

Estimación de la aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara*

Estimation of the combining ability of husk tomato populations

Neymar Camposeco Montejo¹, Valentín Robledo Torres^{1§}, Luis Alonso Valdez Aguilar¹, Francisca Ramírez Godina², Rosalinda Mendoza Villarreal¹ y Adalberto Benavides Mendoza¹

¹Departamento de Horticultura y ²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México. (neym_33k@hotmail.com; luisalonso_va@hotmail.com; godramf@gmail.com; rosalandamendoza@hotmail.com; abenmen@gmail.com). §Autor para correspondencia: varoto@prodigy.net.mx.

Resumen

El tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot. es una de las especies hortícolas más importantes en México, el número limitado de híbridos y variedades mejoradas de alto rendimiento, demanda la búsqueda de genotipos con alta aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) para el desarrollo de variedades o híbridos superiores. El objetivo fue estimar la ACG y ACE en las poblaciones UAN CC-S2, UAN CPP-S2, UAN SE3 y la variedad Rendidora, seis cruza directas y seis recíprocas, de acuerdo al método i modelo 2 de Griffing. Los cruzamientos fueron realizados en el otoño de 2012 y la evaluación de progenitores e híbridos en la primavera-verano de 2013, en las localidades de Saltillo y General Cepeda Coahuila, bajo un arreglo experimental de bloques al azar con tres repeticiones. El análisis estadístico combinado permitió identificar diferencias significativas en cruza, ACG, ACE, efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER), en el rendimiento y sus componentes, se identificó a las poblaciones UAN CPP-S2 y UAN SE3 con altos valores de ACG. Las tres cruza sobresalientes fueron; UAN CC-S2 x Rendidora (26.25 t ha⁻¹) y ACG (-5.718) < ACE (6.925) por lo tanto se recomienda usarla como híbrido, mientras que UAN CPP-S2 x UAN SE3 (36.52 t ha⁻¹) tuvo ACG (5.718) ≈ ACE (5.457) y se sugiere su uso como población base para

Abstract

Husk tomato *Physalis ixocarpa* Brot, is one of the most important horticultural species in Mexico, the limited number of hybrids and improved high-yielding varieties, demands the search of genotypes with high general combinatory aptitude (ACG) and specific combinatory aptitude (ACE) for the development of varieties or better hybrids. The objective was to estimate the ACG and ACE in UAN CC-S2, UAN CPP-S2, UAN SE3 populations and Rendidora variety; six direct crosses and six reciprocal, according to the i method Model 2 from Griffing. The crosses were conducted in fall 2012 and the evaluation of parents and hybrids during spring-summer 2013, in the towns of Saltillo and General Cepeda Coahuila, under an experimental arrangement randomized blocks with three replications. The combined statistical analysis allowed identifying significant differences in crosses, ACG, ACE, maternal effects (EM) and reciprocal effects (ER), in yield and yield components, populations UAN CPP-S2 and UAN SE3 were identified with high values of ACG. The three crosses were outstanding; UAN CC-S2 x Rendidora (26.25 t ha⁻¹) and ACG (-5.718) < ACE (6.925) therefore it is recommend to use it as hybrid, while UAN CPP-S2 x UAN SE3 (36.52 t ha⁻¹) had ACG (5.718) ≈ ACE (5.457) and it is suggested as base population for selection processes. The crosses UAN SE3 x UAN CPP-S2 (29.52 t ha⁻¹) with ACG

* Recibido: octubre de 2014
Aceptado: febrero de 2015

procesos de selección (chechar redacción). La cruza UAN SE3 x UAN CPP-S2 (29.52 t ha⁻¹) con ACG (5.718) > ACE (3.501), se podría utilizar como variedad de polinización libre, por lo tanto se recomiendan para su uso en programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa* Brot., cruza dialélicas, híbridos, rendimiento de fruto.

Introducción

En México, el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es de gran importancia, ya que es el sexto cultivo en superficie sembrada entre las hortalizas (SIAP, 2012). Se distribuye en todos los estados de la República Mexicana, desde los 10 hasta 2 600 msnm, creciendo en forma silvestre, cultivada y domesticada, su amplia distribución geográfica, ocasiona que exista amplia diversidad fenotípica y genética (formas, color, tamaño y tolerancia a factores adversos) lo que puede ser útil en los programas de mejoramiento genético (Peña y Márquez, 1990).

Actualmente el rendimiento medio es de 14.362 t ha⁻¹ (SIAP, 2012), considerándose bajo en relación con el potencial productivo, ya que se reportan rendimientos experimentales entre 40 t ha⁻¹ (Peña y Santiaguillo, 1999) y 63 t ha⁻¹ (López *et al.*, 2009). Surge entonces la necesidad de trabajar en el mejoramiento genético de la especie, basado principalmente en selección masal, selección familiar de medios hermanos y selección combinada de medios hermanos, ya que la producción de líneas puras para generar híbridos está restringida en ésta especie (Peña y Márquez, 1990). Debido a que es una alógama obligada que presenta autoincompatibilidad gametofítica (Pandey, 1957).

Sin embargo, en hibridaciones intervarietales de tomate de cáscara ha sido posible obtener híbridos sobresalientes, sobre todo si los progenitores utilizados son genéticamente divergentes; en la cruza de progenitores derivados de la variedad Verde Puebla y Rendidora se ha encontrado heterosis y se han obtenido híbridos planta a planta que superan al mejor progenitor, con incrementos en rendimiento de fruto de 14.3 y 40.6% debido a los efectos de ACG y ACE (Peña *et al.*, 1998; Santiaguillo *et al.*, 2004), hasta de 138.7% en la cruza Salamanca x Rendidora atribuido a efectos de ACG (Sahagún *et al.*, 1999).

(5.718) > ACE (3.501), could be used as open-pollinated variety, therefore it is recommended for its use in breeding programs.

Keywords: *Physalis ixocarpa* Brot., diallel cross, fruit yield, hybrids.

Introduction

In Mexico, husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) is of great importance as it is the sixth crop in cultivated area among the vegetables (SIAP, 2012). It is distributed in all states of Mexico, from 10 to 2600 masl, growing wild, cultivated and domesticated, its wide geographical distribution causes an extensive phenotypic and genetic diversity (shape, color, size and tolerance to adverse factors) which may be useful in breeding programs (Peña and Márquez, 1990).

Currently the average yield is 14.362 t ha⁻¹ (SIAP, 2012), considered low in relation to the productive potential, since experimental yields are reported between 40 t ha⁻¹ (Peña and Santiaguillo, 1999) and 63 t ha⁻¹ (Lopez *et al.*, 2009). There is a need to work on genetic improvement of the species, based mainly on mass selection, family selection of sib and combined selection of sibs, since the production of pure lines to generate hybrids is restricted in this species (Peña and Marquez, 1990); since it is an obligated allogamy that presents gametophytic self-incompatibility (Pandey, 1957).

However in intervarietal hybridizations of husk tomato has been possible to obtain outstanding hybrid, especially if the parents used are genetically divergent; in the crossing of progenitors derived from the variety Verde Puebla and Rendidora has been found heterosis and obtained hybrids plant to plant that exceed the best parent, with increased fruit yield of 14.3 and 40.6% due to the effects of ACG and ACE (Peña *et al.*, 1998; Santiaguillo *et al.*, 2004), up to 138.7% in the cross Salamanca x Rendidora attributed to effects of ACG (Sahagún *et al.*, 1999).

The combining aptitude is the ability of an individual or population to combine with others, measured through its progeny (Marquez, 1988). Diallel cross are the single crosses that can be achieved between the elements of a set of parental lines and for its study there are several designs to diallel analysis, which allow to know the effects of ACG and ACE, but the most used is Griffing's (1956 a, b) in its four

La aptitud combinatoria es la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez, 1988). Se denominan cruza dialélicas a las cruza simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto de líneas progenitoras y para su estudio existen varios diseños de análisis dialélico, que permiten conocer los efectos ACG y ACE, pero el más utilizado es el de Griffing (1956 a, b), en sus cuatro métodos: 1) progenitores y sus cruza F1 directas y recíprocas; 2) progenitores y cruza F1 directas; 3) cruza F1 directas y recíprocas; y 4) cruza F1 directas. Los diseños uno y tres de Griffing sirven para estimar efectos de ACG, ACE, maternos (EM), recíprocos (ER) y en el caso en que se considere que los híbridos son una muestra aleatoria, los componentes de varianza.

Las variedades mejoradas de tomate de cáscara deben tener mejores características agronómicas, y mayor rendimiento y calidad que las nativas (Peña *et al.*, 1997). Sin embargo, la reducida cantidad de variedades mejoradas o híbridos de tomate de cáscara con alto rendimiento, demanda la búsqueda de poblaciones que permitirían el desarrollo de genotipos con alto potencial de rendimiento, de mayor calidad y resistencia a factores adversos; lo que se logrará, en la medida que se estudien y caractericen poblaciones de tomate de cáscara en relación a parámetros genéticos de ACG y ACE. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue estimar la aptitud combinatoria general, la específica sobre el rendimiento y calidad de fruto de progenies derivadas de poblaciones criollas y mejoradas de tomate de cáscara, con la hipótesis de que la hibridación es un método de mejoramiento útil para obtener materiales de alto rendimiento de tomate de cáscara.

Material y métodos

El material genético utilizado fueron las poblaciones UAN CC-S2 (1, criollo colectado en Arteaga, Coahuila y con dos ciclos de selección), UAN CPP-S2 (2, criollo colectado en Palmarito, Puebla y con dos ciclos de selección) UAN-SE3 (3, criollo colectado en Cadereyta, Nuevo León y con tres ciclos de selección), obtenidos de colectas realizadas en diferentes regiones de México con dos ciclos de selección (es recomendable que se indique el origen de las colectas, lo anterior para observar la diversidad de origen de cada una), y la variedad Rendidora

methods: 1) parents and their direct and reciprocal F1 crosses; 2) parents and F1 direct crosses; 3) direct and reciprocal F1 crosses; and 4) direct F1 crosses. The designs one and three from Griffing are to estimate effects of ACG, ACE, maternal (EM), reciprocal (ER) and in the case where it is considered that hybrids are a random sample, the variance components.

Improved husk tomato varieties must have better agronomic characteristics, higher yield and quality than native (Peña *et al.*, 1997). However, the small number of improved varieties or husk tomato hybrids with high yield, demands the search of populations that allow the development of genotypes with high yield potential, higher quality and resistance to adverse factors; which will be achieved, to the extent that study and characterize populations of husk tomato in relation to genetic parameters of ACG and ACE. Therefore the objective of this study was to estimate the general combining aptitude, specific on yield and fruit quality from progeny derived from native populations and improved of husk tomato, with the hypothesis that hybridization is a helpful method of improvement to obtain high yield materials of husk tomato.

Materials and methods

The genetic material used were UAN CC-S2 (1, criollo collected in Arteaga, Coahuila and two cycles of selection), UAN CPP-S2 (2, criollo collected in Palmarito, Puebla and two cycles of selection) UAN-SE3 (3 criollo collected in Cadereyta, Nuevo León and three cycles of selection) populations, obtained from collections made in different regions of Mexico with two cycles of selection (it is recommended that the origin of the collections are indicated, this to observe the diversity of origin of each), and Rendidora variety (4), with these materials, direct and reciprocal crosses were performed according to the i method model 2 from Griffing (1956 b).

The agronomic evaluation was conducted in Saltillo, Coahuila (located at 25 ° 21' 24" North latitude and 101° 02' 05" West longitude, at an altitude of 1762 masl, with an average rainfall of 400 mm and annual average temperature between 12 and 18 ° C, with climate BS₀ k(x') (e) and in General Cepeda, Coahuila, located at 25 ° 22' 45" North latitude and 101° 27' 18" West longitude, at an altitude of 1645 m, with an average rainfall of 342.4 and an average annual temperature between 18 and 22 ° C, with climate BW hw (e) (Carta de Climas No. 14R-VII, 1970).

(4), con estos materiales se realizaron cruza directas y recíprocas de acuerdo con el método i modelo 2 de Griffing (1956 b).

La evaluación agronómica se realizó en Saltillo, Coahuila (ubicada a 25° 21' 24" latitud norte y 101° 02' 05" longitud oeste, a una altitud de 1 762 m, con una precipitación media de 400 mm y una temperatura media anual entre 12 y 18 °C, con clima BS₀ k(x') (e) y en General Cepeda, Coahuila, ubicado a 25° 22' 45" latitud norte y 101° 27' 18" longitud oeste, a una altitud de 1 645 msnm, con una precipitación media de 342.4 y temperatura media anual entre 18 y 22 °C, con clima BW hw (e) (Carta de Climas No. 14R-VII, 1970).

Formación de los híbridos

Para la formación de los híbridos, los progenitores se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando como medio de germinación Peat moss y perlita en una proporción 80:20, respectivamente. A los 35 días después de la siembra se tomaron 20 plántulas por genotipo que se trasplantaron en camas elevadas de 25 cm, con una distancia entre camas de 1.80 m, y entre plantas de 60 cm, establecidas en invernadero (tipo multitúnel con ventila cenital fija, de acuerdo a la norma NMX-E-255-CNCP-2008 y control de temperatura, registrando mínimas de 18 y máximas de 36°C) ubicado en Saltillo, Coahuila, durante el ciclo otoño-invierno de 2012. Las plantas fueron establecidas en camas con acolchado plástico, riego por goteo de 0.75 l planta⁻¹, con un incremento paulatino a hasta llegar a 3.5 l planta⁻¹ a los 30 días después del trasplante y continuando con este volumen hasta 75 días después del trasplante, aplicando además 100, 80, 150, 20 y 22 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente, distribuidos en el agua de riego a lo largo del ciclo de cultivo.

En el inicio de la floración se realizaron las cruza planta a planta de forma manual, a fin de obtener la mayor cantidad de semilla de cada cruza, las polinizaciones se realizaron de las 9:00 a 12:00 h, no se realizaron emasculaciones ya que a las plantas progenitoras se les realizó una prueba preliminar de autopolinización para comprobar su autoincompatibilidad, posteriormente estas fueron polinizadas por los siguientes dos días y cada flor polinizada fue etiquetada indicando los progenitores utilizados. Cuando los frutos resultantes de las cruza alcanzaron su madurez fisiológica, se cortaron

Hybrid formation

For the formation of hybrids, the parents were sown in polystyrene trays with 200 cavities, using peat moss as germination medium and perlite in the ratio 80:20 respectively. At 35 days after planting, 20 seedlings per genotype were transplanted into raised beds of 25 cm, with a distance between beds of 1.80 m, and in between plants 60 cm, established in a greenhouse (Quonset greenhouse with zenithal window according to the standard NMX-E-255-CNCP-2008 and temperature control, recording minimum of 18 and maximum of 36 °C) located in Saltillo, Coahuila, during the autumn-winter cycle 2012. plants were established in beds with plastic mulch, drip irrigation of 0.75 l plant⁻¹, with a gradual increase to reach 3.5 l plant⁻¹ at 30 days after transplantation and continuing with this volume till 75 days after transplantation, also applying 100, 80, 150, 20 and 22 kg ha⁻¹ of N, P, K, Ca and Mg respectively, distributed in the irrigation water throughout the growing season.

At flowering were performed plant to plant crosses manually, in order to obtain the largest amount of seed from each cross, pollinations were conducted from 9:00 to 12:00 h, no emasculations were performed since parent plants underwent a preliminary test of self-pollination to check their self-incompatibility, then these were pollinated the following two days and each pollinated flower was labeled indicating the parents used. When the fruits resulting from the crosses reached physiological maturity, were cut and stored for 10-15 days under shadow at room temperature, to promote full maturity of the seeds, then proceeded to extract them, the seeds were dried under shade at room temperature for 10 days and then kept in brown paper envelopes until planting.

Establishment in field and crop management

The resulting hybrid seed and parent were sown on February 21, 2013 and grown till seedling the same way as described above. Transplantation in field of parents and hybrids was performed 35 days after sowing, in Saltillo and General Cepeda, Coahuila. The seedlings were established in raised beds of 25 cm, with black plastic mulch with drip irrigation, at a distance of 1.80 m between beds, double row as staggered and 60 cm between plants, resulting in a total of 18 515 plants ha⁻¹ under an experimental design randomized block with 3 replications. Each experimental plot consisted of 12 plants and as useful plot 8 plants with full competition, taking plants from the center to reduce the edge effect. Crop management was conducted under standard procedures, with a fertilization 180-120-240 kg ha⁻¹.

y almacenaron de 10 a 15 días a la sombra y a temperatura ambiente, para favorecer la madurez completa de las semillas, luego se procedió a la extracción de la misma, las semillas fueron secadas a la sombra y a temperatura ambiente por 10 días y posteriormente conservadas en sobres de papel estraza hasta su siembra.

Establecimiento en campo y manejo del cultivo

La semilla híbrida resultante y la de los progenitores se sembraron el 21 de febrero de 2013 y desarrollo hasta plántula de la misma forma antes descrita. El trasplante en campo de los progenitores e híbridos se realizó 35 días después de la siembra, en Saltillo y General Cepeda, en Coahuila. Las plántulas fueron establecidas en camas elevadas de 25 cm, con acolchado plástico de color negro, con riego por goteo, a una distancia de 1.80 m entre camas, a doble hilera en forma de tresbolillo y 60 cm entre plantas, resultando un total de 18 515 plantas ha⁻¹, bajo un arreglo experimental de bloques al azar con 3 repeticiones. Cada parcela experimental fue constituida por 12 plantas y como parcela útil 8 plantas con competencia completa, tomando las plantas del centro para reducir el efecto de orilla. El manejo del cultivo se realizó bajo los procedimientos estándar, con una fertilización de 180-120-240 kg ha⁻¹.

Para la prevención y control de plagas (mosca blanca, diabrotica y gusano del fruto) antes del primer corte se realizaron aplicaciones cada quince días de metamidofos 48%, cipermetrina 21%, lambda cyalotrina 5% y dimetoato 38%, a razón de 1 ml L⁻¹, después de cada cosecha y una aplicación de permetrina 500 CE + lambda cyalotrina 5% a fin de proteger el cultivo contra gusano del fruto (*Heliothis virescens*).

Mediciones de calidad, rendimiento de fruto y sus componentes

El peso total de fruto (RTF, t ha⁻¹), se estimó pesando todos los frutos de la parcela útil mediante una balanza digital de precisión SARTORIUS modelo TS 1352Q37, para posteriormente estimar el rendimiento por hectárea. Considerando la suma de cuatro cortes, el primero fue a los 63 días después del trasplante y los tres restantes a intervalos de 15 días. Después de pesar los frutos se contaba el número de frutos (NFP) que se cosecharon por parcela útil, considerando la suma de los cuatro cortes. El peso promedio de fruto (PPF), se calculó dividiendo el peso total de los frutos por parcela entre número total de

For the prevention and control of pests (whitefly, corn rootworm and fruitworm) before the first cut applications were made every fifteen days of methamidophos 48%, cypermethrin 21%, lambda cyalotrina 5% and dimethoate 38% at a rate of 1 ml L⁻¹, after each harvest and one application of permethrin 500 CE + lambda cyalotrina 5% to protect the crop against budworm (*Heliothis virescens*).

Quality measurements, fruit yield and its components

The total weight of fruit (RTF, t ha⁻¹), was estimated weighing all the fruits from the useful plot with a digital precision scale SARTORIUS TS 1352Q37 model, then estimated the yield per hectare. Considering the sum of four cuts, the first was at 63 days after transplantation and the remaining three at intervals of 15 days. After weighing the fruits the number of fruits (NFP) that were harvested by useful plot was counted, considering the sum of the four cuts. The average weight fruit (PPF), was calculated by dividing the total weight of fruits per plot on the total number of fruits per plot, while the polar and equatorial fruit diameter (DEF and DPF, respectively) was estimated by randomly taking four fruits per plot, using a digital vernier Autotec®.

To estimate the content of total soluble solids (SST) a refractometer Atago N-1E® was used in °Brix. Fruit firmness (FF) was determined with a penetrometer Fruit Pressure Tester FT-327 model of 13 kg, with a 6 mm tip. Vitamin C content in fruit was determined according to the official methodology of AOAC (2000) titration method with 2.6 dichloroindophenol- reagent of Tihelmann.

Statistical analysis

Statistical analysis of data was performed with the algorithm for SAS (Diallel-SAS05) proposed by Zhang *et al.* (2005) which includes the parents and direct and reciprocal crosses (Montesinos *et al.*, 2007) to estimate the effects of general combining aptitude (ACG) and specific (ACE) as indicated by Martínez (1983). Through SAS version 9.1 software.

Results and discussion

Combined analysis of variance

The mean squares from the combined analysis of variance for the two locations showed statistical differences ($p \leq 0.01$) in RTF, PPF, NFP, DEF, DPF, FF, SST and VIT C variables

frutos por parcela, mientras que el diámetro ecuatorial y polar de fruto (DEF y DPF, respectivamente) fue estimado tomando al azar cuatro frutos por parcela, utilizando para ello un vernier digital marca Autotec®.

Para estimar el contenido de sólidos solubles totales (SST) se utilizó un refractómetro Atago N-1E® en °Brix. La firmeza de fruto (FF) se determinó con un penetrometro Fruit Pressure Tester, modelo FT-327 of 13 kg, con una puntilla de 6 mm. El contenido de vitamina C en fruto, se determinó de acuerdo a la metodología oficial de la AOAC (2000), método de titulación con 2.6 Dicloroindofenol-reactivo de Tihelmann.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el algoritmo para SAS (DIALLEL-SAS05) propuesto por Zhang *et al.* (2005) que incluye los progenitores y las cruzas directas y recíprocas (Montesinos *et al.*, 2007) para estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACE) y específica (ACE) como lo indica Martínez (1983). Por medio del programa SAS versión 9.1.

Resultados y discusión

Análisis de varianza combinado

Los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las dos localidades presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) en las variables RTF, PPF, NFP, DEF, DPF, FF, SST y VIT C (Cuadro 1), al respecto De la Cruz *et al.* (2007) indican que los efectos significativos encontrados se pueden deber a la diferencia entre poblaciones y a la suma de efectos aditivos de los progenitores. Mientras que las diferencias entre localidades se pueden atribuir a las diferencias edáficas y climáticas de cada una de las dos localidades en las que se establecieron las evaluaciones. Para cruzas se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) en RTF, PPF, NFP, DEF, DPF, FF, SST lo cual indica que éstas cruzas o híbridos formados presentaron respuestas diferentes lo cual indica que es posible realizar selección entre las mejores cruzas, pero las cruzas obtenidas no presentaron diferencias entre los contenidos de VIT C, por lo tanto se infiere que dicho carácter está controlado por pocos pares de genes y es poco afectado por el ambiente.

(Table 1), De la Cruz *et al.* (2007) indicate that significant effects found may be due to the difference between populations and the sum of additive effects of the parents; while differences between locations can be attributed to soil and climatic differences of each of the two locations where experiments were established. For crosses there were statistical differences ($p \leq 0.01$) in RTF, PPF, NFP, DEF, DPF, FF, SST indicating that these crosses or hybrids showed different responses indicating that it is possible to select from the best crosses, but the crosses obtained did not present differences between the VIT C contents, therefore it is inferred that this character is controlled by a few pairs of genes and is the environment has little effect on it.

ACG was significant ($p \leq 0.01$) in RTF, PPF, DEF and DPF variables, with more important additive effects than non-additive effects, coincide with those reported by Sahagun *et al.* (1999) for PPF and earliness (yield in the first cut) who report significant differences in ACG and ACE in husk tomato populations, while Peña *et al.* (1998) found significant differences ($p \leq 0.05$) for ACG in RTF and FTP and for ACE in PPF. On the other hand in this work the mean squares of ACE were significant ($p \leq 0.01$) in RTF, PPF, DEF, DPF but dominance and epistatic effects were less important than additive; however, NFP, FF and SST values of dominance and epistatic effects were more important than additives as indicate (Sprague and Tatum, 1942).

The genetic variance found in ACG is attributed to a variation due to additive effects of RTF, PPF, DEF, and DPF in crosses, and ACE variance is due to dominance and epistatic effects. In this regard, Gutierrez *et al.* (2002) report that as genetic divergence of the material increases, also increases the difference between the values of ACG and ACE, which coincides with Sanchez *et al.* (2011) who attribute the variance to genetic divergence of the parents.

The contribution to variance from total fruit yield (RTF) per hectare attributable to the crosses, consisted of 51.44% by additive effects (ACG), 32.28% of the non-additive and dominance gene action (ACE), 15.3% by maternal effects (EM) and 9.95% by reciprocal effects (ER), the results regarding the effects of ACG and ACE, indicate that the additive effects are more important than those of dominance for yield. Similar effects of gene action are present in PPF (40.17% ACG and 33.13% ACE), DEF (46.43% ACG and 37.76% ACE), DPF (48.47% ACG and 39.63% ACE), in these cases resulted more important the

La ACG fue significativa ($p \leq 0.01$) en las variables RTF, PPF, DEF y DPF, con efectos aditivos más importantes que los efectos no aditivos, coincidiendo con lo reportado por Sahagún *et al.* (1999) para PPF y precocidad (rendimiento en el primer corte) quienes reportan diferencias significativas en ACG y ACE en poblaciones de tomate de cáscara, mientras que Peña *et al.* (1998) encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para ACG en RTF y FTP y para ACE en PPF. Por otro lado en éste trabajo los cuadrados medios de la ACE fueron significativos ($p \leq 0.01$) en las variables RTF, PPF, DEF, DPF pero los efectos de dominancia fueron menos importantes que los aditivos; sin embargo, las variables NFP, FF y SST los valores efectos de dominancia y epistáticos fueron más importantes que los aditivos como lo señalan (Sprague y Tatum, 1942).

values of ACG than values of ACE, similar to that found by Gomide *et al.* (2003) and contrary to that reported by Sánchez *et al.* (2011) in squash Grey Zucchini, where he found that dominance variance was more important for the major yield components (fruits per plant, fruit length and yield per plant) than additive variance.

Instead the contribution to variance for NFP, the effects are given in large part by gene action of dominance or no additive, with 20.42% ACG, and 56.5% ACE, which is indicative that dominance effects are more important than additives for this character, similar responses occurred in fruit firmness (5.01% ACG, 41.76% ACE), SST content (10.55% ACG, 33.86% ACE) and vitamin C content (31.88% ACG and 36.33% ACE).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para cuatro poblaciones y cruza dialélicas de acuerdo al método i modelo 2 de Griffing, en tomate de cáscara establecido en Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.
Table 1. Mean squares from combined analysis of variance for four populations and diallel cross according to i method Model 2 from Griffing in husk tomato established in Saltillo and General Cepeda, Coahuila, Mexico.

| Fuente de variación | GL | Cuadrados medios | | | | | | | |
|---------------------|----|------------------|-----------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | RTF | PPF | NFP | DEF | DPF | FF | SST | VIT C |
| Localidades | 1 | 4301.81** | 1463.43** | 11528.16** | 7.08** | 2.24** | 2.14** | 3.63** | 7.11** |
| Rep x loc | 4 | 14.8 ns | 35.09 ns | 108.44 ns | 0.06 ns | 0.04 ns | 0.06 ns | 0.24 ns | 0.25 ns |
| Cruzas | 15 | 275.33** | 597.38** | 370.07** | 1.61 ** | 0.85** | 0.87** | 0.42** | 0.25 ns |
| ACG | 3 | 600.52** | 876.38** | 235.9 ns | 2.68** | 1.48** | 0.17 ns | 0.19 ns | 0.29 ns |
| ACE | 6 | 271.82** | 722.89** | 652.65 ** | 2.18** | 1.21** | 1.39 ** | 0.62 ** | 0.33 ns |
| ER | 6 | 116.25** | 332.37** | 154.58 ns | 0.5** | 0.17** | 0.7* | 0.35 ns | 0.16 ns |
| EM | 3 | 178.65** | 249.75** | 111.97 ns | 0.41** | 0.19** | 1.07* | 0.66** | 0.12 ns |
| Cruza x Loc | 15 | 58.91** | 83.23** | 165.51 ns | 0.19 ** | 0.08** | 0.36 ns | 0.25 ns | 0.2 ns |
| Loc x ACG | 3 | 12.52 ns | 95.23 ns | 247.22 ns | 0.08 ns | 0.08 ns | 0.35 ns | 0.12 ns | 0.16 ns |
| Loc x ACE | 6 | 69.04** | 54.64 ns | 219.43 * | 0.16 ns | 0.04 ns | 0.52 ns | 0.16 ns | 0.24 ns |
| Loc x ER | 6 | 71.96** | 105.81* | 70.73 ns | 0.29** | 0.14** | 0.2 ns | 0.41* | 0.13 ns |
| Loc x EM | 3 | 104.15** | 168.1** | 88.93 ns | 0.44 ** | 0.19** | 0.31 ns | 0.69** | 0.14 ns |
| Error C. | 60 | 21.93 | 35.09 | 97.25 | 0.07 | 0.03 | 0.3 | 0.16 | 0.15 |
| CV % | | 21.43 | 16.07 | 28.95 | 5.57 | 4.78 | 10.82 | 6.65 | 9.61 |

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; ns= no significativo; GL= grados de libertad; EM= efectos maternos; ER= efectos recíprocos; Loc= localidades; Rep= repeticiones; error C= error combinado; CV= coeficiente de variación.

La varianza genética encontrada en ACG se atribuye a una variación debida a los efectos aditivos para RTF, PPF, DEF, y DPF en los cruzamientos, y la varianza en ACE se debe a efectos de dominancia y epistáticos. Al respecto, Gutiérrez *et al.* (2002) reportan que a medida que la divergencia genética de los materiales se incrementa,

Significant differences ($p \leq 0.01$) in reciprocal effects (ER) of RTF, PPF, DEF and DPF were observed, indicating that there are crosses, in which parents don't behave the same in direct crosses with regard to reciprocal crosses, these responses can be attributed to a differential behavior in maternal effects from each parent, which is demonstrated by the significant

también se incrementa la diferencia entre los valores de ACG y ACE, lo que coincide con Sánchez *et al.* (2011) quienes atribuyen la varianza a la divergencia genética de los progenitores.

La contribución a la varianza del rendimiento total de fruto (RTF) por hectárea atribuible a las cruzas, estuvo constituida por 51.44% por efectos aditivos (ACG), 32.28% a la acción génica no aditiva o de dominancia (ACE), 15.3% por efectos maternos (EM) y 9.95% por efectos recíprocos (ER), los resultados con respecto a los efectos de ACG y ACE, indican que los efectos aditivos son más importantes que los de dominancia para rendimiento. Efectos similares de acción génica se presentan en PPF (40.17% de ACG y 33.13% de ACE), DEF (46.43% de ACG y 37.76% de ACE), DPF (48.47% de ACG y 39.63% de ACE), en estos casos resultó más importante los valores de ACG que los valores de ACE, similar a lo encontrado por Gomide *et al.* (2003) y contrario a lo reportado por Sánchez *et al.* (2011) en calabacita tipo Grey Zucchini, donde encontró que la varianza de dominancia fue más importante para los principales componentes del rendimiento (frutos por planta, largo de fruto y rendimiento por planta) que la varianza aditiva.

Por el contrario la contribución a la varianza para NFP, los efectos están dados en mayor medida por acción génica de dominancia o no aditiva, con 20.42% de ACG, y 56.5% de ACE, lo cual es indicativo que los efectos de dominancia son más importantes que los aditivos para dicho carácter, respuestas similares se presentaron en firmeza de fruto (5.01% de ACG, 41.76% de ACE), contenido de SST (10.55% de ACG, 33.86% de ACE), y contenido de vitamina C (31.88% de ACG y 36.33% de ACE).

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en los efectos recíprocos (ER) de RTF, PPF, DEF y DPF, esto indica que hay cruzas, en las que los progenitores no se comportan igual en la cruce directa con respecto a la cruce recíproca, estas respuestas se pueden atribuir a un comportamiento diferencial en los efectos maternos de cada progenitor, lo cual se demuestra con las diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en los efectos maternos (EM) de las variables RTF, PPF, DEF, DPF y SST, por su parte Sahagún *et al.* (1999) reporta EM significativos en precocidad, volumen de fruto y altura de planta, y ER significativos en precocidad y longitud de rama en tres poblaciones de tomate de cáscara, atribuyendo los EM a herencia cromosómica citoplasmática, mientras que

diferencias ($p \leq 0.01$) in maternal effects (EM) of RTF, PPF, DEF, DPF and SST variables, on his behalf Sahagiin *et al.* (1999) reported significant EM in earliness, fruit volume and plant height, and significant ER in earliness and branch length in three populations of husk tomato, attributing EM to cytoplasmic chromosomal inheritance, while Peña *et al.* (1998) did not reported significant effects on EM and ER for RTF, NFP and PPF, attributing the inheritance of these characters to nuclear chromosomal influence, but Ruiz *et al.* (2004) found significant differences ($p \leq 0.01$) in ER, but not in maternal effects, which indicates that the magnitude of the evaluated characters are determined by genes from chromosomes located in the nucleus, not existing gene contribution from cytoplasm chromosomes or if exist, are equal.

Significant differences ($p \leq 0.01$) were found in the interaction crosses x loc in RTF, PPF, DEF and DPF, indicating that in these variables the crosses behaved phenotypically in a different manner in the environments under study, which may be due to genetic diversity of the materials under study and are characters of polygenic inheritance, unlike characters of single inheritance that are little affected by the environment.

The loc x ACG interaction indicates that additive genetic effects observed in the studied materials were not affected by locality; however, the effects of ACE for RTF and NFP were significantly affected by the environment. Regarding to significant differences ($p \leq 0.01$) found between crosses for RTF PPF, NFP, DEF, DPF and FF variables, these can be attributed to genetic divergence that parents presented, indicating the existence of genetic variability (sahagún *et al.*, 1999). Despite the significance found in some interactions (loc x ACE, loc x EM, and loc x ER), its contribution to phenotypic variance, observed for the different characteristics was small compared with the contribution of the effects from ACG and ACE.

Estimation of general combining ability (ACG)

The average effects of ACG from the populations used as parents across environments are presented in Table 2. In which shows that UAN-SE3 and UAN CPP-S2 had positive effects of ACG for most of the traits evaluated, except UAN-SE3 that in SST presented negative effects, highlighting RTF with 3.604 and 2.113, respectively, these results indicate that these parents have the potential to increase the number of fruits, size and weight according to the estimated value in ACG for PPF, DEF and DPF, besides, that the fruits of these populations may be possible to increase firmness by selection processes and in UAN CPP-S2 could increase the vitamin C content, which

Peña *et al.* (1998) no reportan efectos significativos en EM y ER para RTF, NFP y PPF, atribuyendo la herencia de estos caracteres a influencia cromosómica nuclear, aunque por otra parte Ruiz *et al.* (2004) encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en los ER, pero no en los efectos maternos, por lo que indican que la magnitud de los caracteres evaluados está determinada por genes de cromosomas localizados en el núcleo, no existiendo contribución de genes de cromosomas del citoplasma o si existen son iguales.

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en la interacción cruce \times loc en RTF, PPF, DEF y DPF, lo que indica que en éstas variables las cruces se comportaron fenotípicamente de forma diferente en los ambientes bajo estudio, lo que se puede deber a la diversidad genética de los materiales bajo estudio y que son caracteres de herencia poligénica, a diferencia de los caracteres de herencia simple que son poco afectados por el ambiente.

La interacción de loc \times ACG, indica que los efectos genéticos aditivos observados en los materiales estudiados no fueron afectados por la localidad; sin embargo, los efectos de ACE para RTF y NFP fueron afectados de forma significativa por el ambiente. En relación a las diferencias significativas ($p \leq 0.01$) encontradas entre cruces para las variables RTF, PPF, NFP, DEF, DPF y FF estas se pueden atribuir a la divergencia genética que presentan los progenitores, lo que indica la existencia de variabilidad genética (Sahagún *et al.*, 1999). A pesar de la significancia encontrada en algunas interacciones (loc \times ACE, loc \times EM y loc \times ER), su contribución a la varianza fenotípica observada para las diferentes características resultó pequeña en comparación con la contribución de los efectos de ACG y ACE.

Estimación de la aptitud combinatoria general (ACG)

Los efectos promedio de ACG de las poblaciones utilizados como progenitores a través de ambientes, se presentan en el Cuadro 2. En el que se observa que UAN-SE3 y UAN CPP-S2 presentaron efectos positivos de ACG para la mayoría de los caracteres evaluados, con excepción de UAN-SE3 que en SST presentó efectos negativos, destacando los de RTF con 3.604 y 2.113, respectivamente, estos resultados indican que estos progenitores tienen potencial para aumentar el número de frutos, su tamaño y peso de acuerdo al valor estimado en ACG para PPF, DEF y DPF, además, de que en los frutos de éstas poblaciones

shows the high genetic potential of these parents. Variety Rendidora showed positive effects of ACG for fruit firmness and SST with 0.031 and 0.073, respectively. These traits could be exploited in a breeding program by selection, to improve these traits.

However, the rest of the evaluated variables had negative effects, only UAN CC-S2 had positive effects on NFP with 1.097, but negative in the rest of the variables. This indicates that Rendidora and UAN CC-S2 are parents of low ACG. Since UAN-SE3 and UAN CPP-S2 populations showed high values of ACG, may be useful for the use of additive effects. In this regard Sahagún *et al.* (1999) reported for Salamanca variety greater positive effects of ACG on average fruit weight, earliness, fruit volume and plant height, than in Rendidora and Milpero de Guerrero, suggesting the existence of genetic variability that can be exploited through selection. It has been reported a high ACG or additive effects for RTF and NFP in varieties Verde Puebla, CHF1-Chapingo and Manzano, so it is recommended to be used in hybridization or recurrent selection (Peña *et al.*, 1998).

Estimation of ACE in direct and reciprocal crossings

Table 3 shows the effects of ACE for crosses, pointing out that the greater the effect of ACE shown by direct crosses than by reciprocal crosses, these can be used favorably as female parent and the greater the effect of ACE for the reciprocal crosses than in direct crosses, these may be used as male parent, for a trait or set of traits in particular (Sánchez *et al.*, 2011).

Table 3 shows that for total yield of fruit, the cross UAN CPP-S2 \times UAN-SE3, ACE had a value of 5.457, while the reciprocal cross showed a value of 3.501 for ACE, indicating that UAN CPP-S2 is better as female than as male parent for crosses, number of fruits per plant showed a similar behavior for this cross, however in PPF was found the opposite behavior. Cross UAN-SE3 \times Rendidora and UAN CPP-S2 \times Rendidora, showed a negative value of ACE for fruit yield, in its direct cross (-5.102 and -0.851, respectively), while in their reciprocal crosses the same crosses showed positive values (4.549 and 2.386, respectively).

In PPF and NFP variables a similar behavior was observed, hence Rendidora variety always will be better as male in its crosses. crosses UAN CC-S2 \times UAN CPP-S2 and UAN CC-S2 \times Rendidora, for RTF showed positive values of ACE in its direct cross (0.189 and 6.925, respectively) similar to PPF and NFP variables, while the first cross presented

podría ser posible aumentar la firmeza mediante procesos de selección y en UAN CPP-S2 se podría incrementar el contenido de vitamina C, lo que demuestra el alto potencial genético de éstos progenitores. La variedad Rendidora presento efectos positivos de ACG para firmeza de fruto y SST con 0.031 y 0.073, respectivamente. Dichas características podrían ser explotables en un programa de mejoramiento genético por selección, para mejorar dichos caracteres.

Sin embargo, el resto de las variables evaluadas presentaron efectos negativos, solo UAN CC-S2 presentó efectos positivos en NFP con 1.097, pero negativos en el resto de las variables estudiadas. Lo anterior indica que Rendidora y UAN CC-S2 son progenitores de baja ACG. Dado que las poblaciones UAN-SE3 y UAN CPP-S2 presentaron altos valores de ACG, pueden ser de utilidad para el aprovechamiento de los efectos aditivos. Al respecto Sahagún *et al.* (1999) reportan en la variedad Salamanca mayores efectos positivos de ACG en peso promedio de fruto, precocidad, volumen de fruto y altura de planta, que en Rendidora y Milpero de Guerrero, por lo que sugieren la existencia de variabilidad genética que se puede explotar por medio de selección. También se ha reportado alta ACG o efectos aditivos para RTF y NFP en las variedades Verde Puebla, CHF1-Chapingo y Manzano, por lo que se recomienda usarse en programa de hibridación o selección recurrente (Peña *et al.*, 1998).

Cuadro 2. Efectos de ACG y comportamiento genético de progenitores a través de sus cruzas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

Table 2. Effects of ACG and genetic behavior of parents through their crosses on average by environments, Saltillo and General Cepeda, Coahuila, Mexico.

| Progenitores | RTF (t ha ⁻¹) | PPF (g) | NFP | DEF (cm) | DPF (cm) | FF (kg cm ⁻²) | SST (°Brix) | VIT C (mg 100 g) |
|--------------|------------------------------|------------|--------|-------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------------|
| UAN CC-S2 | -1.492 | -2.349 | 1.097 | -0.143 | -0.133 | -0.088 | -0.034 | -0.052 |
| UAN CPP-S2 | 2.113 | 1.994 | 0.0084 | 0.21 | 0.148 | 0.025 | 0.029 | 0.088 |
| UAN-SE3 | 3.604 | 4.932 | 1.989 | 0.19 | 0.155 | 0.031 | -0.068 | 0.039 |
| Rendidora | -4.224 | -4.577 | -3.095 | -0.257 | -0.17 | 0.031 | 0.073 | -0.076 |

Estimación de la ACE en cruzas directas y recíprocas

En el Cuadro 3 se presentan los efectos de ACE para cruzas, señalando que en tanto mayor sea el efecto de ACE mostrado por las cruzas directas que por las cruzas recíprocas, estos podrán ser utilizados favorablemente como progenitor femenino y mientras mayor sea el efecto

in reciprocal a negative value (-2.166) and the second cross presented a positive value but lower than in direct cross (3.191) the same behavior was observed in PPF and NFP variables, suggesting that parent UAN CC-S2 always be used as female parent. On the other hand the cross UAN CC-S2 x UAN-SE3 shows negative ACE values in its direct crosses (-1.1548) and a positive value in its reciprocal crosses (2.146) demonstrating the possibility of using UAN-SE3 as male parent (Table 4).

The high values of ACE in some variables indicate that the best scheme to exploit this variable will be hybridization, to use efficiently the genetic variance due to dominance or epistatic effects (Sprague and Tatum, 1942). The effects of ACE shown by direct and reciprocal crosses and EM parent, determine the best way to use the genotype either as female or male parent, allowing at the same time to identify crosses with higher yield and fruit quality. In this regard Peña *et al.* (1998) stated that if the effect of ACE is positive and with a high value, their respective parents represent an option to derive families, populations or lines, for a breeding program, always considering the direction of the breeding program, which is who determines at the end the favorable traits of each parent.

Maternal effects (EM) of parents

The positive EM from a cross in particular, show that such parents have greater potential in their crosses when used as female parent than in their respective reciprocal crosses,

on the contrary if EM are negative, these indicate that such parents have greater potential in their crosses when used as male parent (Sánchez *et al.*, 2011) (Table 4). In total fruit yield the parent UAN CPP-S2 and UAN CC-S2 showed positive values of 2.013 and 0.793, respectively. Therefore such parents have higher yield potential in their cross when used as female parent, than in their reciprocal crosses, since observed

de ACE para las cruza recíprocas que en las cruza directas, estos podrán ser utilizados como progenitor macho, para un carácter o conjunto de caracteres en particular (Sánchez *et al.*, 2011).

El Cuadro 3 muestra que para rendimiento total de fruto, la cruza UAN CPP-S2 x UAN-SE3 presentó un valor de ACE de 5.457, mientras que la cruza recíproca presentó un valor de ACE de 3.501 de ACE, lo que indica que UAN CPP-S2 es mejor como progenitor femenino que como macho de la cruza, en el número de frutos por planta se observó un comportamiento similar para ésta cruza, sin embargo en la variable PPF se encontró un comportamiento opuesto. Las cruza UAN-SE3 x Rendidora y UAN CPP-S2 x Rendidora, presentaron un valor negativo de ACE para rendimiento de fruto, en su cruza directa (-5.102 y -0.851, respectivamente), mientras que en su cruza recíproca las mismas cruza presentaron valores positivos (4.549 y 2.386, respectivamente).

positive maternal effects in PPF of 2.391 and 1.10, and in NPF with 0.824 and 0.942. Rendidora showed a negative EM in most variables except for SST, demonstrating that this parent works better as male parent, similar effects were observed in UAN-SE3 to RTF, PPF, DPF, SST and VIT C, indicating that it is better to use it as male parent, which is shown in Table 5 and coincide with that reported by Sánchez *et al.* (2011).

Analysis of crosses for yield, based on their ACG and ACE

According to the decision criteria Sánchez *et al.* (2011), indicates that if $ACG < ACE$ and the cross is high yield, this could be used as a hybrid only, since it is expected to present inbreeding depression in advanced generations, situation in which UAN CC-S2 x Rendidora is in with -5.718 of $ACG < 6.925$ of ACE and yield of 26.25 t ha^{-1} , and its respective reciprocal with -5.718 of $ACG < 3.191$ of ACE and yield of 19.87 t ha^{-1} both higher than their parents (Table 5). Whereas if $ACG = ACE$ and the cross is high yield, the additive and

Cuadro 3. Efectos estimados de ACE y comportamiento genético de cruza directas y recíprocas en promedio de las localidades, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

Table 3. Estimated Effects of ACE and genetic behavior of direct and reciprocal crosses on average from localities of Saltillo and General Cepeda, Coahuila, Mexico.

| Cruzas | RTF (t ha^{-1}) | PPF (g) | NFP | DEF (cm) | DPF (cm) | FF (kg cm^{-2}) | SST (°Brix) | VIT C (mg/100 g) |
|-------------------------|-------------------------------|------------|--------|-------------|-------------|-------------------------------|----------------|---------------------|
| Cruzas directas (i * j) | | | | | | | | |
| 1*2 | 0.189 | 0.564 | -3.31 | 0.094 | 0.018 | -0.193 | 0.169 | -0.016 |
| 1*3 | -1.155 | 9.273 | -11.48 | 0.455 | 0.29 | 0.21 | -0.127 | 0.107 |
| 1*4 | 6.925 | 6.306 | 4.77 | 0.389 | 0.335 | 0.137 | -0.069 | -0.144 |
| 2*3 | 5.457 | 3.19 | 8.086 | 0.153 | 0.148 | 0.374 | -0.136 | 0.186 |
| 2*4 | -0.851 | -0.955 | 1.416 | 0.0075 | 0.039 | 0.375 | 0.28 | 0.06 |
| 3*4 | -5.102 | -8.798 | -0.968 | -0.468 | -0.396 | -0.266 | 0.18 | -0.162 |
| Cruzas recíprocas | | | | | | | | |
| 2*1 | -2.166 | 3.199 | -4.06 | 0.092 | 0.123 | 0.292 | -0.240 | -0.22 |
| 3*1 | 2.146 | -1.582 | 3.793 | -0.195 | -0.025 | -0.107 | -0.012 | 0.147 |
| 3*2 | 3.501 | 10.089 | -4.029 | 0.238 | 0.159 | 0.046 | 0.276 | 0.073 |
| 4*1 | 3.191 | 2.79 | 4.036 | 0.114 | 0.093 | 0.444 | -0.15 | 0.073 |
| 4*2 | 2.386 | 2.676 | 3.269 | 0.044 | 0.138 | 0.153 | 0.0029 | -0.022 |
| 4*3 | 4.549 | 6.06 | 1.792 | 0.364 | 0.126 | 0.180 | -0.132 | 0 |

(1). UAN CC-S2; (2). UAN CPP-S2; (3). UAN-SE3; (4). Rendidora; i= progenitor hembra; y j= progenitor macho.

En las variables PPF y NFP se observó un comportamiento similar, por lo tanto la variedad Rendidora siempre será mejor como macho en sus cruzas. Las cruzas UAN CC-S2 x UAN CPP-S2 y UAN CC-S2 x Rendidora, presentaron para RTF valores de ACE positivos en su cruce directa (0.189 y 6.925, respectivamente) similar a las variables PPF y NFP, mientras que la primera cruce presentó en forma recíproca un valor negativo (-2.166) y la segunda cruce presentó un valor positivo pero más bajo que en la cruce directa (3.191) el mismo comportamiento fue observado en las variables PPF y NFP, lo que sugiere que el progenitor UAN CC-S2 siempre sea utilizado como progenitor femenino. Por otro lado la cruce UAN CC-S2 x UAN-SE3 muestra valores de ACE negativos en su cruce directa (-1.1548) y un valor positivo en su cruce recíproca (2.146) lo que demuestra la posibilidad de utilizar UAN-SE3 como progenitor macho (Cuadro 4).

Los altos valores de ACE en alguna variable, indican que el mejor esquema para aprovechar dicha variable será la hibridación, para aprovechar más eficientemente la varianza genética debida a efectos de dominancia o epistáticos (Sprague y Tatum, 1942). Los efectos de ACE mostrados por las cruces directas como recíprocas y los EM de los progenitores, determinan la mejor forma de utilizar el genotipo ya sea como progenitor femenino o como progenitor macho, al tiempo que permiten identificar las cruces con rendimiento y calidad de fruto, superiores. Al respecto Peña *et al.* (1998) afirman que si el efecto de ACE es positivo y de alto valor, sus respectivos progenitores representan una opción para derivar familias, poblaciones o líneas, para un programa de mejoramiento genético, considerando siempre la dirección del programa de mejoramiento genético, que es el que determina a final de cuenta las características favorables de cada progenitor.

dominance effects are of equal importance, is expected that inbreed depression to be reduced, which is susceptible to be used as base population for recurrent selection, as is the case of cross UAN CPP-S2 x UAN-SE3 with 5.7175 of ACG \approx 5.4567 of ACE and whose yield was higher with 36.52 t ha⁻¹, although it is statistically equal to its best parent.

Importantly its reciprocal respective with ACG of 5.7175 > 3.501 of ACE, although lower yielding 29.52 t ha⁻¹ was statistically equal to its best parent. Another case is when ACG > ACE and the cross is high yield, these can be used directly as open pollinated variety, since it is not expected to show significant inbreeding depression in advanced generations, situation in which is cross UAN CPP-S2 x UAN CC-S2 with 0.6202 of ACG > -2.1658 of ACE and a yield of 24.82 t ha⁻¹ higher than its best parent. In this regard Serrano and Mendoza (1990) and Peña *et al.* (1998) points out that the best parents to form a basis population for improvement by selection, will be those with the highest ACG effects. While Brown *et al.* (2002) says that high additive genetic variability suggests the possibility to obtain important genetic gains by selection, allows deriving rapidly new husk tomato varieties.

Fruit yield analysis indicates that the best cross was UAN CPP-S2 x UAN-SE3, since it outperformed its best parent in 22.3%. The cross UAN CC-S2 x Rendidora and reciprocal cross outperformed its best parent in 103.48% and 54.03%, respectively; moreover in PPF, DEF and DPF a similar effect was observed in direct cross.

Conclusions

The combined analysis of variance identified significant differences in crosses, ACG, ACE, EM and ER, yield and yield components as well as in fruit quality parameters. Husk

Cuadro 4. Efectos maternos de progenitores en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.
Table 4. Effects of maternal parents on average per environments, Saltillo and General Cepeda, Coahuila, Mexico.

| Progenitores | RTF (t.ha ⁻¹) | PPF (g) | NFP | DEF (cm) | DPF (cm) | FF (kg cm ⁻²) | SST (°Brix) | VIT C (mg/100 g) |
|--------------|------------------------------|------------|--------|-------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------------|
| UAN CC-S2 | 0.793 | 1.102 | 0.942 | 0.0028 | 0.048 | 0.157 | -0.1 | 0 |
| UAN CPP-S2 | 2.013 | 2.391 | 0.825 | 0.048 | 0.043 | -0.023 | 0.13 | 0.068 |
| UAN-SE3 | -0.274 | -0.612 | 0.507 | 0.08 | -0.0021 | 0.06 | -0.099 | -0.055 |
| Rendidora | -2.532 | -2.882 | -2.274 | -0.131 | -0.089 | -0.194 | 0.07 | -0.013 |

Efectos maternos (EM) de los progenitores

Los EM positivos de una craza en particular, muestran que tales progenitores tienen mayor potencial en sus cruzas cuando son usados como progenitor femenino, que en sus respectivas cruzas recíprocas, por el contrario si los EM son negativos estos indican que tales progenitores tienen mayor potencial en sus cruzas cuando son usados como progenitor macho (Sánchez *et al.*, 2011) (Cuadro 4). En rendimiento total de fruto el progenitor UAN CPP-S2 y UAN CC-S2 presentaron valores positivos de 2.013 y 0.793, respectivamente. Por lo tanto tales progenitores tienen mayor potencial de rendimiento en sus cruzas cuando son usados como progenitor femenino, que en sus cruzas recíprocas, ya que se observaron efectos maternos positivos en PPF de 2.391 y 1.10, y en NFP con 0.824 y 0.942. En cambio Rendidora mostró EM negativos en la mayoría de las variables excepto para SST, lo que demuestra que este progenitor funciona mejor como progenitor macho, efectos similares se observaron en UAN-SE3 para RTF, PPF, DPF, SST y VIT C, lo que indica que es mejor utilizarlo como progenitor macho, lo cual se muestra en el Cuadro 5 y coincide con lo reportado por Sánchez *et al.* (2011).

tomato populations UAN CPP-S2 and UAN-SE3 had positive and high values of ACG in RTF, PPF, NFP, DEF and DPF, while populations UAN CC-S2 and Rendidora had negative values of ACG for yield and yield components, except for NFP; so parents UAN CPP-S2 and UAN-SE3 with high values of ACG could be used in breeding schemes by selection.

Hybrids UAN CC-S2 x Rendidora and UAN CPP-S2 x UAN-SE3, showed positive and high values of ACE for yield and yield components in direct crosses, in their reciprocal crosses were positive but smaller in magnitude, suggesting using UAN CC-S2 and UAN CPP-S2 as female.

Crosses with $ACG < ACE$, is recommended to use them only as hybrid, crosses UAN CPP-S2 x UAN-SE3 with $ACG \approx ACE$ could serve as a basis population for breeding by selection. Cross UAN-SE3 x UAN CPP-S2 showing $ACG > ACE$ is recommended to be used as open-pollinated variety.

End of the English version



Cuadro 5. Estructura genética y análisis de cruzas para rendimiento, en base a su ACG y ACE en promedio por localidades.
Table 5. Genetic Structure and analysis of crosses for yield, based on their ACG and ACE on average by localities.

| Progenitores | | ACG | RTF (t ha ⁻¹) |
|------------------------|-------------|------------|---------------------------|
| UAN CC-S2 | | -1.492 | 12.9 |
| UAN CPP-S2 | | 2.113 | 21.28 |
| UAN-SE3 | | 3.604 | 29.86 |
| Rendidora | | -4.224 | 12.43 |
| Cruzas Directas | ACG (gi+gj) | ACE (S ij) | |
| UAN CC-S2 x UAN CPP-S2 | 0.62 | 0.189 | 20.49 |
| UAN CC-S2 x UAN-SE3 | 2.111 | -1.155 | 24.95 |
| UAN CC-S2 x Rendidora | -5.718 | 6.925 | 26.25 |
| UAN CPP-S2 x UAN-SE3 | 5.718 | 5.457 | 36.52 |
| UAN CPP-S2 x Rendidora | -2.111 | -0.851 | 21.27 |
| UAN-SE3 x Rendidora | -0.62 | -5.102 | 20.68 |
| Cruzas recíprocas | | | |
| UAN CPP-S2 x UAN CC-S2 | 0.62 | -2.166 | 24.82 |
| UAN-SE3 x UAN CC-S2 | 2.111 | 2.146 | 20.66 |
| UAN-SE3 x UAN CPP-S2 | 5.718 | 3.501 | 29.52 |
| Rendidora x UAN CC-S2 | -5.718 | 3.191 | 19.87 |
| Rendidora x UAN CPP-S2 | -2.111 | 2.386 | 16.5 |
| Rendidora x UAN-SE3 | -0.62 | 4.549 | 11.58 |

gi = ACG de progenitor i; gj = aptitud combinatoria general de progenitor j.

Análisis de cruzas para rendimiento, en base a su ACG y ACE

De acuerdo con los criterios de decisión de Sánchez *et al.* (2011), indica que si $ACG < ACE$ y la craza es de alto rendimiento, esta podría utilizarse como híbrido únicamente, ya que se espera que presente depresión endogámica en generaciones avanzadas, situación en la que se encuentra UAN CC-S2 x Rendidora con -5.718 de $ACG < 6.925$ de ACE y con rendimiento de 26.25 t ha^{-1} , y su respectivo recíproco con -5.718 de $ACG < 3.191$ de ACE y rendimiento de 19.87 t ha^{-1} ambos superiores a sus progenitores (Cuadro 5). Mientras que si $ACG = ACE$ y la craza es de alto rendimiento, los efectos aditivos y de dominancia son de igual importancia, se espera que la depresión endogámica sea reducida, por lo que es susceptible de ser utilizado como población base para selección recurrente, como es el caso de la craza UAN CPP-S2 x UAN-SE3 con 5.7175 de $ACG \approx 5.4567$ de ACE y cuyo rendimiento fue el mayor con 36.52 t ha^{-1} , aunque estadísticamente es igual a su mejor progenitor.

Es importante señalar que su respectivo recíproco con ACG de $5.7175 > 3.501$ de ACE, aunque de menor rendimiento 29.52 t ha^{-1} fue estadísticamente igual a su mejor progenitor. Otro caso es cuando la $ACG > ACE$ y la craza es de alto rendimiento, estas pueden ser utilizadas de forma directa como variedad de polinización libre, dado que se espera que no presenten depresión endogámica significativa en generaciones avanzadas, bajo ésta situación se encuentra la craza UAN CPP-S2 x UAN CC-S2 con 0.6202 de $ACG > -2.1658$ de ACE y rendimiento de 24.82 t ha^{-1} superior a su mejor progenitor. Al respecto Serrano y Mendoza (1990) y Peña *et al.* (1998) señalan que los mejores progenitores para formar una población base para mejoramiento por selección, serán aquellos con los mayores efectos de ACG . Mientras que Moreno *et al.* (2002) afirman que la alta variabilidad genética aditiva, sugiere la posibilidad de obtener ganancias genéticas importantes mediante selección, lo que permite derivar rápidamente nuevas variedades de tomate de cáscara.

Los análisis de rendimientos de fruto indican que la mejor craza fue UAN CPP-S2 x UAN-SE3, ya que superó a su mejor progenitor en 22.3%. La craza UAN CC-S2 x Rendidora y la craza recíproca superaron en rendimiento a su mejor progenitor en 103.48% y

Literatura citada

- AOAC (The Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis, 17th (Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, M D.
- Carta de Climas. 1970. No.14R-VII. Sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. UNAM, Instituto de Geografía. Impreso en México en los Talleres Gráficos de la Nación.
- De la Cruz, L. E.; Gómez V. A.; López B. A.; Osorio O. R.; Palomo G. A.; Robledo T. V. y Rodríguez H. S. 2007. Aptitud combinatoria de líneas de maíz de alta calidad de proteína para características forrajeras. *Universidad y Ciencia* 23(1):57-68.
- Gomide, M. L.; Maluf, W. R. y Gomes, L. A. A. 2003. Heterose e capacidade combinatória de linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.). *Cienc. Agrotec. Lavras*. 27:1007-1015.
- Griffing, B. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Austr. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Gutiérrez, del R. E.; Palomo, G. J.; Espinoza, B. A. y De la Cruz, L. E. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 (3):271-277.
- Hallauer, A. R. and Miranda, B. 1981. Quantitative genetic in maize breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 268-368 pp.
- López, B. A.; Borrego, E. F.; Zamora, V. V. M. y Guerra, L. 2012. Estimación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Agraria. 9(3):87-95.
- López, L. R.; Arteaga, R. R.; Vázquez, P. M. A.; López, C. I. L. y Sánchez, C. 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Rev. Chapingo, Ser. Hort.* 15(1): 83-89.
- Márquez, S. F. 1988. Genotecnía vegetal. Métodos, teoría, resultados. Tomo II. 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 en Ciencias Agrícolas, Chapingo, Estado de México. 249 p.
- Montesinos, L. O. A.; Mastache, L. A. A.; Luna, E. I. and Hidalgo, C. J. V. 2007. Best linear unbiased predictor for general combining ability and combined analysis of Griffing's designs one and three *Tec. Pecu. Méx.* 45(2):131-146.
- Moreno, M. M.; Peña, L. A.; Sahagún, C. J.; Rodríguez P. J. E y Mora, A. R. 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1- Fitotecnía de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):231-237.
- Pandey, K. K. 1957. Genetics of self-incompatibility in (*Physalis ixocarpa* Brot.) a new system. *Amer. J. Bot.* 44:879- 887.
- Pech, M. A. M.; Castañón N. G.; José M. T. S.; Mendoza E. M.; Mijangos C. J. O.; Pérez G. A. y Latournerie M. L. 2010. Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):353-360.
- Peña, L. A. y Santiaguillo, H. J. F. 1999. Variabilidad genética de tomate de cáscara en México. *Inf. Rep. 2. Departamento de Fitotecnía. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.*
- Peña, L. A.; Molina, G. J. D.; Cervantes, S. T.; Márquez, S. F.; Sahagún C. J. y Ortiz, C. J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo, Ser. Hort.* 4(1):31-37.

54.03%, respectivamente; por otra parte en PPF, DEF y DPF se observó un efecto similar en la cruza directa.

Conclusiones

El Análisis de varianza combinado permitió identificar diferencias significativas en cruzas, ACG, ACE, EM y ER, en rendimiento y componentes del rendimiento así como en parámetros de calidad de fruto. Las poblaciones de tomate de cáscara UAN CPP-S2 y UAN-SE3 se encontraron valores positivos y altos de ACG en RTF, PPF, NFP, DEF y DPF, mientras que las poblaciones UAN CC-S2 y rendidora presentaron valores negativos de ACG para rendimiento y componentes del rendimiento, excepto para NFP. Por lo que los progenitores UAN CPP-S2 y UAN-SE3 con altos valores de ACG podrían utilizarse en esquemas de mejoramiento genético por selección.

Los híbridos UAN CC-S2 x Rendidora y UAN CPP-S2 x UAN-SE3, presentaron valores positivos y altos de ACE para rendimiento y componentes del rendimiento en su cruza directa, en su cruza recíproca fueron positivos pero de menor magnitud, lo que se sugiere utilizar a UAN CC-S2 y UAN CPP-S2 como hembras.

Las cruzas con $ACG < ACE$, se recomienda solo usarlas como híbrido, la cruza UAN CPP-S2 x UAN-SE3 con $ACG \approx ACE$ podría servir como población base para mejoramiento por selección. La cruza UAN-SE3 x UAN CPP-S2 que manifestó $ACG > ACE$ se recomienda utilizarse como variedad de polinización libre.

- Peña, L. A.; Santiaguillo, H. J. F.; Montalvo, H. D. y Pérez, G. M. 1997. Intervalos de cosecha en la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 3(1):31-38.
- Peña, L. A. y Márquez, S. F. 1990. Mejoramiento genético en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 71/72: 84-88.
- Reyes, L. D.; Molina, G. J. D.; Oropeza, R. M. A. y Moreno, P. E. del C. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. Rev. Fitotec. Mex. 27(1):49-56.
- Ruiz, E.; Sigarroa, A. y Cruz J. A. 2004. Analisis dialélico del rendimiento y sus principales componentes en variedades de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) I. tabla dialélica de Griffing. Biol. 18(1):64-73.
- Sahagún, C. J.; Gómez, R. F. y Peña, L. A. 1999. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 5(1):23-27.
- Sánchez, H. C.; Villanueva, V. C.; Sahagún, C. J.; Martínez, S. J.; Legaria, S. J. P. y Sánchez, M. A. 2011. Efectos de aptitud combinatoria en híbridos de calabacita tipo grey zucchini. Rev. Chapingo Ser. Hort. 17(2):89-103.
- Santiaguillo, H. J. F.; Cervantes, S. T. y Peña, L. A. 2004. Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruzas planta x planta entre variedades de tomate de cáscara. Rev. Fitotec. Mex. 27(1):85-91.
- Serrano, C. L. y 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. Rev. Fitotec. Mex. 13(1): 44-55.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012 http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350.
- Sprague, G. F. and Tatum, L. A. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 923-932.
- Wong, R. R.; Gutiérrez, del R. E.; Rodríguez, H. S. A.; Palomo, G. A.; Córdova, O. H. y Espinoza B. A. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. Universidad y Ciencia. 22(2):141-151.
- Zhang, Y.; Kang, M. S. and Lamkey, R. 2005. Diallel-SAS05: a comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. Agron. J. 97:1097-1106.