las semillas (Dollinger, 1985). En este sentido, Lindstron (1972) concluyó que la longevidad de las semillas es heredable, aunque compleja. Por otro lado, ha habido más avance genético para vigor de semilla y de plántula en maíz seleccionando combinaciones de híbridos específicos, que líneas basadas sólo en efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) (Revilla et al., 1999). Sin embargo, Gómez et al. (1988) y Reyes et al. (2004), para caracteres diferentes, concluyeron que una crusa simple será de alto rendimiento si al menos uno de sus progenitores tiene una alta ACG o si su efecto de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) es alto, y al menos una de sus líneas es de alta ACG.

Los objetivos de este estudio fueron determinar (1) los componentes genéticos, y (2) la correlación entre las generaciones  $F_1$  y  $F_2$  para los caracteres de vigor de semilla y de plántula.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron seis líneas élite endogámicas ( $F=1$ ) tropicales de maíz previamente caracterizadas por su resistencia al deterioro acelerado (Tabla 1). Las líneas se formaron en el Programa de Mejoramiento del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). En el ciclo Primavera-Verano (P-V) 2004 se hicieron los cruzamientos entre las seis líneas en Tlaltizapan, Mor., obteniéndose 15 cruza directas y 15 cruza recíprocas. Al mismo tiempo, se efectuaron autofecundaciones en las líneas, originándose un total de 36 genotipos. Las cruza  $F_1$  y los progenitores se cosecharon separadamente; la  $F_2$  se produjo al sembrar la  $F_1$  en el ciclo invierno-primavera de 2005 (I-P, 2005) en las localidades de

**Tabla 1.** Líneas endogámicas de maíz utilizadas en un diseño de apareamiento dialélico.

**Tabla 1.** Inbreeding corn lines used in a diallel crossing design.

Línea endogámica	Pedigree	Origen	Color de grano	Comportamiento al deterioro	Potencial heterótico
CML 307	SINT.AM.TSR-61-3-2-8-2-BB-f	SA TSR	Amarillo	Resistente	Pops-24,28,36 y pool26
CML 396	P21C5HC109-3-1-5-4-B-4-3-##-2-B*6	Pop21	Blanco	Resistente	CML268, CML48 y CML264
CML 407	(G24TSR19*P21F199)-1-1-B-2-2-BBB-1-B-#-B*8	Pool24	Blanco	Resistente	CML48 y CML247
CML 254	TEXSEQ-149-2-BBB##-1-BB-f	Pop21	Blanco	Susceptible	Pop. 25, 32, 43; pools 23, 24
CML 399	P21C5HC72-3-1-2-BBBB-##-1-BBB-##-B*8	Pop21	Blanco	Susceptible	CML247
CML 411	P28C7-S4-#-BBBBBBBBBB	Pop28	Amarillo	Susceptible	CL-00331

clima tropical, Tepalcingo, Mor. e Iguala, Gro. En ambas localidades la polinización se realizó de forma manual mediante la técnica de medios hermanos (cruzamientos planta a planta) para evitar contaminación y avanzar a la generación  $F_2$ . En los genotipos de ambas generaciones se determinó la calidad fisiológica de las semillas en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados ubicado en Montecillo, Texcoco, México. Esta evaluación se llevó a cabo en los meses de (1) Octubre y Noviembre de 2004 para la  $F_1$  y sus progenitores y (2) Junio a Julio de 2005 para la  $F_2$ .

En Noviembre 2004 se evaluó el vigor inicial de plántula para la  $F_1$  y sus progenitores. La misma variable se estudió para la  $F_2$  en Agosto de 2005. La siembra se llevó a cabo en cama de arena en invernadero (microtúnel) utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; para las pruebas de laboratorio se aplicó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se utilizaron 25 semillas por unidad experimental para efectuar las determinaciones de vigor de semilla y vigor inicial de plántula para las dos generaciones.

En el laboratorio se obtuvo el peso de 100 semillas (PS), y se realizaron las pruebas de germinación estándar (GE), en las que se registraron el porcentaje de germinación y envejecimiento acelerado (EA), y la prueba de conductividad eléctrica (CE), para evaluar el vigor (ISTA, 1995).

En invernadero (microtúnel) se midió la velocidad de emergencia (VE) (Maguire, 1962) aplicando la siguiente expresión:

$$VE = \frac{\text{no. de plántulas normales}}{\text{días al primer conteo}} + \dots + \frac{\text{no. de plántulas normales}}{\text{días al conteo final}}$$

Los conteos de emergencia fueron hechos a los 7, 8, 9 y 10 días después de la siembra (DDS) y los valores obtenidos fueron usados para estimar el porcentaje de emergencia (% E), índice de emergencia (IE) y el índice de la tasa de emergencia (ITE) como lo describieron Fakorede y Ayoola (1980) y Fakorede y Ojo (1981) mediante las siguientes fórmulas:

$$\% E = \frac{100 (\text{No. de plántulas emergidas al 10mo día DDS})}{\text{No. total de semillas sembradas}}$$

$$IE = \frac{(\text{No. de plántulas emergidas} \times \text{día}) (\text{No. DDS})}{\text{emergencia final al 10mo día}}$$

$$ITE = \frac{IE}{\%E}$$

Asimismo, se determinaron la longitud de plántula (LPL) y el peso seco de la parte aérea (PSPA) en una muestra de cinco plantas con competencia completa por unidad experimental, tomadas a los 24 días después de la siembra (24 dds). Con las variables longitud de plántula y peso seco de la parte aérea se calcularon los índices de vigor I o II, tal como lo describió Kharb et al. (1994): se obtienen al multiplicar el porcentaje de emergencia por la longitud de plántula o el peso seco de plántula, respectivamente.

El análisis de varianza (ANOVA) para calcular la Aptitud Combinatoria General (ACG), Aptitud Combinatoria Específica (ACE), Efectos Recíprocos (ER) y Efectos Maternos (EM) se hizo de acuerdo con el Método I de Griffing (1956), usando el programa Diallel-SAS Method I propuesto por Zhan y Kang (2003) para la  $F_1$ . En la  $F_2$  se utilizó el Método III de Griffing y el mismo modelo, ya que en esta última sólo se evaluaron las cruzas

**Tabla 2.** Cuadrados medios para caracteres de vigor de semilla en genotipos de maíz  $F_1$ , evaluadas en condiciones de laboratorio. Colegio de postgraduados, México. 2004.

**Tabla 2.** Mean squares for seed vigor variables evaluated under laboratory conditions in  $F_1$  corn genotypes. Postgraduate College, Mexico. 2004.

Fuente de Variación	GL	GE (%)	Vigor (EA) (%)	PS (g)	CE ( $\mu\text{mho/cm/g}$ )
Repeticiones	2	8,13	1,44	0,093	21,64
Genotipos	35	432,56**	1679,40**	1,861**	1196,33**
ACG	5	602,54**	1852,87**	2,819**	1865,20**
ACE	15	349,38**	2742,44**	1,523**	1853,68**
ER	15	617,68**	1074,59**	1,984**	1329,12**
EM	5	791,09**	2285,79**	3,228**	2084,97**
Error	70	66,64	59,02	0,044	18,60
C.V	---	9,18	9,94	7,010	12,22

\*\* Diferente de cero a una probabilidad de 0,01. GE: germinación estándar; EA: envejecimiento acelerado; PS: peso de semilla; CE: conductividad eléctrica.

\*\* Different from zero at  $p = 0.01$ . GE: standard germination; EA: vigor through the accelerated aging test; PS: seed weight; CE: electrical conductivity.

directas y recíprocas. Por otro lado, para los valores de ACG se realizaron análisis de correlaciones y pruebas de ji-cuadrada ( $X^2$ ) para las dos generaciones en todos los caracteres evaluados de semilla y de vigor inicial de plántula.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la  $F_1$  se encontraron diferencias significativas entre genotipos ( $p \leq 0,01$ ) para todos los caracteres de calidad de semilla evaluados (Tabla 2). La ACG, ACE, ER y EM también presentaron

efecto significativo ( $p \leq 0,01$ ) en este grupo de caracteres, cuando se descomposieron los cuadrados medios del factor genotipo.

También hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre genotipos para los caracteres antes señalados en la  $F_2$ . La ACG, ACE, ER y EM fueron significativamente diferentes de cero para vigor (EA), GE, PS y CE; no obstante, la ACE no afectó estadísticamente la GE. Por otro lado, la interacción ACG x Loc sólo afectó estadísticamente el PS y la CE. La ACE x Loc, y ER x Loc, afectaron estadísticamente el vigor (EA), el PS y la CE (Tabla 3). Esto indica

**Tabla 3.** Cuadrados medios para caracteres de vigor de semilla en genotipos de maíz  $F_2$ , evaluados en condiciones de laboratorio. Colegio de postgraduados, 2005.

**Tabla 3.** Mean squares for seed vigor variables evaluated under laboratory conditions in  $F_2$  corn genotypes. Postgraduate College, Mexico. 2005.

Fuente de variación	GE (%)	Vigor (EA) (%)	PS (g)	CE ( $\mu$ mho/m/g)
Genotipo	219,80**	362,49**	35,20**	41,79**
Gen x Loc	71,56	202,13**	9,09**	15,05**
ACG	745,01**	1199,93**	146,23**	101,51**
ACE	61,74	136,46*	19,86**	33,14**
ER	139,57**	218,95**	7,39**	27,07**
EM	142,74*	187,69*	8,77**	16,56**
ACG x Loc	112,28	110,10	4,51**	19,83**
ACE x Loc	99,29	196,81**	5,59**	12,85**
ER x Loc	41,34	235,99**	12,72**	14,78**
Error	53,50	60,08	0,56	3,99
C.V	9,34	11,16	2,85	17,87

\*\*,\* Diferente de cero a una probabilidad de 0,01 y 0,05 respectivamente. GE: germinación estándar; EA: envejecimiento acelerado; PS: peso de semilla; CE: conductividad eléctrica.

\*\*,\* Different from zero at  $p = 0.01$  and  $p = 0.05$ , respectively. GE: standard germination; EA: vigor through the accelerated aging test; PS: seed weight; CE: electrical conductivity.

**Tabla 4.** Cuadrados medios para caracteres de plántula en maíz tropical  $F_1$ , evaluados en condiciones de invernadero. Colegio de Postgraduados. México. 2004.

**Tabla 4.** Mean squares for seedling vigor variables evaluated under greenhouse conditions in  $F_1$  corn genotypes. Postgraduate College, Mexico. 2004.

Fuente de variación	%E (%)	VE (d)	APL (cm)	PSPA (g)	IV-I	IV-II	IE (d)	ITE
Repeticiones	354,33	13,799	8,335	0,016	431472,1	239,34	0,678	0,004
Genotipos	948,7**	18,629**	33,717**	0,186**	619732,0**	646,36**	0,091*	0,010**
ACG	2722,5**	55,429**	96,304**	2,819**	1803022,6**	1545,30**	0,227**	0,025**
ACE	869,4**	18,684**	45,046**	1,523**	748031,4**	906,82**	0,138**	0,011**
ER	582,3**	12,247**	30,071**	1,984**	490353,4**	629,13**	0,142**	0,007**
EM	811,3**	20,889**	71,710**	3,228**	948547,0**	1294,15**	0,290**	0,010**
Error	109,9	2,095	2,909	0,044	64997,4	71,32	0,056	0,001
C.V	14,6	14,69	8,940	17,120	18,2	23,93	3,280	33,050

\*\*,\* Diferente de cero a una probabilidad de 0,01 y 0,05 respectivamente. %E: porcentaje de emergencia; VE: velocidad de emergencia; APL: altura de plántula; PSPA: peso seco de la parte aérea; IV-I: índice de vigor I; IV-II: índice de vigor II; IE: índice de emergencia; ITE: índice de la tasa de emergencia.

\*\*,\* Different from zero at  $p = 0.01$  and  $p = 0.05$ , respectively. %E: emergence percentage; VE: emergence speed; APL: seedling height; PSPA: aboveground dry weight; IV-I: vigor index I; IV-II: vigor index II; IE: emergence index; ITE: emergence rate index.

que el ambiente de producción de la semilla tuvo efecto en la calidad de la misma.

En los caracteres de vigor inicial de plántula para los genotipos  $F_1$ , se observaron diferencias estadísticas significativas para todos los caracteres (Tabla 4). De la misma manera, para la ACG, ACE, ER y EM hubo diferencias estadísticas

en los caracteres antes señalados. Resultados similares se observaron en los genotipos  $F_2$  (Tabla 5). La ACG fue significativa para todos los caracteres, pero la ACE no afectó estadísticamente el PSPA y el IE. De la misma manera, los ER carecieron de significancia estadística para %E, APL y PSPA. Por último, los efectos maternos en la  $F_2$  sólo afectaron

**Tabla 5.** Cuadrados medios para caracteres de vigor inicial de plántula en genotipos  $F_2$  de maíz tropical. Colegio de Postgraduados, México, 2005.

**Tabla 5.** Mean squares for initial seedling vigor variables in  $F_2$  genotypes of tropical corn. Postgraduate College, Mexico, 2005.

Fuente de variación	% E (%)	VE (d)	APL (cm)	PSPA (g)	IV-I	IV-II	IE (d)	ITE
Genotipo	151,77**	2,39**	7,72**	0,014**	107458,2**	163,28**	0,050**	0,000057**
Gen x Loc	74,19*	1,30**	0,57	0,002	13176,6	20,74	0,019	0,000035**
ACG	404,18**	7,77**	35,74**	0,067**	464029,6**	741,24**	0,144**	0,000177**
ACE	139,51**	1,98**	3,37**	0,003	53901,1**	59,16**	0,030	0,000044**
ER	75,00ns	0,85*	1,00	0,002	20735,4*	33,09*	0,031*	0,000024**
EM	119,18*	0,98*	0,17	0,001	12196,4	16,86	0,058**	0,000032**
ACG x Loc	139,36*	2,63**	0,64	0,002	16457,7	25,84	0,039*	0,000068**
ACE x Loc	73,30	0,90*	0,35	0,004	10279,0	33,64	0,011	0,000026**
ER x Loc	53,00	1,10**	0,68	0,001	13821,4	11,30	0,017	0,000029**
Error	46,89	0,39	1,09	0,002	11153,2	18,61	0,016	0,0000091
C.V	8,59	4,06	6,99	11,68	7,4	11,39	2,08	4,66

\*\*, \* Diferente de cero a una probabilidad de 0,01 y 0,05 respectivamente. %E: porcentaje de emergencia; VE: velocidad de emergencia; APL: altura de plántula; PSPA: peso seco de la parte aérea; IV-I: índice de vigor I; IV-II: índice de vigor II; IE: índice de emergencia; ITE: índice de la tasa de emergencia.

\*\*, \* Different from zero at  $p=0.01$  and  $p=0.05$ , respectively. %E: emergence percentage; VE: emergence speed; APL: seedling height; PSPA: aboveground dry weight; IV-I: vigor index I; IV-II: vigor index II; IE: emergence index; ITE: emergence rate index.

**Tabla 6.** Efectos de ACG de seis genotipos de maíz para caracteres de vigor de semilla en generaciones  $F_1$  y  $F_2$  de maíz tropical.

**Tabla 6.** GCA effects of six corn genotypes for seed vigor variables on  $F_1$  and  $F_2$  generations of tropical corn.

Genotipo	$F_1$			
	Vigor (EA) (%)	GE (%)	PS (g)	CE ( $\mu\text{mho/cm/g}$ )
CML 307	-1,08	8,78**	-0,08*	-9,90**
CML 396	-3,13*	12,33**	0,63**	-13,26**
CML 407	-8,69**	4,77**	0,15**	-5,48**
CML 254	1,31	10,13**	0,06	-6,62**
CML 399	-3,95**	1,96	0,17**	-4,53**
CML 411	15,55*	-38,00**	-0,94**	39,81**
Genotipo	$F_2$			
	Vigor (EA) (%)	GE (%)	PS (g)	CE ( $\mu\text{mho/cm/g}$ )
CML 307	1,79	1,72	-2,86**	1,51**
CML 396	2,29*	3,57**	1,19**	-1,51**
CML 407	3,67**	3,58**	-0,26**	-1,74**
CML 254	0,24	-0,47	0,14	0,54*
CML 399	-9,95**	-6,78**	-0,49**	1,57**
CML 411	1,95	-1,62	2,28**	-0,37

\*\*, \* Diferente de cero a una probabilidad de 0,01 y 0,05 respectivamente. GE: germinación estándar; EA: envejecimiento acelerado; PS: peso de semilla; CE: conductividad eléctrica.

\*\*, \* Different from zero at  $p=0.01$  and  $p=0.05$ , respectively. GE: standard germination; EA: vigor through the accelerated aging test; PS: seed weight; CE: electrical conductivity.

taron significativamente el %E, VE, IE y el ITE (Tabla 5). La interacción Genotipo x Loc únicamente afectó estadísticamente el %E, VE y el ITE. Por otra parte, la ACG x Loc afectó significativamente el %E, VE, IE y el ITE. La interacción ACE x Loc se manifestó estadísticamente para VE y el ITE, y la interacción ER x Loc únicamente afectó la VE y el ITE. Estos resultados están de acuerdo con Hartmann et al. (1990) quienes señalaron que el componente ambiental es un factor importante en la expresión de la calidad de semilla y el potencial de crecimiento inicial.

Como se puede apreciar hubo efectos de ACG y ACE en ambos grupos de caracteres para las dos generaciones de cruza dialélicas ( $F_1$  y  $F_2$ ). Esto indica que genes aditivos y dominantes están presentes en el vigor de semilla y de plántula, aunque los primeros están en mayor proporción. Los resultados obtenidos permiten elegir el método de mejoramiento apropiado para que el fitomejorador avance más rápido en la selección del carácter de interés. Al respecto, Baker (1978) mencionó que la proporción relativa de los efectos de ACG y ACE (determinada a través de los cuadrados medios) indica el tipo de acción génica en los caracteres.

Resultados similares a este trabajo han sido reportados por otros autores en maíz (Eagles, 1982; Ajala y Fakorede, 1988; Bdiya y Burris, 1988; Antuna et al., 2003 y Revilla et al., 2003), soja (Cho y Scott, 2000), betabel (Smith et al., 1990) y chícharo gandul (Kharb et al., 1994). Sin embargo, resultados contrarios fueron obtenidos por Moreno-González (1988),

que no encontró efectos estadísticos significativos para ACE en el vigor inicial de plántulas en maíz.

De la misma manera, hubo efectos recíprocos significativos, indicando que en un programa de producción de semilla se debe considerar previamente quiénes serán los progenitores masculino y femenino. Cuando no los hubo, no existirían problemas respecto a quién es la madre o el padre. Estos resultados coinciden con los de Revilla et al. (1999) para vigor inicial de plántula en maíz, pero difieren de los de Cano-Ríos et al. (2000) para vigor de semilla en melón.

Los mayores efectos de ACG para GE y CE en las dos generaciones correspondieron a las líneas CML 396 y CML 407. Estos materiales fueron clasificados como resistentes al deterioro (Tabla 1). Sin embargo, la CML 411 fue la que tuvo un mayor vigor de semilla (a través de la prueba de EA) en la  $F_1$ , mientras que el mismo correspondió a las líneas CML 407 y CML 396 en la  $F_2$ . Para PS, la CML 396 obtuvo la mayor ACG en la  $F_1$ , mientras que la CML 411 la obtuvo en la  $F_2$  (Tabla 6). Por otra parte, en los caracteres de vigor inicial de plántula (Tabla 7), la línea CML 254 presentó la mayor ACG para %E, VE y APL en las dos generaciones. El mismo genotipo se expresó para el IV-I e IV-II en la  $F_1$ . La CML 411 tuvo la mayor ACG para IE y el ITE en la  $F_1$ ; en la  $F_2$  la mayor ACG se obtuvo para las variables PSPA, IV-I y IV-II. Es importante indicar que las líneas CML 254 y 411 están clasificadas como susceptibles al deterioro. Sin embargo, al ser combinadas con otros materiales (líneas) presentaron un excelente comportamiento respecto a caracteres

**Tabla 7.** Efectos de ACG de seis genotipos de maíz para caracteres de vigor inicial de plántula en generaciones  $F_1$  y  $F_2$  de maíz tropical.  
**Tabla 7.** GCA effects of six corn genotypes for initial seedling vigor variables on  $F_1$  and  $F_2$  generations of tropical corn.

Genotipo	$F_1$							
	% E (%)	VE (d)	APL (cm)	PSPA (g)	IV-I	IV-II	IE (d)	ITE
CML 307	12,17**	1,74**	1,06**	-0,08*	254,8**	8,1**	-0,07	-0,039**
CML 396	-1,95	-0,25	2,71**	0,63**	97,9*	4,3**	-0,01	-0,011
CML 407	-7,81**	-0,91**	-0,56	0,15**	-143,7**	-1,0	-0,13**	0,024**
CML 254	12,08**	1,84**	2,72**	0,06	390,0**	11,6**	-0,12**	-0,038**
CML 399	8,94**	1,32**	0,91**	0,17**	252,4**	8,0**	-0,07	-0,024**
CML 411	-23,42**	-3,74**	-6,85**	-0,94**	-851,5**	-31,0**	0,42**	0,089**
$F_2$								
CML 307	-0,03	0,01	-1,03**	-0,01**	-103,6**	-1,83**	-0,02	0,0000
CML 396	0,79	-0,11	-0,03	-0,02**	-3,2	-2,19**	0,04**	0,0005
CML 407	0,90	0,29**	-0,51**	0,01	-37,7**	1,32*	-0,06**	-0,0014**
CML 254	3,52**	0,33**	0,67**	-0,00	99,5**	0,30	0,02	-0,0016**
CML 399	-5,31**	-0,74**	-0,41**	-0,03**	-89,7**	-4,46**	0,06**	0,0035**
CML 411	0,12	0,21*	1,32**	0,06**	134,8**	6,86**	-0,04**	-0,0010*

\*\*,\* Diferente de cero a una probabilidad de 0,01 y 0,05 respectivamente. %E: porcentaje de emergencia; VE: velocidad de emergencia; APL: altura de plántula; PSPA: peso seco de la parte aérea; IV-I: índice de vigor I; IV-II: índice de vigor II; IE: índice de emergencia; ITE: índice de la tasa de emergencia.  
\*\*,\* Different from zero at  $p=0.01$  and  $p=0.05$ , respectively. %E: emergence percentage; VE: emergence speed; APL: seedling height; PSPA: aboveground dry weight; IV-I: vigor index I; IV-II: vigor index II; IE: emergence index; ITE: emergence rate index.

**Tabla 8.** Correlaciones y prueba de ji-cuadrada ( $X^2$ ) para las generaciones  $F_1$  y  $F_2$  de cruzas dialélicas en caracteres de vigor de semilla y de plántula.**Tabla 8.** Correlations and  $X^2$  test for  $F_1$  and  $F_2$  generations of diallel crossings for seed and seedling vigor variables.

	Correlaciones	Ji-Cuadrada ( $X^2$ )
<b>Caracteres de semilla</b>		
Vigor (EA)	0,13	14,20
GE	0,32	5,60
PS	0,28	5,60
CE	-0,07	14,70
<b>Caracteres de vigor de plántula</b>		
%E	-0,08	22,21
VE	-0,32	8,55
APL	-0,55	8,66
PSPA	-0,86*	16,63
IV-I	-0,53	14,95
IV-II	-0,87*	15,21
IE	-0,29	19,38
ITE	-0,32	17,78

$X^2$   $t_{0,01;5} = 15,08$ . GE: germinación estándar; EA: vigor a través de la prueba de envejecimiento acelerado; PS: peso de semilla; CE: conductividad eléctrica; %E: porcentaje de emergencia; VE: velocidad de emergencia; APL: altura de plántula; PSPA: peso seco de la parte aérea; IV-I: índice de vigor I; IV-II: índice de vigor II; IE: índice de emergencia; ITE: índice de la tasa de emergencia.

$X^2$   $t_{0,01;5} = 15,08$ . GE: standard germination; EA: vigor through the accelerated aging test; PS: seed weight; CE: electrical conductivity; %E: emergence percentage; VE: emergence speed; APL: seedling height; PSPA: aboveground dry weight; IV-I: vigor index I; IV-II: vigor index II; IE: emergence index; ITE: emergence rate index.

de vigor inicial de plántula. Asimismo, podemos señalar que las líneas con los valores más altos de ACG provienen de la población 21. Esto indica que esta variación genética puede deberse al origen de las líneas.

Los coeficientes de correlación (Tabla 8) de los efectos de ACG en las dos generaciones indican que no hubo significancia estadística para caracteres de vigor de semilla; sin embargo, en los caracteres de vigor inicial de plántula, las correlaciones fueron negativas en todos los caracteres, y significativas para PSPA y IV-II. Esto era esperado por el efecto de segregación en la  $F_2$  (1:2:1) para caracteres de herencia simple. Estos resultados no coinciden con los reportados por Cervantes et al. (1988) en otros caracteres del cultivo del trigo. La prueba de  $X^2$  mostró que los valores calculados para los caracteres de semilla resultaron menores que el valor tabulado (15,08). En los caracteres de plántula, los valores de  $X^2$  calculada únicamente fueron menores para VE, APL y IV-I.

## CONCLUSIONES

En todos los caracteres evaluados predominaron los efectos de ACG en ambas generaciones ( $F_1$  y  $F_2$ ). La excepción fue el vigor de semilla (EA) que estuvo determinado por los efectos de ACE en la  $F_1$ . Del mismo modo, los efectos de

ACE, ER y EM también fueron significativos para este grupo de líneas para todos los caracteres evaluados en las dos generaciones. Las líneas CML 396 y CML 407 sobresalieron al mostrar la mejor aptitud combinatoria general para caracteres de vigor de semillas en ambas generaciones. De la misma manera, la línea CML 254 sobresalió en los caracteres de vigor inicial de plántula para ambas generaciones. Estos resultados sugieren que estos materiales sean usados en programas de mejoramiento de calidad de semilla y vigor de plántula. Los coeficientes de correlación indicaron que no hay concordancia entre generaciones en cuanto al valor de los efectos de ACG para la mayoría de los caracteres estudiados.

## REFERENCIAS

- Ajala, S.O. y A.B.M. Fakorede (1988). Inheritance of seedling-vigor and its association with mature plant traits in maize population at two levels of breeding. *Maydica* 33:121-129.
- Antuna, G.O., S.F. Rincón, E. Gutiérrez Del R, N.A.T. Ruiz y L.G. Bustamante (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 11-17.
- Baker, R.J. (1978). Issues in diallel analysis. *Crop Science* 18: 533-536.
- Bdliya, P.M. y S.J. Burris (1988). Diallel analysis of tolerance of drying injury in seed corn. *Crop Science* 28: 935-938.

- Bourland, F.M. y S.L. Bird (1985). A diallel analysis of seedling growth in cotton. *Field Crops Research* 10: 197-203.
- Cano-Ríos, P., G.R. Ramírez, J.P. Ortegón, J.H.M. Esparza y S.H. Rodríguez (2000). Análisis dialélico para vigor de semilla en melón. *Agrociencia* 34: 337-342.
- Cervantes, M.J. E., J.D.G. Molina y A.G. Martínez (1988). Uso de generaciones  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$  de cruzamientos dialélicos de trigo en la clasificación de progenitores y estimación de varianzas genéticas. *Agrociencia* 74: 73-88.
- Cho, Y. y A.R. Scott (2000). Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112: 145-150.
- Dollinger, E.J. (1985). Effects of visible recessive dialleles on vigor characteristics in a maize hybrid. *Crop Science* 25: 819-821.
- Eagles, H.A. (1982). Inheritance of emergence time and seedling growth at low temperatures in four lines of maize. *Theoretical and Applied Genetics* 62: 81-87.
- Egli, D.B. y M.D. TeKrony (1979). Relationship between soybean seed vigor and yield. *Agronomy Journal* 71: 755-759.
- Fakorede, M.A. B. y B.S. Agbana (1983). Heterosis effects and association of seedling vigor with mature plant characteristics and grain yield in some tropical maize cultivar. *Maydica* 38: 327-338.
- Fakorede, M.A.B. y K.D. Ojo (1981). Variability for seedling vigor in maize. *Experimental Agriculture* 17: 195-201.
- Fakorede, M.A. B. y O.A. Ayoola (1980). Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize. *Maydica* 25: 135-147.
- Gómez, M.N., R.B. Valdivia y H.A. Mejía (1988). Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Revista Fitotecnia Mexicana* 11: 103-120.
- Griffing, B. (1956). Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences* 9: 463-493.
- Hallauer, A.R. y J.B. Miranda (1988). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Second Ed. Iowa State University Press. Ames. USA. 468 p.
- Hartmann, H.T., E.D. Kester y F.T. Davies (1990). Principles of propagation by seed. En: *Plant propagation, principles and practices*. Chapter 6, pp. 104-136, Prentice-Hall International, Inc.
- International Seed Testing Association (1995). *Rules. Seed of vigor test methods*. 2. ed. Zurich, 117 p.
- Kharb, R.P.S., P.S.B. Lather y D.P. Deswal (1994). Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Science and Technology* 22: 461-466.
- Lindstrom, E.W. (1972). Inheritance of seed longevity in maize inbreds and hybrids. *Genetics* 27: 154-160.
- Maguire, J.D. (1962). Speed of germination. Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- Moreno-Gonzalez, J. (1988). Diallel crossing system in sets of flint and dent inbred lines of maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 33: 37-49.
- Ram, C., O. Singh, P.S.R. Kharb, P. Kumari y T.P. Yadava (1991). Seedling vigour in pigeonpea. *Seed Science and Technology* 19: 627-631.
- Revilla, P., A. Butrón, R.A. Malval y A. Ordás (1999). Relationships among kernel weight, early vigor, and growth in maize. *Crop Science* 39: 654-658.
- Revilla, P., J.R. Hotchkiss y W.F. Tracy (2003). Cold tolerance evaluation in a diallel among open-pollinated sweet corn cultivars. *HortScience* 38: 88-91.
- Reyes, L.D., J.D.G. Molina, M.A.R. Oropeza y E.P. Moreno (2004). Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:49-56.
- Sadeghian, S.Y. y H. Khodaii (1998). Diallel cross analysis of seed germination traits in sugar beet. *Euphytica* 103: 259-263.
- Smith, M.C., I. J. Mackay y M.A. Cornish (1990). A diallel analysis of germination in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 18: 43-50.
- Yu, J. y M.R. Tuinstra (2001). Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum. *Crop Science* 41: 1438-1443.
- Zhan, Y. y M.S. Kang (2003). *Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders*, M S Kang (ed). FPP. New York London Oxford. pp. 1-19.