

HERENCIA DEL VIGOR DE PLÁNTULA Y SU RELACIÓN CON CARACTERES DE PLANTA ADULTA EN LÍNEAS ENDOGÁMICAS DE MAÍZ TROPICAL

SEEDLING VIGOR INHERITANCE AND ITS RELATIONSHIP TO ADULT PLANT TRAITS IN INBRED TROPICAL MAIZE LINES

Francisco Cervantes-Ortiz¹, Gabino García-De los Santos¹, Aquiles Carballo-Carballo¹, David Bergvinson², J. Luis Crossa², Mariano Mendoza-Elos³ y Ernesto Moreno-Martínez⁴

¹Producción de Semillas. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México. (cervantes@colpos.mx). ²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apartado Postal 6-661, 06600. México, D. F. ³SIGA-ITA 33. km 8 38110 Carretera Celaya-J. Rosas. y ⁴UNIGRAS-UNAM. Apartado Postal 20. Pabellón Aguascalientes. México.

RESUMEN

En los programas de fitomejoramiento es importante el vigor de la semilla y de la plántula para asegurar la germinación, emergencia, y desarrollo inicial de la planta. El objetivo de este estudio fue determinar el tipo de herencia de caracteres relacionados con el vigor de la plántula de maíz y de la planta adulta, así como correlacionar el vigor inicial de plántula con los caracteres de la planta adulta. Con este fin se usaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE) y efectos recíprocos (ER) obtenidos de la evaluación de seis líneas endogámicas de maíz tropical y sus cruza directas y recíprocas en un diseño dialélico. Los 30 híbridos resultantes se evaluaron en Tepalcingo, Morelos, e Iguala, Guerrero, en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluó el porcentaje de emergencia, vigor inicial, índice de vigor (I), altura de plántula, días de la siembra al 50% de las floraciones masculina y femenina, número de hojas debajo de la mazorca, número total de hojas y altura de planta. La variación atribuible a ACG, ACE y ER fue significativa ($p \leq 0.01$) para todos los caracteres evaluados, aunque en menor grado para ACE y ER. La varianza de dominancia predominó en caracteres de plántula, y no en caracteres de planta adulta, donde la varianza aditiva fue mayor. Las líneas CML 254 y CML 411 (plántula) y la línea CML 399 (planta adulta) mostraron una alta ACG. Los efectos recíprocos mostraron que las líneas CML 254 y CML 396, como progenitores femeninos, produjeron híbridos con buen vigor inicial de plántula, y buen desarrollo de planta adulta. Las regresiones de ER del vigor inicial fueron significativas para los ER del porcentaje de emergencia ($R^2=0.53$), índice de vigor I ($R^2=0.62$), altura de plántula ($R^2=0.55$), hojas debajo de la mazorca ($R^2=0.40$) y número total de hojas ($R^2=0.26$). No hubo asociación entre el vigor inicial y los caracteres de planta adulta.

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, heredabilidad, varianzas genéticas.

Recibido: Mayo, 2006. Aprobado: Marzo, 2007.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 425-433. 2007.

ABSTRACT

In plant breeding programs seed and seedling vigor are important to assure germination, emergence and initial development of the plant. This study was conducted to determine inheritance type of traits related to maize seedling and adult plant vigor and to correlate initial seedling vigor with adult plant traits. To this end, we used the effects of general combinatory aptitude (ACG), specific combinatory aptitude (ACE) and reciprocal effects (ER) obtained from the evaluation of six inbred lines of tropical maize and their direct and reciprocal crosses in a diallelic design. The 30 resulting hybrids were evaluated in Tepalcingo, Morelos, and Iguala, Guerrero, in a randomized complete block experimental design with three replications. We evaluated emergence percentage, initial vigor, vigor index (I), seedling height, days from sowing to 50% masculine and feminine flowering, number of leaves below the ear, total leaf number and plant height. The variation attributable to ACG, ACE and ER was significant ($p \leq 0.01$) for all of the traits evaluated, although to a lesser degree for ACE and ER. The dominance variance predominated in seedling traits but not in adult plant traits, for which additive variance was greater. The lines CML 254 and CML 411 (seedling) and CML 399 (adult plant) exhibited high ACG. The reciprocal effects showed that the CML 254 and CML 396 lines, as female parents, produced hybrids with good initial seedling vigor and good development of the adult plant. ER regressions of initial vigor were significant for the ER emergence percentage ($R^2=0.53$), vigor index I ($R^2=0.62$) seedling height ($R^2=0.55$), leaves below the ear ($R^2=0.40$) and total leaf number ($R^2=0.26$). There was no association between initial vigor and adult plant traits.

Key words: *Zea mays* L., combinatory aptitude, heritability, genetic variances.

INTRODUCTION

The development of high yield maize (*Zea mays* L.) varieties is a long and costly process, although time and costs can be cut using methods

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alto rendimiento es un proceso largo y costoso, aunque se puede reducir usando métodos que consideran el comportamiento de los genotipos durante el crecimiento inicial (Ajala y Fakorede, 1988).

Bajo condiciones favorables, es posible obtener plántulas vigorosas de híbridos de maíz que resultan en un alto rendimiento al combinar adecuadamente genotipos y prácticas agronómicas (Fakorede y Agbana, 1983). Existe variación genética del vigor de plántulas de maíz (Fakorede y Ojo, 1981). Además, se ha observado que la varianza de dominancia determina caracteres de calidad fisiológica de la semilla, y la varianza aditiva caracteres de tipo agronómico, aunque no se ha encontrado asociación entre variables de calidad de semilla y agronómicas. Asimismo, se ha observado que la calidad inicial de la semilla no influye en el desarrollo del cultivo (Antuna *et al.*, 2003).

Estudios previos indican que las correlaciones entre los caracteres de plántula y planta adulta son inconsistentes. Mock y Bakri (1976) reportaron una baja correlación entre el vigor de la plántula medido como porcentaje de emergencia, el índice de emergencia y materia seca de plántula 42 d después de la siembra, con el rendimiento de grano en la población de maíz BSSS 13. Mock y Skrdla (1978) obtuvieron resultados similares entre vigor de la plántula y los días a floración femenina. Además, Mock y McNeill (1979) encontraron bajos coeficientes de correlación entre caracteres de vigor de plántula con altura y número de hojas de planta juvenil, días a la floración femenina, altura de planta adulta y rendimiento de grano en 34 líneas endogámicas de maíz; pero la acumulación de materia seca inicial afectó positiva y significativamente ($R^2=0.48$) el rendimiento de grano.

Con selección recurrente en maíz, la correlación entre el vigor de plántula y rendimiento de grano puede ser positiva, negativa o cero (Fakorede y Ayoola, 1980); aunque en algunos casos la asociación entre tamaño de grano y crecimiento inicial de plántula es positiva (Hawkins y Cooper, 1979; Derieux *et al.*, 1989; Bockstaller y Girardin, 1994). En otros casos, aunque es significativo el efecto de tamaño de grano y el crecimiento de plántula durante el periodo heterotrófico (porcentaje de emergencia, altura de plántula, materia seca), éste desaparece antes de la antesis (Hawkins y Cooper, 1979).

Ajala y Fakorede (1988) reportaron el efecto de genes aditivos y no aditivos para el vigor inicial de plántula y rendimiento de grano en líneas de maíz con diferentes niveles de endogamia, y una correlación inconsistente entre caracteres de plántula y planta adulta.

that consider genotype behavior during initial growth (Ajala and Fakorede, 1988).

Under favorable conditions, it is possible to obtain vigorous seedlings from high-yielding maize hybrids that result from combining genotypes and agronomic practices adequately (Fakorede and Agbana, 1983). Genetic variation of maize seedling vigor exists (Fakorede and Ojo, 1981). Moreover, it has been observed that dominance variance determines physiological seed quality traits, while additive variance determines agronomic traits, although no association has been found between seed quality and agronomic variables. It has also been observed that initial seed quality has no influence on crop development (Antuna *et al.*, 2003).

Previous studies indicate that the correlations between seedling and adult plant traits are inconsistent. Mock and Bakri (1976) reported poor correlation between grain yield and seedling vigor, measured as emergence percentage, emergence index, and seedling dry matter 42 d after sowing, in the BSSS13 maize population. Mock and Skrdla (1978) obtained similar results between seedling vigor and days to feminine flowering. Also, Mock and McNeill (1979) reported that low coefficients resulted when seedling vigor traits were correlated with leaf height and number in a young plant, days to feminine flowering, adult plant height, and grain yield in 34 inbred maize lines, but initial accumulation of dry matter positively and significantly ($R^2=0.48$) affected grain yield.

With recurrent selection in maize, the correlation between seedling vigor and grain yield can be positive, negative or zero, (Fakorede and Ayoola, 1980); although, in some cases, the association between grain size and initial seedling growth is positive (Hawkins and Cooper, 1979; Derieux *et al.*, 1989; Bockstaller and Girardin, 1994). In other cases, although the effect of grain size and seedling growth during the heterotrophic period (emergence percentage, seedling height, dry matter) is positive, this disappears before anthesis (Hawkins and Cooper, 1979).

Ajala and Fakorede (1988) reported the effect of additive and non-additive genes for initial seedling vigor and grain yield in maize lines of different levels of inbreeding, and an inconsistent correlation between seedling and adult plant traits.

Seedling vigor in inbred maize lines is determined mainly by general combinatory aptitude (ACG), although specific combinatory (ACE) and reciprocal (ER) effects are also significant (Revilla *et al.*, 1999). ACG correlation between seedling and adult plant vigor traits is not consistent, while ER for grain weight are related to ER for initial vigor, final dry matter and days to masculine and feminine flowering. Besides,

El vigor de plántula en líneas endogámicas de maíz está determinado principalmente por los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), aunque los efectos de ACE y efectos recíprocos (ER) también son significativos (Revilla *et al.*, 1999). La correlación de ACG entre los caracteres de vigor de plántula y planta adulta no es consistente, mientras que los ER para peso de grano se relacionaron con los ER para vigor inicial, materia seca final y días a las floraciones masculina y femenina; además hay efecto del progenitor femenino en la formación de la semilla (Revilla *et al.*, 1999).

La hipótesis del estudio fue que el vigor de plántula de maíz está determinado por efecto de genes de dominancia; mientras que los caracteres de planta adulta por genes aditivos, y que no hay correlación entre esos caracteres. El objetivo de este trabajo fue determinar el tipo de herencia de caracteres relacionados con el vigor de la plántula de maíz y de la planta adulta, y correlacionar estos grupos de caracteres.

MATERIALES Y MÉTODOS

Seis líneas endogámicas ($F=1$) de maíz tropical: CML 307, CML 396, CML 407, CML 254, CML 399 y CML 411, derivadas del programa de mejoramiento del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) fueron cruzadas en forma directa y recíproca de acuerdo con el método III de Griffing (1956) en el ciclo Primavera-Verano de 2004, en Tlaltizapán, Morelos, obteniéndose 30 híbridos. Las 30 cruzas fueron evaluadas en Tepalcingo, Morelos, e Iguala, Guerrero. Tepalcingo se localiza entre $18^{\circ} 36' N$ y $98^{\circ} 51' O$, altitud de 1160 m, precipitación media anual de 911.5 mm, temperatura promedio de $21.5^{\circ} C$ y suelo migajón arcilloso. En esta localidad se usó riego rodado con sifones y la siembra se hizo el 17 de diciembre de 2004. Iguala, Guerrero, se ubica entre los $18^{\circ} 22' N$ y $99^{\circ} 31' O$, altitud de 750 m, clima cálido y semiseco, precipitación media anual de 1088 mm, temperatura promedio de $26.7^{\circ} C$ y suelo migajón arcilloso; en esta localidad el riego se aplicó por goteo y la siembra se hizo el 9 de enero de 2005. En las dos localidades el diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental fue de un surco de 5 m y 0.80 m de ancho, con 25 plantas separadas a 20 cm.

Se registraron los siguientes caracteres de vigor de plántula: porcentaje de emergencia (PE) 9 d después de la siembra (dds); longitud de la plántula (LPL) a 40 dds; vigor inicial a 40 dds, con la escala: 1=excelente y 5=pobre; el índice de vigor $I\ IVI=PE \times LPL$ (Kharb *et al.*, 1994). En una muestra de tres plantas por unidad experimental se determinaron los días de la siembra al 50% de las floraciones femenina (FF) y masculina (FM), la altura de planta (AP) en madurez fisiológica, medida desde la superficie del suelo hasta el punto de inserción de la hoja bandera, el número de hojas debajo de la mazorca (HBM) y el número total de hojas (HT).

Los análisis de variancia para calcular ACG, ACE, ER y EM se hicieron con un modelo de efectos aleatorios con el método III de

the female parent has an effect on seed formation (Revilla *et al.*, 1999).

The hypothesis of the study was that maize seedling vigor is determined by effect of dominance genes, while adult plant traits are determined by additive genes and that there is no correlation between these traits. The objective of this study was to determine the type of inheritance of traits related to maize seedling and adult plant vigor, and to correlate these groups of traits.

MATERIALS AND METHODS

Six inbred lines ($F=1$) of tropical maize, CML 307, CML 396, CML 407, CML 254, CML 399, AND CML 411, derived from the breeding program of the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) were crossed directly and reciprocally following method III of Griffing (1956) in the 2004 spring-summer crop cycle in Tlaltizapán, Morelos, resulting in 30 hybrids. The 30 crosses were evaluated in Tepalcingo, Morelos, and Iguala, Guerrero. Tepalcingo is located between $18^{\circ} 36' N$ and $98^{\circ} 51' W$, at 1160 m altitude, with 911.5 mm mean annual precipitation, $21.5^{\circ} C$ average temperature and granular clay soil. In this site surface irrigation using syphons was applied, and maize was sown on December 17, 2004. Iguala, Guerrero, is located between $18^{\circ} 22' N$ and $99^{\circ} 31' W$, at 750 m altitude, with a hot semiarid climate, 1088 mm mean annual precipitation, $26.7^{\circ} C$ average temperature, and granular clay soil. In this site, drip irrigation was used and maize was sown on January 9, 2005. In the two sites the experimental design was randomized complete blocks with three replications. The experimental plot was one 5 m by 0.80 m row, with 25 plants 20 cm apart.

The following seedling vigor traits were recorded: emergence percentage (PE) 9 d after sowing (das); seedling length (LPL) 40 das, initial vigor. A scale 1=excellent and 5=poor was used, and the vigor index $I\ IVI=PE \times LPL$ (Kharb *et al.*, 1994). In a sample of three plants per experimental unit, the days from sowing to 50% feminine (FF) and masculine (FM), plant height (AP) at physiological maturity measured from soil surface to flag leaf insertion point, number of leaves below the ear (HBM) and total number of leaves (HT).

The analyses of variance to calculate ACG, ACE, ER and EM were performed with a model of random effects with the Griffing method III (1956), model II, using the Diallel-SAS method III software (Zhang and Kang, 2003). With the mean squares, variance of ACG (V_{acg}) and ACE (V_{ace}) to estimate the components of additive variance ($\sigma_A^2=2V_{acg}$), of dominance ($\sigma_D^2=V_{ace}$), of reciprocal effects ($\sigma_R^2=V_R$)

and heritability were calculated $\left(h^2 = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 F} \right)$.

Regression coefficients between the estimators of the ACG, ACE and ER effects of the adult plant and initial vigor were calculated. The statistical analysis was performed with SAS (1989) software.

Griffing (1956), modelo II, usando el programa Diallel-SAS method III (Zhang y Kang, 2003). Con los cuadrados medios se calcularon las varianzas de la ACG (V_{acg}) y ACE (V_{ace}) para estimar los componentes de varianza aditiva ($\sigma_A^2=2V_{acg}$), de dominancia ($\sigma_D^2=V_{ace}$),

de efectos recíprocos ($\sigma_R^2=V_R$) y heredabilidad $\left(h^2 = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 F} \right)$.

Se calcularon los coeficientes de regresión entre los estimadores de los efectos de ACG, ACE y ER de planta adulta con los estimadores del vigor inicial. El análisis estadístico se hizo con el programa SAS (1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación atribuible a ACG, ACE y ER fue significativa ($p \leq 0.01$) para todos los caracteres medidos (Cuadro 1). La interacción ACG×Localidad fue significativa ($p \leq 0.05$) para PE FF y ($p \leq 0.01$) para FM, y la interacción ACE×Localidad para IVI, FM ($p \leq 0.05$) y AP ($p \leq 0.01$), y la interacción ER×Localidad para PE, FM, FF ($p \leq 0.05$) y para HBM, HT y AP fue ($p \leq 0.01$). La interacción de localidades sólo afectó PE e IVI en plántula; mientras que en la planta adulta el efecto por localidad se expresó en un mayor número de caracteres. La significancia estadística de la ACG y ACE indica que hay efectos genéticos aditivos y dominantes involucrados en el vigor de la plántula, como lo indican Ajala y Fakorede (1988) en maíz y Cho y Scott (2000) en soya (*Glycine max* L.). Los cuadrados medios de los efectos de ACG fueron mayores que los de ACE para PE, IVI, APL, FM, FF, HBM, HT y AP (Cuadro 1), lo que resalta la importancia de los efectos aditivos en los caracteres de plántula y planta adulta (Baker, 1978). Los efectos no aditivos fueron el componente más importante para el vigor inicial de plántula.

RESULTS AND DISCUSSION

Variation attributable to ACG, ACE and ER was significant ($p \leq 0.01$) for all of the traits measured (Table 1). The interaction ACG×Site was significant ($p \leq 0.05$) for PE FF and ($p \leq 0.01$) for FM, and the interaction ACE×Site for IVI, FM ($p \leq 0.05$) and AP ($p \leq 0.01$), and the interaction ER X Site for PE, FM, FF ($p \leq 0.05$) and for HBM, HT and AP was ($p \leq 0.01$). The interaction of sites affected only PE and IVI in seedling, while in the adult plant the effect by site was expressed in a larger number of traits. The statistical significance of ACG and ACE indicate that there are additive and dominance genetic effects involved in seedling vigor, as Ajala and Fakorede (1988) have found in maize and Cho and Scott (2000) in soybean (*Glycine max* L.). The mean square of the ACG effects were higher than those of ACE for PE, IVI, APL, FM, FF, HBM, HT, and AP (Table 1) underlining the importance of additive effects in seedling and adult plant traits (Baker, 1978). The non-additive effects were the most important component for initial seedling vigor. Similar results have been obtained for germination percentage, establishment percentage and seedling vigor in red beets (Sadeghian and Khodaii, 1998), soybean (Cho and Scott, 2000) and maize (Antuna *et al.*, 2003). Moreno-Gonzalez (1988) found no ACE effects for initial seedling vigor in maize. Ajala and Fakorede (1988), Revilla *et al.* (1999) and Antuna *et al.* (2003) state that additive effects are important in selecting seedling vigor traits; in our study, however, initial seedling vigor was determined by non-additive effects.

Dominance variance was more important for PE, VI and IVI, while in APL additive variance predominated (Table 2). This could be due to non-

Cuadro 1. Cuadrados medios para aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), efectos recíprocos (ER) y maternos (EM) y la interacción por localidad para caracteres de vigor de plántula y de planta adulta entre líneas endogámicas de maíz.

Table 1. Mean squares for general combinatorial aptitude (ACG) and specific combinatorial aptitude (ACE), reciprocal (ER) and maternal effects (EM), and interaction by site for seedling and adult plant vigor traits between inbred maize lines.

Componente	GL	PE (%)	VI (1-5)	IVI	APL (cm)	FM		HT		AP (cm)
						(d)	(n)			
ACG	5	707.8 [‡]	787.2 [‡]	7691446.9 [‡]	692.3 [‡]	131.4 [‡]	120.77**	2.18**	4.33**	2557.05**
ACE	9	529.0 [‡]	827.8 [‡]	5557636.2 [‡]	108.2 [‡]	26.2 [‡]	30.90**	0.75**	1.64**	2096.10**
ER	15	549.7 [‡]	304.5 [‡]	3405540.7 [‡]	86.2 [‡]	13.2 [‡]	15.65**	0.68**	1.88**	1485.89**
EM	5	587.2 [‡]	291.5 [†]	2993163.8 [‡]	124.2 [‡]	22.6 [‡]	30.97**	0.61 [†]	1.40*	785.53**
ACG×Loc	5	181.4 [†]	159.5	566821.0	17.7	18.9 [‡]	15.82 [†]	0.28	0.39	357.29
ACE×Loc	9	89.9	161.8	1709895.4 [†]	67.8	10.5 [†]	5.43	0.25	0.63	494.28**
ER×Loc	15	151.1 [†]	102.3	746577.3	40.2	8.7 [†]	9.23 [†]	0.67**	1.41**	741.03**
Error	116	70.4	117.5	730906.0	35.0	4.1	4.70	0.23	0.46	175.42

[†], [‡] significativo $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; GL, PE, VI, IVI, APL, FM, FF, HBM, HT y AP=grados de libertad, porcentaje de emergencia, vigor inicial, índice de vigor I, altura de plántula, días al 50% de las floraciones masculina y femenina, número de hojas debajo de la mazorca, número total de hojas y altura de planta.

Resultados similares a los anteriores se han obtenido para porcentaje de germinación, porcentaje de establecimiento y vigor de plántula en betabel (Sadeghian y Khodaii, 1998), soya (Cho y Scott, 2000) y maíz (Antuna *et al.*, 2003). Moreno-Gonzalez (1988) no encontró efectos de ACE para el vigor inicial de plántula en maíz. Ajala y Fakorede, (1988), Revilla *et al.* (1999) y Antuna *et al.* (2003) señalan que los efectos aditivos son importantes para seleccionar caracteres de vigor de plántula; sin embargo, en el presente estudio el vigor inicial de plántula estuvo determinado por efectos no aditivos.

La varianza de dominancia fue más importante para PE, VI y IVI; mientras que en la APL predominó la varianza aditiva (Cuadro 2). Lo anterior pudo deberse a factores no aditivos que al interactuar produjeron un mayor vigor inicial de la plántula. Estos resultados coinciden con los reportados por Dollinger (1985) y Antuna *et al.* (2003) en caracteres de calidad fisiológica de la semilla estudiados en otros materiales de maíz. Contrario a lo observado en los caracteres de plántula, la varianza aditiva fue más importante para los caracteres de planta adulta que los efectos no aditivos, excepto para AP. Estos resultados coinciden con los observados por Hallauer y Miranda (1988) y Antuna *et al.* (2003). Con base en los criterios de clasificación de Hallauer y Miranda (1988), los valores de heredabilidad (h^2) de los caracteres de plántula fueron bajos a intermedios, excepto para APL que fue alto; los caracteres de planta adulta fueron intermedios a altos y sólo fueron bajos para AP.

Las líneas con mejor ACG para caracteres de plántula fueron CML 254 para PE y CML 411 para VI, IVI y APL. Para caracteres de planta adulta la línea CML 254 presentó la mayor ACG para HBM,

additive factors that produced greater initial seedling vigor in the interaction. These results agree with those reported by Dollinger (1985) and Antuna *et al.* (2003) in seed physiological quality traits studied in other maize materials. In contrast with what was observed in seedling traits, additive variance was more important for adult plant traits than non-additive effects, except for AP. These results coincide with those found by Hallauer and Miranda (1988) and Antuna *et al.* (2003). Based on the classification criteria of Hallauer and Miranda (1988), the heritability (h^2) values of seedling traits were low to intermediate, except for APL, which was high. Adult plant traits were intermediate to high and were low only for AP.

The lines with the best ACG for seedling traits were CML 254 for PE and CML 411 for VI, IVI and APL. For adult plant traits, the CML 254 line exhibited the highest ACG for HBM, CML 411 was the earliest, CML 399 had the highest ACG for HT and AP, and CML 407 showed the lowest ACG (Table 3).

The highest ACE values for seedling traits were for the crosses CML 307×CML 396, CML 399×CML 411 and CML 407×CML 254, while the highest of adult plant was for the CML 396×CML 254 cross for HBM, and the CML 307×CML 396 cross for HT and AP. The CML 396×CML 411 and CML 254×CML 399 crosses were the earliest (data not shown).

These results are in agreement with those of Gómez *et al.* (1988) and Reyes *et al.* (2004), who stated that the single cross will have a high ACE value if at least one of its lines has a high ACG. However, in our study, lines with high ACG did not always produce good hybrid combinations for seedling and adult plant traits. Also, Revilla *et al.* (1999) indicated that there is greater genetic advance when hybrid combinations are

Cuadro 2. Varianzas fenotípica total, del error, recíproca, dominante, aditiva y heredabilidad de los caracteres de plántula y planta adulta en genotipos de maíz tropical, en dos localidades.

Table 2. Total phenotypic, error, reciprocal, dominant, additive and heritability variances of seedling and adult plant traits of tropical maize genotypes at two sites.

Caracter	Varianza					h^2
	Fenotípica	Error	Recíproca	Dominante	Aditiva	
PE (%)	658.9	70.8	239.4	229.0	119.6	0.18
VI (1-5)	674.1	117.5	93.5	355.1	108.0	0.16
IVI	5801108.5	730906.0	1337317.0	2413365.1	1319520.4	0.23
APL(cm)	245.3	35.0	25.5	36.5	148.1	0.60
FM (d)	49.8	4.1	4.6	11.0	30.1	0.60
FF (d)	50.2	4.7	5.5	13.1	26.9	0.53
HBM(n)	1.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.42
HT (n)	2.7	0.5	0.7	0.6	0.9	0.33
AP (cm)	2190.1	175.4	655.2	960.3	399.2	0.18

PE, VI, IVI, APL, FM, FF, HBM, HT y AP = porcentaje de emergencia, vigor inicial, índice de vigor I, altura de plántula, días al 50% de las floraciones masculina y femenina, número de hojas abajo de la mazorca, número total de hojas y altura de planta.

CML 411 fue la más precoz, CML 399 tuvo la mayor ACG para HT y AP, y CML 407 mostró la menor ACG (Cuadro 3).

Los valores más altos de ACE para los caracteres de plántula fueron para las cruzas CML 307×CML 396, CML 399×CML 411 y CML 407×CML 254, y el más alto de planta adulta fue para la crusa CML 396 ×CML 254 para HBM, y la crusa CML 307×CML 396 para HT y AP. Las cruzas CML 396×CML 411 y CML 254×CML 399 fueron las más precoces (datos no mostrados).

Estos resultados concuerdan con los de Gómez *et al.* (1988) y Reyes *et al.* (2004), quienes señalaron que la crusa simple tendrá alto valor de ACE si al menos una de sus líneas es de alta ACG. Sin embargo, en este estudio no necesariamente las líneas con alta ACG produjeron buenas combinaciones híbridas para caracteres de plántula y de planta adulta. También, Revilla *et al.* (1999) indicaron un mayor avance genético al seleccionar combinaciones de híbridos específicos para vigor inicial de plántula en maíz, que seleccionando líneas con base sólo en efectos de ACG.

El análisis de ER para vigor inicial de plántula indica que la línea CML 254, usada como progenitor femenino, produjo híbridos con los valores más altos de PE, VI y IVI, seguida por la línea CML 396; mientras que la línea CML 407 produjo híbridos con el más bajo valor de estos caracteres (Cuadro 4). La línea CML 396 produjo las mejores combinaciones híbridas para HBM, HT y AP en planta adulta, y fue la más precoz.

Los efectos de ACG del vigor inicial (VI) sólo se relacionaron positiva y significativamente con los estimadores de ACG de IVI (Cuadro 5). Los efectos de ACE del vigor inicial se relacionaron con los de ACE para PE, IVI, APL, HT y AP. Los coeficientes de regresión de los ER para vigor inicial de plántula (VI) fueron significativos para PE, IVI, APL, HBM y HT.

specifically selected for initial maize seedling vigor than when lines based only on ACG effects are selected.

The ER analysis for initial seedling vigor indicates that the CML 254 line, used as feminine parent, produced hybrids with higher values of PE, VI and IVI, followed by CML 396, while line CML 407 produced hybrids with lower values of these traits (Table 4). The CML 396 line produced the best hybrid combinations for HBM, HT and AP in adult plant and was the earliest.

The initial vigor (VI) effects of ACG were related positively and significantly to only ACG estimators of IVI (Table 5). The ACE effects of initial vigor were associated with those of ACE for PE, IVI, APL, HT and AP. The regression coefficients of ER for initial seedling vigor (VI) were significant for PE, IVI, APL, HBM and HT. The linear regression coefficients were negative for days to 50% masculine and feminine flowering and positive for PE, IVI and APL (Table 5). It can be deduced, therefore, that the use of female parents with high initial seedling vigor (VI) for hybrid seed production produces hybrids with high IVI, PE and APL. These results coincide partially with those obtained by Bockstaller and Girardin (1994) and Revilla *et al.* (1999), who related seed size and weight with seedling and adult plant traits in maize. The association between seedling and adult plant traits was low (Table 5) as has been reported previously in maize (Fakorede and Ayoola, 1980; Fakorede and Agbana, 1983; Ajala and Facorede, 1988).

CONCLUSIONS

In all of the traits evaluated ACG effects predominated, except for initial vigor, which was determined by ACE effects. In seedling traits dominance variance predominated, while in adult plant additive variance predominated. Seedling trait heritability was lower than that of adult plant.

Cuadro 3. Aptitud combinatoria general para los caracteres vigor de plántula y planta adulta entre líneas endogámicas de maíz.
Table 3. General combinatory aptitude for seedling and adult plant vigor traits between inbred maize lines.

Línea (CML)	PE (%)	VI (1-5)	IVI	APL (cm)	FM		HBM	HT	AP (cm)
					(d)				
307	-0.68	-3.27 [†]	-368.2 [†]	-5.0 [†]	2.0 [†]	2.1 [†]	0.1 [†]	0.3 [†]	2.4
396	-2.3 [†]	-2.69	-219.4	-1.05	0.34	0.27	-0.2 [†]	-0.3 [†]	-5.3 [†]
407	-5.4 [†]	-2.66	-423.7 [†]	-0.41	-0.40	-0.7 [†]	-0.2 [†]	-0.3 [†]	1.6
254	5.9 [†]	4.35 [†]	361.2 [†]	-0.72	0.22	-0.10	0.1 [†]	-0.02	0.9
399	1.32	-1.65	105.9	0.65	0.7 [†]	0.9 [†]	0.09	0.3 [†]	10.8 [†]
411	1.20	5.93 [†]	544.1 [†]	6.6 [†]	-2.9 [†]	-2.5 [†]	0.12	-0.06	-10.5 [†]

[†] Excede dos veces el error estándar. PE, VI, IVI, APL, FM, FF, HBM, HT y AP = grados de libertad, porcentaje de emergencia, vigor inicial, índice de vigor I, altura de plántula, días al 50% de las floraciones masculina y femenina, número de hojas bajo la mazorca, número total de hojas y altura de planta.

Cuadro 4. Efectos recíprocos[†] para caracteres de vigor de plántula y de planta adulta entre líneas endogámicas de maíz tropical.
Table 4. Reciprocal effects[†] for seedling and adult plant vigor traits between inbred tropical maize lines.

	Caracter	CML 396	CML 407	CML 254	CML 399	CML 411
CML307	PE (%)	1.23	3.79	-17.6 [‡]	7.1 [‡]	-1.08
	VI (1-5)	-5.58	4.32	-5.18	5.38	-3.16
	IVI	-35.47	503.3 [‡]	-1188.6 [‡]	677.2 [‡]	-288.31
	APL (cm)	-3.05	3.8 [‡]	-2.86	2.50	-4.36 [‡]
	FM (d)	0.16	-0.33	-0.16	-0.25	0.41
	FF (d)	0.50	-0.41	0.33	-0.41	0.33
	HBM (n)	0.02	0.24	-0.3 [‡]	0.2 [‡]	-0.39 [‡]
	HT (n)	0.00	0.4 [‡]	-0.38	0.27	-0.44 [‡]
	AP (cm)	7.59 [‡]	9.1 [‡]	-23.5 [‡]	9.2 [‡]	-10.41 [‡]
	CML396	PE (%)		-4.29	5.4	-1.24
VI (1-5)			-4.12	8.6 [‡]	1.15	-0.10
IVI			-360.82	678.1 [‡]	53.13	355.21
APL (cm)			-2.06	4.0 [‡]	3.36	-0.38
FM (d)			0.75	-1.8 [‡]	-1.2 [‡]	-1.25 [‡]
FF (d)			0.33	-1.5 [‡]	-1.5	-1.08
HBM (n)			-0.3 [‡]	0.3 [‡]	0.22	-0.30 [‡]
HT (n)			-0.5 [‡]	0.6 [‡]	0.6 [‡]	-0.36
AP (cm)			-12.8 [‡]	14.1 [‡]	9.7 [‡]	-3.55
CML407		PE (%)			-6.1 [‡]	-7.6 [‡]
	VI (1-5)			-5.48	-1.05	4.32
	IVI			-446.6	-603.6 [‡]	-163.88
	APL (cm)			-1.80	0.47	-0.83
	FM (d)			0.83	-1.5 [‡]	0.58
	FF (d)			1.00	-1.5 [‡]	1.08
	HBM (n)			-0.11	-0.08	-0.11
	HT (n)			-0.11	-0.38	-0.11
	AP (cm)			1.02	-14.0 [‡]	-0.88
	CML254	PE (%)				11.0 [‡]
VI (1-5)					8.7 [‡]	6.64 [‡]
IVI					837.9 [‡]	176.50
APL (cm)					2.02	-0.02
FM (d)					1.00	1.41 [‡]
FF (d)					-1.3 [‡]	1.91 [‡]
HBM (n)					-0.02	0.00
HT (n)					-0.16	-0.16
AP (cm)					-1.60	-10.97 [‡]
CML399		PE (%)				
	VI (1-5)					-1.05
	IVI					-67.39
	APL (cm)					-3.14
	FM (d)					1.58 [‡]
	FF (d)					1.75 [‡]
	HBM (n)					-0.22
	HT (n)					-0.38
	AP (cm)					-13.02 [‡]

[†] Efectos recíprocos=[(i x j) - (j x i)]/2.

[‡] Excede dos veces el error estándar. PE, VI, IVI, APL, FM, FF, HBM, HT y AP = porcentaje de emergencia, vigor inicial, índice de vigor I, altura de plántula, días al 50% de las floraciones masculina y femenina, número de hojas abajo de la mazorca, número total de hojas y altura de planta.

Los coeficientes de regresión lineal fueron negativos para los días al 50% de las floraciones masculina y femenina, y positivos para PE, IVI y APL (Cuadro 5). Se puede deducir, por tanto, que el uso de progenitores hembra con alto vigor inicial de plántula (VI) para

ACG of initial vigor was related statistically only with ACG of vigor index I, while reciprocal effects of initial vigor were associated with reciprocal effects of emergence percentages, vigor index I, seedling height, leaves below the ear, and total leaf number. This

producción de semilla híbrida produce híbridos con altos IVI, PE y APL. Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Bockstaller y Girardin (1994) y Revilla *et al.* (1999), quienes relacionaron el tamaño y el peso de la semilla con caracteres de plántula y planta adulta en maíz. La asociación entre caracteres de plántula y de planta adulta fue baja (Cuadro 5) como se ha reportado en maíz (Fakorede y Ayoola 1980; Fakorede y Agbana 1983; Ajala y Fakorede 1988).

CONCLUSIONES

En todos los caracteres evaluados predominaron los efectos de ACG, excepto para vigor inicial que estuvo determinado por efectos de ACE. En caracteres de plántula predominó la varianza de dominancia, mientras que en los de planta adulta predominó la aditiva. La heredabilidad de los caracteres de plántula fue menor que la de los de planta adulta.

La ACG del vigor inicial sólo se relacionó estadísticamente con la ACG del índice de vigor I, mientras que los efectos recíprocos del vigor inicial se relacionaron con los efectos recíprocos del porcentaje de emergencia, índice de vigor I, altura de plántula, hojas debajo de la mazorca y número total de hojas. Lo anterior sugiere que líneas endogámicas con buen vigor inicial de plántula tienen potencial para usarlos como progenitores femeninos en la producción de semilla, con el fin de generar semilla vigorosa.

LITERATURA CITADA

Ajala, S. O., and M. A. B. Fakorede. 1988. Inheritance of seedling vigor and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33: 121-129.

Antuna G, O., F. S. 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1): 11-17.

Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.

Bockstaller, C., and P. Girardin. 1994. Effects of seed size on maize growth from emergence to silking. *Maydica* 39: 213-218.

Cho, Y., and R. A. Scott. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112: 145-150.

Derieux, M., R. Boardu, J. B. Durburq, and H. Boizard. 1989. La crise de croissance de la plantule de maïs à basse température. *Agronomie* 9: 207-212.

Dollinger, E. J. 1985. Effects of visible recessive alleles on vigor characteristics in a maize hybrid. *Crop Sci.* 25: 819-821.

Fakorede, M. A. B., and A. O. Ayoola. 1980. Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize. *Maydica* 25: 135-147.

Fakorede, M. A. B., and D. K. Ojo. 1981. Variability for seedling vigor in maize. *Exptal. Agric.* 17: 195-201.

Fakorede, M. A. B., and S. B. Agbana. 1983. Heterosis effects and association of seedling vigor with mature plant characteristics and grain yield in some tropical maize cultivars. *Maydica* 38: 327-338.

Cuadro 5. Coeficientes de determinación y de regresión de los estimadores de ACG, ACE y ER de los caracteres de plántula y planta adulta, sobre los estimadores de ACG, ACE y ER para vigor inicial, en líneas endogámicas de maíz tropical.

Table 5. Determination and regression coefficients of the ACG, ACE and ER estimators of seedling and adult plant traits over ACG, ACE and ER estimators for initial vigor in inbred tropical maize lines.

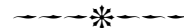
Carácter	ACG		ACE		ER	
	R ² †	b	R ²	b	R ²	b
PE (%)	0.47	0.65	0.75 [§]	0.61	0.53 [§]	0.99
IVI	0.86 [§]	92.22	0.78 [§]	64.65	0.62 [§]	85.01
APL(cm)	0.52	0.68	0.67 [§]	0.25	0.55 [§]	0.38
FM (d)	0.52	-0.29	0.11	-0.05	0.01	-0.02
FF (d)	0.51	-0.28	0.06	-0.03	0.08	-0.06
HBM(n)	0.28	0.02	0.23	0.01	0.40 [¶]	0.02
HT (n)	0.00	-0.00	0.30 [¶]	0.02	0.26 [¶]	0.03
AP (cm)	0.25	-0.91	0.52 [§]	1.02	0.19	0.97

† R²=coeficiente de determinación, b=coeficiente de regresión lineal. PE, IVI, APL, FM, FF, HBM, HT y AP=porcentaje de emergencia, índice de vigor I, altura de plántula, días al 50% de las floraciones masculina y femenina, número de hojas abajo de la mazorca, número total de hojas y altura de planta.

¶, §significativo a 0.05 y 0.01.

suggests that inbred lines with good initial seedling vigor have potential for use as feminine parents in seed production aiming to generate vigorous seed.

—End of the English version—



Gómez M, N., R. B. Valdivia, y A. H. Mejía. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferente programa de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11: 103-120.

Griffing, B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Biol. Sci.* 9: 463-493.

Hallauer, A. R., and J. B. Miranda. 1988. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Second Ed. Iowa State University Press. Ames, USA. 468 p.

Hawkins, R. C., and P. J. M. Cooper. 1979. Effects of seed size on growth and yield of maize in the Kenya highlands. *Exptal. Agric.* 15: 73-79.

Kharb, R. P. S., B. P. S. Lather, and D. P. Deswal. 1994. Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Sci. and Technol.* 22: 461-466.

Mock, J. J., and A. A. Bakri. 1976. Recurrent selection for cold tolerance in maize. *Crop Sci.* 16: 230-233.

Mock, J. J., and W. H. Skrdla. 1978. Evaluation of maize plant introductions for cold tolerance. *Euphytica* 27: 27-32.

Mock, J. J., and M. J. McNeill. 1979. Cold tolerance of maize inbred lines adapted to various latitudes in North America. *Crop Sci.* 19: 239-242.

Moreno-Gonzalez, J. 1988. Diallel crossing system in sets of flint and dent inbred lines of maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 33:37-49.

- Revilla, P., A. Butrón, R. A. Malval, and A. Ordás. 1999. Relationships among kernel weight, early vigor, and growth in maize. *Crop Sci.* 39:654-658.
- Reyes D, L., J. D. G Molina, M. A. R. Oropeza, y E. C. P. Moreno. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1): 49-56.
- Sadeghian, S. Y., and H. Khodaii. 1998. Diallel cross analysis of seed germination traits in sugar beet. *Euphytica* 103: 259-263.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT user's guide. Version 6, 4th ed., Vols. 1 and 2. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Zhan, Y., and M. S. Kang. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods: Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticists and Breeders. Kang, M. S. (ed). FPP. New York, London, Oxford. pp: 1-19.