

Potencial genético y heterosis para rendimiento en líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)*

Genetic potential for yield and heterosis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) lines

Rosendo Hernández Martínez¹§, Alfonso López Benítez², José Espinoza Velázquez², David Sánchez Aspeytia³, César Augusto Reyes Méndez¹, Gibran Jaciel Alejandro Rojas⁴ y Francisco Alfonso Gordillo Melgoza⁴

¹Campo Experimental Río Bravo- INIFAP. Carretera Matamoros-Reynosa, km 61. A. P. 172. C. P. 88900. Río Bravo, Tamaulipas, México. Tel: 018999340745. (reyesmca@hotmail.com). ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Departamento de Fitomejoramiento. Calzada Antonio Narro Núm. 1923. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México. Tel: 018444110298. (alfopezbe_2000@hotmail.com; jespvel@uaaan.mx). ³Unidad Saltillo- INIFAP. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119. No. 9515. C.P. 25315. Col. Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Tel: 018444391901. (dsanchezaspeytia@yahoo.com.mx). ⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Departamento de Horticultura. Calzada Antonio Narro Núm. 1923. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México. Tel: 018444110200. (gibran2uaaan@gmail.com; gordillomelgoza@gmail.com). §Autor para correspondencia: ing_rosendo@hotm.com.

Resumen

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial tanto en fresco como en procesos industriales. Sin embargo, en México los rendimientos en campo abierto e invernadero son generalmente bajos. Para incrementar el rendimiento es necesario, entre otras acciones, realizar evaluaciones respecto a los efectos genéticos en variedades e híbridos. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos genéticos e identificar genotipos con potencial de rendimiento en ocho variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y sus 28 híbridos F₁. Las cruces se produjeron en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, México, durante el ciclo (O-I 2011) y se evaluaron en un lote experimental de la misma universidad en el ciclo (P-V 2012), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Se observó significancia ($p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$), en las fuentes de variación de genotipos, variedades, heterosis, heterosis promedio, heterosis varietal y heterosis específica en la mayoría de las variables en estudio. Las variedades IR9 e IR13 mostraron el mayor efecto de ACG y los híbridos IR14*D6, IR13*D4 y D4*D3 presentaron altos valores de ACE para rendimiento

Abstract

The tomato is one of the most consumed vegetables worldwide both fresh and in industrial processes. However, in Mexico yields in open field and greenhouse they are generally low. To increase performance requires, among other things, make assessments of the genetic effects on varieties and hybrids. The aim of this study was to determine the genetic effects and to identify genotypes with yield potential in eight varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and their 28 hybrids F₁. Crosses were produced in a greenhouse at the Autonomous University Agraria Antonio Narro (UAAAN) in Saltillo, Coahuila, Mexico, during the cycle (A-W 2011) and evaluated in an experimental batch of the same university in the cycle (S-S 2012) under an experimental design of randomized complete blocks with three replications. Significance was observed ($p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$) in the sources of variation of genotypes, varieties, heterosis, average heterosis, varietal heterosis and specific heterosis in most of the variables under study. Varieties IR9 and IR13 showed the greatest effect of ACG and hybrid IR14*D6, IR13*D4 and D4*D3 showed high ACE for performance

* Recibido: diciembre de 2015
Aceptado: marzo de 2016

y por consecuencia los mayores rendimientos, superando los 100 t ha⁻¹ en campo abierto. Las variedades y cruza con mayores efectos aditivos (ACG) y no-aditivos (ACE) con respecto a rendimiento, podrían ser usadas dentro de un programa de mejoramiento genético, donde la acción aditiva puede ser manejada bajo un esquema de selección recurrente y la no-aditiva por hibridación.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., aptitud combinatoria, cruzamientos dialélicos, heterosis, híbridos.

Introducción

La horticultura es una actividad agrícola de gran importancia socioeconómica, por la captación de divisas y la generación de empleos. El tomate es el segundo cultivo hortícola más importante del mundo, después de la papa. A nivel mundial se tienen como principales productores a China, India y Estados Unidos. México está ubicado en el décimo lugar con 2 838 369 de toneladas anuales (FAOSTAT, 2012), es el cultivo hortícola de más amplia distribución, se siembra en todas las entidades del país bajo una amplia diversidad de condiciones de clima y sistemas de cultivo. En el 2013 se produjeron 2 694 358 t, con un valor de \$15 045 508. En ese año los principales estados productores fueron; Sinaloa, Baja California, Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco, con un rendimiento promedio de 57.21 t ha⁻¹ en campo abierto e invernadero. Actualmente es relevante señalar que en la Comarca Lagunera del norte de México, se siembran cerca de 900 ha de tomate en condiciones de riego y temporal (SIAP-SAGARPA, 2013).

El constante crecimiento de la población y por ello la creciente demanda de alimentos, ha hecho necesario producir alimentos y materias primas industrializables en mayor cantidad por unidad de superficie cultivable. Ante esta demanda el objetivo principal del mejoramiento genético es incrementar la producción y la calidad de los productos agrícolas por unidad de superficie, en el menor tiempo, con el mínimo esfuerzo y costo posibles. Esto puede lograrse mediante la obtención de nuevas variedades o híbridos, con mayores aptitudes productivas en granos, frutos, tallos y hojas o raíces, y que respondan a las necesidades de agricultores y consumidores.

Una de las alternativas para lograr un incremento en la producción por planta, es el evaluar nuevos híbridos o variedades destacadas en cuanto a parámetros de aptitud

and consequently higher yields, exceeding 100 t ha⁻¹ in the open. Varieties and crosses with greater additive effects (ACG) and non-additive (ACE) with respect to performance, could be used in a breeding program, where the additive action can be handled under a scheme of recurrent selection and no -aditiva by hybridization.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., combining ability, diallel crosses, heterosis, hybrids.

Introduction

Horticulture is an agricultural activity of great economic importance for foreign exchange earnings and job creation. The tomato is the second largest in the world after the potato horticultural crop. Globally, the main producers are China, India and the United States. Mexico is located in tenth place with 2 838 69 tons annually (FAOSTAT, 2012), is the vegetable crop wider distribution, it is sown in all entities of the country under a wide variety of weather conditions and farming systems. In 2013 there were 2 694 358 tonnes, with a value of \$15 045 508. In that year the major producing states were; Sinaloa, Baja California, Zacatecas, San Luis Potosi and Jalisco, with an average yield of 57.21 t ha⁻¹ in open field and greenhouse. Currently it is relevant to note that the Laguna region of northern Mexico, about 900 ha of tomatoes planted under irrigation and temporal (SIAP-SAGARPA, 2013).

The steady growth of the population and therefore the growing demand for food, it has become necessary to produce food and raw materials industrializable as much per unit of arable land. Faced with this demand the main aim of breeding is to increase production and quality of agricultural products per unit area in the shortest time with the least possible effort and cost. This can be achieved by obtaining new varieties or hybrids with higher productive skills in grains, fruits, stems and leaves or roots, and responsive to the needs of farmers and consumers.

One alternative to achieve an increase in production per plant, is evaluating new hybrids or varieties leading in terms of combining ability parameters for important agronomic traits. Among the most commonly used genetic designs to find genotypes with outstanding characteristics judging by his general combining ability (ACG) and specific (ACE) were proposed by Haynman (1954), Griffing (1956) or by

combinatoria para caracteres agronómicos de importancia. Entre los diseños genéticos más utilizados para encontrar genotipos con características sobresalientes a juzgar por su aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) son los propuestos por Haynman (1954), Griffing (1956) o por los de Gardner y Eberhart (1966), mediante los cuales se logra una mayor eficacia en el programa de mejoramiento, ya que permite seleccionar líneas o genotipos provenientes de una serie de cruzamientos dialélicos.

El análisis de ACG permite identificar adecuadamente los progenitores con capacidad de transmitir sus caracteres deseables a la descendencia y la ACE posibilita conocer todas aquellas combinaciones híbridas F_1 sobresalientes, originadas de cruzamientos entre variedades, líneas o poblaciones. Igualmente este tipo de análisis facilita la información sobre el tipo de acción génica que condiciona la expresión de un carácter, lo cual es básico para escoger el método más adecuado a seguir. La determinación de la ACG y ACE, permite conocer la forma en que actúan los genes sobre determinadas características, así como la importancia relativa de cada una, lo que hace posible obtener un rápido avance en la mejora genética si se usan los genotipos de mayor aptitud combinatoria. Cuando los valores de ACG son mayores que los de ACE significa la supremacía de los efectos aditivos. En caso contrario, son más importantes los efectos de dominancia no-aditivos (Peña *et al.*, 1999; Elizondo, 2000; Espitia *et al.*, 2006).

Sánchez *et al.* (2010) al evaluar los efectos genéticos de cuatro progenitores y seis cruza directas de tomate, en campo e invernadero para las variables de rendimiento y de calidad, encontraron diferencias en el análisis de varianza combinado ($p \leq 0.01$) entre ambientes para peso promedio de fruto y rendimiento, así como significancia ($p \leq 0.05$) para días a primer corte. Las condiciones ambientales de cada localidad fueron diferentes para los genotipos en general, incluyendo progenitores e híbridos, peso promedio de fruto y rendimiento, indicando que los genotipos se comportaron diferentes y que los híbridos difieren en su comportamiento debido a la diversidad genética de los progenitores. Mendoza de Jesús *et al.* (2010) encontraron en un estudio de 9 híbridos de tomate Saladette evaluados bajo invernadero e hidroponía seis cruza que igualaron la vida de anaquel ($p \leq 0.05$) de sus progenitores y los superaron en rendimiento total de fruto, con efectos de heterosis con respecto al mejor progenitor y al progenitor medio que fluctuaron entre 9 y 11 y entre 7 y 16 kg parcela⁻¹ de ocho plantas, respectivamente ($p \leq 0.01$ o $p \leq 0.05$), señalando que en los genotipos pueden explotarse

Gardner and Eberhart (1966) by which greater efficiency in the breeding program is achieved, allowing select lines or genotypes from a series of diallel crosses.

The ACG analysis allows parents to properly identify their ability to transmit desirable traits to offspring and ACE possible to know all the outstanding hybrid F_1 combinations, originated from crosses between varieties, lines or populations. This type of analysis also provides information on the type of gene action that affects the expression of a character, which is basic to choose the most appropriate method to follow. Determining the ACG and ACE, it allows to know how genes act on certain characteristics, as well as the relative importance of each, making it possible to obtain rapid progress in breeding if greater fitness genotypes used combinatorics. When the values of ACG outweigh the ACE means the supremacy of additive effects. If not, they are more important dominance effects non-additives (Peña *et al.*, 1999; Elizondo, 2000; Espitia *et al.*, 2006).

Sanchez *et al.* (2010) to assess the genetic effects of four parents and six direct crosses tomato in field and greenhouse for variables of performance and quality, they found differences in the combined analysis of variance ($p \leq 0.01$) environments to average weight of result and performance as well as significant ($p \leq 0.05$) for days to first cut. The environmental conditions of each locality were different genotypes in general, including parents and hybrids, average fruit weight and yield, indicating that genotypes behaved different and hybrids differ in their behavior due to the genetic diversity of the parents. Mendoza *et al.* (2010) found in a study of 9 Saladette tomato hybrids evaluated under greenhouse and hydroponics six crosses that matched shelf life ($p \leq 0.05$) from their parents and exceeded total fruit yield, with effects of heterosis with respect to best parent and parent average fluctuated between 9 and 11 and between 7 and 16 kg parcela⁻¹ eight plants respectively ($p \leq 0.01$ o $p \leq 0.05$), noting that genotypes can be hired attributes of combining ability and parcel additive, for use as varieties; also they possess specific skills favorable to produce combinatorial dominance effects and be operated in hybrid combinations.

In Bangladesh 10 parents and 45 possible crosses of tomato genotypes were studied to analyze the heterosis of yield components, significant differences ($p \leq 0.01$) among genotypes for all the characteristics evaluated performance, these results were found three hybrids were selected by high performance heterotic (Hannan *et al.*, 2007). In a study of

sus atributos de aptitud combinatoria y porción aditiva, para emplearse como variedades; además poseen aptitudes combinatorias específicas favorables para producir los efectos de dominancia y ser manejado en combinaciones híbridas.

En Bangladesh se estudiaron 10 progenitores y sus 45 cruza posibles de genotipos de tomate para analizar la heterosis de componentes de rendimiento, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para todas las características de rendimiento evaluadas, de estos resultados tres híbridos fueron seleccionados por su alto comportamiento heterótico (Hannan *et al.*, 2007). En un estudio sobre la heterosis y habilidad combinatoria en 5 progenitores y sus 10 cruza de tomate con adaptación a altas temperaturas, se encontró que los híbridos superaron a los progenitores para el rendimiento de frutos de tamaño grande y mediano, sugiriendo la presencia de efectos no aditivos, mencionando que la presencia de heterosis en híbridos de tomate está asociada con un incremento de la biomasa de la planta y por ende de la producción de frutos (Moreira *et al.*, 2003).

Con base en lo anterior, en este estudio se planteó el siguiente objetivo: identificar y seleccionar los genotipos sobresalientes en características agronómicas importantes de rendimiento y evaluar los efectos genéticos entre progenitores e híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de campo abierto siguiendo la metodología del análisis II de Gardner y Eberhart (1966).

Materiales y métodos

El material genético que se utilizó en esta investigación fueron ocho líneas de tomate como progenitores y 28 cruza directas. Los cruzamientos se realizaron con base al método II de Griffing, modelo I (1956), que involucro a los progenitores y cruza directas (Cuadro 1). La formación de los híbridos se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), estado de Coahuila, durante el ciclo otoño- invierno de 2011. Los frutos provenientes de cada cruza se cosecharon en etapa de madurez fisiológica y se almacenaron hasta su completa maduración, para realizar la extracción de semilla, y posteriormente evaluar los híbridos.

heterosis and combining ability in five parents and his 10 crosses tomato with adaptation to high temperatures, it was found that hybrid outperformed parents for fruit yield of large and medium size, suggesting the presence of effects additives, noting that the presence of heterosis in tomato hybrids is associated with increased plant biomass and hence fruit production (Moreira *et al.*, 2003).

Based on the above, this study raised the following objective: identify and select outstanding genotypes on important agronomic characteristics of performance and assess the genetic effects between parents and hybrids of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under field conditions following analysis methodology II of Gardner and Eberhart (1966).

Materials and methods

The genetic material was used in this research were eight lines of tomato as parents and 28 direct crosses. Crosses were performed based on the method II of Griffing model I (1956), which involved parents and direct crosses (Table 1). The formation of hybrids was conducted in a greenhouse of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Coahuila state, during the cycle autumn-winter 2011. The fruits from each cross were harvested at physiological maturity stage and stored until complete ripening, for extraction of seed, and hybrids subsequently evaluated.

Evaluation of the genetic material. The evaluation of the 36 materials (progenitors and cross) was held in the spring-summer cycle, 2012, in an experimental batch of UAAAN, located in the village of Buenavista, south of Saltillo, Coahuila, Mexico, located at 25° 23' north latitude and 101° degrees 00' west longitude and an altitude of 1 743 meters above sea level, with a climate (Bshw) very dry, semi, and rainfall of 350-450 mm annual average (INEGI, 2000).

Planting of parents and hybrids was held on april 21, 2012 in polystyrene trays 200 cavities containing peat moss (Premier, Pro-mix. PGX. Professional), seeding 20 seeds of each genotype, applying a light watering and subsequently they placed in the greenhouse for germination and development. The transplant was carried out in an open field on june 5, 2012.

Cuadro 1. Diseño dialélico para cruzas en ocho líneas de tomate y sus 28 cruzas directas.**Table 1. Diallel cross design for eight tomato lines and 28 direct crosses.**

| Líneas | IR9 (1) | D10 (2) | IR13 (3) | IR14 (4) | D6 (5) | D4 (6) | D3 (7) | D1 (8) |
|----------|---------|---------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| IR9 (1) | 1 | 1*2 | 1*3 | 1*4 | 1*5 | 1*6 | 1*7 | 1*8 |
| D10 (2) | | 2 | 2*3 | 2*4 | 2*5 | 2*6 | 2*7 | 2*8 |
| IR13 (3) | | | 3 | 3*4 | 3*5 | 3*6 | 3*7 | 3*8 |
| IR14 (4) | | | | 4 | 4*5 | 4*6 | 4*7 | 4*8 |
| D6 (5) | | | | | 5 | 5*6 | 5*7 | 5*8 |
| D4 (6) | | | | | | 6 | 6*7 | 6*8 |
| D3 (7) | | | | | | | 7 | 7*8 |
| D1 (8) | | | | | | | | 8 |

Evaluación del material genético. La evaluación de los 36 materiales (progenitores y cruzas) se realizó en el ciclo primavera- verano, 2012, en un lote experimental de la UAAAN, situado en la localidad de Buenavista, al sur de Saltillo, Coahuila, México, ubicada a 25° 23' latitud norte y 101° 00' longitud oeste y una altitud de 1 743 msnm, con un clima (Bshw) muy seco, semicálido, y con precipitación de 350 a 450 mm promedio anual (INEGI, 2000).

La siembra de los progenitores e híbridos se realizó el 21 de abril del 2012 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, conteniendo peat moss (Premier, Pro-mix. Pgx. Professional), sembrando 20 semillas de cada genotipo, aplicando un riego ligero y posteriormente se colocaron en el invernadero para su germinación y desarrollo. El trasplante se llevó a cabo en campo abierto el 05 de junio de 2012.

Después del trasplante, se inició la aplicación de riegos a razón de tres veces por semana, aumentándose la frecuencia de acuerdo a las necesidades de la planta. Las podas se iniciaron a los 20 días después del trasplante, fueron a un solo tallo para materiales de hábito indeterminado y a dos tallos para los de hábito determinado. Se realizaron cada semana y se continuó hasta culminar el ciclo del cultivo en tomates de tipo indeterminado y los de crecimiento determinado solo hasta el inicio de fructificación.

En cuanto a la fertilización, antes del trasplante se aplicaron al suelo en forma manual 4 g de triple 17 por m²; posteriormente el fertilizante se diluyó en el agua de riego (Cuadro 2) aplicando un volumen de 6.28 L m⁻² una vez por semana durante tres horas, aumentando la frecuencia a dos por semana durante la floración y producción.

After transplantation, the irrigation applications began at three times per week, the frequency being increased according to the needs of the plant. Pruning started at 20 days after transplantation, they went to a single stem for materials of undetermined habit and two stems for certain habit. They were held every week and continued to complete the cycle of the crop in tomatoes indeterminate and determinate growth only until the beginning of fruiting.

As for fertilization before transplantation were applied manually to the ground 4g m² triple 17; subsequently diluted fertilizer in irrigation water (Table 2) applying a volume of 6.28 L per m² once a week for three hours, increasing the frequency to two per week during flowering and production.

Cuadro 2. Fertilización química diluida en 1 000 L de agua.**Table 2. Chemical fertilizer diluted in 1 000 L of water.**

| Fertilizante | Cantidad (g) |
|-------------------------|--------------|
| Sulfato de potasio | 420 |
| Sulfato de magnesio | 420 |
| Quelato de fierro | 140 |
| Fosfato de amonio | 90 |
| Sulfato de amonio | 140 |
| Proquelato de Manganeso | 140 |
| Nitrato de calcio 280 | 1400 |
| Urea | 90 |
| Bórax | 10 |

Variables evaluated. Phenological variables: days to first cut (DPC), days last cut (DUC) and number of cuts (NC). Performance variables: number of fruits per plant (NFP), average fruit weight (PPF) in grams (g), polar diameter (DP) in centimeters (cm), equatorial diameter (OD) in centimeters (cm) and performance (REND) in tonnes per hectare (t ha⁻¹).

Variables evaluadas. Variables fenológicas: días a primer corte (DPC), días a último corte (DUC) y número de cortes (NC). Variables de rendimiento: número de frutos por planta (NFP), peso promedio del fruto (PPF) en gramos (g), diámetro polar (DP) en centímetros (cm), diámetro ecuatorial (DE) en centímetros (cm) y el rendimiento (REND) en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

Toma de datos. Para los días a primer corte se realizó un conteo en días a partir de la fecha de trasplante y el inicio de cosecha de cada uno de los genotipos, para determinar su precocidad. Para los días a último corte se determinó en días desde la fecha de trasplante hasta el final del último corte. Los números de corte se tomaron contando los días desde el primero hasta el último corte. Para estimar el peso promedio de los frutos en cada material se sumó el peso de cada uno de los cortes realizados y se dividió entre el número de frutos totales. Al sexto corte se tomaron 5 frutos al azar de cada genotipo y repetición, se le tomó su peso individual, diámetro polar y ecuatorial del fruto y al final se reportó la media de los 5 frutos. Para obtener el rendimiento en toneladas por hectárea, se multiplicó el rendimiento por planta por la densidad de la población, la cual fue de 18 939 plantas por hectárea.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con 3 repeticiones. La unidad experimental consistió de 5 plantas, en surcos de 2 m de largo a una distancia de 0.33 m entre plantas y 1.60 m entre surcos. Se evaluaron 3 plantas centrales con competencia completa.

El análisis general de los efectos genéticos utilizados fue el análisis II de Gardner y Eberhart (1966) que incluye n progenitores y sus $n(n-1)/2$ cruza posibles, se utilizó para estimar los efectos de heterosis. La media para la población parental o las cruza es descrita por el modelo:

$$V_j = M_v + V_j \text{ para progenitores}$$

$$Y_{ij} = M_v + \frac{1}{2}(V_j + V_{j'}) + hij \text{ para la progenie de las cruza}$$

Donde: M_v = media de las variedades parentales; V_i = efecto varietal de las j -ésima variedad; hij = efecto de la heterosis cuando la variedad j se cruza con la variedad j' .

El efecto de la heterosis (hij') se describe como sigue: $hij' = h + hj + hj' + sjj'$.

Donde: h = heterosis promedio; hj = heterosis varietal contribuida por la variedad j ; hj' = heterosis varietal contribuida por la variedad j' ; sjj' = efecto de la heterosis específica correspondiente a la cruza j y j' .

Data collection. For days to first cut a count it was done in days from the date of transplant and harvest beginning of each genotype to determine their precocity. For days last cut was determined in days from the date of transplant through the end of the last cut. Cut numbers were taken by counting the days from the first to the last cut. To estimate the average weight of the fruit in each material the weight of each of the cuts made and divided by the number of total fruits added. The sixth cut five fruits at random from each genotype and repetition were taken, he took their individual weight, polar and equatorial diameter of the fruit and end the average of the 5 fruits are reported. For performance in tonnes per hectare, the yield per plant multiplied by the density of the population, which was 18 939 plants per hectare.

Experimental design. An experimental design was used in a randomized complete block with 3 replications. The experimental unit consisted of 5 plants in rows 2 m long at a distance of 0.33 m between plants and 1.60 m between rows. The 3 central plants were evaluated with full competition.

The overall analysis of genetic effects used was the analysis II Gardner and Eberhart (1966) which includes parents and their $n(n-1)/2$ possible crosses, was used to estimate the effects of heterosis. The average for the parent population or cross is described by the model:

$$V_j = M_v + V_j \text{ for parents}$$

$$Y_{ij} = M_v + \frac{1}{2}(V_j + V_{j'}) + hij \text{ for the progeny of the cross}$$

Where: M_v = average parent varieties; V_i = varietal effect of the j -th variety; hij = heterosis effect when the variety j intersects the j' variety.

The effect of heterosis (hij') is described as follows: $hij' = h + hj + hj' + sjj'$.

Where: h = average heterosis; hj = varietal heterosis contributed by the variety j ; hj' = varietal heterosis contributed by the variety j' ; sjj' = effect of heterosis specified corresponding to the cross j and j' .

For comparison of means test (DMS) it was performed at the level of probability $p \leq 0.05$. The data processing and statistical analysis was performed with the Statistical Analysis System (SAS) version 9.0 program. Using Diallel-SAS (Zhang *et al.*, 2005), which was followed by analysis of variance and estimation of genetic effects of this experiment.

Para la comparación de medias se realizó la prueba de (DMS) al nivel de probabilidad $p \leq 0.05$. El proceso de los datos y el análisis estadístico se realizó con el programa Statistical Analysis System (SAS) Versión 9.0. Utilizando el programa Diallel-SAS (Zhang *et al.*, 2005), el cual permitió realizar el análisis de varianza y estimación de los efectos genéticos de este experimento.

Resultados y discusión

En los Cuadro 3, 4 y 5 se muestran los cuadrados medios de los análisis de varianza bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966) para las características evaluadas, el cual permitió conocer las diferencias existentes entre los progenitores y sus cruza, así como los diferentes efectos de heterosis. En el Cuadro 3 se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) para repeticiones en las variables diámetro polar y diámetro ecuatorial, esto puede deberse a que los progenitores utilizados para la formación de sus cruza, eran de fruto tipo saladette y bola respectivamente. Para genotipos se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en número de cortes, peso total de fruto por planta y rendimiento. Así mismo divergencias ($p \leq 0.01$) para días a último corte, diámetro polar, diámetro ecuatorial, número de fruto por planta y peso promedio de fruto, lo que nos indica que cuando menos una cruza se comportó de manera diferente a los progenitores, resultados similares fueron encontrados por Dorantes *et al.* (2008); Sánchez *et al.* (2010) y De la Rosa *et al.* (2010).

Results and discussion

In Table 3, 4 and 5 mean squares analyzes of variance under the model II of Gardner and Eberhart (1966) for the evaluated characteristics, which allowed us to know the differences between parents and their crosses are shown, as well as the different effects of heterosis. Table 3 differences ($p \leq 0.05$) were observed in repetitions variables polar diameter and equatorial diameter, this may be because the parents used to form their crosses, were saladette fruit type and ball respectively. For genotypes significant difference ($p \leq 0.05$) in number of cuts, the total weight of fruit per plant and yield. Likewise differences ($p \leq 0.01$) for days last cut, polar diameter, equatorial diameter, number of fruit per plant and average fruit weight, which indicates that at least one crosses behaved differently from parents, results Similar were found by Dorantes *et al.* (2008); Sánchez *et al.* (2010) and De la Rosa *et al.* (2010).

For the source of variation varieties differences ($p \leq 0.01$) for polar diameter, equatorial diameter significantly ($p \leq 0.05$) in number of fruits per plant, total weight of fruit per plant and demonstrated performance, this indicates that at least one crossing behaved differently from the other way, this due to the different genetic backgrounds of the parents. At the source of heterosis discrepancies variation ($p \leq 0.01$) for days last cut, polar diameter, equatorial diameter, number of fruit per plant, average fruit weight also contrasts ($p \leq 0.05$) to cut number were found, which indicates a difference in behavior

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza en 8 líneas de tomate y sus 28 cruza para características de rendimiento y fenológicas analizadas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1956).

Table 3. Mean squares and significance of analysis of variance in 8 tomato lines and 28 cross for performance characteristics and phenological II analyzed under the model of Gardner and Eberhart (1956).

| FV | GL | DPC | DUC | NC | DP | DE | NFP | PPF | REND |
|---------|----|-------|--------|-------|--------|--------|---------|-------------|-----------|
| REP | 2 | 12.34 | 0.61 | 1.74 | 0.11* | 0.13** | 11.28 | 8 003.53 | 940.72 |
| GEN | 35 | 7.19 | 0.47** | 0.97* | 0.19** | 0.25** | 20.60** | 41 426.29** | 1 304.66* |
| VAR | 7 | 11.18 | 0.16 | 0.76 | 0.12** | 0.21** | 24.63* | 73 396.60 | 2 058.50* |
| HET. | 28 | 6.19 | 0.55** | 1.02* | 0.20** | 0.26** | 19.60** | 33 433.71** | 1 116.20 |
| H. PRO. | 1 | 0.27 | 0.39 | 0.83 | 0.03 | 0.57** | 2.93 | 112347.50** | 6039.29** |
| H. VAR. | 7 | 3.57 | 0.10 | 0.52 | 0.62** | 0.60** | 19.65 | 32 739.59** | 538.22 |
| H. ESP. | 20 | 7.41 | 0.71** | 1.20* | 0.07** | 0.13** | 20.41* | 29 730.97** | 1072.34 |
| ERROR | 70 | 6.14 | 0.24 | 0.62 | 0.9 | 0.03 | 10.41 | 10 056.59 | 803.81 |

*, **= significativo a 0.05 y 0.01, respectivamente. FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; DPC= días a primer corte; DUC= días a último corte; NC= número de cortes; DP= diámetro polar; DE= diámetro ecuatorial; NFP= número de fruto por planta; PPF= peso promedio de fruto; REND= rendimiento en toneladas por hectárea; REP= repetición; GEN= genotipo; VAR= variedades; HET= heterosis; H. PRO= heterosis promedio; H. VAR= heterosis varietal; H. ESP. heterosis específica.

Cuadro 4. Estimación de heterosis promedio (h) y varietal (h_v) de los progenitores de tomate para las características de rendimiento y fenológicas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966).**Table 4. Estimated average heterosis (h) and varietal (h_v) parent tomato for performance characteristics and phenological under model II of Gardner and Eberhart (1966).**

| Progenitores | DPC | DUC | NC | DP | DE | NFP | PPF | REND |
|--------------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|----------|---------|
| H. Prom. | 0.12 | -0.14 | -0.21 | -0.04 | 0.17** | 0.39 | 77.57** | 17.98** |
| D1 | 0.79 | 0.00 | -0.25 | -0.10 | 0.20* | 1.95 | -97.56 | -13.99 |
| D3 | 0.79 | -0.00 | -0.25 | -0.23** | 0.38** | -1.37 | 62.97 | 4.77 |
| D4 | 3.12* | 0.00 | -0.91* | -0.37** | 0.14 | -0.70 | -52.69 | -13.76 |
| D6 | -0.54 | 0.00 | 0.08 | -0.32** | -0.06 | 1.29 | -48.99 | 0.89 |
| D10 | 0.12 | -0.00 | -0.25 | -0.28** | 0.37** | -3.37* | 191.72** | 7.66 |
| IR9 | -1.87 | -0.00 | 0.75 | 0.70** | -0.32** | 1.29 | 20.79 | 15.73 |
| IR13 | -0.54 | 0.00 | 0.08 | 0.21* | -0.32** | 1.29 | -30.51 | 2.21 |
| IR14 | -1.87 | 0.00 | 0.75 | 0.41** | -0.39** | 0.62 | -45.71 | -3.51 |

*, **= significativo a 0.05 y 0.01, respectivamente; H. Prom= heterosis promedio.

Cuadro 5. Valores de heterosis específica (s_{ij}) de las cruzas involucradas en un dialélico de ocho progenitores de tomate para las características de rendimiento y fenológicas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966).**Table 5. Values of heterosis specified (s_{ij}) of diallel crosses involved in an eight progenitors tomato performance characteristics and phenological under model II of Gardner and Eberhart (1966).**

| Híbridos | DPC | DUC | NC | DP | DE | NFP | PPF | REND |
|-----------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| IR9*D10 | -0.59 | 0.13 | -0.04 | 0.16 | 0.07 | 1.37 | 87.81 | 26.28 |
| IR9*IR13 | 2.40* | -0.01 | -0.71 | 0.07 | -0.06 | -5.01** | 18.61 | -21.49 |
| IR9*IR14 | -0.76 | -0.01 | 0.62 | 0.02 | -0.28** | 4.92** | -66.64 | 17.03 |
| IR9*D6 | -0.74 | -0.08 | 0.16 | -0.06 | 0.07 | 4.92 | 14.83 | 2.53 |
| IR9*D4 | 1.01 | -0.18 | -0.24 | -0.22** | 0.43** | -3.23* | 59.40 | -13.41 |
| IR9*D3 | -2.04 | -0.01 | 0.84* | -0.09 | -0.09 | 0.14 | -29.07 | -6.14 |
| IR9*D1 | 0.44 | 0.15 | -0.62 | 0.10 | -0.14 | 1.59 | -84.95 | -4.78 |
| D10*IR13 | -2.33 | 0.30 | 0.94* | 0.27** | -0.29** | 0.41 | -40.73 | -4.14 |
| D10*IR14 | 1.49 | 0.30 | -1.05** | -0.02 | 0.15 | -3.30* | 20.38 | -12.90 |
| D10*D6 | 1.95 | 0.31 | -0.43 | -0.12 | 0.07 | 2.03 | -32.75 | 7.99 |
| D10*D4 | 0.60 | 0.13 | -0.25 | 0.01 | 0.07 | -0.13 | -69.31 | -13.09 |
| D10*D3 | 0.88 | 0.30 | -0.17 | -0.12 | -0.15 | -0.41 | 4.25 | -8.42 |
| D10*D1 | -2.00 | -1.52** | 1.02** | -0.18* | 0.06 | 0.02 | 30.34 | 4.29 |
| IR13*IR14 | 0.82 | 0.13 | -0.39 | -0.01 | 0.05 | 0.97 | -88.21 | -29.44* |
| IR13*D6 | -0.37 | 0.15 | 0.23 | -0.09 | -0.11 | -0.68 | -45.17 | -16.12 |
| IR13*D4 | -1.39 | -0.02 | 0.41 | -0.12 | 0.01 | 4.14 | -12.46 | 26.54* |
| IR13*D3 | -0.44 | -0.86** | -0.17 | -0.16 | 0.18* | 0.86* | 38.04 | 16.09 |
| IR13*D1 | 1.32 | 0.30 | -0.30 | 0.04 | 0.23** | -0.69 | 129.92** | 28.56* |
| IR14*D6 | -1.20 | -0.84** | -0.10 | 0.22** | 0.29** | -2.07 | 229.34** | 34.78** |
| IR14*D4 | -0.89 | -0.02 | 0.74 | -0.01 | -0.38** | 2.75 | -141.04** | -2.11 |
| IR14*D3 | -0.61 | 0.13 | 0.49 | -0.05 | 0.13 | -1.85 | 21.99 | -6.902 |
| IR14*D1 | 1.16 | 0.30 | -0.30 | -0.14 | 0.03 | -1.41 | 24.17 | -0.45 |
| D6*D4 | -1.43 | -0.01 | 0.37 | 0.00 | -0.20* | 0.09 | -73.14 | -8.65 |
| D6*D3 | 1.84 | 0.15 | -0.54 | 0.17* | -0.03 | -0.85 | 5.20 | -7.65 |
| D6*D1 | -0.04 | 0.31 | 0.31 | -0.11 | -0.08 | 1.26 | -98.30* | -12.88 |
| D4*D3 | 1.82 | -0.02 | -0.69 | 0.15 | 0.05 | -0.35 | 98.65* | 19.24 |
| D4*D1 | 0.27 | 0.13 | -0.33 | 0.18* | 0.00 | -3.24* | 137.90** | -8.51 |
| D3*D1 | -1.44 | 0.30 | 0.24 | 0.11 | -0.09 | 2.47 | -139.08** | -6.22 |

*, ** significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente.

Para la fuente de variación variedades se manifestaron diferencias ($p \leq 0.01$) para diámetro polar, diámetro ecuatorial y significativa ($p \leq 0.05$) en número de frutos por planta, peso total de fruto por planta y rendimiento, esto indica que cuando menos una craza se comportó de manera diferente a los demás, esto debido a los diferentes orígenes genéticos de los progenitores. En la fuente de variación heterosis se encontraron discrepancias ($p \leq 0.01$) para días a último corte, diámetro polar, diámetro ecuatorial, número de fruto por planta, peso promedio de fruto, además contrastes ($p \leq 0.05$) para número de corte, lo que nos indica una diferencia en comportamiento de las cruzas con respecto a sus progenitores por lo que coincide con Martin *et al.* (1995) el cual señala que en algunos cultivos de autógamias las ganancias heteróticas son considerablemente bajas en este carácter.

Con respecto a la fuente de variación heterosis promedio, se obtuvo significancia ($p \leq 0.01$) para diámetro ecuatorial, peso total de fruto por planta, peso promedio de fruto y rendimiento, lo cual indica que cuando menos existe una craza que difiere del promedio del experimento. En heterosis varietal solo presentó diferencias ($p \leq 0.01$) en las variables diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso promedio de fruto, lo cual muestra que para la fuente de variación genotipo tuvieron un comportamiento muy similar en las otras características evaluadas. En lo correspondiente a heterosis específica, se alcanzaron diferencias ($p \leq 0.05$) para número de corte, número de fruto por planta y divergencias ($p \leq 0.01$) para días a último corte, diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso promedio de fruto lo cual nos indica que cuando menos una craza difiere en estas características del resto de las cruzas.

En el Cuadro 4 se pueden observar los valores estimados de heterosis promedio y heterosis varietal, presentándose diferencias ($p \leq 0.01$) para heterosis promedio en las variables diámetro ecuatorial, peso promedio de fruto y rendimiento, lo cual resalta la importancia de los efectos genéticos no aditivos que determinan estas variables. La heterosis promedio es un primer indicador de la existencia o no de heterosis en el conjunto de los híbridos F_1 formados, con respecto los progenitores utilizados. La existencia de heterosis promedio puede interpretarse como una consecuencia de la divergencia genética entre los híbridos comerciales progenitores, ya que numerosos estudios experimentales de varios autores han mostrado que a mayor divergencia genética entre los progenitores, hay mayor heterosis en las cruzas (Gutiérrez del Río *et al.*, 2002), si los materiales a usar presentan características diferentes y en algunos casos hasta opuestas permitirán clasificar líneas en

of crosses with respect to their parents so that matches Martin *et al.* (1995) which states that in some self-pollinated crops heterotic earnings are considerably lower in this character.

With respect to the average power variation heterosis, significance ($p \leq 0.01$) for equatorial diameter, the total fruit weight per plant, average fruit weight and yield, which indicates at least one cross that differs from the average it was obtained experiment. In varietal heterosis only differences ($p \leq 0.01$) in variables polar diameter, equatorial diameter and fruit weight average, which shows that for the source of variation genotype had a very similar behavior in other characteristics evaluated. As corresponding to specific heterosis, differences were achieved ($p \leq 0.05$) for cutting number, number of fruit per plant and differences ($p \leq 0.01$) for days last cut, polar diameter, equatorial diameter and average weight of fruit which it indicates that at least one crosses these features differs from the rest of the crosses.

In the Table 4 you can see the estimated average heterosis and varietal heterosis values, presenting differences ($p \leq 0.01$) for average heterosis in variables equatorial diameter, average fruit weight and performance, which highlights the importance of genetic effects additives that determine these variables. The average heterosis is a first indicator of the existence of heterosis in all the hybrids F_1 formed with respect parents used. The existence of average heterosis can be interpreted as a consequence of genetic divergence between parents commercial hybrids, and numerous experimental studies several authors have shown that the higher genetic divergence between parents, there is greater heterosis in crosses (Gutiérrez del Río *et al.*, 2002), if the materials used have different characteristics and in some cases even opposite will allow sorting lines into heterotic groups, thereby achieving more efficient management of crosses for best hybrid combinations (Fehr, 1982; Sierra *et al.*, 1991).

In estimating varietal heterosis, for variable days to first cut (DPC) line D4 was the one that obtained the highest value (3.12), presenting significant ($p \leq 0.05$). The existence of these positive effects DPC is a disadvantage if desired improve that character to precocity, since positive effects indicating more late cycles; on the contrary the line with less negative value of varietal heterosis were IR9 and IR14 both with no statistical difference -1.87, indicating the precocity of these parents, a situation that makes it desirable to enhance this genotype in future studies that character. Regarding days last cut (DUC) progenitors with best varietal heterosis

grupos heteróticos, logrando con ello eficientar la dirección de los cruzamientos para obtener mejores combinaciones híbridas (Fehr, 1982; Sierra *et al.*, 1991).

En la estimación de heterosis varietal, para la variable días a primer corte (DPC) la línea D4 fue la que obtuvo el valor más alto (3.12), presentando significancia ($p \leq 0.05$). La existencia de estos efectos positivos en DPC, es una situación desfavorable si se deseara mejorar dicho carácter hacia precocidad, ya que efectos positivos indican ciclos más tardíos; por lo contrario la línea con menor valor negativo de heterosis varietal fueron el IR9 e IR14 ambos con -1.87 sin diferencias estadísticas, indicando la precocidad de estos progenitores, situación que hace deseable este genotipo para mejorar en futuros estudios dicho carácter. Con respecto a días a último corte (DUC) los progenitores con mejor heterosis varietal fueron D1, D4, D6, IR13, IR14 y los más bajos son D3, D10 e IR9 sin diferencia alguna, indicando que los genotipos para esta característica se comportan de manera similar. La diferencia expresada entre genotipos en la variable de DPC y DUC se debe a las características de las variedades utilizadas para clasificar los distintos cultivares de tomate, esto es a través de la duración de su ciclo vegetativo dentro de las cuales se encuentran los precoces, intermedios y tardíos (Elkind *et al.*, 1991).

La heterosis varietal para número de corte (NC) en las líneas con mayor valor positivo correspondió IR9 e IR14 ambas con 0.75 sin diferencias estadísticas y el progenitor que presentó significancia ($p \leq 0.05$) con valor negativo fue el D4 con -0.91, estas diferencias pueden deberse a que el genotipo D4 es de hábito determinado, mientras que IR9 e IR14 fueron indeterminados. Elkind *et al.* (1991) menciona que una continua producción de fruto es característica de tomate de hábito indeterminado, en cambio una producción concentrada en periodos cortos de tiempo es de hábito determinado.

Para diámetro polar (DP) la mayoría de los progenitores manifestaron heterosis varietal al mostrar diferencias ($p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$) de los progenitores IR9, IR14 e IR13 con valores positivos de 0.70, 0.41 y 0.21 cada uno y los genotipos D3, D4, D6 y D10 presentaron valores negativos de -0.23, -0.37, -0.32 y -0.28 respectivamente con significancia ($p \leq 0.01$). Para el diámetro ecuatorial (DE), las líneas con heterosis varietal fueron D3 y D10, con significancia ($p \leq 0.01$) con valores de 0.38, 0.37 y diferencia ($p \leq 0.05$) al material D1 en un valor de 0.20 respectivamente, adicionalmente tres progenitores presentaron valores significativos ($p \leq 0.01$) pero negativos para IR9, IR13 ambos con valor de -0.32 e

were D1, D4, D6, IR13, IR14 and lower are D3, D10 and IR9 without any difference, indicating that the genotypes for this feature behave similarly. The difference expressed between genotypes in variable DPC and DUC is due to the characteristics of the varieties used to classify the different tomato cultivars, ie through the length of their growth cycle within which are the early, intermediate and late (Elkind *et al.*, 1991).

The varietal heterosis for number of cut (NC) on lines more positive value corresponded IR9 both 0.75 and IR14 no statistical differences and the parent who provided significant ($p \leq 0.05$) with a negative value was -0.91 D4 with these differences may be due to genotype D4 is determined habit while IR9 and IR14 were indeterminate. Elkind *et al.* (1991) mentions that a continuous production of tomato fruit is characteristic of indeterminate habit, however a concentrated production in short periods of time is determined habit.

For polar diameter (DP) most parents expressed varietal heterosis to show differences ($p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$) of IR9, IR14 and IR13 parents with positive values of 0.70, 0.41 and 0.21 each and genotypes D3, D4, D6 and D10 showed negative values of -0.23, -0.37, -0.32 and -0.28 respectively with significant ($p \leq 0.01$). For the equatorial diameter (OD), the lines were varietal heterosis D3 and D10, with significance ($p \leq 0.01$) with values of 0.38, 0.37 and difference ($p \leq 0.05$) D1 material to a value of 0.20 respectively, further three parents showed significant ($p \leq 0.01$) but negative for IR9, both with IR13 and IR14 value of -0.32 to -0.39. This indicates that the materials have wide genetic diversity for these two features, because half of the genotypes used as parents was the type of fruit ball and saladette another type.

As for the varietal heterosis for fruit number per plant (NFP), the parent with highest value was 1.95 and the D1 with less varietal parent heterosis D10 value was -3.37 showing significance ($p \leq 0.05$). For average fruit weight (PPF) only parent worth 191.72 D10 showed significant difference ($p \leq 0.01$) varietal heterosis, otherwise the lines D1, D4, D6, IR13 and IR14 were negative and no statistical differences. With respect to variable performance (REND), it was observed that more varietal lines were heterosis IR9, D10 and D3 show positive values of 15.73, 7.66 and 4.77 respectively, meanwhile D1, D4 and IR14 lines had negative values -13.99, -13.76 and -3.51. This means that the additive effects were influencing the D10, IR9 and D3 line to present

IR14 con -0.39. Esto nos indica que los materiales presentan amplia diversidad genética para estas dos características, ya que la mitad de los genotipos usados como progenitores fue del tipo de fruto bola y el otro de tipo saladette.

En cuanto a la heterosis varietal para número de fruto por planta (NFP), el progenitor con mayor valor fue D1 con 1.95 y el progenitor con menor heterosis varietal fue D10 con valor -3.37 mostrando significancia ($p \leq 0.05$). Para peso promedio de fruto (PPF) solo el progenitor D10 con valor de 191.72 mostro diferencia significativa ($p \leq 0.01$) de heterosis varietal, en caso contrario las líneas D1, D4, D6, IR13 e IR14 tuvieron valores negativos y sin diferencias estadísticas. Con respecto al variable rendimiento (REND), se observó que las líneas con mayor heterosis varietal fueron IR9, D10 y D3 presentando valores positivos de 15.73, 7.66 y 4.77 respectivamente, por su parte las líneas D1, D4 e IR14 tuvieron valores negativos de -13.99, -13.76 y -3.51. Esto significa que los efectos aditivos fueron los que influyeron en la línea D10, IR9 y D3 al presentar los valores más altos y positivos para las variables PPF y REND, indicando que estos materiales son una buena fuente de germoplasma para desarrollar futuros programas de mejoramiento en estas dos variables. Resultado similar encontró López *et al.* (2012) para la variable rendimiento al estimar Aptitud Combinatoria General (ACG) y Especifica (ACE) en siete líneas de tomate donde las líneas IR17, IR24, IR9 e IR14 fueron las que tuvieron mayor valor positivo de ACG.

En el Cuadro 5 se presenta la estimación de los efectos de Aptitud Combinatoria Especifica (ACE) del cruzamiento dialélico, donde se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.01$) en la cruce IR9*IR13 con valor de 2.40 para la variable días a primer corte (DPC) y las cruces con menor heterosis específica son D10*IR13, IR9*D3 y D10*D1 con valores de -2.33, -2.04, -2.0, respectivamente. En cuanto a la variable de días a último corte (DUC) los híbridos con mayor valor positivo son D10*D6 y D6*D1 ambos con 0.31 sin diferencias significativas y las cruces de valor más bajo con diferencias ($p \leq 0.01$) fueron D10*D1, IR13*D3 e IR14*D6 con valores de -1.52, -0.86 y -0.84. Respecto al número de corte (NC) los híbridos con mayor efecto de ACE fueron D10*D1, D10*IR13 e IR9*D3 con valores de 1.02, 0.94 y 0.84 con diferencias ($p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$), en caso contrario la cruce con menor heterosis específica fue el D10*IR14 con -1.05 mostrando diferencia significativa ($p \leq 0.01$). De acuerdo a los resultados obtenidos en las variables DPC, DUC y NC, es posible seleccionar y descartar híbridos de acuerdo a su desarrollo fenológico, dentro de las cuales se encuentran genotipos precoces, intermedios y los tardíos (Elkind *et al.*, 1991).

the highest and positive values for the PPF and REND variables, indicating that these materials are a good source of germplasm to develop future breeding programs these two variables. He found similar result Lopez *et al.* (2012) to estimate the performance variable to the General Combining Ability (ACG) and specific (ACE) in seven tomato lines where IR17, IR24, IR14 and IR9 lines were those that were more positive value of ACG.

In the Table 5 shows the estimate of the effects of Combining Ability Specifics (ACE) of diallel crossing, where significant difference ($p \leq 0.01$) was found in the cross IR9*IR13 value of 2.40 for variable days to first cut occurs (DPC) and the crosses are less heterosis specified D10*IR13, IR9*D3 and D10*D1 values of -2.33, -2.04, -2.0, respectively. Regarding the variable days to last cut (DUC) hybrids are more positive value D10*D6 and D6*D1 with both 0.31 and no significant differences crosses lowest value differences ($p \leq 0.01$) were D10*D1, IR13*D3 and IR14*D6 with values of -1.52, -0.86 and -0.84. Regarding the number of cutting (NC) hybrids with greater effect of ACE were D10*D1, D10*IR13 and IR9*D3 values of 1.02, 0.94 and 0.84 with differences ($p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$), otherwise the crosses less heterosis was specified D10*IR14 with -1.05 showing significant difference ($p \leq 0.01$). According to the results of the DPC, DUC and NC variables, you can select and discard hybrids according to their phenological development, in which early, intermediate and late genotypes (Elkind *et al.*, 1991).

With respect to these variables Santiago *et al.* (1998) mentions that the days to the first cut makes a material has some precocity, getting off before most of the product is on the market, this will result in better source of income; these authors found that the earliest genotype was the hybrid Bingo with 99.5 days from sowing to first cut and has 134.5 days later and belongs to the hybrid Burpees Supersteak; also mention the days to crop allow genotype have a longer time in obtaining fruits, making outstanding genotype, in this case, the hybrid Bingo had a higher harvest period.

The effects of ACE for polar diameter (DP), differences ($p \leq 0.01$) in D10*IR13, IR14*D6 hybrids, with values of 0.27 and 0.22, were observed in turn crosses D6*D3, D4*D1 value of 0.17 and 0.18 were different ($p \leq 0.05$). For this same variable crosses with negative values are IR9*D4 and D10*D1 (-0.22 and -0.18) with significance $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively. As for equatorial diameter (DE) crosses higher value of ACE were IR9*D4, IR14*D6, IR13*D1 and IR13*D3, (0.43, 0.29, 0.23 y 0.18) expressing significant

Con respecto a estas variables Santiago *et al.* (1998) menciona que los días al primer corte hace que un material tenga cierta precocidad, obteniendo frutos antes de que la mayoría del producto salga al mercado, esto permite obtener mejor fuente de ingresos; estos mismos autores encontraron que el genotipo más precoz fue el híbrido Bingo con 99.5 días desde siembra a un primer corte y el más tardío presenta 134.5 días y pertenece al híbrido Burpees Supersteak; también hacen mención que los días a cosecha permiten a un genotipo tener un tiempo más prolongado en la obtención de frutos, lo cual hace más sobresaliente al genotipo, para este caso, el híbrido Bingo presentó un mayor periodo de cosecha.

En los efectos de ACE para diámetro polar (DP), se observaron diferencias ($p \leq 0.01$) en los híbridos D10*IR13, IR14*D6, con valores de 0.27 y 0.22, a su vez las cruzas D6*D3, D4*D1 con valor de 0.17 y 0.18 fueron distintas ($p \leq 0.05$). Para esta misma variable las cruzas con valores negativos son IR9*D4 y D10*D1 (-0.22 y -0.18) con significancia $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$, respectivamente. En cuanto a diámetro ecuatorial (DE) las cruzas con mayor valor de ACE fueron IR9*D4, IR14*D6, IR13*D1 e IR13*D3, (0.43, 0.29, 0.23 y 0.18) expresando contrastes significativos con $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$. Los híbridos con menores efectos negativos y diferencias ($p \leq 0.01$) de ACE fueron IR14*D4 (-0.38), D10*IR13 (-0.29), IR9*IR14 (-0.28) y la cruce D6*D4 (-0.20) difiriendo ($p \leq 0.05$) del resto de los materiales, lo cual se vio reflejado en el tamaño de los frutos, que fueron los más pequeños. La relación DP-DE nos indica el tipo de fruto de cada genotipo, diámetros polar grandes indica que los materiales son de fruto tipo saladette y diámetros ecuatorial grandes muestran genotipos de fruto tipo bola.

En la variable número de fruto por planta (NFP) las cruzas con mayor valor de ACE y diferencias significativas ($p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$) fueron IR9*IR14 e IR13*D3 con valores de 4.92 y 0.86, así mismo se observaron contrastes ($p \leq 0.05$) para las cruzas IR9*IR13, D10*IR14, D4*D1, IR9*D4 con valores negativos (-5.01, -3.30, -3.24 y -3.23). Respecto al peso promedio de fruto (PPF) los híbridos sobresalientes ($p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$) fueron IR14*D6 (229.34), D4*D1 (137.90), IR13*D1 (129.92) y D4*D3 (98.65), entre las cruzas con diferencias ($p \leq 0.01$) y resultados negativos se encontraron IR14*D4, D3*D1 y el D6*D1 pero con significancia ($p \leq 0.05$). Se encontró en la variable rendimiento (REND) a las cruzas IR14*D6 (34.78), IR13*D1 (28.56), IR13*D4 (26.54) con mayor valor de heterosis específica (ACE) mostrando en estos contrastes $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$, respectivamente, seguida de los híbridos IR9*D10 y D4*D3 sin diferencias estadísticas; adicionalmente

contrasts with $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$. Hybrids with minor negative effects and differences ($p \leq 0.01$) from ACE were IR14*D4 (-0.38), D10*IR13 (-0.29), IR9*IR14 (-0.28) and crosses D4*D6 (-0.20) differing ($p \leq 0.05$) from the rest of the materials, which was reflected in the size of the fruits, which were smaller. The DP-DE ratio indicates the type of the result of each genotype, polar diameters larger indicates that the materials are saladette fruit type and equatorial diameters show large fruit genotypes ball type.

The variable number of fruit per plant (NFP) crosses higher value of ACE and significant differences ($p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$) were IR9 * IR14 and IR13 * D3 with values of 4.92 and 0.86, also contrasts were observed ($p \leq 0.05$) for the cross IR9*IR13, D10*IR14, D4*D1, IR9*D4 negative values (-5.01, -3.30, -3.24 and -3.23). Compared to the average weight of fruit (PPF) outstanding hybrids ($p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$) were IR14*D6 (229.34), D4*D1 (137.90), IR13*D1 (129.92) and D4*D3 (98.65), among crosses with differences ($p \leq 0.01$) and negative results were found IR14*D4, D3*D1 and the D6*D1 but significant ($p \leq 0.05$). It was found in the variable performance (REND) to cross IR14*D6 (34.78), IR13*D1 (28.56), IR13*D4 (26.54) with the highest value of specific heterosis (ACE) showing these contrasts $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively, followed by hybrid IR9*D10 and D4*D3 without statistical differences; further interbreeding with lower value was IR14 * IR13 with significance ($p \leq 0.05$), with the specific heterosis -29.44. The high performance of a cross may be due to the amount of additive effects of genes from both parents, or the interaction effects of the dominant allele from one parent to the other parent recessive alleles (Falconer, 1981).

Table 6 shows the behavior of genotypes involved in the analysis for fruit yield in tonnes per hectare is ($t\ ha^{-1}$), which is observed at the line IR9 more performance with 81.6 $t\ ha^{-1}$ and they hybrids with higher yield potential were D4*D3, IR14*D6, IR13*D4, IR13*D3 and IR9*D10, having potential yields above 100 $t\ ha^{-1}$ in the open, above the national average reported in 2013 that was 57.21 $t\ ha^{-1}$ (SIAP-SAGARPA, 2013). Bazan *et al.* (2005) evaluated five genotypes tomato under greenhouse conditions, finding that the Yaqui cultivar showed the highest fruit yield (37.5 $t\ ha^{-1}$) and was also the tallest (68.8 cm). Moreira *et al.* (2003) found that hybrids outperformed parents in tomato yield at high temperatures. With regard to these results Zewdie *et al.* (2000) mentioned that based on the ACG of parents can predict the contribution that each make their progeny. This allows you to select plants that combine the superior

la cruza con menor valor fue IR13*IR14 con significancia ($p \leq 0.05$), con -29.44 de heterosis específica. El alto rendimiento de una cruza 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, 1981).

En el Cuadro 6 se muestran los comportamientos de los genotipos involucrados en el análisis para rendimiento de fruto expresado en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), en donde se observa a la línea IR9 con mayor rendimiento con $81.6\ t\ ha^{-1}$ y los híbridos con mayor potencial de rendimiento fueron D4*D3, IR14*D6, IR13*D4, IR13*D3 e IR9*D10, teniendo rendimientos potenciales arriba de $100\ t\ ha^{-1}$ en campo abierto, superando el promedio nacional reportado en el 2013 que fue de $57.21\ t\ ha^{-1}$, (SIAP-SAGARPA, 2013). Bazán *et al.* (2005) evaluaron cinco genotipos de tomate en condiciones de invernadero, encontrando que el cultivar Yaqui mostró el más alto rendimiento de fruto ($37.5\ t\ ha^{-1}$) y fue también el de mayor altura (68.8 cm). Moreira *et al.* (2003) encontraron que los híbridos superaron a los progenitores en rendimiento de tomate en temperaturas altas. Con respecto a estos resultados Zewdie *et al.* (2000) menciona que con base en la ACG de los padres se puede predecir la contribución que cada uno de ellos hace a su progenie. Esto permite seleccionar plantas que combinen las características superiores de los progenitores, así mismo predecir las cruzas con mayor potencial. Este mismo autor menciona que con altos valores de ACG y ACE de padres y sus cruzas, se pueden definir los métodos de mejoramiento más apropiados para aprovechar alelos favorables.

Conclusiones

Teniendo en cuenta las variables de estudio, existe una gran variabilidad entre los genotipos. La aptitud combinaría general y específica, en la mayoría de los genotipos mostraron características sobresalientes que los hace elegibles para avanzarlos a la siguiente generación. Las cruzas de más alto rendimiento potencial fueron D4*D3, IR14*D6, IR13*D4, IR13*D3 e IR9*D10, superando las $100\ t\ ha^{-1}$ en campo abierto; estas cruzas mostraron una ACE para rendimiento mayor que los demás híbridos; asimismo, las líneas IR9 y D10 presentaron valores altos de ACG. Las líneas y cruzas que mostraron el mayor efecto de ACG y ACE con respecto a rendimiento, podrían ser utilizadas en programas de mejoramiento genético, con el propósito de explotar de manera exitosa tanto la acción génica aditiva como de dominancia.

characteristics of the parents, also predict the crosses with the greatest potential. The same author mentions that with high values of ACG and ACE of parents and their crosses, you can define the most appropriate methods of improvement to take advantage of favorable alleles.

Cuadro 6. Rendimiento de fruto ($t\ ha^{-1}$) de progenitores y cruzas de tomate, 2012.

Table 6. Performance result ($t\ ha^{-1}$) of parents and crosses of tomatoes, 2012.

| Líneas | IR9 | D10 | IR13 | IR14 | D6 | D4 | D3D1 |
|--------|------|-------|------|------|-------|-------|-----------|
| IR9 | 81.6 | 101.0 | 46.5 | 96.6 | 82.0 | 77.3 | 86.654.9 |
| D10 | | 73.6 | 68.7 | 71.6 | 92.4 | 82.6 | 89.368.9 |
| IR13 | | | 68.1 | 48.3 | 61.6 | 115.5 | 107.186.5 |
| IR14 | | | | 62.4 | 124.0 | 98.4 | 95.769.1 |
| D6 | | | | | 66.8 | 91.8 | 94.856.5 |
| D4 | | | | | | 52.2 | 133.072.2 |
| D3 | | | | | | | 70.776.5 |
| D1 | | | | | | | 51.9 |

Conclusions

Considering the variables of study, there is great variability between genotypes. Combine fitness general and specific, in most genotypes showed outstanding features that make them eligible to advance them to the next generation. The crosses were higher potential yield D4*D3, IR14*D6, IR13*D4, IR13*D3 and IR9*D10, exceeding $100\ t\ ha^{-1}$ in open field; these crosses showed an ACE for greater performance than other hybrids; Also, IR9 and D10 lines exhibited high values of ACG. Lines and crosses showed the highest effect of GCA and SCA regarding performance, could be used in breeding programs, in order to successfully exploit both additive and dominance gene action.

End of the English version



Literatura citada

Bazán, M. T.; González, J. M. G.; Radillo, F. J. and Ramírez, P. E. C. 2005. Evaluation of five genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse. HortScience. 40(4):993-1147.

- De-la-Rosa, L. A.; De-León, C. H.; Rincón, S. F. y Martínez, G. Z. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados al Bajío mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(3):247-254.
- Dorantes, G. J. R. A.; Gámez, V. F. P.; Ávila, P. M. A.; Gámez, V. A. J. y Ramírez, M. M. 2008. Heterosis para características de fruto en chile jalapeño. 3ª. Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Yucatán, México. 111 p.
- Elizondo, B. J. 2000. Aptitud combinatoria de 13 genotipos de soya en siembra de invernadero en el sur de Tamaulipas. *In: Memoria de XVIII Congreso Nacional de Fitogenética*. Zavala, G. F.; Ortega, P. R.; Contreras, J. A.; Benítez, R. I. y Guillen, A. (Eds.). Irapuato. Guanajuato. 84 p.
- Elkind, Y. A.; Gurnick, A. and Kedar, N. 1991. Genetics of semideterminate growth habit in tomato, *Hort. Sci.* 26(8):1074-1075.
- Espitia, M. M. C.; Vallejo, F. F. A. C. y Baena, D. G. 2006. Efectos heteróticos y habilidad combinatoria para el rendimiento por planta en *Cucurbita moschata* Duch. ExPoir. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín.* 59(01):3105-3121.
- Falconer, D. S. 1981. Introducción a la genética cuantitativa. Segunda edición. Editorial CECSA. London. Logmans. 430 p.
- FAO. 2012. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Fehr, R. W. 1982. Applied plant breeding. Iowa State University. Press. USA. 552 p.
- Gardner, C. O. and Eberhart, S. A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics.* 22:439-452.
- Gutiérrez del Río, E. P. G. A.; 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.
- Griffing, B. 1956 b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Hayman, B. I. 1954 a. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics.* 10:235-244.
- Hannan, M. M.; Ahmed, M. B.; Razvy, M. A.; Karim, R.; Khatun, M.; Haydar, A.; Hossain, M. and Roy, U. K. 2007. Heterosis and correlations of yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *American-Eurasian J. Sci. Res.* 2(2):146-150.
- INEGI. 2000. <http://www.inegi.gob.mx>.
- López, B. A.; Borrego, E. F.; Zamora, V. V. M. y Guerra, Z. L. 2012. Estimación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agraria.* 9(3):87-95.
- Martin, J. M.; Talbert, L. E.; Lanning, S. P. and Blake, N. K. 1995. Hybrid performance in wheat as related to parental diversity. *Crop Sci.* 35:104-108.
- Mendoza de Jesús, V.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E.; Legaria, S. J. P.; Peña, L. A. y Pérez, G. M. 2010. Heterosis intervarietal en jitomate de crecimiento indeterminado tipo saladette. *Rev. Chapingo Serie Horticultura.* 16(1):57-66.
- Moreira, C.; Echandi, M. A. y Méndez, C. R. 2003. Heterosis y habilidad combinatoria en líneas de tomate para mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con adaptación a altas temperaturas. *Rev. Agric. Trop.* 33:51-58.
- Peña, L. A.; Molina, J. G.; Ortiz, J. C.; Cervantes, S. F.; Márquez, S. y Sahagún, J. C. 1999. Heterosis intravarietal en tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Rev. Fitotec. Mex.* 22:199-212.
- Santiago, N. J.; Mendoza, E. M. y Borrego, E. F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agron. Mesoam.* 9(1):59-65.
- Sánchez, A. D.; Borrego, E. F.; Zamora, V. V. M.; Murillo, S. M. M.; Benavides, M. A. y Robledo, T. V. 2010. Efectos genéticos y heterosis de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en campo e invernadero para rendimiento y calidad. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4):455-467.
- SIAP. 2013. Estadísticas agrícolas por entidades de México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consulta mayo, 2014).
- Sierra, M. M.; Preciado, O. R. E.; Alcázar, A. J. J. y Rodríguez, M. F. A. 1991. Selección de líneas maíz por su rendimiento y adaptación con base en un patrón heterótico conocido. *In: XXXVII Reunión Anual del PCCMCA*. Panamá, Panamá. 109-116 pp.
- Zewdie, Y.; Bosland, P. W. and Steiner. 2000. Combining ability and heterosis for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. *HortScience.* 36:1315-1317.
- Zhang, Y.; Kang, M. S. and Lamkey, K. R. 2005. Diallel-SAS05: a comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron. J.* 97:1097-1106.