

EFFECTOS GENÉTICOS Y HETEROSIS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) EN CAMPO E INVERNADERO PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD*

GENETIC EFFECTS AND HETEROSIS IN TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) IN FIELD AND GREENHOUSE FOR YIELD AND QUALITY

David Sánchez Aspeytia^{1§}, Fernando Borrego Escalante², Víctor M. Zamora Villa², Ma. Margarita Murillo Soto², Adalberto Benavides Mendoza³ y Valentín Robledo Torres³

¹Campo Experimental Saltillo. CIRNE-INIFAP. Boulevard Vito Alessio Robles. Núm. 2565. Col. Nazario Ortiz Garza, Saltillo, Coahuila. C. P. 25100. Tel. 01 844 4162025. ²Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro. Núm. 1923. Saltillo, Coahuila. Tel. 01 844 4110298 y 4110297. (fborrego@uaaan.mx), (vzamvil@uaaan.mx), (mariamargarita_murillo@hotmail.com). ³Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tel. 01 844 4110303. (abenmen@gmail.com), (varoto@prodigy.net.mx). [§]Autor para correspondencia: dsanchezaspeytia@yahoo.com.mx.

RESUMEN

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ocupa el segundo lugar de importancia en México, por su gran producción de 2.22 millones de toneladas que alcanzo en el año 2007, con un rendimiento promedio de 35.54 t ha⁻¹. Para la región noreste de México este cultivo representa una alternativa agrícola bajo condiciones de agricultura protegida debido a la poca disponibilidad de agua y a las temperaturas extremas que llegan a ser hasta 48 °C en verano. El conocimiento de la habilidad combinatoria general y específica de materiales genéticos es esencial para lograr diversos objetivos en un programa de mejoramiento tales como: desarrollar híbridos y variedades, incrementar variabilidad genética y evitar erosión genética. El objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos genéticos de cuatro progenitores y seis cruza directas posibles, evaluados en campo e invernadero bajo el análisis de variables de rendimiento y de calidad. En el análisis de varianza combinado hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes para peso promedio de fruto y rendimiento así como diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para días a primer corte, donde las condiciones ambientales de cada localidad fueron diferentes para los genotipos en general, incluyendo progenitores e híbridos,

ABSTRACT

Tomato cultivation (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ranks second place of importance in Mexico, for its big production of 2.22 million tons that reached in year 2007, with an average yield of 35.54 t ha⁻¹. For northeast region of Mexico this crop represents an agricultural alternative under protected agriculture conditions due to little water availability and to extreme temperatures that rise up to 48 °C in summer. Knowledge of general and specific combinatory ability of genetic materials is essential to achieve diverse objectives in a such program of improvement as: develop hybrid and varieties, increase genetic variability and avoid genetic erosion. The aim of this investigation was to evaluate genetic effects of four parents and six possible direct breeds, evaluated in field and greenhouse with variables yield and quality analysis. In combined analysis of variance there were highly significant differences ($p \leq 0.01$) between environments for fruit average weight and yield as well as significant differences ($p \leq 0.05$) for days to first harvest, where environmental conditions of each place were different for genotypes in general, including parents and hybrids, fruit average weight and yield, indicating that genotypes behaved different and that hybrids differed in their behavior due to genetic diversity of parents.

* Recibido: julio de 2010
Aceptado: diciembre de 2010

peso promedio de fruto y rendimiento, indicándonos que los genotipos se comportaron diferente y que los híbridos difirieron en su comportamiento debido a la diversidad genética de los progenitores.

Palabras clave: calidad, efectos genéticos, heterosis.

INTRODUCCIÓN

Entre las hortalizas el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ocupa el segundo lugar de importancia en México, con 2.22 millones de toneladas, los principales estados productores son Sinaloa, Sonora, Baja California, San Luis Potosí y Michoacán con un rendimiento promedio de 35.54 t ha⁻¹. Actualmente se siembran en la región lagunera del país cerca de 900 ha de tomate (SIAP-SAGARPA, 2007).

Las variedades e híbridos presentes en el mercado son generados en su mayoría por empresas transnacionales y que en condiciones de alta temperatura prevaleciente en el noreste de México, presentan problemas de calidad y amarre de fruto, además problemas de maduración desuniforme y disminución de la síntesis del licopeno y pigmentos que confieren al fruto el característico color rojo.

La comprensión de las bases genéticas de variación de caracteres bajo condiciones de clima semiárido es de gran importancia para el desarrollo de un programa de mejoramiento; el conocimiento de la heterosis y la habilidad combinatoria de materiales genéticos contribuyen en un programa de mejoramiento en el desarrollo de híbridos y variedades.

Una de las técnicas bioestadísticas disponibles en el mejoramiento de plantas para la evaluación y caracterización de la variabilidad genética existente es por diseños dialélicos (Singh y Paroda, 1984). Los diseños dialélicos han mostrado ser buenos métodos para la estimación de los efectos genéticos (Singh y Singh, 1983).

Espitia *et al.* (2006), mencionan que Gardner y Eberhart propusieron varios métodos de análisis, siendo el más utilizado el análisis II. Esta metodología puede aplicarse desde grupos parentales totalmente homocigotos (F= 1) hasta aquellos sin ningún grado de endogamia (F= 0). Típicamente requiere de la evaluación de los padres y los cruzamientos F₁ directos. Este método considera sólo

Key words: quality, genetic effects, heterocyst.

INTRODUCTION

Among vegetables, tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) occupies second position for importance in México, with 2.22 million tons; the main producing states are Sinaloa, Sonora, Baja California, San Luis Potosí and Michoacán with average yield of 35.54 t ha⁻¹. Currently in region known as 'lagunera' of country near 900 ha of tomato are sown (SIAP, 2007).

Varieties and hybrids present in market are mainly generated by transnational companies and that under conditions of high prevalent temperature in northeast of Mexico they have quality problems and fruit success, also problems of uneven maturation and decrease of lycopeno and pigments synthesis that confer to fruit characteristic red color.

Comprehension of genetic bases for variation characters under semi-arid climate conditions is of great importance for development of an improvement program; knowledge of heterocyst and combinatory ability of genetic materials contribute in an improvement program in development of hybrids and varieties.

One of available biostatistic techniques in improvement of plants for evaluation and characterization of existent genetic variability is for diallelic designs (Singh and Paroda, 1984). Diallelic designs have shown to be good methods for estimating genetic effects (Singh and Singh, 1983).

Espitia *et al.* (2006), mention that Gardner and Eberhart proposed several analysis methods, being the most used analysis II. This methodology can be applied totally from totally homozygote parents groups (F= 1) up to those without any endogamy grade (F= 0). Typically it requires evaluation for parents and directs F₁ crosses. This method only considers fixed models; therefore, it doesn't make sense to apply it for estimating of genetic variance (random models) components.

Moreira *et al.* (2003) in a study on heterocyst and combinatory ability in five parents and 10 crosses of tomato with adaptation to high temperatures, it was observed that the hybrid ones overcame the parents in yield of big and medium size fruits suggesting presence of non-additive effects, indicating that heterocyst presence in hybrids of tomato is associated with the increment of plant biomass and then fruits production.

modelos fijos; por lo tanto, no tiene sentido aplicarlo para la estimación de componentes de varianza genética (modelos aleatorios).

Moreira *et al.* (2003) en un estudio sobre la heterosis y habilidad combinatoria en cinco progenitores y 10 cruza de tomate con adaptación a altas temperaturas, observaron que los híbridos superaron a los progenitores en rendimiento de frutos de tamaño grande y mediano sugiriendo la presencia de efectos no aditivos, indican que la presencia de heterosis en híbridos de tomate está asociada con el incremento de la biomasa de la planta y por ende de la producción de frutos.

Weerasinghe *et al.* (2004) mencionan que la varianza de dominancia fue mayor que la varianza aditiva, indicando la posibilidad de producir híbridos superiores de tomate para las condiciones áridas de Sri Lanka. Por su parte Bhatt *et al.* (2001) en un estudio sobre heterosis y habilidad combinatoria de genotipos de tomate sobre el contenido de vitamina C y sólidos solubles a 1 700 m, mostraron que la herencia de la vitamina C y sólidos solubles es de efectos no aditivos.

Hannan *et al.* (2007) al realizar un estudio sobre 10 progenitores y 45 cruza posibles de genotipos de tomate en Bangladesh, para analizar la heterosis de los componentes de rendimiento, encontraron diferencias altamente significativas entre genotipos para todas la características de rendimiento evaluadas, heterosis positiva altamente significativa fue encontrada para número de frutos por planta, peso promedio por planta y días a primer corte, de estos resultados tres híbridos fueron seleccionados por su alto comportamiento heterocico.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos genéticos entre progenitores e híbridos de tomate, evaluados en campo e invernadero siguiendo la metodología del análisis II de Gardner y Eberhart (1966).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético que se utilizó en este trabajo fueron 10 genotipos, tres líneas experimentales en generación filial F₉ (Z4, Q3, R1), generadas en el área de Fisiotecnia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)

Weerasinghe *et al.* (2004) mention that dominance variance was bigger than additive variance, indicating possibility to produce superior tomato hybrids for the arid conditions of Sri Lanka. On the other hand Bhatt *et al.* (2001) in a study on heterocyst and combinatory ability of tomato genotypes on vitamin C content and soluble solids at 1 700 m, showed that the inheritance of vitamin C and soluble solids are of non additive effects.

Hannan *et al.* (2007) when carrying out a study on 10 parents and 45 possible crosses of tomato genotypes in Bangladesh, to analyze heterocyst of yield components, there were found highly significant differences between genotypes for all characteristics of yield evaluated, highly significant positive heterocyst was opposing for number of fruits per plant, average weight per plant and days to first harvest, of these results three hybrids were selected by its high heterotic behavior.

The aim of this investigation was to evaluate genetic effects between parents and hybrids of tomato, evaluated in field and greenhouse following methodology of analysis II of Gardner and Eberhart (1966).

MATERIALS AND METHODS

Genetic material that was used in this work were 10 genotypes, three experimental lines in filial generation F₉ (Z4, Q3, R1), generated in physiotechnical (or plant breeding) area of Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) and a commercial material (Don Raúl) as parents and six possible direct crosses according to diallelic design that involved the parents and direct crosses (Table 1).

Cuadro 1. Diseño dialélico para cruza en cuatro genotipos de tomate y seis cruza posibles directas.

Table 1. Diallelic design for breeds in four tomato genotypes and six possible direct crosses.

Genotipo	Raúl (1)	Z4 (2)	Q3 (3)	R1 (4)
Raúl (1)	1*1	1*2	1*3	1*4
Z4 (2)		2*2	2*3	2*4
Q3 (3)			33	3*4
R1 (4)				4*4

y un material comercial (Don Raúl) como progenitores y seis cruza posibles directas de acuerdo a un diseño dialélico, que involucró a los progenitores y cruza directas (Cuadro 1).

La generación de los seis híbridos experimentales se llevó a cabo en el año 2005. La procedencia de las líneas experimentales es resultado de más de 10 años de investigación, las cuales son sobresalientes en características fenológicas, fisiotécnicas, calidad y tolerancia a diferentes enfermedades para las condiciones del noreste de México. Los diez materiales genéticos se evaluaron en tres ambientes (Cuadro 2) durante el ciclo agrícola 2006-2007 (INEGI, 2007). Estos ambientes se encuentran en una zona de condiciones semiáridas, con bajas precipitaciones y con temperaturas medias anuales de 18-20 °C.

Experimental generation of six hybrids was carried out in 2005. The origin of experimental lines is the result of more than 10 years of investigation, which are excellent in phenological characteristic, physiotechnical, quality and tolerance to different diseases for conditions of northeast of México. The ten genetic materials were evaluated in three environments (Table 2) during agricultural cycle 2006-2007 (INEGI, 2007). These environments are in an area of semi-arid conditions, with low precipitations and with annual average temperatures of 18-20 °C.

The sow was done on January 20, 2006 for localities Rancho Nuevo and Providencia, while in Buenavista was done on February 16, 2006 in 200 cavities polystyrene trays filled with organic substrate (peat-moss), transplantation was made on March 16 in Rancho Nuevo, March 23 in Providencia

Cuadro 2. Ambientes de evaluación y sus características geográficas y climáticas.

Table 2. Evaluation environments and their geographical and climatic characteristics.

Ambiente	Evaluación	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud (m)	Precipitación media (mm)	Temperatura media (°C)
Rancho Nuevo	Campo	25° 31' 53"	101° 00' 50"	1 473	350	34.7
Providencia	Invernadero	25° 13' 60"	101° 10'	1 866	350	31.6
Buenavista	Campo	25° 22'	101° 00'	1 742	400	37.3

La siembra se realizó el 20 de enero de 2006 para las localidades Rancho Nuevo y Providencia, mientras que para Buenavista fue el 16 de febrero de 2006, en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas de sustrato orgánico (peat-moss), el trasplante se realizó el día 16 de marzo en Rancho Nuevo, 23 de marzo en Providencia y 4 de abril de 2006 en Buenavista, se emplearon tres lotes de terreno en Buenavista de 6 m de ancho por 30 m de largo cada uno; en cada lote se hicieron 4 camas de 28 m de largo y una distancia de 1.3 m entre camas, en Providencia se utilizaron 5 camas con contenedores plásticos rellenos de fibra de coco, colocando 8 plantas por contenedor, en Rancho Nuevo las camas se levantaron mecánicamente a una distancia de 1.8 m entre camas y una longitud de 200 m, los materiales se establecieron en 7 camas, en las localidades de campo se empleó acolchado y sistema de fertirriego por cintilla y en invernadero el sistema fue semi-hidropónico.

El entutorado se realizó 20 días después del trasplante, cuando las plantas tenían una altura mínima de 0.3 m. En Buenavista se colocaron tubos de metal en la parte media de

and April 4, 2006 in Buenavista, three land lots were used in Buenavista of 6 m wide, 30 m long each one; in each lot were made 4 plots of 28 m long and a distance of 1.3 m between lots, in Providencia 5 plots were used with plastic containers filled with coconut fiber, setting 8 plants per container, in Rancho Nuevo the plots were mechanically raised at a distance of 1.8 m between plots and a longitude of 200 m, the materials were set in 7 plots, in field localities padded and tube fertirrigation system was used and in greenhouse system was semi-hydroponic.

Staking was done 20 days after transplant, when plants had a minimum height of 0.3 m. In Buenavista metal tubes were placed in the medium section of plot coinciding with plants array, separation between tubes was 2 m, on these two plastic threads (raffia) were used at 0.2 m of height to avoid contact of superior parts of plants with soil. In Providencia it consisted on lacing plastic threads to greenhouse structure to guide plants. In Rancho Nuevo wooden stakes were placed at a distance of 3 m between each them and 3 levels of plastic threads placed in horizontal form along furrows.

la cama coincidiendo con la hilera de plantas, la separación entre tubos fue de 2 m, en estos se colocó dos hilos de plástico (rafia) a 0.2 m de altura para evitar el contacto de las partes aéreas de las plantas con el suelo. En Providencia consistió en amarrar hilos de plástico a la estructura del invernadero para guiar a las plantas. En Rancho Nuevo se colocaron tutores de madera a una distancia de 3 m entre cada uno y 3 niveles de hilos de plástico colocados en forma horizontal a lo largo de los surcos.

Las podas se realizaron 20 días después del trasplante, continuándolas cada 15 días en las localidades hasta la finalización del ciclo de cultivo en tomates indeterminados y en tomates determinados sólo hasta el comienzo de la fructificación. El riego se efectuó dos veces por semana al inicio del ciclo, aumentándose a tres veces conforme el cultivo se desarrollaba.

La fertilización fue mediante la fórmula 350-350-225-100Ca. En Buenavista la mitad del nitrógeno y todo el fósforo, potasio y calcio se aplicó durante la formación de las camas antes del trasplante, depositando el fertilizante en banda a una profundidad de 0.15 m, la segunda aplicación del nitrógeno se realizó 40 días después del trasplante de la misma forma que la primera. En Rancho Nuevo y Providencia la dosificación de los nutrientes y el agua se llevó a cabo de acuerdo a las normas técnicas de cada empresa, "Magaña's Ranch" para Rancho Nuevo por medio de fertirrigación e "invernaderos Santa María" para Providencia mediante sistema hidropónico inyectando solución nutritiva de Steiner cada 10 min.

Variables evaluadas. Variables de rendimiento: días a primer corte (DPC), peso promedio de fruto en gramos (PPF), rendimiento en $t\ ha^{-1}$ (REND), °Bx (%), vitamina C (VITC) en $mg\ 100\ g^{-1}$ y licopeno (LICOP) en $mg\ 100\ g^{-1}$.

Toma de datos. Para los días a primer corte se realizó un conteo de días a partir de la fecha de trasplante y el inicio de cosecha de cada uno de los genotipos, y así determinar su precocidad.

Después del último corte, se procedió a obtener el rendimiento total de cada genotipo, esto se obtuvo sumando el peso de cada una de las seis cosechas realizadas. El peso total que se obtuvo se dividió entre el número de plantas cosechadas, en este caso fueron tres, obteniéndose así el rendimiento de cada planta. Para obtener el rendimiento en $t\ ha^{-1}$, se multiplicó el rendimiento por planta por la densidad

Prunings were carried out 20 days after transplant, continuing them every 15 days in localities until finalization of cultivation cycle in undetermined tomatoes and determined tomatoes only until the beginning of fructification. Irrigation was made twice per week at beginning of cycle, being increased to three times as cultivation was developed.

Fertilization was by formula 350-350-225-100Ca. In Buenavista half of nitrogen and whole phosphorus, potassium and calcium were applied during formation plots before transplant, depositing fertilizer in band at a depth of 0.15 m, the second nitrogen application was carried out 40 days after transplant in the same way as first one. In Rancho Nuevo and Providencia nutrients dose and irrigation was done according to technical norms of each company, "Magaña's Ranch" for Rancho Nuevo by means of fertirrigation and greenhouse "Santa María" for Providencia by means of hydroponic system injecting Steiner nutritious solution each 10 minutes.

Evaluated variables. Yield variables: days to first harvest (DPC), average fruit weigh in grams (PPF), yield in $t\ ha^{-1}$ (REND), °Bx (%), C vitamin (VITC) in $mg\ 100\ g^{-1}$ and lycopeno (LICOP) in $mg\ 100\ g^{-1}$.

Gathering information. For days to first harvest it was done a days count starting from transplant date and crop beginning of each one of genotypes, and this way to determine their earliness.

After last harvest, total yield of each genotype was obtained by adding the weight of each one of six carried out crops. The total weight that was obtained was divided between numbers of harvested plants; in this case they were three, obtaining this way yield of each plant. To obtain yield in $t\ ha^{-1}$, it was multiplied yield per plant times planting density that was of 23 000 plants per hectare. Average fruit weight was obtained dividing obtained total weight between numbers of harvested fruits.

Fruit quality tests. After the fifth harvest three fruits of each genotype were selected at random. The fruits were placed in paper bags for their complete maturation. °Bx, vitamin C and lycopeno were determined once they showed intense red color, under following methodology:

Each fruit was milled and with portable refractometer (ATAGO 01018) °Bx was determined, placing with a spatula a small sample in reading area.

de plantación que fue de 23 000 plantas por hectárea. El peso promedio de fruto se obtuvo dividiendo el peso total obtenido entre el número de frutos cosechados.

Pruebas de calidad de fruto. Después del quinto corte se seleccionaron tres frutos al azar de cada genotipo. Los frutos se colocaron en bolsas de papel para su maduración completa. Una vez que presentaron color rojo intenso se determinó °Bx, vitamina C y licopeno, bajo la siguiente metodología:

Se molió cada fruto y con el refractómetro portátil (ATAGO 01018) se determinó °Bx, colocando con una espátula una pequeña muestra en el área de lectura.

Determinación de vitamina C. Se pesaron 20 g de muestra de cada genotipo, y se le agregó 10 ml de ácido clorhídrico al 2%, la mezcla de cada vaso se llevó a un agitador Vortex por un tiempo de 15 min. Una vez agitada la muestra, se filtró el contenido en matraces Erlenmeyer de 500 ml de capacidad, de esta muestra se tomaron 5 ml y se aforó a 100 ml con agua destilada. Por último, se procedió a titular con el reactivo de Thielman, hasta obtener la coloración rosa permanente, tomando la cantidad de reactivo utilizado y se utilizó la siguiente ecuación para determinar vitamina C.

$$X = \frac{a(0.088)(100)(100)}{bc}$$

Donde: X= contenido de vitamina C en mg por 100 g fruto; 0.088= miligramos de ácido ascórbico equivalente a 1 ml de reactivo Thielman; a= ml del reactivo de Thielman gastados; b= volumen en ml de la alícuota valorada; 100= volumen en ml del filtrado de vitamina C en HCl; c= peso de la muestra; 100= valor dado para la determinación del contenido de vitamina C en 100 g de fruto.

Determinación de licopeno. Se licuó el tomate y se extrajo 3 g de muestra, colocándola en un tubo de plástico. Se agregó 3 ml de buffer fosfato y se agitó por 15 min. Se eliminó el excedente de muestra (3 ml) y se colocó en tubo de ensayo al que se agregó 6 ml de hexano-acetona (3:2) y se agitó bien. Se centrifugó por 5 min a 5 000 rpm. Se tomó 1 ml de la muestra y se colocó en las celdillas, identificando cada una de ellas. Se agregó 2 ml de acetona a cada una de las celdillas y se expuso en el espectrofotómetro, para obtener la lectura correspondiente de absorbancia.

Vitamin C determination. 20 g of sample of each genotype were weighed, and it was added 10 ml of hydrochloric acid at 2%, the mixture of each glass was taken to a Vortex agitator for 15 minutes. Once sample is mixed, content was filtered in 500 ml capacity Erlenmeyer flasks, of this sample 5 ml were taken and it was gauged to 100 ml with distilled water. Last, it was titrated using Thielman reagent, until obtaining permanent pink coloration, taking the quantity of used reagent and the following equation was used to determine vitamin C.

$$X = \frac{a(0.088)(100)(100)}{bc}$$

Where: X= vitamin C content in mg per 100 g fruit; 0.088= milligrams of ascorbic acid equivalent to 1 ml Thielman reagent; a= used ml of Thielman reagent; b= volume in ml of valued aliquot; 100= volume in ml of the vitamin C filtrated in HCl; c= sample weigh; 100= value given for determination of vitamin C content in 100 g of fruit.

Lycopeno determination. Tomato was liquefied and 3 g of sample was extracted, placing it in a plastic tube. 3 ml of phosphate buffer was added and became agitated for 15 min. Sample excess was eliminated (3 ml) and it was placed in culture tube to which 6 ml of hexane-acetone was added (3:2) and it became well agitated. It was centrifuged during 5 min at 5 000 rpm. A 1 ml sample was taken and placed in cells, identifying each one. 2 ml of acetone was added each one of cells and it was exposed in spectrophotometer, to obtain corresponding absorbance reading.

The experimental design that was used in the three evaluation localities corresponded to random blocks design with two repetitions for yield characteristics and three repetitions for those of quality, statistical analysis was made as a combined analysis on localities, it was considered to genotypes as a fixed effect and to environments as random effect being proven in test of F against the nesting of repetitions inside environments.

The general analysis of genetic effects used was analysis II of Gardner and Eberhart (1966). In this analysis the mathematical model of hybrids or populations (Y_j or Y_j') and crosses ($Y_{jj'}$) are expressed in the following way:

$$\begin{aligned} Y_j &= \mu v + v_j \\ Y_j' &= \mu v + v_j' \\ Y_{jj'} &= \mu v + 0.5(v_j + v_j') + h_{jj'} \end{aligned}$$

El diseño experimental que se utilizó en las tres localidades de evaluación correspondió a diseño de bloques al azar con dos repeticiones para las características de rendimiento y tres repeticiones para las de calidad, el análisis estadístico se efectuó como un análisis combinado sobre localidades, se consideró a los genotipos como un efecto fijo y a los ambientes como efecto aleatorio probándose en la prueba de F contra el anidamiento de repeticiones dentro de ambientes.

El análisis general de efectos genéticos utilizado fue el análisis II de Gardner and Eberhart (1966). En este análisis el modelo matemático de los híbridos o poblaciones (Y_j o $Y_{j'}$) y las cruza ($Y_{jj'}$) se expresan de la manera siguiente:

$$Y_j = \mu v + v_j$$

$$Y_{j'} = \mu v + v_{j'}$$

$$Y_{jj'} = \mu v + 0.5(v_j + v_{j'}) + h_{jj'}$$

Donde: μv = media de los padres; v_j y $v_{j'}$ = efecto de los híbridos j y j' ; $h_{jj'}$ = efecto de la heterosis correspondiente a la cruce j y j' .

El efecto de heterosis fue subdividido en:

$$h_{jj'} = h + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

Donde: h = heterosis promedio; h_j = heterosis varietal contribuida por la variedad j ; $h_{j'}$ = heterosis varietal contribuida por la variedad j' ; $s_{jj'}$ = efecto de la heterosis específica correspondiente a la cruce j y j' .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la variable días a primer corte (DPC) se encontró diferencias ($p \leq 0.05$) en ambientes, indicando que los ambientes de evaluación fueron diferentes entre sí, esto nos permitió identificar mediante la prueba de medias que el ambiente UAAAN mostró ser determinante en la precocidad de los genotipos (65.8 días a primer corte), el más tardío fue Rancho Nuevo con 81.6 días y el genotipo más precoz fue Z4*Q3 con 65.5 días a primer corte (Cuadro 3).

Diferencias ($p \leq 0.05$) fueron encontradas entre genotipos indicando la variabilidad existente entre el grupo de materiales evaluados, estos resultados coinciden con lo

Where: μv = parents media; v_j and $v_{j'}$ = effect of hybrids j and j' ; $h_{jj'}$ = effect of heterocyst corresponding to cross j and j' .

Heterocyst effect was subdivided in the following way:

$$h_{jj'} = h + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

Where: h = average heterocyst; h_j = variety heterocyst contributed by variety j ; $h_{j'}$ = variety heterocyst contributed by variety j' ; $s_{jj'}$ = effect of specific heterocyst corresponding to cross j and j' .

RESULTS AND DISCUSSION

For the variable days to first harvest (DPC) differences were found ($p \leq 0.05$) in atmospheres, indicating that evaluation environments were different to each other, this allowed to identify by means of average test that environment UAAAN showed to be decisive in genotypes earliness (65.8 days to first harvest), the latest was Rancho Nuevo with 81.6 days and the most early genotype was Z4*Q3 with 65.5 days to first harvest (Table 3).

Differences ($p \leq 0.05$) were found between genotypes indicating the existent variability in group of evaluated materials; these results coincide with described by De la Rosa *et al.* (2006) and Preciado *et al.* (2005) in corn. Differences ($p \leq 0.05$) were found in interaction parents per environment in DPC and PPF. Differences ($p \leq 0.01$) between environments for PPF were found that indicates at least an environment produces bigger weight fruit on average.

With these results it is possible identification of genotypes with agronomic potential, coinciding these results with those obtained by Hannan *et al.* (2007), in average heterocyst per atmosphere significance exists for DPC and for variety heterocyst per environment shows significance for PPF and REND.

Moreira *et al.* (2003) mention that specific combinatory ability allows to obtain hybrids that overcome parents for fruit size and yield in tomato, this condition offers a potential of development of genetic materials, for a program of improvement in tomato guided to the production of fruits for fresh and industrial consumption.

Cuadro 3. Cuadrados medios de rendimiento bajo el modelo de Gardner y Eberhart, análisis II (1966), de cuatro progenitores y seis cruzas en tomate, 2006.

Table 3. Average squares of yield under Gardner and Eberhart model, analysis II (1966), if four parents and six crosses in tomato, 2006.

Fuente de variación	GL	DPC	PPF	REND
Ambientes	2	520.61*	11743.25**	7039.45**
Repetición (ambientes)	3	46.55	1138.16	10.64
Progenitores e híbridos	9	364.72*	5106.19**	487.21*
Progenitores	3	939.34	13092.95**	854.87
Progenitores e híbridos*ambiente	18	235.09	496.96*	394.52
Heterosis total	6	77.4	1112.81*	303.38
Heterosis promedio	1	14.8	193	228.3
Heterosis varietal	3	115.08	1609.88	441.92
Heterosis específica	2	52.19	827.12	133.12
Progenitores*ambiente	6	353.56*	711.53*	446.4
Heterosis*ambiente	12	120.79	168.62	257.77
Heterosis promedio*ambiente	2	631.61*	31.32	25.31
Heterosis varietal*ambiente	6	118.94	621.72*	585.49*
Heterosis específica*ambiente	4	33.36	220.79	214.86
Error	27	167.77	244.02	225.73

*,**=significativo a 0.05 y 0.01 respectivamente; DPC= días a primer corte; PPF= peso promedio de fruto; GL= grados de libertad; REND= rendimiento por hectárea.

descrito por De la Rosa *et al.* (2006) y Preciado *et al.* (2005) en maíz. Se encontró diferencias ($p \leq 0.05$) en la interacción progenitores por ambiente en DPC Y PPF. Se observó diferencias ($p \leq 0.01$) entre ambientes para PPF que indica al menos un ambiente produce mayor peso de fruto en promedio.

Con estos resultados es posible identificar genotipos con potencial agronómico, estos coinciden con los obtenidos por Hannan *et al.* (2007), en la heterosis promedio por ambiente existe significancia en DPC y para heterosis varietal por ambiente muestra significancia en PPF y REND. Moreira *et al.* (2003) mencionan que la aptitud combinatoria específica permite obtener híbridos que superen a los progenitores en tamaño y rendimiento en tomate, esta condición ofrece un potencial de materiales genéticos, para el mejoramiento en la producción de tomate para consumo en fresco e industrial.

En el Cuadro 4 observamos el comportamiento de los genotipos involucrados en el análisis para rendimiento de fruto expresado en toneladas por hectárea, en el cual nueve superaron a la media nacional de 35 t ha⁻¹ y solo la crusa Don Raúl*Q3 no alcanzó la media nacional. Bazan *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 el de más altura (68.8 cm).

Table 4 shows behavior of involved genotypes in analysis for fruit yield expressed in tons per hectare, in which nine overcame to national average of 35 t ha⁻¹ and only cross Don Raúl*Q3 didn't reach national average. Bazan *et al.* (2005) evaluated five tomato genotypes under greenhouse conditions, finding that Yaqui cultivar showed the highest fruit yield (37.5 t ha⁻¹) and higher size (68.8 cm).

Cuadro 4. Rendimiento de fruto (t ha⁻¹) de progenitores y cruza de tomate, 2006.

Table 4. Fruit yield (t ha⁻¹) of parents and crosses of tomato, 2006.

Genotipo	Don Raúl	Z4	Q3	R1
Don Raúl	41.4	37.88	33.51	37.69
Z4		37.67	55.59	46.91
Q3			53.95	51.99
R1				58.63

Parents Q3 and R1 as well as crosses Z4*Q3 and Q3*R1 achieved more than 50 t ha⁻¹, hybrid Z4*Q3 was superior to the two most productive parents (Q3 and R1). Moreira

Los progenitores Q3 y R1 así como las cruzas Z4*Q3 y Q3*R1 lograron más de 50 t ha⁻¹, el híbrido Z4*Q3 fueron superiores a los dos progenitores más productivos (Q3 y R1). Moreira *et al.* (2003) encontraron que los híbridos superaron a los progenitores en rendimiento de tomate a altas temperaturas.

El análisis de varianza para las variables de calidad (Cuadro 5), se encontró diferencias ($P \leq 0.01$) en ambientes, progenitores e híbridos y su interacción para las tres características de calidad ($^{\circ}\text{Bx}$, LICOP y VITC), esto indica que los genotipos involucrados se comportaron diferente y que existe la suficiente variabilidad genética para identificar materiales genéticos con potencial nutraceutico para generar híbridos o variedades, ya que las condiciones ambientales influyeron en contenido de sólidos solubles, vitamina C y licopeno (Dumas *et al.*, 2003).

et al. (2003) found that hybrids overcame parents for characteristics of yield in tomato cultivation subjected to high temperatures.

In analysis of variance for variables of quality (Table 5) were found differences ($P \leq 0.01$) in environments, parents and hybrids and their interaction for three quality characteristics ($^{\circ}\text{Bx}$, LICOP and VITC), this indicate that genotypes involved in this work behaved different and that enough genetic variability exists for these characteristics that will allow to identify genetic materials with nutraceutical potential that allows to generate hybrids or varieties, and that the environmental conditions influenced in the expression and content of soluble solids, vitamin C and lycopeno (Dumas *et al.*, 2003).

Cuadro 5. Cuadrados medios de calidad bajo el modelo de Gardner and Eberhart, análisis II (1966), de cuatro progenitores y seis cruzas de tomate, 2006.

Table 5. Average squares of quality under Gardner and Eberhart model, analysis II (1966), from four parents and six crosses of tomato, 2006.

Fuentes de variación	GL	$^{\circ}\text{Bx}$	LICOP	VITC
Ambientes	2	2.69**	21.38**	25.82*
Repetición (ambientes)	6	0.17	0.94	5.69
Progenitores e híbridos	9	1.34**	13.01**	32.11**
Progenitores	3	2.58	1.1	13.37
Progenitores e híbridos*ambiente	18	1**	7.59*	14.93*
Heterosis total	6	0.72	19.48*	40.35*
Heterosis promedio	1	0.86	99.65*	30.68
Heterosis varietal	3	1.14	5.7	4.63
Heterosis especifica	2	0.01	0.21	96.54
Progenitores*ambiente	6	0.95*	7.24*	14.68*
Heterosis*ambiente	12	0.54*	1.81	10.56*
Heterosis promedio*ambiente	2	1.4*	4.54	6.14
Heterosis varietal*ambiente	6	0.75*	4.47	11.41*
Heterosis especifica*ambiente	4	1.22*	13.06*	23.97*
Error	54	0.27	2.66	4.74

*, **= significativo a 0.05 y 0.01 respectivamente; GL= grados de libertad; $^{\circ}\text{Bx}$ = sólidos solubles; LICOP= licopeno; VITC= vitamina C.

Para la heterosis total hubo diferencias ($p \leq 0.01$) para LICOP y VITC y en la heterosis promedio hubo diferencias en LICOP, para el factor progenitores por ambiente se observa diferencias ($p \leq 0.01$) para las tres variables de calidad, sugiriendo que los progenitores se comportaron de manera diferente en cada ambiente de evaluación, en la heterosis por ambiente hubo significancia para $^{\circ}\text{Bx}$ y VITAC, en la heterosis varietal por ambiente hay diferencias en $^{\circ}\text{Bx}$ y

For total heterocyst there were differences ($p \leq 0.01$) for LICOP and VITC and in average heterocyst there were differences in LICOP, for factor parents per environment there are differences ($p \leq 0.01$) for three quality variables, suggesting that parents behaved in a different way in each evaluation environment, in heterocyst per atmosphere there was significance for $^{\circ}\text{Bx}$ and VITAC, in variety heterocyst per environment there are differences in $^{\circ}\text{Bx}$

VITC y en la fuente de variación heterosis específica por ambiente hay diferencias significativas para las tres variables de calidad.

Texeira *et al.* (1999) mencionan que la significancia del cuadrado medio para heterosis media en relación a características de calidad en tomate indica que hay suficiente divergencia genética entre progenitores siendo favorable para el desarrollo de un programa de mejoramiento genético. Preciado *et al.* (2005) infieren que bajo el supuesto que el factor progenitor es la porción genética aditiva y las cruizas representan la no aditiva, se supone que existen efectos aditivos y de dominancia en progenitores y cruizas, que pueden ser explotados por esquemas de selección recurrente e hibridación para desarrollar materiales genéticos superiores a los existentes en el mercado. Bhatt *et al.* (2001) mencionan que los efectos genéticos no aditivos juegan un gran rol en la herencia de la vitamina C y sólidos solubles en tomates.

En el Cuadro 6 se muestran los valores de los efectos varietales y su significancia, encontrando que para días a primer corte (DPC) hay diferencia altamente significativa para el progenitor Z4 con signo negativo, indicando que este progenitor se puede explotar por medio de hibridaciones, para obtener materiales genéticos precoces y para el progenitor R1 con signo positivo, indica que este progenitor tiene genes favorables y que puede ser explotado en un programa de mejoramiento, para desarrollar genotipos de tomates tardíos, con alto peso promedio de fruto (más de 105 g) y por medio de cruzamientos incrementar el contenido de vitamina C.

and VITC and in the source of variation specific heterocyst per environment there are significant differences for three quality variables.

Texeira *et al.* (1999) mention that significance of half square for half heterocyst in relation to characteristic of quality in tomato indicates that there is enough genetic divergence between parents being favorable for development of a program of genetic improvement. Preciado *et al.* (2005) infer that under the supposition that factor parents represents the additive genetic portion and that crosses represent non-additive. Is possible that considerable additive effects and of dominance in parents exist and that can be exploited by recurrent selection and hybridization schemes to develop superior genetic materials than the existent in the market. Bhatt *et al.* (2001) mention that the predominance of non additive genetic effects plays a great paper in inheritance of vitamin C and soluble solids in tomatoes.

In Table 6 the values of variety effects and their significance are shown, finding that for days to first harvest (DPC) there is highly significant difference for parent Z4 with negative sign, indicating that this parent can be exploited by means of hybridizations, to obtain early genetic materials and for the progenitor R1 with positive sign, indicates that this progenitor has favorable genes and that it can be exploited in a program of improvement, to develop genotypes of late tomatoes, with high average fruit weight (more than 105 g) and by means of crosses to increase vitamin C content.

Cuadro 6. Efecto varietal (Vj) de los progenitores de tomate evaluados en tres ambientes, 2006.
Table 6. Variety effect (Vj) of tomato parents evaluated in three environments, 2006.

Progenitor	DPC	PPF	REND	°Bx	LICOP	VITC
Don Raúl	1.7	-42.5**	-6.51	0.2	-0.04	0.29
Z4	-17.6**	-8.42	-10.24	0.28	0.23	0.45
Q3	5.7	10.4	6.03	-0.66*	-0.91	1.23
R1	10.2**	40.6**	10.72	0.17	0.72	-1.99*
\bar{X}	71	105	45.5	4.68	3.55	15.4

*, **= significativo a 0.05 y 0.01 respectivamente; DPC= días a primer corte; PPF= peso promedio de fruto; REND= rendimiento por hectárea; °Bx= sólidos solubles; LICOP= licopeno; VITC= vitamina C.

Don Raúl muestra estimados significativos para PPF con signo negativo; para sólidos solubles °Bx el progenitor Q3 muestra un estimado negativo, que puede ser utilizado para desarrollar híbridos con alto contenido de azúcar y es uno de los parámetros más importantes para la industria del procesado del tomate,

Don Raúl shows significant estimates for PPF with negative sign; for soluble solids °Bx the parent Q3 shows a estimated negative that can be used to develop hybrid with high content of sugar and it is one of the most important parameters for tomato processing industry,

con respecto a rendimiento los valores más altos aunque no significativos son los progenitores Q3 y R1 que obtuvieron rendimientos de 53.95 y 58.63 t h⁻¹ respectivamente.

Para la heterosis promedio (Cuadro 7), se observa significancia para VITC con valor positivo y el estimado más alto pero no significativo fue para PPF, indican que estas características conllevan heterosis, reflejadas por los cruzamientos con los progenitores que presentaron valores altos de efecto varietal (Cuadro 6), Z4 para PPF y °Bx, el progenitor Q3 para desarrollar genotipos con alto contenido de LICOP.

with regard to yield the highest although not significant values are the parents Q3 and R1 that obtained high yields of 53.95 and 58.63 t h⁻¹ respectively.

For average heterocyst (Table 7), significance is observed for VITC with positive value and the estimated with more height but not significant was for PPF, this indicates us that these characteristics bear heterocyst, reflected by the crosses realization with the parents that showed high values of variety effect (Table 6), Z4 for PPF and °Bx, the parent Q3 to develop genotypes with high LICOP content.

Cuadro 7. Efecto de heterosis y varietal (hj) de genotipos de tomate empleados como progenitores, 2006.

Table 7. Heterocyst effect and variety (hj) of tomato genotypes used as parents, 2006.

Variedad	DPC	PPF	REND	°Bx	LICOP	VITC
Don Raúl	2.39	-15.5	-8.09	0.27	0.05	-0.22
Z4	3.72	18.29*	9.41	-0.44*	-0.46	-0.4
Q3	-1.52	1.98	1.63	0.08	0.95*	-0.29
R1	-4.6	-4.69	-2.95	0.08	-0.54	0.93
\bar{X}	-1.01	3.66	-3.98	-0.2	-2.15	1.19*

*= significativo a 0.05; DPC= días a primer corte; PPF= peso promedio de fruto; REND= rendimiento por hectárea; °Bx= sólidos solubles; LICOP= licopeno; VITC= vitamina C.

En el Cuadro 8 se presenta los valores de los estimados para la heterosis específica, donde hubo diferencia significativa para VITC en las cruas Don Raúl*Z4, Don Raúl*R1, Z4*Q3 y Q3*R1; esto concuerda con Bhatt *et al.* (2001) que los efectos de dominancia están involucrados en la herencia de la vitamina C en tomate, en las otras variables no hubo significancia; sin embargo, existieron evidencias de la gran capacidad de estos materiales en la formación de híbridos o variedades para las condiciones semiáridas del noreste de México.

In Table 8 are showed values of estimates for specific heterocyst, where there was significant difference for VITC in crosses Don Raúl*Z4, Don Raúl*R1, Z4*Q3 and Q3*R1; this agrees with Bhatt *et al.* (2001) that dominance effects are involved in the inheritance of vitamin C in tomato, in the remaining variables there was not significance; however, enough evidences of great capacity of these materials existed in the formation of hybrids or varieties for the semi-arid conditions of the northeast of Mexico.

Cuadro 8. Valores de heterosis específica (Sij) de las cruas involucradas en un dialélico de cuatro progenitores de tomate, 2006.

Table 8. Values for specific heterocyst (Sij) of crosses involved in a diallelic of four parents for tomato, 2006.

Híbridos	DPC	PPF	REND	°Bx	LICOP	VITC
Don Raúl*Z4	-0.11	-8.75	1	-0.005	-0.12	-2.4**
Don Raúl*Q3	2.13	1	-3.71	-0.02	0.04	0.16
Don Raúl * R1	-2.02	7.75	2.71	0.02	0.07	2.2**
Z4*Q3	-2.02	7.75	2.71	0.02	0.07	2.2**
Z4*R1	2.13	1	-3.71	-0.02	0.04	0.16
Q3*R1	-0.11	-8.75	1	-0.005	-0.12	-2.4**
\bar{X}	-1.01	3.66	-3.98	-0.2	-2.15	1.19*

*,**= significativo a 0.05 y 0.01 respectivamente; DPC= días a primer corte; PPF= peso promedio de fruto; REND= rendimiento por hectárea; °Bx= sólidos solubles; LICOP= licopeno; VITC= vitamina C.

Las mejores cruces de peso promedio de fruto, rendimiento, transpiración, uso eficiente de agua fisiológica, sólidos solubles y licopeno fueron las cruces de Don Raúl*R1 y Z4*Q3. Teixeira *et al.* (1997) realizaron un estudio sobre características morfoagronómicas y de calidad en tomate, encontrándose suficiente variabilidad en las variables evaluadas para ser incorporadas en un programa de mejoramiento genético de tomate en Brasil, con los resultados mostrados en este trabajo se confirma que éstos materiales se pueden emplear como variedades o como progenitores de híbridos, prometedores para las condiciones climáticas adversas que prevalecen en el norte de México.

CONCLUSIONES

De los progenitores evaluados según sus efectos varietales, R1 es prometedor ya que se pueden explotar sus atributos de aptitud combinatoria y porción aditiva, para emplearse como variedad; además posee aptitud combinatoria específica favorable para producir los efectos de dominancia y ser manejado en combinaciones híbridas, las cruces posibles entre Q3, R1 y Don Raúl, llevan consigo genes deseables para características de rendimiento y calidad.

LITERATURA CITADA

- Bazan, 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. 40:993-1147.
- Bhatt, R. P.; Biswas, V. R. and Kumar, N. 2001. Heterosis, combining ability and genetics for vitamin C, total soluble solids and yield in tomato (*Lycopersicon esculentum*) at 1 700 m altitude. J. Agric. Sci. Cambridge. 137:71-75.
- De la Rosa, L. A.; De León, H. C.; Rincón, F. S. 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.
- Dumas, Y.; Dado, M.; Di Lucca, G. and Grolier, P. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. J. Sci. Food Agric. 83(5): 369-382.

The best cross for average fruit weight, yield, transpiration, efficient use of physiologic water, soluble solids and lycopene were crosses Don Raúl*R1 and Z4*Q3. Teixeira *et al.* (1997) carried out a study on morphoagronomic characteristic and of quality in tomato, being enough variability in evaluated variables to be incorporated in a program of genetic improvement of tomato in Brazil, with the results shown in this work is confirmed that these materials can be used as varieties or as parents of hybrids, promising for the adverse climatic conditions that prevail in the north of Mexico.

CONCLUSIONS

From evaluated parents according to their variety effects, R1 is promising since their attributes of combinatory aptitude and additive portion can be exploited, to be used as variety; it also has specific favorable combinatory aptitude to produce dominance effects and to be handled in hybrid combinations, possible crosses between Q3, R1 and Don Raúl, held desirable genes for yield and quality characteristic.

End of the English version



- Espitia, M. M. C.; Vallejo, 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.
- Gardner, C. O. and Eberhart, S. A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometric. 22:439-452.
- Gutiérrez-Rodríguez, M.; Reynolds, M. P.; Escalante, J. A. E. y Larqué-Saavedra, A. 2005. Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. Ciencia Ergo Sum. 12(2):149-154.
- 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.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2007). URL: <http://www.inegi.gob.mx>.
- Moreira, C.; Echandi, M. A. y Méndez, C. R. 2003. Heterosis y habilidad combinatoria en líneas de tomate para mesa con adaptación a altas temperaturas. *Rev. Agric. Trop.* 33:51-58.
- Preciado, R. E. O.; Terrón, A. D. I.; Gómez, N. O. M. y Robledo, E. I. G. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana.* 16(2):145-151.
- Santiago, N. J.; Mendoza, E. M. y Borrego, E. F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana.* 9(1):59-65.
- Singh, M. and Singh, R. K. 1983. A comparison of different methods of half-diallel analysis. *Theor. Appl. Genet.* 67:323-326.
- Singh, O. and Paroda, R. S. 1984. A comparison of different diallel analyses. *Theor. Appl. Genet.* 67: 541-545.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007. Estadísticas agrícolas por entidades de México. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Texeira, A. D.; Dias, V. W. C.; Cruz, C. D.; Finger, F. L. y Scapimi, C. A. 1999. Melhoramento do tomateiro: II. Procedimento de Gardner e Heberhart na análise heterotica de características morfoagronômicas e da qualidade dos frutos. *Bragantia, Campinas.* 56(1):33-46.
- Weerasinghe, Q. R.; Perera, A. L. T.; Costa, W. A. J. M.; Jinadase, D. M. and Vishnukanthasingham, R. 2004. Production of tomato hybrids for dry zone conditions of Sri Lanka using combining ability analysis, heterosis and DNA testing procedures. *Tropical Agric. Res.* 16:79-90.
- 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.