

EFECTOS DE APTITUD COMBINATORIA EN HÍBRIDOS DE CALABACITA TIPO GREY ZUCCHINI

César Sánchez-Hernández¹; Clemente Villanueva-Verduzco²; Jaime Sahagún-Castellanos²; Juan Martínez-Solís²; Juan Porfirio Legaria-Solano²; Miguel Ángel Sánchez-Hernández³

¹ Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan. Av. Tecnológico s/n Col. Los Ángeles
C. P. 95400 Cosamaloapan, Ver. MÉXICO. Tel: 01(288) 8823100.
Correo-e: cesarsh79@hotmail.com († Autor para correspondencia).

² Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco.
C. P. 56230. Chapingo, Estado de México. Tel. y Fax: 01 (595) 952-1500.

³ Universidad del Papaloapan. Av. Ferrocarril Hidalgo s/n. Ciudad Universitaria Loma Bonita, Oaxaca, México.
C. P. 68400 Tel. y Fax: 01(281) 872-2239.

RESUMEN

Se evaluaron ocho híbridos comerciales de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) y sus 56 cruzas posibles con el Método I Modelo II de Griffing (1956) en Chapingo, México durante 2007 y 2008, con el propósito de identificar las mejores combinaciones entre los híbridos comerciales con base en sus efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), para iniciar a corto plazo un programa de mejoramiento y la obtención de variedades sintéticas de calabacita. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad experimental consistió en dos surcos de 5 m, separados a 0.8 m y 0.2 m entre plantas (62,500 plantas·ha⁻¹). Los resultados del análisis combinado indicaron que en la población teórica obtenida de la combinación de las cruza F₁ entre híbridos comerciales de calabacita, fueron más importantes los efectos de dominancia para los principales componentes del rendimiento: frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea, y los aditivos para número de días a floración femenina. Es factible mejorar la población por selección hacia precocidad. De las seis mejores cruza de calabacita para rendimiento de verdura, tres podrían utilizarse sólo como híbridos (ACG < ACE): Huracán x Lolita (52.16 t·ha⁻¹); Lolita x Tala (50.14 t·ha⁻¹) y Tala x Terminator (47.72 t·ha⁻¹); dos como variedades sintéticas (ACG > ACE): WA9041 x Lolita (51.45 t·ha⁻¹) y Grey Zucchini M+M x Terminator (50.00 t·ha⁻¹) y una como población base para mejoramiento por selección recurrente, ya que tanto los efectos aditivos como los de dominancia son importantes (ACG = ACE) en la cruza: Lolita x Terminator (44.09 t·ha⁻¹).

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Cucurbita pepo* L., aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica, efectos maternos, efectos recíprocos.

COMBINING ABILITY EFFECTS IN SUMMER SQUASH

HYBRIDS TYPE GREY ZUCCHINI

ABSTRACT

Eight commercial hybrids of summer squashes type 'Grey Zucchini' (*Cucurbita pepo* L.) and their 56 possible crosses of a diallel using the Method I Model II of Griffing (1956) were evaluated in Chapingo Mexico, during 2007 and 2008; to identify the best combinations among the commercial hybrids according to the general combining ability (ACG) and specific combining ability (ACE) effects; and to begin a genetic improvement program to get squash synthetic varieties. The experimental design used was a randomized complete block with three replications. The experimental plot consisted in two rows of 5 meters, with row separation of 0.80 m and 0.2 m between plants (62,500 plants·ha⁻¹). The combined analysis showed that dominance effects for the main components of the yield: fruit per plant, yield per plant and hectare were more important, and number of days to female flowering additive effects were important and make it feasible to improve precocity. From the best six crosses for squash fruit yield, three of them could only be used as hybrids (ACG < ACE): Hurakan x Lolita (52.16 t·ha⁻¹); Lolita x Tala (50.14 t·ha⁻¹); Tala x Terminator (47.72 t·ha⁻¹); two as synthetic varieties (ACG > ACE): WA9041 x Lolita (51.45 t·ha⁻¹); Grey Zucchini M+M x Terminator (50.00 t·ha⁻¹) and one as a base population to be improved by recurrent selection, since the additive and of dominance effects are important (ACG = ACE): Lolita x Terminator (44.09 t·ha⁻¹).

ADDITIONAL KEY WORDS: *Cucurbita pepo* L., general combining ability, specific combining ability, maternal effects, reciprocal effects.

INTRODUCCIÓN

La caracterización de los progenitores por su aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), permite establecer las estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y el método de mejoramiento genético más adecuado (Hallauer y Miranda, 1981), tanto en especies autógamas como alógamas.

Se denominan cruza dialélicas a las cruza simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de p líneas progenitoras (Griffing 1956a, b). Los diseños uno y tres de Griffing (1956a, b) sirven para estimar aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos (EM), efectos recíprocos (ER) y, en el caso en que se considere que los híbridos son una muestra aleatoria, componentes de varianza. Todo esto es importante para la toma de decisiones en programas de mejoramiento genético vegetal.

La aptitud combinatoria es la capacidad que tienen un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez, 1988). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. Existen varios diseños de análisis dialélico para estimar ACG y ACE, pero el más utilizado es el de Griffing (1956 b), en sus cuatro métodos: 1) progenitores y sus cruza F_1 directas y recíprocas; 2) progenitores y cruza F_1 directas; 3) cruza F_1 directas y recíprocas; y 4) cruza F_1 directas.

La progenie de las cruza (F_1) produce información sobre los progenitores al medir sobre ella los caracteres de interés. Los resultados se interpretan mediante un modelo lineal que incorpora ACG, ACE, EM y ER, según el método de Griffing empleado; lo cual permite la interpretación en términos de parámetros genéticos.

La reducción de los costos de inversión por compra de semilla es una estrategia sustentable que impactaría a la producción de calabacita e incrementaría los márgenes de ganancia para el productor, puesto que algunos híbridos comerciales podrían ser usados exitosa y ventajosamente en programas de mejoramiento genético vegetal para la formación de variedades sintéticas cuyos progenitores sean híbridos de cruza simple sobresaliente. Estos progenitores, idealmente deberían ser tales que: 1) no contribuyan con niveles importantes de endogamia; 2) la endogamia generada no esté fuertemente asociada con una fuerte depresión endogámica, y 3) contribuyan a que el rendimiento se mantenga dentro de niveles aceptables (Sahagún y Villanueva, 1997); por tal razón, los objetivos del presente estudio fueron: a) identificar híbridos comerciales con alto valor genético con base en los efectos de ACG y ACE, para producir sintéticos y variedades de

INTRODUCTION

The parents descriptions by general combining ability (ACG) and specific combining ability (ACE), allows to establish the appropriate strategies and techniques to estimate genetic parameters and the most suitable plant breeding method (Hallauer and Miranda, 1981), both self-pollinated and pollinated species.

Diallel crosses are known as the single crosses that can be obtained between the elements of a basic set of p parent lines (Griffing 1956a, b). The designs one and three of Griffing (1956a, b) are useful to estimate general combining ability (ACG), specific combining ability (ACE), maternal effects (EM), reciprocal effects (ER) and, variance components if it is thought that the hybrids are a random sample. All this is important for the decision making process in plant breeding programs.

The combining ability is the faculty that one individual or a population has to combine with others, measured by their parents (Márquez, 19988). However, the combining ability should be established not only in one individual of the population but in several, in order to select the ones that show the highest combining ability. There are many diallel analysis designs to estimate ACG and ACE, but the most used is the Griffing procedure (1956 b) in all four methods: 1) parents and their direct and reciprocal crosses F_1 ; 2) parents and direct crosses F_1 ; 3) direct and reciprocal crosses F_1 ; and 4) direct crosses F_1 .

The parent of the crosses (F_1) produces information about the parents, when measuring on it the characters of interest. The results are interpreted by a linear method adding ACG, ACE, EM and ER, according to the Griffing's method used; allowing the interpretation in terms of genetic parameters.

The reduction of the investments costs by purchase of seed is a sustainable strategy that would impact the production of summer squash and would increase the profit margin for the producer, as some commercial hybrids could successfully and profitably be used in plant breeding programs for the formation of synthetic varieties whose parents are hybrids of an important single cross. Ideally, the parents should be such to: 1) do not contribute with significant levels of inbreeding; 2) generate inbreeding that is not strongly associated with a strong inbreeding depression, and 3) contribute so the yield stays within acceptable levels (Sahagún and Villanueva, 1997); therefore, the objectives of this study were: a) to identify commercial hybrids with high genetic value based on the effects of ACG and ACE, to produce synthetics and high yield varieties and b) to evaluate the crosses productive potential among commercial hybrids.

MATERIALS AND METHODS

Parents

Eight commercial hybrids of summer squash type

alto rendimiento y b) evaluar el potencial productivo de las cruzas entre híbridos comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Progenitores

Se emplearon ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini' de diferentes casas comerciales (Cuadro 1). Con ellos se obtuvieron 56 cruzas (28 directas y 28 recíprocas) posibles en la primavera de 2006. De cada craza se aseguró al menos la polinización de 10 plantas del progenitor femenino.

CUADRO 1. Híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini' utilizados como progenitores de cruzas dialélicas. Chapingo, México. 2007.

TABLE 1. Summer squash commercial hybrids type 'Grey Zucchini' used as parents of the diallel crosses. Chapingo, México. 2007.

| Progenitor | Híbrido | Casa comercial | Origen |
|------------|-------------------|----------------|---------------|
| 1 | Tala | Seminis | CHILE, 2003 |
| 2 | Grey Zucchini | Seminis | USA, 2005 |
| 3 | Grey Zucchini M+M | Molina Seed | USA, 2003 |
| 4 | Lolita | Seminis | USA, 2005 |
| 5 | Hurakán | Harris Moran | USA, 2005 |
| 6 | WA9041 | Western Seed | HOLANDA, 2005 |
| 7 | Terminator | Seminis | USA, 2004 |
| 8 | Dolarzini | Caloro | USA, 2005 |

Evaluación experimental

Las cruzas y los progenitores se evaluaron en dos ciclos en 2007 y 2008 en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. En 2007 la siembra se realizó el 15 de abril, y en 2008 el 20 de abril de forma directa; se depositaron dos semillas por mata para posteriormente ralea a una planta, bajo condiciones de riego. Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental fue una parcela de dos surcos de 5 m de largo separados a 0.8 m con una separación entre plantas de 0.2 m (62,500 plantas·ha⁻¹). La fertilización total fue de 120-80-00, aplicando 60-80-00 al momento de la siembra, y el resto de la fertilización nitrogenada se aplicó en el aporque. Las malezas se controlaron manualmente. Los caracteres estudiados fueron: peso de fruto por corte (PFR, g) con base en todos los frutos por corte de cada unidad experimental con una balanza granataria; número de frutos por corte (NFR) de un total de 17; largo y ancho de fruto (LFR, AFR, cm) de una muestra aleatoria de cinco frutos medidos con un vernier; días a floración masculina y

'Grey Zucchini' of different commercial suppliers were used (table 1). From this 56 possible crosses (28 direct and 28 reciprocal) were obtained in the spring of 2006. From each cross it was took at least the pollination of 10 plants of the female parent.

Experimental evaluation

The crosses and the parents were evaluated during two cycles in the experimental facility of the Universidad Autónoma Chapingo in 2007 and 2008. In 2007 sowing was directly carried out on April 15, and in 2008 on April 20; two seeds per plant were placed and later thinned to a plant, under irrigation conditions. A complete-block randomized experimental design was used with three replicates, where the experimental unit was a plot of two rows of 5 m, with a separation of 0.8 m and 0.2 m between plants (62,500 plants·ha⁻¹). The total fertilization was 120-80-00, providing 60-80-00 at the moment of sowing, and the rest of the nitrogenous fertilization provided at hilling. The weeds were controlled manually. The studied characters were: fruit weight per harvest (PFR, g) based on all the fruits per harvest of each experimental unit which were weighted with a grain scale; fruits number per harvest (NFR) of a total of 17; fruit length and width (LFR, AFR, cm) from a random sample of five fruits measured with a vernier; days to male and female flowering (DFM y DFF) were registered when there were a 50% of plants with open flowers; yield per plant per harvest (g·plant⁻¹), which was obtained as the ratio of the fruit weight per harvest of a total of 17 and the number of plants per experimental unit and yield per hectare (t·ha⁻¹).

Genetic design

The Method I Model II of Griffing (1956 b) was used, including the parents and the direct and reciprocal crosses, which linear model of combined analysis of localities, according to Montesinos *et al.* (2007), is: $Y_{ijkl} = \mu + \pi l + \tau_{ij} + \delta k(l) + (\pi\tau)_{ijl} + e_{ijkl}$ where Y_{ijkl} is the phenotypical value observed from the cross (i, j) in block k in year l ; μ is the overall average; πl is the effect of year l ; $\delta k(l)$ is the effect of block k in year l ; $(\pi\tau)_{ijl}$ is the effect of the cross interaction (i, j) with year l ; τ_{ij} is the effect of the cross (i, j) and is equal to: $\tau_{ij} = g_i + g_j + s_{ij} + m_i - m_j + r_{ij}$ where g_i is the effect of ACG of parent i ; g_j is the effect of ACG of parent j ; s_{ij} is the effect of ACE of the cross (i, j); m_i is the maternal effect of parent i ; m_j is the maternal effect of parent j ; r_{ij} is the reciprocal effect of the cross (i, j); e_{ijkl} is the random effect of the error corresponding to the observation (i, j, k, l).

According to the grouping criterion proposed by Serrano and Mendoza (1990), the best parents to create a base population for improvement per selection, will be those with higher effects from AGC.

The comparison criterion of the crosses F1 was based on the genotypic values, so there are three situations: 1) in crosses with ACG = $g_i + g_j > ACE$ is expected no to show a significant inbreeding depression in future generations

femenina (DFM y DFF), registrados cuando existía un 50 % de plantas con flores abiertas; rendimiento por planta por corte ($g \cdot planta^{-1}$), el cual se obtuvo como el cociente del peso de frutos por corte de un total de 17 entre el número de plantas por unidad experimental y rendimiento por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$).

Diseño genético

Se empleó el Método I Modelo II de Griffing (1956 b), que incluye los progenitores y las cruzas directas y recíprocas, cuyo modelo lineal de análisis combinado de localidades, de acuerdo con Montesinos *et al.* (2007), es: $Y_{ijkl} = \mu + \pi_l + \tau_{ij} + \delta_{k(l)} + (\pi\tau)_{ijl} + e_{ijkl}$ donde Y_{ijkl} es el valor fenotípico observado de la craza (i, j) dentro del bloque k en el año l ; μ es la media general; π_l es el efecto del año l ; $\delta_{k(l)}$ es el efecto del bloque k en el año l ; $(\pi\tau)_{ijl}$ es el efecto de la interacción de la craza (i, j) con el año l ; τ_{ij} es el efecto de la craza (i, j) y es igual a: $\tau_{ij} = g_i + g_j + s_{ij} + m_i - m_j + r_{ij}$; donde g_i es el efecto de la ACG del progenitor i ; g_j es el efecto de la ACG del progenitor j ; s_{ij} es el efecto de la ACE de la craza (i, j); m_i es el efecto materno del progenitor i ; m_j es el efecto materno del progenitor j ; r_{ij} es el efecto recíproco de la craza (i, j); e_{ijkl} es el efecto aleatorio del error correspondiente a la observación (i, j, k, l).

De acuerdo con el criterio de agrupamiento propuesto por Serrano y Mendoza (1990), los mejores progenitores para formar una población base para mejoramiento por selección, serán aquellos con mayores efectos de ACG. El criterio de comparación de las cruzas F_1 se basó en sus valores genotípicos, de modo que aparecen tres situaciones: 1) en cruzas con $ACG = g_i + g_j > ACE$ se espera que no presenten depresión endogámica significativa en generaciones avanzadas ($F_n, n > 1$), pudiendo utilizarse como variedades sintéticas cuando éstas sean de alto rendimiento; 2) con $ACG < ACE$, las cruzas mostrarían cambios aleatorios en su rendimiento en F_n , ya que los efectos específicos son de mayor magnitud que los aditivos en la expresión de rendimiento; así, de ser una craza rendidora sólo deberá utilizarse como craza y no como sintético, y 3) cuando $ACG = ACE$, ambos tipos de acción génica (aditividad y dominancia) son importantes por lo que la depresión endogámica en F_n se espera que sea reducida, pudiendo usarse la craza como variedad sintética y como población base para selección recurrente.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS versión 9.0 para microcomputadora. Se utilizó el algoritmo propuesto por Montesinos *et al.* (2007) para el análisis de varianza combinado por ambientes (Cuadro 2) (Martínez, 1983) del diseño I de Griffing. La prueba de significancia de los efectos principales (ACG, ACE, EM, ER) e interacciones (AmbxACG, AmbxACE, AmbxEM, AmbxER) se realizó mediante las pruebas de F que presenta Martínez (1983) en el análisis de varianza combinado del diseño I de Griffing.

($F_n, n > 1$), able to be used as synthetic varieties when they show high yield; 2) with $ACG < ACE$, the crosses would show random changes in the yield in F_n , since the specific effects have higher magnitude than the additives referring to the yield; so, if it is a productive cross it may only be used as a cross and not as synthetic, and 3) when $ACG = ACE$, both types of genetic action (additivity and dominance) are important so it will be expected that the inbreeding depression in F_n will be reduced, and the cross could be used as synthetic variety and as base population for recurrent selection.

Statistical analysis

The statistical analysis was carried out with the program SAS version 9.0 for microcomputers. The algorithm proposed by Montesinos *et al.* (2007) was used for the analysis of variance combined by environments (Table 2) (Martínez, 1983) of the Griffing's design I. The significance test of the main effects (ACG, ACE, EM, ER) and interactions (AmbxACG, AmbxACE, AmbxEM, AmbxER) were made through the F test presented by Martínez (1983) in the combined analysis of variance of the Griffing's design I.

Components of genetic variance

In the estimation of the variance components with Method I Model II of Griffing (random effects in case it is been considered that the hybrids are a sample of an hybrid population), it was assumed that the parents are single cross hybrids formed by unrelated lines and with inbreeding coefficients identical to the unit, therefore the variance components of general combining ability (σ_g^2) and the specific combining ability (σ_s^2) of the reference population as factor of random effects, have the following equivalence in terms of the covariance [Cov] of half brothers families (MH) and brothers (HC) (Cockerham, 1954 and Kempthorne, 1957):

$$\sigma_{ACG}^2 = \text{Cov MH}; \sigma_{ACE}^2 = \text{Cov HC} - 2 \text{Cov MH}.$$

The last equation has the following equivalences in terms of additive genetic variance (σ_A^2) and dominance genetic variance (σ_D^2):

$$\text{Cov MH} = ((1 + F)/4) \sigma_A^2; \text{Cov HC} = ((1 + F)/2) \sigma_A^2 + ((1 + F)/2) \sigma_D^2; \text{assuming (in this case) that } F=1 \text{ the Cov MH} = 1/2 \sigma_A^2 \text{ and Cov HC} = \sigma_A^2 + \sigma_D^2.$$

Finally, the variance components in terms of genetic variance are: $\sigma_g^2 = 1/2 \sigma_A^2$. Therefore $\sigma_A^2 = 2\sigma_{ACG}^2$; $\sigma_s^2 = \text{Cov HC} - 2 \text{Cov MH}$ and $\sigma_s^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 - 2(1/2\sigma_A^2)$ so $\sigma_D^2 = \sigma_{ACE}^2$.

Based in the analysis of combined variance and from the expected mean squares (Table 2), it is demonstrated that:

CUADRO 2. Análisis de varianza del diseño dialélico, Método I Modelo II de Griffing (Martínez, 1983).
TABLE 2. Analysis of Variance of diallel design, Method I Model II of Griffing (Martínez, 1983).

| F.V. | G.L. | CM | ECM |
|-----------------|---------------------------|-----|--|
| Ambientes (A) | a-1 | | |
| Rep:A | a(r-1) | | |
| Cruzas | p ² -1 | | |
| ACG | p-1 | M1 | $\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2)\sigma_{sa}^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2)l\sigma_s^2 + 2rp\sigma_{ga}^2 + 2rpl\sigma_g^2$ |
| ACE | p(p-1)/2 | M2 | $\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2)\sigma_{sa}^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2)l\sigma_s^2$ |
| EM | p-1 | M3 | $\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2rl\sigma_r^2 + 2rp\sigma_{ma}^2 + 2rpl\sigma_m^2$ |
| ER | (p-1)(p-2)/2 | M4 | $\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2rl\sigma_r^2$ |
| Cruzas x Amb | (a-1)(p ² -1) | M5 | $\sigma_e^2 + r\sigma_{ca}^2$ |
| Amb x ACG | (a-1)(p-1) | M6 | $\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2)\sigma_{sa}^2 + 2r\sigma_{ga}^2$ |
| Amb x ACE | (a-1)p(p-1)/2 | M7 | $\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2)\sigma_{sa}^2$ |
| Amb x EM | (a-1)(p-1) | M8 | $\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2rp\sigma_{ma}^2$ |
| Amb x ER | (a-1)(p-1)(p-2)/2 | M9 | $\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2$ |
| Error combinado | a(p ² -1)(r-1) | M10 | σ_e^2 |
| Total | ap ² r-1 | | |

F.V. = Fuentes de variación; G. L. = Grados de libertad; C.M = Cuadrados Medios; ECM = Esperanzas de Cuadrados Medios.

F.V. = source of variation; G. L. = degrees of freedom; C.M = mean squares; ECM= expected mean squares

Componentes de varianza genética

En la estimación de los componentes de varianza con el Método I Modelo II de Griffing (efectos aleatorios en el caso en que se considere que los híbridos son una muestra de una población de híbridos), se asumió que los progenitores son híbridos de cruce simple formados por líneas no emparentadas y con coeficientes de endogamia igual a la unidad, por lo que los componentes de varianza de aptitud combinatoria general (σ_g^2) y de aptitud combinatoria específica (σ_s^2) de la población de referencia como factores de efectos aleatorios, tienen las siguientes equivalencias en términos de covarianza [Cov] de familias de medios hermanos (MH) y hermanos completos (HC) (Cockerham, 1954 y Kempthorne, 1957):

$$\sigma_{ACG}^2 = \text{Cov MH}; \sigma_{ACE}^2 = \text{Cov HC} - 2 \text{Cov MH}.$$

Lo anterior tiene, a su vez, las siguientes equivalencias en términos de varianza genética aditiva (σ_A^2) y varianza genética de dominancia (σ_D^2):

$$\text{Cov MH} = ((1 + F)/4) \sigma_A^2; \text{Cov HC} = ((1 + F)/2) \sigma_A^2 + ((1 + F)/2) \sigma_D^2; \text{asumiendo (en nuestro caso) que } F=1 \text{ la Cov MH} = 1/2 \sigma_A^2 \text{ y Cov HC} = \sigma_A^2 + \sigma_D^2.$$

Finalmente, los componentes de varianza en términos de varianzas genéticas son: $\sigma_g^2 = 1/2 \sigma_A^2$ por lo tanto la $\sigma_A^2 = 2\sigma_{ACG}^2$; la $\sigma_s^2 = \text{Cov HC} - 2 \text{Cov MH}$ y $\sigma_s^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 - 2(1/2\sigma_A^2)$ de esta manera la $\sigma_D^2 = \sigma_{ACE}^2$.

Con base en el análisis de varianza combinado y a partir de las esperanzas de los cuadrados medios (Cuadro 2), se demuestra que:

$$\sigma_A^2 = 2 \hat{\sigma}_{ACG}^2 \text{ where:}$$

$$\hat{\sigma}_{ACG}^2 = \frac{1}{2rp(1+l)} [M1 - M2 + M6 - M7];$$

$$\sigma_D^2 = \hat{\sigma}_{ACE}^2$$

$$\text{where: } \hat{\sigma}_{ACE}^2 = \frac{p^2}{2rl(p^2 - p + 1)} [M2 - M7];$$

$$\hat{\sigma}_{EM}^2 = \frac{1}{2rp(2+l)} [M3 - M4 + M8 - M9];$$

$$\hat{\sigma}_{ER}^2 = \frac{1}{2rl} [M4 - M9]; \hat{\sigma}_{AMB \times CRUZAS}^2 = \frac{1}{r} [M5 - M10];$$

$$\hat{\sigma}_{AMB \times ACG}^2 = \frac{1}{2r} [M6 - M7]; \hat{\sigma}_{AMB \times ACE}^2 = \frac{p^2}{2rp(p^2 - p + 1)} [M7 - M10];$$

$$\hat{\sigma}_{AMB \times EM}^2 = \frac{1}{2rp} [M8 - M9]; \hat{\sigma}_{AMB \times ER}^2 = \frac{1}{2r} [M9 - M10].$$

From the additive genetic variance ($\hat{\sigma}_A^2 = 2 \hat{\sigma}_{ACG}^2$) and the dominance genetic variance ($\hat{\sigma}_D^2 = \hat{\sigma}_{ACE}^2$), the heritability values were narrowly calculated.

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_F^2} \times 100$$

for the seven characters, where ($\hat{\sigma}_F^2$) is the phenotypic variance, obtained from the components of the estimated variances ($\sigma_{ACG}^2, \sigma_{ACE}^2, \sigma_{EM}^2, \sigma_{ER}^2, \sigma_{AMB \times ACG}^2, \sigma_{AMB \times ACE}^2, \sigma_{AMB \times EM}^2, \sigma_{AMB \times ER}^2, \sigma_{EC}^2$) by the model of combined analysis of Montesinos' *et al.* (2007) as following:

$\sigma^2_A = 2\hat{\sigma}^2_{ACG}$ donde:

$$\hat{\sigma}^2_{ACG} = \frac{1}{2rp(1+l)} [M1 - M2 + M6 - M7];$$

$$\sigma^2_D = \hat{\sigma}^2_{ACE}$$

$$\text{donde: } \hat{\sigma}^2_{ACE} = \frac{p^2}{2rl(p^2 - p + 1)} [M2 - M7];$$

$$\hat{\sigma}^2_{EM} = \frac{1}{2rp(2+l)} [M3 - M4 + M8 - M9];$$

$$\hat{\sigma}^2_{ER} = \frac{1}{2rl} [M4 - M9]; \hat{\sigma}^2_{AMBxCRUZAS} = \frac{1}{r} [M5 - M10];$$

$$\hat{\sigma}^2_{AMBxACG} = \frac{1}{2r} [M6 - M7]; \hat{\sigma}^2_{AMBxACE} = \frac{p^2}{2rp(p^2 - p + 1)} [M7 - M10];$$

$$\hat{\sigma}^2_{AMBxEM} = \frac{1}{2rp} [M8 - M9]; \hat{\sigma}^2_{AMBxER} = \frac{1}{2r} [M9 - M10].$$

A partir de la varianza genética aditiva ($\hat{\sigma}^2_A = 2\hat{\sigma}^2_{ACG}$) y la varianza genética de dominancia ($\hat{\sigma}^2_D = \hat{\sigma}^2_{ACE}$), se calcularon los valores de heredabilidad en sentido estrecho.

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}^2_A}{\hat{\sigma}^2_F} \times 100$$

para los siete caracteres, donde ($\hat{\sigma}^2_F$) es la varianza fenotípica, la cual se obtuvo a partir de los componentes de varianza estimadas ($\sigma^2_{ACG}, \sigma^2_{ACE}, \sigma^2_{EM}, \sigma^2_{ER}, \sigma^2_{AMBxACG}, \sigma^2_{AMBxACE}, \sigma^2_{AMBxEM}, \sigma^2_{AMBxER}, \sigma^2_{EC}$) por el modelo del análisis combinado de Montesinos *et al.* (2007) de la siguiente forma:

$$\hat{\sigma}^2_F = 2\hat{\sigma}^2_{ACG} + \hat{\sigma}^2_{ACE} + 2\hat{\sigma}^2_{EM} + \hat{\sigma}^2_{ER} + \hat{\sigma}^2_{AMBxACG}$$

$$+ \hat{\sigma}^2_{AMBxACE} + \hat{\sigma}^2_{AMBxEM} + \hat{\sigma}^2_{AMBxER} + \hat{\sigma}^2_{EC}$$

y el grado promedio de dominancia

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{2\hat{\sigma}^2_D}{\hat{\sigma}^2_A}} \text{ (Comstock y Robinson, 1952).}$$

Se realizó el cálculo de la proporción de los efectos de ACG, ACE, EM y ER. Éstos se calcularon con base en las sumas de cuadrados, con respecto a la proporción que ocupan cuando las cruzas se dividen en estos efectos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

Los cuadrados medios combinados por ambientes y los niveles de significancia para los caracteres: rendimiento por planta (RPP, g), número de frutos por planta (FPP), largo de fruto (LFR, cm), ancho de fruto (AFR, cm), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF) y rendimiento de calabacita para verdura por hectárea (REN, t·ha⁻¹) con el método I modelo II de Griffing, que se

$$\hat{\sigma}^2_F = 2\hat{\sigma}^2_{ACG} + \hat{\sigma}^2_{ACE} + 2\hat{\sigma}^2_{EM} + \hat{\sigma}^2_{ER} + \hat{\sigma}^2_{AMBxACG}$$

$$+ \hat{\sigma}^2_{AMBxACE} + \hat{\sigma}^2_{AMBxEM} + \hat{\sigma}^2_{AMBxER} + \hat{\sigma}^2_{EC}$$

and the averaged degree of dominance

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{2\hat{\sigma}^2_D}{\hat{\sigma}^2_A}} \text{ (Comstock and Robinson, 1952)}$$

The effects proportion of ACG, ACE, EM and ER were calculated. These were calculated based on the sum of the squares, according to the proportion employed when the crosses are divided in these effects.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of Variance

The mean squares combined by environments and the significance levels for the characters: yield per plant (RPP, g), fruits number per plant (FPP), fruit length (LFR, cm), fruit width (AFR, cm), days to male flowering (DFM), days to female flowering (DFF) and the yield of the vegetable summer squash per hectare (REN, t·ha⁻¹) with the Method I Model II of Griffing, that is presented in Table 3, it indicates that there were highly significant differences ($P \leq 0.01$) among crosses for all evaluated characters, which can be ascribed to the genetic differences presented by the parents because of the origin diversity. This makes possible to identify the early and late crosses, with bigger fruits (larger and wider) but most important with contrasting yield. The contribution to the yield variance per plant attributable to the crosses was made up of 42 % for the effects of ACG, 45 % no additives (ACE), 5 % maternal effects and 8 % reciprocal effects. The results regarding the effects of ACG and ACE show that both additive effects as not additives contribute evenly to the yield crosses. On the matter, Gutiérrez *et al.* (2002) found in maize that as the genetic divergence of the materials increases, also the difference between combining ability values increases, either for ACG or for ACE; or for both types of genetic action.

There were found bigger additive type effects (61.59 % for effects of ACG and 26.95 for ACE) fruit length; 72.67 % for ACG and 14.91 % for ACE, fruit width; 88.08% of ACG and 7.58 % of ACE, in days to male and female flowering the effects of ACG were 87.37 % and 7.83 % of ACE. On the other hand, the largest contribution to the variance of the number of fruits per plant referable to the crosses was mainly due to the dominance effects (ACE) = 52.26 %, beating the additive effects (ACG) = 29.16 %; this was likely due to the heterosis from the hybrid combinations among the parents.

There were highly significant differences ($P \leq 0.01$) of ACG among hybrid parents for LFR, AFR, DFM and DFF, but not for RPP and FPP. For specific combining ability there

presentan en el Cuadro 3, indican que hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre cruzas para todos los caracteres evaluados, lo cual se puede atribuir a la divergencia genética que presentan los progenitores por su diversidad de origen. Esto hace posible la identificación de cruzas precoces y tardías, con frutos más grandes (largos y anchos) y sobre todo con rendimiento contrastante. La contribución a la varianza del rendimiento por planta atribuible a las cruzas, estuvo constituida por 42 % para los efectos de ACG, 45 % no aditivos (ACE), 5 % efectos maternos y 8 % efectos recíprocos. Los resultados con respecto a los efectos de ACG y ACE, indican que tanto los efectos aditivos como los no aditivos contribuyen de manera equilibrada en las cruzas para rendimiento. Al respecto, Gutiérrez *et al.* (2002) encontró en maíz que a medida que la divergencia genética de los materiales se incrementa, aumenta también la diferencia entre los valores de Aptitud Combinatoria, ya sea para ACG o para ACE; o bien para los dos tipos de acción génica.

Se encontraron mayores efectos del tipo aditivo (61.59 % para efectos de ACG y 26.95 % para ACE) en largo de fruto; 72.67 y 14.91 % para ACG y ACE, respectivamente, en ancho de fruto; 88.08 y 7.58 % de ACG y ACE, respectivamente; en días a floración masculina y en días a floración femenina los efectos de ACG fueron 87.37 % y de ACE 7.83 %. Por otra parte, la mayor contribución a la varianza del número de frutos por planta atribuible a las cruzas se debió principalmente a los efectos de dominancia (ACE) = 52.26 %, superando a los efectos aditivos (ACG) = 29.16 %; lo anterior probablemente se debió a la heterosis resultante de las combinaciones híbridas entre los progenitores.

Existieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) de ACG entre híbridos progenitores para LFR, AFR, DFM y DFF, no así para RPP y FPP. En aptitud combinatoria específica existieron diferencias altamente significativas entre híbridos progenitores en RPP, FPP, LFR y REN, y no se encontraron diferencias en las variables AFR, DFM y DFF. Este comportamiento se atribuye a una baja acumulación aditiva de genes para rendimiento en los cruzamientos. No obstante, en algunas variables existieron efectos aditivos.

Los efectos maternos (EM) no fueron significativos (Cuadro 3), es decir, los caracteres evaluados están influidos por genes de cromosomas localizados en el núcleo, y no en el citoplasma. Sin embargo, en los efectos recíprocos (ER) se encontraron diferencias significativas en RPP y REN, lo cual es indicativo de que hay cruzas en que los progenitores no se comportan de igual manera en la crusa directa que en la crusa recíproca, aunque estas diferencias no se pueden atribuir a los efectos maternos de cada progenitor, sino a efectos de interacción entre genes del núcleo y del citoplasma.

A pesar de la significancia de algunas interacciones (AmbxACE, AmbxEM y AmbxER), su contribución a

were highly significant differences among hybrid parents in RPP, FPP, LFR and REN, although differences were not found in variables AFR, DFM and DFF. This behavior is attributed to a low additive accumulation of genes for yield in crossover. In spite of, some variables showed some additive effects.

The maternal effects were not significant (Table 3), in other words, the evaluated characters are influenced by chromosome genes located in the nucleus, and not in the cytoplasm. However, in the reciprocal effects (ER) significant differences in RPP and REN were found, which indicates that there are crosses where the parents don't have the same behavior in direct than in the reciprocal crosses, although these differences can't be attributed to the maternal effects of each parent, but to interaction effects between cytoplasm and nuclear genes.

Despite the significance of some interactions (AmbxACE, AmbxEM and AmbxER), their contribution to the observed phenotypic variance for the different characteristics was small compared with the contribution of the effects of ACG and ACE (Table 3).

Components of the genetic variance

In the theoretical population obtained from the recombinations of the crosses F1 among the parent commercial hybrids, was found that there are dominance and additive genetic variance.

The additive genetic variance was important in the characters: fruit length and width, and days to male and female flowering, so it is feasible to improve them by recurrent selection, taking advantage of the presented averaged heritability values (42.11, 49.78, 53.88 and 54.5 % respectively) while the fruits number per plant, yield per plant and per hectare were low (25.10, 10.95 and 25.48 %, respectively) (Table 4). The mentioned results are enhanced when analyzing the coefficients of additive genetic variation (CAV) and dominance genetic variation (CVD). It was observed that for fruit length and width, as well as for days to female and male flowering, the CVA was greater than CVD, this confirm the importance of the additive effects for these characters. However, for fruits per plant, yield per plant and per hectare which are the main components of the yield, the CVD was greater than CVA (Table 4). An important aspect of these two coefficients is that they are comparable between characters and thus the expected success in the selection can be predicted. So, the characters fruits per plant, yield per plant and per hectare showed a high genetic-additive variability; days to female and male flowering showed intermediate variability and fruit length and width showed minimum variability (Table 4).

The average degree of dominance (d) indicated overdominance in the characters RPP (1.6733), FPP (2.4600) and REN (1.6761); they can be improved by hybridization, as in theory the F1 would significantly exceed the dominant homozygous genotype. About this Hallauer

CUADRO 3. Cuadros medios del análisis de varianza combinado de cruzas dialélicas para siete caracteres en ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini'. Chapingo, México. 2007.**TABLE 3. Mean squares of the combined analysis of variance of diallel crosses for seven characters in eight summer squash hybrids 'Type Grey Zucchini'.**

| F.V. | G.L. | CUADRADOS MEDIOS | | | | | | |
|------------------------|------|------------------|---------|---------|--------|----------|----------|----------|
| | | RPP | FPP | LFR | AFR | DFM | DFF | REN |
| Ambientes (A) | 1 | 0.23 | 16.25 | 3.08** | 0.13* | 6.77 | 15.04 | 225.29 |
| Rep:A | 4 | 0.13 | 7.58 | 0.09 | 0.01 | 3.26 | 2.17 | 136.37 |
| Cruzas | 63 | 0.40** | 30.83** | 2.21** | 0.18** | 74.64** | 80.03** | 397.15** |
| ACG | 7 | 1.57 | 80.92 | 12.25** | 1.17** | 722.49** | 670.64** | 1533.07 |
| ACE | 28 | 0.41** | 36.25** | 1.34** | 0.06 | 9.22 | 8.45 | 398.30** |
| EM | 7 | 0.17 | 15.82 | 1.29 | 0.11 | 9.69 | 5.70 | 166.14 |
| ER | 21 | 0.09* | 11.91 | 0.33 | 0.03 | 3.52 | 3.38 | 93.98* |
| Cruzas x Amb | 63 | 0.05** | 8.99** | 0.42** | 0.04** | 6.61** | 7.04** | 48.03** |
| Amb x ACG | 7 | 0.06 | 6.55 | 0.18 | 0.06 | 7.42 | 9.29 | 62.07 |
| Amb x ACE | 28 | 0.04** | 6.27** | 0.25** | 0.04** | 6.96** | 6.90** | 47.84** |
| Amb x EM | 7 | 0.08 | 27.77** | 0.70 | 0.07 | 6.34** | 14.98** | 80.05 |
| Amb x ER | 21 | 0.03 | 7.16** | 0.62** | 0.03** | 13.52** | 3.83** | 32.95 |
| Error Combinado | 252 | 0.02 | 2.33 | 0.06 | 0.01 | 3.58 | 1.64 | 21.89 |
| Total | 383 | | | | | | | |
| Media | | 559.5 | 5.43 | 12.28 | 4.17 | 47.72 | 49.73 | 34.99 |
| C.V (%) | | 13.37 | 14.30 | 2.02 | 2.45 | 5.85 | 5.49 | 13.37 |

F.V. Fuentes de variación; G.L. Grados de libertad; ACG = Aptitud Combinatoria General; ACE = Aptitud Combinatoria Específica; EM = Efectos Maternos; ER Efectos recíprocos; RPP Rendimiento por planta; FPP = Frutos por planta; LFR = Largo de fruto; AFR = Ancho de fruto; DFF = Días a floración femenina; DFM = Días a floración masculina; REN = Rendimiento por hectárea; C.V. Coeficiente de variación (%); *, ** = Significancia estadística al 5 y 1 %, respectivamente.

F.V. source of variation; G.L. Degrees of freedom; ACG = General Combining Ability; ACE = Specific Combining Ability; EM = Maternal effects; ER Reciprocal effects; RPP Yield per plant; FPP = Fruits per plant; LFR Fruit length; AFR = Fruits width; DFF = Days to female flowering; DFM = Days to male flowering; REN = Yield per hectare; C.V. coefficient of variation (%); *, ** = Statistical significance at 5 and 1 %, respectively.

la varianza fenotípica observada para las diferentes características resultó pequeña en comparación con la contribución de los efectos de ACG y ACE (Cuadro 3).

Componentes de varianza genética

En la población teórica obtenida de la recombinación de las cruzas F_1 entre los híbridos comerciales progenitores, se encontró que existe varianza genética aditiva y de dominancia. La varianza genética aditiva resultó importante en los caracteres largo y ancho de fruto, y días a floración masculina y femenina, por lo que es factible mejorarlos por selección recurrente, aprovechando que presentan valores medios de heredabilidad (42.11, 49.78, 53.88 y 54.45 %, respectivamente); mientras que en número de frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea fueron bajos (25.10, 10.95 y 25.48 %, respectivamente) (Cuadro 4). Los resultados anteriores se reafirman al analizar los coeficientes de variación genética aditiva (CVA) y de dominancia (CVD). Se observó que para largo y ancho de fruto, así como para días a floración masculina y femenina, el CVA fue mayor que el CVD, lo que confirma la importancia de los efectos aditivos para estos caracteres. Sin embargo, para frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea que son los principales componentes del

and Miranda (1981) indicate that the higher values to the unit in the estimation of the average degree of dominance, provide information to exploit the heterosis, and that the biggest hybrid vigour comes from the presence in the heterozygous (F_1) of a bigger number of dominant genes than in the parents. Fruit length and width, and days to male and female flowering show partial dominance.

Parents' analysis

The effects of ACG of the commercial hybrids used as parents and the variance of the effects of ACE through the crosses by average environments are showed in Table 5.

Based in the effects of ACG for yield per plant and per hectare, in descending order, the best parents were: Terminator (RPP = 0.121 g·plant⁻¹) and REN = 3.788 t·ha⁻¹), Lolita (RPP = 0.113 g·plant⁻¹ and REN = 3.545 t·ha⁻¹) and WA9041 (RPP = 0.056 g·plant⁻¹ and REN = 1.765 t·ha⁻¹). It is important to emphasize the fact that parents Lolita and WA9041 had negative values of ACG for DFF (-1.812 and -2.250 days, respectively), this shows that the crosses are more precocious; on the other hand, Terminator showed positive values of ACG for DFF (3.843 days). The presence of positive effects from ACG in days to flowering is an adverse situation if it is expected to improve this character

rendimiento, el CVD fue mayor que el CVA (Cuadro 4). Un aspecto importante de estos dos coeficientes es que son comparables entre caracteres, y con ellos se puede predecir el éxito esperado en la selección. Así, los caracteres frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea mostraron alta variabilidad genético-aditiva; días a floración masculina y femenina mostraron variabilidad intermedia y largo y ancho de fruto mostraron la mínima variabilidad (Cuadro 4).

El grado promedio de dominancia (\bar{d}) indicó sobredominancia en los caracteres RPP (1.6733), FPP (2.4600) y REN (1.6761), mismos que pueden mejorarse por hibridación, ya que teóricamente la F_1 superaría significativamente al genotipo homocigoto dominante. Al respecto Hallauer y Miranda (1981) indican que los valores mayores a la unidad en la estimación del grado promedio de dominancia, proporcionan información para explotar la heterosis, y que el mayor vigor híbrido se debe a la presencia en el heterocigote (F_1) de un número mayor de genes dominantes que en los progenitores. El largo y ancho de fruto, días a floración masculina y femenina presentan dominancia parcial.

toward precociousness, because of those effects involve longer cycles. The worst parents were: seminis' Grey Zucchini (RPP = -0.102 g·plant⁻¹ and REN = -3.211 t·ha⁻¹) and Dolarzini (RPP = -0.068 g·plant⁻¹ and REN = -2.150 t·ha⁻¹), as the ACG effects.

Lolita and WA9041 showed positive effects from ACG for fruit length (0.285 and 0.324 cm, respectively) and negative effects for fruit width (-0.023 and 0.001 cm, respectively) (Table 5); these results reveal that these two parents produce longer than wide fruits.

Terminator had the first place, in descending order, in σ^2_{ACE} = 0.0697 in yield per plant and per hectare (σ^2_{ACE} = 68.0826) interpreted as low stability through their crosses; in the other hand Lolita had the fourth place (σ^2_{ACE} = 0.0269 in RPP and 26.2875 in REN) considered as average genetic stability through their crosses as WA9041 that had the fifth place (σ^2_{ACE} = 0.0246 in RPP and 24.0711 in REN) (Table 5).

The hybrids that appear to be the best parents, based on the magnitude of their positive effects of ACG, in decreasing order, were: Terminator, Lolita and WA9041. Of these hybrids the most consistent was WA9041 through its

CUADRO 4. Estimación de componentes de varianza en siete caracteres de cruces dialélicas de Calabacita. Chapingo, México. 2007.

TABLE 4. Estimation of variance components in seven diallel crosses characters of summer squash. Chapingo, México. 2007.

| Componente | RPP | FPP | LFR | AFR | DFM | DFF | REN |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| σ^2_{ACG} | 0.0120 | 0.4625 | 0.1144 | 0.0115 | 5.0496 | 4.8772 | 11.6722 |
| σ^2_{ACE} | 0.0336 | 2.8049 | 0.1030 | 0.0011 | 0.1612 | 0.1188 | 32.7920 |
| σ^2_{EM} | 0.0003 | 0.0000 | 0.0092 | 0.0004 | 0.1000 | 0.0281 | 0.2610 |
| σ^2_{ER} | 0.0052 | 0.3957 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 5.0859 |
| $\sigma^2_{AmbxACG}$ | 0.0003 | 0.0058 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0233 | 0.0000 | 0.2966 |
| $\sigma^2_{AmbxACE}$ | 0.0050 | 0.7370 | 0.0351 | 0.0061 | 0.1945 | 0.3202 | 4.8556 |
| σ^2_{AmbxEM} | 0.0010 | 0.4294 | 0.0016 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0201 | 0.9813 |
| σ^2_{AmbxER} | 0.0019 | 0.8052 | 0.0946 | 0.0034 | 0.1394 | 0.0000 | 1.8424 |
| σ^2_{EC} | 0.0224 | 2.3372 | 0.0618 | 0.0105 | 7.9243 | 7.6424 | 21.8963 |
| σ^2_A | 0.0240 | 0.9250 | 0.2288 | 0.0230 | 10.0992 | 9.7544 | 23.3444 |
| σ^2_D | 0.0336 | 2.8049 | 0.1030 | 0.0011 | 0.1612 | 0.1188 | 32.7920 |
| σ^2_A/σ^2_D | 0.7142 | 0.3297 | 2.2213 | 20.909 | 62.6501 | 82.108 | 0.7118 |
| CVA (%) | 27.745 | 17.679 | 3.8952 | 3.6281 | 6.6581 | 6.2803 | 13.8085 |
| CVD (%) | 32.783 | 30.786 | 2.6134 | 0.7934 | 0.8411 | 0.6930 | 16.3659 |
| h^2 | 0.2510 | 0.1095 | 0.4211 | 0.4978 | 0.5388 | 0.5445 | 0.2548 |
| \bar{d} | 1.6733 | 2.4600 | 0.9488 | 0.3092 | 0.1786 | 0.1560 | 1.6761 |

σ^2_{ACG} = Estimación de varianza de aptitud combinatoria general combinado; σ^2_{ACE} = Estimación de varianza de aptitud combinatoria específica combinado; σ^2_{EM} = Estimación de varianza de efectos maternos combinado; σ^2_{ER} = Estimación de varianza de efectos recíprocos combinado; $\sigma^2_{AmbxACG}$ = Estimación de varianza de Amb x ACG combinado; $\sigma^2_{AmbxACE}$ = Estimación de varianza de Amb x ACE combinado; σ^2_{AmbxEM} = Estimación de varianza de Amb x EM combinado; σ^2_{AmbxER} = Estimación de varianza de Amb x ER combinado; σ^2_{EC} = Estimación de la varianza del error combinado; σ^2_A = Varianza aditiva ($\sigma^2_A = 2\sigma^2_{ACG}$); σ^2_D = Varianza de dominancia ($\sigma^2_D = \sigma^2_{ACE}$); h^2 = Heredabilidad en sentido estricto; RPP = Rendimiento por planta (g·planta⁻¹); FPP = Frutos por planta; LFR = largo de fruto (cm); AFR = Ancho de fruto (cm); DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; REN = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹).

σ^2_{ACG} = Variance estimation of combined general combining ability; σ^2_{ACE} = Variance estimation of combined specific combining ability; σ^2_{EM} = Variance estimation of combined maternal effects; σ^2_{ER} = Variance estimation of combined reciprocal effects; $\sigma^2_{AmbxACG}$ = Variance estimation of Amb x ACG combined; $\sigma^2_{AmbxACE}$ = Variance estimation of Amb x ACE combined; σ^2_{AmbxEM} = Variance estimation of Amb x EM combined; σ^2_{AmbxER} = Variance estimation of Amb x ER combined; σ^2_{EC} = Variance estimation of the combined error; σ^2_A = Additive variance ($\sigma^2_A = 2\sigma^2_{ACG}$); σ^2_D = Dominance variance ($\sigma^2_D = \sigma^2_{ACE}$); h^2 = Narrow sense heritability; RPP = Yield per plant (g·planta⁻¹); FPP = Fruits per plant; LFR = Fruit length (cm); AFR = Fruit width (cm); DFM = Days to male flowering; DFF = Days to female flowering; REN = Yield per hectare (t·ha⁻¹).

Análisis de progenitores

Los efectos de ACG de los híbridos comerciales utilizados como progenitores y la varianza de los efectos de ACE a través de sus cruzas en promedio de ambientes, se presentan en el Cuadro 5.

Con base en los efectos de ACG para rendimiento por planta y por hectárea, los mejores progenitores fueron en orden decreciente: Terminator (RPP = 0.121 g·planta⁻¹) y REN = 3.788 t·ha⁻¹), Lolita (RPP = 0.113 g·planta⁻¹ y REN = 3.545 t·ha⁻¹) y WA9041 (RPP = 0.056 g·planta⁻¹ y REN = 1.765 t·ha⁻¹). Es importante resaltar el hecho de que los progenitores Lolita y WA9041 tuvieron valores negativos de ACG para DFF (-1.812 y -2.250 días, respectivamente), lo que indica que sus cruzas son más precoces; por su parte, Terminator presentó valores positivos de ACG para DFF (3.843 días). La existencia de efectos positivos de ACG en días a floración, es una situación desfavorable si se deseara mejorar dicho carácter hacia precocidad, porque tales efectos implican ciclos más tardíos. Los peores progenitores fueron: Grey Zucchini de seminis (RPP = -0.102 g·planta⁻¹ y REN = -3.211 t·ha⁻¹) y Dolarzini (RPP = -0.068 g·planta⁻¹ y REN = -2.150 t·ha⁻¹), según los efectos de ACG.

Lolita y WA9041 presentaron efectos positivos de ACG para largo de fruto (0.285 y 0.324 cm, respectivamente) y negativos para ancho de fruto (-0.023 y -0.001 cm, respectivamente) (Cuadro 5); dichos resultados indican que estos dos progenitores producen frutos más largos que anchos.

crosses; while the less consistent were Tala and Huracán, because of their ACE variance through the crosses in which they are involved (Table 5).

Crosses analysis

The most important crosses by the magnitude of the genotypic effects (ACG and ACE) for vegetable summer squash yield in average of environments are shown (Table 6).

The first six are analyzed in decreasing order for REN and are statistically similar: 1) (Huracán x Lolita) $i = 5, j = 4$ with ACG = 2.6505 < ACE = 11.2145 and with a REN = 52.16 t·ha⁻¹ in the direct cross and 48.87 t·ha⁻¹ in the reciprocal cross, then the cross may be use employing as female parent any of the two hybrids in question. ACE prevails, so it is only useful as cross, since inbred depression is expected in Fn.

2) (WA9041 x Lolita) $i = 6, j = 4$ with ACG = 5.3113 > ACE = 2.1637 and REN = 51.45 t·ha⁻¹, therefore it may directly be used as a free pollination variety without detriment of the yield in future generations (ACG > ACE).

3) (Lolita x Tala) $i = 4, j = 1$ with ACG = 2.3218 < ACE = 7.3529 and REN = 50.14 t·ha⁻¹, only useful as cross, because of ACE > ACG.

4) (Grey zucchini M+M x Terminator) $i = 3, j = 7$ with ACG = 2.1693 > ACE = -6.5370 and REN = 50.00 t·ha⁻¹; this cross may directly be used as a free pollination variety without detriment of the yield in future generations (ACG >

CUADRO 5. Análisis de los progenitores según su ACG y comportamiento genético a través de sus cruzas en promedio de ambientes. Chapingo, México. 2007.

TABLE 5. Parents' analysis according to their ACG and genetic behavior through their crosses in average environments. Chapingo, México. 2007.

| P | RPP (g·planta ⁻¹) | | FPP | | LFR (cm) | | AFR (cm) | | DFM | | DFF | | REN (t·ha ⁻¹) | |
|---|----------------------------------|--------------------|--------|--------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|---------------------------|--------------------|
| | ACG | σ ² ACE | ACG | σ ² ACE | ACG | σ ² ACE | ACG | σ ² ACE | ACG | σ ² ACE | ACG | σ ² ACE | ACG | σ ² ACE |
| 1 | -0.039 | 0.0343 | 0.029 | 3.8749 | -0.028 | 0.1732 | -0.121 | 0.0055 | -1.554 | 1.2542 | -1.437 | 1.2896 | -1.223 | 33.4764 |
| 2 | -0.102 | 0.0105 | -0.534 | 1.1969 | -0.411 | 0.1125 | -0.069 | 0.0059 | -0.304 | 0.0900 | -0.125 | 0.1799 | -3.211 | 10.3433 |
| 3 | -0.051 | 0.0114 | -0.244 | 0.4670 | -0.278 | 0.0271 | -0.049 | 0.0004 | 0.632 | 0.2079 | 0.593 | 0.2987 | -1.619 | 6.7365 |
| 4 | 0.113 | 0.0269 | 0.788 | 3.2922 | 0.285 | 0.0992 | -0.023 | 0.0018 | -1.804 | 0.5337 | -1.812 | 0.5722 | 3.545 | 26.2875 |
| 5 | -0.028 | 0.0460 | -0.383 | 3.6240 | -0.064 | 0.0850 | 0.125 | 0.0036 | 3.632 | 0.8056 | 3.562 | 0.8593 | -0.895 | 44.9017 |
| 6 | 0.056 | 0.0246 | 0.224 | 2.3880 | 0.324 | 0.1338 | -0.001 | 0.0027 | -2.210 | 0.4488 | -2.250 | 0.4501 | 1.765 | 24.0711 |
| 7 | 0.121 | 0.0697 | 0.571 | 5.0143 | 0.288 | 0.0616 | 0.187 | 0.0031 | 3.914 | 1.2545 | 3.843 | 1.3510 | 3.788 | 68.0826 |
| 8 | -0.068 | 0.0119 | -0.451 | 0.8137 | -0.116 | 0.0390 | -0.046 | 0.0011 | -2.304 | 0.6116 | -2.375 | 0.6737 | -2.150 | 11.6247 |

P: Progenitor; 1: Tala; 2: Grey zucchini (seminis); 3: Grey zucchini (Molina Seed); 4: Lolita; 5: Huracán; 6: WA9041; 7: Terminator; 8: Dolarzini, RPP: Rendimiento por planta (g·planta), FPP: Frutos por planta, LFR: Largo de fruto (cm), AFR: Ancho de fruto (cm), DFF: Días a floración femenina, DFM: Días a floración masculina, REN: Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹), ACG: Aptitud combinatoria general, σ²ACE: Varianza de Aptitud combinatoria específica en el conjunto de las cruzas en que participa el progenitor.

P: Parent; 1: Tala; 2: Grey zucchini (seminis); 3: Grey zucchini (Molina Seed); 4: Lolita; 5: Huracán; 6: WA9041; 7: Terminator; 8: Dolarzini, RPP: Yield per plant (g·plant), FPP: Fruti per plant, LFR: Fruit length (cm), AFR: Fruit width (cm), DFF: Days to female flowering, DFM: Days to male flowering, REN: Yield per hectare (t·ha⁻¹), ACG: General combining ability, σ²ACE: Variance of specific combining ability in the set of crosses in which the parent is involved

Terminator ocupó el primer lugar en orden decreciente en $\sigma^2_{ACE} = 0.0697$ en rendimiento por planta y por hectárea ($\sigma^2_{ACE} = 68.0826$), pudiendo interpretarse como de baja estabilidad genética a través de sus cruzas; por su parte, Lolita ocupó el cuarto lugar ($\sigma^2_{ACE} = 0.0269$ en RPP y 26.2875 en REN), considerándose como de estabilidad genética media a través de sus cruzas al igual que WA9041 que se ubicó en el quinto lugar ($\sigma^2_{ACE} = 0.0246$ en RPP y 24.0711 en REN) (Cuadro 5).

Los híbridos que resultaron ser los mejores progenitores con base en la magnitud de sus efectos positivos de ACG fueron, en orden decreciente, Terminator, Lolita y WA9041. De éstos, el más consistente a través de sus cruzas fue WA9041; mientras que los más inconsistentes fueron Tala y Huracán, por su varianza de ACE a través de las cruzas en que participan (Cuadro 5).

Análisis de cruzas

Se presentan las cruzas de mayor interés por la magnitud de los efectos genotípicos (ACG y ACE) para rendimiento de calabacita para verdura en promedio de ambientes (Cuadro 6). Se discuten las seis primeras en orden decreciente para REN y que son estadísticamente similares:

1) (Huracán x Lolita) $i = 5, j = 4$ con $ACG = 2.6505 < ACE = 11.2145$ y con un $REN = 52.16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la craza directa y $48.87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la craza recíproca, por lo que la craza se puede utilizar empleando como progenitor femenino a cualquiera de los dos híbridos en cuestión. Predomina la ACE, por lo que sólo es utilizable como craza, ya que se espera depresión endogámica en Fn.

2) (WA9041 x Lolita) $i = 6, j = 4$ con $ACG = 5.3113 > ACE = 2.1637$ y $REN = 51.45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, por lo que puede utilizarse directamente como variedad de polinización libre sin detrimento del rendimiento en generaciones avanzadas ($ACG > ACE$).

3) (Lolita x Tala) $i = 4, j = 1$ con $ACG = 2.3218 < ACE = 7.3529$ y $REN = 50.14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, utilizable solamente como craza, ya que $ACE > ACG$.

4) (Grey zucchini M+M x Terminator) $i = 3, j = 7$ con $ACG = 2.1693 > ACE = -6.5370$ y $REN = 50.00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$; esta craza se puede utilizar directamente como variedad de polinización libre sin detrimento del rendimiento en generaciones avanzadas ($ACG > ACE$) y como población base para selección recurrente.

5) (Tala x Terminator) $i = 1, j = 7$ con $ACG = 2.5647 < ACE = 8.4335$ y $REN = 47.72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Se recomienda su uso únicamente como craza.

6) (Lolita x Terminator) $i=4, j=7$ con $ACG = ACE (7.33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1})$ y $REN = 44.09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ por lo que en esta craza son igualmente importantes tanto los efectos aditivos como los de dominancia, pudiéndose utilizar como variedad sintética y como población base para selección recurrente.

ACE) and as base population for recurrent selections.

5) (Tala x Terminator) $i = 1, j = 7$ with $ACG = 2.5647 < ACE = 8.4335$ and $REN = 47.72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. It is recommended to only be used as a cross.

6) (Lolita x Terminator) $i=4, j=7$ with $ACG = ACE (7.33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1})$ and $REN = 44.09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ therefore in this cross both additive and dominant effects are equally important, and they may be used as a synthetic variety and as base population for recurrent selection.

Notice that between the six crosses with higher numerical yield, it is found in the fourth place the hybrid Lolita and in the third Terminator, which were the parents with higher ACG effects (3.545 and $3.788 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively) (Table 5).

These results show the fact that three of the best six evaluated crosses come from hybrids from different commercial suppliers, overcome the hybrid commercial parents in six tons per hectare, this probably means that is due to a combination of contrasting genetic germplasm (genetic difference); and the other three most productive crosses come from hybrid parents of the same seeds supplier, perhaps they have different genetic information. A high cross yield may due to the sum of the genes additive effects from both parents, or to the interaction effects of the dominant alleles of a parent with recessive alleles of the other parent (Falconer, 1985).

Reciprocal and maternal effects

The positive maternal effects for yield per plant and per hectare of the hybrids Lolita, Huracán and WA9041, show that such parents have higher yield in their crosses when they are used as female parent, than in their respective reciprocal crosses. The negative values of the maternal effects show the opposite (Table 7). WA9041 turns out to be a good female parent because of its positive maternal effects in plants per fruits (0.3958 fruits), yield per plant ($0.075 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$) and per hectare ($2.2658 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); it showed negative maternal effects in days to female and male flowering; this means that their direct crosses are more precocious. The hybrids Lolita and Huracán had a similar behavior to WA9041 in positive maternal effects for fruits per plant (0.313 and 0.5938 fruits, respectively) and per hectare (0.4453 and $1.3953 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively); however, Lolita showed negative values for days to female flowering (-0.2187 d) and Huracán showed positive values (0.5521 d) these results indicate that the direct crosses of the parent Lolita are more precocious and the ones from Huracán are the opposite.

In the characters length and width of the fruit, the maternal effects were positive in the parents Grey Zucchini de Seminis (0.0198 and 0.0667 cm, respectively) and Dolarzini (0.1042 and 0.0042 cm, respectively), this means that the direct crosses produce bigger fruits (larger and wider) than in their respective reciprocal crosses. The parents Grey Zucchini M+M and Terminator showed

Nótese que en las seis cruzas con rendimiento numéricamente más alto se encuentra presente en cuatro de ellas el híbrido Lolita y en tres el híbrido Terminator, que fueron los progenitores con mayores efectos de ACG (3.545 y 3.788 t·ha⁻¹, respectivamente) (Cuadro 5).

De estos resultados resalta el hecho de que tres de las seis mejores cruzas evaluadas resultaron entre híbridos de casas comerciales diferentes, superando a los híbridos comerciales progenitores en seis toneladas por hectárea, pudiéndose interpretar que se debe a combinación de germoplasma genéticamente contrastante (divergencia genética); y las otras tres cruzas más rendidoras se obtuvieron entre híbridos progenitores de la misma compañía semillera, tal vez porque tienen diferente información genética. El alto rendimiento de una craza puede deberse a la suma de efectos aditivos de los genes de ambos progenitores, o bien a los efectos de interacción de los alelos dominantes de un progenitor con los alelos recesivos del otro progenitor (Falconer, 1985).

positive maternal effects for length of the fruit (0.1458 and 0.1365 cm, respectively), then the direct crosses produce larger fruits than their respective reciprocal crosses.

The crosses WA9041 x Grey Zucchini M+M i=6, j=3; Huracán x Dolarzini i=5, j=8; Lolita x Tala i=4, j=1 and WA9041 x Lolita showed reciprocal effects for yield, i.e., the interactions between the nuclear DNA and the cytoplasm do not have the same phenotypic effect in the direct crosses than in the reciprocal crosses. Because of the maternal effects, the direct crosses had an average of 44.85, 42.64, 50.1 and 51.45 t·ha⁻¹, respectively, while in the reciprocal crosses the averages were 28.34, 31.56, 41.50 and 43.53 t·ha⁻¹ (Table 6). It is important to mention that the crosses Wa9041 x Lolita and Lolita x Tala i=4, j=1 were the second and third most productive crosses per plant and per hectare when the direct cross was carried out, so it is important to be careful when carry out the crosses to keep high yield per plant and per hectare.

CUADRO 6. Estructura genética y grado promedio de dominancia (\bar{d}) en promedio de ambientes para rendimiento de calabacita de 56 cruzas dialélicas. Chapingo, México. 2007.

TABLE 6. Genetic structure and average degree of dominance (\bar{d}) in averaged environments for summer squash yield of 56 diallel crosses. Chapingo, México. 2007.

| Cruza | Progenitores | | \bar{d} | Núcleo | | Citoplasma | | REN (t·ha ⁻¹) |
|-------|--------------|---|-----------|--|------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|
| | i | j | | ACG (g _i + g _j) | ACE (S _{ij}) | EM (m _i - m _j) | ER (r _{ij} = -r _{ji}) | |
| 1 | 1 | 2 | 1.10 | -4.4350 | -5.4005 | -0.9288 | -1.9033 | 21.09 |
| 2 | 1 | 3 | 0.90 | -2.8430 | -2.3050 | -0.4026 | -0.0320 | 27.89 |
| 3 | 1 | 4 | 1.78 | 2.3218 | 7.3529 | -1.5918 | 0.4519 | 41.50 |
| 4 | 1 | 5 | 1.49 | -2.1189 | -4.7629 | -2.5418 | 0.9015 | 27.48 |
| 5 | 1 | 6 | 3.20 | 0.5419 | 5.5561 | -3.4123 | 0.4138 | 37.87 |
| 6 | 1 | 7 | 1.81 | 2.5647 | 8.4335 | 0.5321 | -1.1170 | 47.72 |
| 7 | 1 | 8 | 0.39 | -3.3743 | 0.5370 | -0.8267 | 1.2851 | 30.64 |
| 8 | 2 | 1 | 1.10 | -4.4350 | -5.4005 | 0.9288 | 1.9033 | 24.82 |
| 9 | 2 | 3 | 0.58 | -4.8304 | 1.6515 | 0.5262 | -1.2792 | 24.41 |
| 10 | 2 | 4 | 2.37 | 0.3344 | -1.8938 | -0.6630 | 0.2483 | 35.34 |
| 11 | 2 | 5 | 0.60 | -4.1063 | 1.4866 | -1.6130 | 0.5275 | 28.95 |
| 12 | 2 | 6 | 0.49 | -1.4455 | -0.3559 | -2.4835 | -2.1574 | 33.49 |
| 13 | 2 | 7 | 2.91 | 0.5773 | 4.9049 | 1.4609 | 2.5865 | 40.78 |
| 14 | 2 | 8 | 0.28 | -5.3617 | -0.4319 | 0.1021 | -1.8291 | 24.91 |
| 15 | 3 | 1 | 0.90 | -2.8430 | -2.3050 | 0.4026 | 0.0320 | 28.97 |
| 16 | 3 | 2 | 0.58 | -4.8304 | 1.6515 | -0.5262 | 1.2792 | 27.32 |
| 17 | 3 | 4 | 1.09 | 1.9264 | -2.3050 | -1.1892 | -0.9727 | 29.70 |
| 18 | 3 | 5 | 0.86 | -2.5143 | -1.8938 | -2.1392 | -0.0752 | 26.16 |
| 19 | 3 | 6 | 1.16 | 0.1465 | -0.1974 | -3.0097 | -2.8299 | 28.34 |
| 20 | 3 | 7 | 1.73 | 2.1693 | -6.5370 | 0.9347 | 0.4959 | 50.00 |
| 21 | 3 | 8 | 1.00 | -3.7697 | -3.8278 | -0.4241 | 2.0708 | 34.15 |
| 22 | 4 | 1 | 1.78 | 2.3218 | 7.3529 | 1.5918 | -0.4519 | 50.14 |
| 23 | 4 | 2 | 2.37 | 0.3344 | -1.8938 | 0.6630 | -0.2483 | 38.62 |
| 24 | 4 | 3 | 1.09 | 1.9264 | -2.3050 | 1.1892 | 0.9727 | 32.98 |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 25 | 4 | 5 | 2.05 | 2.6505 | 11.2145 | -0.9500 | -0.2524 | 48.87 |
| 26 | 4 | 6 | 0.63 | 5.3113 | 2.1637 | -1.8205 | 0.1604 | 43.53 |
| 27 | 4 | 7 | 1.00 | 7.3341 | 7.3529 | 2.1239 | 0.4486 | 44.09 |
| 28 | 4 | 8 | 1.03 | 1.3951 | 1.4866 | 0.7651 | -0.6292 | 25.51 |
| 29 | 5 | 1 | 1.49 | -2.1189 | -4.7629 | 2.5418 | -0.9015 | 26.63 |
| 30 | 5 | 2 | 0.60 | -4.1063 | 1.4866 | 1.6130 | -0.5275 | 28.03 |
| 31 | 5 | 3 | 0.86 | -2.5143 | -1.8938 | 2.1392 | 0.0752 | 28.64 |
| 32 | 5 | 4 | 2.05 | 2.6505 | 11.2145 | 0.9500 | 0.2524 | 52.16 |
| 33 | 5 | 6 | 1.96 | 0.8706 | -3.3733 | -0.8705 | -0.1056 | 30.88 |
| 34 | 5 | 7 | 1.99 | 2.8934 | 11.5509 | 3.0739 | 0.1731 | 37.55 |
| 35 | 5 | 8 | 1.22 | -3.0456 | 4.5500 | 1.7151 | 1.0338 | 42.64 |
| 36 | 6 | 1 | 3.20 | 0.5419 | 5.5561 | 3.4123 | -0.4138 | 44.85 |
| 37 | 6 | 2 | 0.49 | -1.4455 | -0.3559 | 2.4835 | 2.1574 | 41.98 |
| 38 | 6 | 3 | 1.16 | 0.1465 | -0.1974 | 3.0097 | 2.8299 | 44.85 |
| 39 | 6 | 4 | 0.63 | 5.3113 | 2.1637 | 1.8205 | -0.1604 | 51.45 |
| 40 | 6 | 5 | 1.96 | 0.8706 | -3.3733 | 0.8705 | 0.1056 | 29.68 |
| 41 | 6 | 7 | 1.71 | 5.5542 | -9.5034 | 3.9444 | -1.5355 | 41.94 |
| 42 | 6 | 8 | 3.51 | -0.3848 | -4.7629 | 2.5856 | -2.9831 | 28.50 |
| 43 | 7 | 1 | 1.81 | 2.5647 | 8.4335 | -0.5321 | 1.1170 | 46.81 |
| 44 | 7 | 2 | 2.91 | 0.5773 | 4.9049 | -1.4609 | -2.5865 | 30.07 |
| 45 | 7 | 3 | 1.73 | 2.1693 | -6.5370 | -0.9347 | -0.4959 | 48.91 |
| 46 | 7 | 4 | 1.00 | 7.3341 | 7.3529 | -2.1239 | -0.4486 | 36.79 |
| 47 | 7 | 5 | 1.99 | 2.8934 | 11.5509 | -3.0739 | -0.1731 | 31.49 |
| 48 | 7 | 6 | 1.71 | 5.5542 | -9.5034 | -3.9444 | 1.5355 | 38.33 |
| 49 | 7 | 8 | 1.52 | 1.6380 | -3.8278 | -1.3588 | 1.0517 | 35.25 |
| 50 | 8 | 1 | 0.39 | -3.3743 | 0.5370 | 0.8267 | -1.2851 | 30.32 |
| 51 | 8 | 2 | 0.28 | -5.3617 | -0.4319 | -0.1021 | 1.8291 | 29.10 |
| 52 | 8 | 3 | 1.00 | -3.7697 | -3.8278 | 0.4241 | -2.0708 | 28.88 |
| 53 | 8 | 4 | 1.03 | 1.3951 | 1.4866 | -0.7651 | 0.6292 | 29.65 |
| 54 | 8 | 5 | 1.22 | -3.0456 | 4.5500 | -1.7151 | -1.0338 | 31.56 |
| 55 | 8 | 6 | 3.51 | -0.3848 | -4.7629 | -2.5856 | 2.9831 | 34.55 |
| 56 | 8 | 7 | 1.52 | 1.6380 | -3.8278 | 1.3588 | -1.0517 | 32.42 |
| DMS | | | | | | | | 11.24 |

Clave de progenitores (i: progenitor femenino, j: progenitor masculino): 1: Tala (semis), 2: Grey Zucchini (Semis), 3: Grey Zucchini (Molina Seed), 4: Lolita (Semis), 5: Hurakán (Harris Moran), 6: WA9041 (Western Seed), 7: Terminator (Semis), 8: Dolarzini (Caloro); ACG = Aptitud Combinatoria General, (g_i + g_j): Efectos aditivos aportados por ambos progenitores a cada cruce; ACE = Aptitud Combinatoria Específica, (S_{ij} = S_{ji}): Efectos de dominancia resultantes en cada cruce; EM = Efectos maternos, (m_i - m_j): Efectos maternos aportados por ambos progenitores a cada cruce; ER = Efectos recíprocos, (r_{ij} = - r_{ji}) aportados por ambos progenitores a cada cruce; REN = Medias de rendimiento de calabacita para verdura por hectárea; DMS = Diferencia mínima significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05).

Parents key (i: female parent, j: male parent): 1: Tala (semis), 2: Grey Zucchini (Semis), 3: Grey Zucchini (Molina Seed), 4: Lolita (Semis), 5: Hurakán (Harris Moran), 6: WA9041 (Western Seed), 7: Terminator (Semis), 8: Dolarzini (Caloro); ACG = General combining ability, (g_i + g_j): Additive effects from both parents in each cross; ACE = Specific combining ability, (S_{ij} = S_{ji}): dominant effects from each cross; EM = Maternal effects, (m_i - m_j): Maternal effects from both parents in each cross; ER = Reciprocal effects, (r_{ij} = - r_{ji}) from both parents in each cross; REN = Yield average of vegetable summer squash for hectare; DMS = Honestly significant difference (Tukey, P ≤ 0.05).

Efectos maternos y recíprocos

Los efectos maternos positivos para rendimiento por planta y por hectárea de los híbridos Lolita, Hurakán y WA9041, indican que tales progenitores tienen mayor rendimiento en sus cruces cuando son usados como progenitor femenino, que en sus respectivas cruces recíprocas. Los valores negativos de efectos maternos indican lo contrario (Cuadro 7). WA9041 resultó ser un buen

CONCLUSIONS

In the theoretical population obtained from the recombination of the crosses F1 between commercial hybrids of summer squash, the dominance variance is more important for the main yield components (fruits per plant, fruit length and yield per plant); however in fruit length and width, as in days to female and male flowering, the additive variance is more important. Therefore the suitable

CUADRO 7. Efectos maternos de ocho híbridos comerciales progenitores de cruzamientos dialélicos en calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.**TABLE 7. Maternal effects of eight parents commercial hybrids of diallel crosses in summer squash type Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.**

| Progenitor | RPP (g·planta ⁻¹) | FPP (frutos) | LFR (cm) | AFR (cm) | DFM (días) | DFF (días) | REN (t·ha ⁻¹) |
|-------------------|----------------------------------|-----------------|-------------|-------------|---------------|---------------|------------------------------|
| Tala | -0.0367 | -0.0521 | -0.0896 | -0.0031 | -0.2188 | -0.0521 | -1.1465 |
| Grey Z. (seminis) | -0.0069 | 0.0833 | 0.0198 | 0.0667 | 0.0104 | 0.1042 | -0.2177 |
| Grey Z. (M+M) | -0.0237 | -0.1458 | 0.1458 | -0.0281 | -0.0000 | -0.0104 | -0.7439 |
| Lolita | 0.0143 | 0.0313 | -0.0740 | 0.0281 | -0.0729 | -0.2187 | 0.4453 |
| Hurakán | 0.0446 | 0.5938 | -0.1115 | -0.0385 | 0.5729 | 0.5521 | 1.3953 |
| WA9041 | 0.0725 | 0.3958 | -0.1313 | -0.0229 | -0.3437 | -0.3021 | 2.2658 |
| Terminator | -0.0537 | -0.7708 | 0.1365 | -0.0062 | 0.4375 | 0.2917 | -1.6786 |
| Dolarzini | -0.0103 | -0.1354 | 0.1042 | 0.0042 | -0.3854 | -0.3646 | -0.3198 |

RPP = Rendimiento por planta (g·planta⁻¹); FPP = Frutos por planta; LFR = Largo de fruto (cm); AFR = Ancho de fruto (cm); DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; REN = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹).

RPP = Yield per plant (g·plant⁻¹); FPP = Fruits per plant; LFR = Fruit length (cm); AFR = Fruit width (cm); DFM = Days to male flowering; DFF = Days to female flowering; REN = Yield per hectare (t·ha⁻¹).

progenitor femenino por tener efectos maternos positivos en frutos por planta (0.3958 frutos), rendimiento por planta (0.075 g·planta⁻¹) y por hectárea (2.2658 t·ha⁻¹); mostró efectos maternos negativos en días a floración femenina y masculina, lo que indica que sus cruza directas son más precoces. Los híbridos Lolita y Hurakán tuvieron un comportamiento similar a WA9041 en efectos maternos positivos para frutos por planta (0.313 y 0.5938 frutos, respectivamente) y por hectárea (0.4453 y 1.3953 t·ha⁻¹, respectivamente); sin embargo, Lolita presentó valores negativos para días a floración femenina (-0.2187 d) y Hurakán positivos (0.5521 d), resultados que indican que las cruza directas del progenitor Lolita son más precoces y las de Hurakán más tardías.

En los caracteres largo y ancho de fruto, los efectos maternos fueron positivos en los progenitores Grey Zucchini de Seminis (0.0198 y 0.0667 cm, respectivamente) y Dolarzini (0.1042 y 0.0042 cm, respectivamente), lo que significa que las cruza directas producen frutos más grandes (largos y anchos) que en sus respectivas cruza recíprocas. Los progenitores Grey Zucchini M+M y Terminator mostraron efectos maternos positivos para largo de fruto (0.1458 y 0.1365 cm, respectivamente), por lo que sus cruza directas producen frutos más largos que sus respectivas cruza recíprocas.

Las cruza WA9041 x Grey zucchini M+M i=6, j=3; Hurakán x Dolarzini i=5, j=8; Lolita x Tala i=4, j=1 y WA9041 x Lolita presentaron efectos recíprocos para rendimiento, es decir, las interacciones entre el ADN nuclear y el citoplásmico no tienen el mismo efecto fenotípico en la cruza directa que en la recíproca. Por los efectos maternos, en la cruza directa tuvieron una media de 44.85, 42.64, 50.1 y 51.45 t·ha⁻¹, respectivamente, mientras que en la cruza recíproca las medias fueron 28.34, 31.56, 41.50 y 43.53 t·ha⁻¹ (Cuadro 6). Cabe indicar que las cruza WA9041 x Lolita y Lolita x Tala i=4, j=1 fueron la segunda y tercera

improvement method in the reference population would be by hybridization with high possibilities to obtain superior crosses than the parents.

The hybrids that seemed to be the best parents, taking into account the magnitude of their positive effects of ACG, were, in decreasing order: Terminator, Lolita and WA9041. From them, the most consistent through its crosses was WA9041.

Terminator and Lolita were the best parents commercial hybrids for yield per hectare of summer squash (44.23 t·ha⁻¹ and 42.20 t·ha⁻¹, respectively) and the worst was Tala (21.92 t·ha⁻¹).

Of the six best crosses of the yield of vegetable summer squash, three may be only used as hybrids (ACG < ACE): Hurakán x Lolita (52.16 t·ha⁻¹); Lolita x Tala (50.14 t·ha⁻¹); Tala x Terminator (47.72 t·ha⁻¹); two as free pollination varieties without yield detriment in future generations (ACG > ACE): WA9041 x Lolita (51.45 t·ha⁻¹); Grey Zucchini M+M x Terminator (50.00 t·ha⁻¹) and Lolita x Terminator (44.09 t·ha⁻¹) as a base population for improvement by recurrent selection, since the additive and dominance effects are important in the crosses (ACG = ACE).

End of English Version

cruza más rendidoras por planta y por hectárea cuando se realizó la cruza directa, por lo que se debe tener cuidado al realizar la cruza para mantener altos rendimientos por planta y por hectárea.

CONCLUSIONES

En la población teórica obtenida de la recombinación de las cruza F₁ entre híbridos comerciales de calabacita,

es más importante la varianza de dominancia para los principales componentes del rendimiento (frutos por planta, largo de fruto y rendimiento por planta); sin embargo, en largo y ancho de fruto, así como en días a floración masculina y femenina, es más importante la varianza aditiva. Por lo tanto, el método de mejoramiento apropiado en la población de referencia sería por hibridación con altas posibilidades de obtener cruza superiores a los progenitores.

Los híbridos que resultaron ser los mejores progenitores, a juzgar por la magnitud de sus efectos positivos de ACG, fueron, en orden decreciente: Terminator, Lolita y WA9041. De ellos, el más consistente a través de sus cruza fue WA9041.

Terminator y Lolita fueron los mejores híbridos comerciales progenitores para rendimiento por hectárea de calabacita ($44.23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $42.20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente), y el peor fue Tala ($21.92 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

De las seis mejores cruza de rendimiento de calabacita para verdura, tres podrían utilizarse sólo como híbridos (ACG < ACE): Huracán x Lolita ($52.16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Lolita x Tala ($50.14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Tala x Terminator ($47.72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); dos directamente como variedades de polinización libre sin detrimento del rendimiento en generaciones avanzadas (ACG > ACE): WA9041 x Lolita ($51.45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Grey Zucchini M+M x Terminator ($50.00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y Lolita x Terminator ($44.09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) como población base para mejoramiento por selección recurrente, ya que los efectos aditivos y de dominancia son importantes en la cruza (ACG = ACE).

LITERATURA CITADA

COCKERHAM, C. C. 1954. An Extension of the concept of partitioning hereditary variance for analysis of covariance among relatives when epistasis is present. *Genetics*. 39: 859-882.

COMSTOCK, R. E.; ROBINSON, F. H. 1952. Estimation of

Average of Dominance of Genes. *Heterosis*. Ames, Iowa State College Press. pp 494-516.

- FALCONER, D. S. 1985. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. Editorial CECSA, México. 135 p.
- GRIFFING V. 1956a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10: 31-50.
- GRIFFING V. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Austr. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- GUTIÉRREZ DEL RÍO, E.; PALOMO G. A.; ESPINOZA, B. A.; DE LA CRUZ L. E. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la comarca lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol 25(3): 271-277.
- HALLAUER, A. R.; MIRANDA, J. B. 1981. *Quantitative Genetic in Maize Breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa. pp: 268-368.
- KEMPTHORNE, O. 1957. *An Introduction to Genetics Statistics*. John Wiley And Sons. New York. 545 p.
- MÁRQUEZ S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Métodos, Teoría, Resultados. AGT Editor. México. 665 p.
- MARTÍNEZ G., A. 1983. *Diseño y Análisis de los Experimentos de Cruza Dialélicas*. Centro de Estadística y Cálculo, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 249 p.
- MONTESINOS L., O. A.; MASTACHE L., A. A.; LUNA E. I.; HIDALGO C., J. V. 2007. Mejor predictor lineal e insesgado combinado de los diseños uno y tres de Griffing. *Téc. Pecu. Méx.* Vol 45(2): 131-146.
- SAHAGÚN C., J.; VILLANUEVA V., C. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con híbridos de cruza simple. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol 20:69-79.
- SERRANO C., L.; MENDOZA O., L. 1990. Formación de híbridos de sorgo para grano III. Proposición de un modelo de selección de progenitores con base en sus parámetros genéticos. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol 13: 44-55.