

Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Variation in agronomic traits and lycopene in advanced tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars

Gaspar-Peralta P¹, JC Carrillo-Rodríguez¹, JL Chávez-Servia², AM Vera-Guzmán², I Pérez-León¹

Resumen. Con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico, variación genotípica, contenido de licopeno y otros componentes de calidad de frutos, se realizó una siembra en invernadero de ocho líneas avanzadas de tomate, en los ciclos agosto-diciembre de 2008 y febrero-julio de 2009. Las líneas presentaron diferencias significativas en longitud de la hoja (LH), diámetro del tallo (DT), número de flores (NFOR) y frutos por racimo (NFUR), número de lóculos (NLF) y largo de frutos (LF), y la mayor expresión de caracteres de fruto se cuantificó en el ciclo agosto-diciembre de 2008. La varianza ambiental fue significativamente más alta que las varianzas genotípicas y de la interacción genotipo-ambiente en LH, NFUR, número de frutos por planta (NFP), peso medio del fruto y rendimiento. Se estimó una heredabilidad en sentido amplio de intermedia a alta ($H^2 > 0,23$) para diámetro y longitud del fruto, número de lóculos y flores. El licopeno varió de 9,6 a 16,8 en base húmeda, y de 203,8 a 367,6 mg/100 g en base seca. La vitamina C varió de 9,7 a 16,0 mg/100 g de muestra. La variación del ángulo de matiz (0,94-1,00), cromaticidad (44,0-53,5) e índice de madurez (12,0-19,2), demostraron que las líneas evaluadas presentaron características deseables para los productores y consumidores. Las líneas L-106 y L-109 sobresalieron en caracteres agronómicos y de calidad de fruto.

Palabras clave: Agromorfología; Heredabilidad; Licopeno; Varianzas genotípicas; Vitamina C.

Abstract. In order to evaluate the agronomic behavior, genotypic variation, lycopene content, and other components of fruit quality, eight advanced tomato lines were planted in greenhouses during two crop cycles, August-December 2008 and February-July 2009. Tomato lines showed significant differences in leaf length (LL), stem diameter (SD), number of flowers per branch (FLNB), number of fruits per branch (FRNB), locules per fruit (LPF), and fruit length (FRL), and the greatest phenotypic expression in fruit traits was quantified in August-December 2008. Environmental variance was significantly higher than the genotypic and genotype-environment interaction variances in LL, FRNB, fruits per plant, average weight of fruit, and yield. The estimated values for broad-sense heritability presented intermedium to high levels ($H^2 > 0.23$) in diameter fruit, FRL, LPF, FLBN and FRNB. Lycopene varied from 9.6 to 16.8 in fresh samples, and from 203.8 to 367.6 mg/100 g in dry samples. Vitamin C varied from 9.7 to 16.0 mg/100 g of fresh material. The variation in Hue angle (0.94-1.00), chromaticity (44.0-53.5) and maturity index (12.0-19.2) indicated that, in general, all evaluated lines have desirable characteristics for producers and consumers, with L-106 and L-109 being the most outstanding in terms of agronomic traits and fruit quality.

Keywords: Agromorphology; Heritability; Genotypic variances; Lycopene; Vitamin C.

¹ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71230. Tel. y Fax: (+52-951) 517-0444.

² Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, Hornos # 1003 Santa Cruz Xoxocotlan, Oaxaca, México. C.P. 71230. e-mail: jchavezservia@yahoo.com, Tel. y Fax: (+52-951) 517-0610.

Address Correspondence to: JC Carrillo-Rodríguez, e-mail: jcarrillo_rodriguez@hotmail.com

Recibido / Received 9.V.2011. Aceptado / Accepted 22.XI.2011.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las principales hortalizas cultivadas, y los principales países productores son: China, Estados Unidos, Turquía, India, Egipto, Italia, España, Brasil y México. En el año 2008, México fue el país del mayor volumen exportado con 1.042.730 toneladas, le siguieron España y Holanda (FAOSTAT, 2010). Debido a esta circunstancia, hay una gran demanda por los productores mexicanos de variedades mejoradas, las que son importadas por las empresas transnacionales productoras de semillas.

En México, el 80,5% de la producción de tomate se concentra en diez estados de la república. Estos estados incluyen Sinaloa, Michoacán, Baja California Norte, Veracruz, San Luis Potosí, Nayarit, Baja California Sur, Jalisco, Morelos y Zacatecas, con más de 2 mil hectáreas sembradas anualmente en cada estado (SIAP, 2009). No obstante, toda la semilla que se utiliza para la producción comercial corresponde a variedades o híbridos mejorados e importados de otros países (Ramos, 2008). En México y a nivel mundial, es notorio el incremento, año con año, de la superficie cultivada con tomate y con ello el incremento del acceso, por parte de los productores, a semilla de alta calidad y de nuevas variedades adaptadas a sus condiciones particulares de cultivo (Álvarez et al., 2007).

En cualquier región de producción de tomate, el incremento de la superficie cultivada también provoca un incremento en los problemas fitosanitarios y abióticos de adaptación a condiciones específicas de cultivo. Para resolver esos problemas y otros de calidad de frutos, los programas de mejoramiento genético, frecuentemente recurren a las fuentes de genes de tomates silvestres y semidomesticados (Baena et al., 2003; Causse et al., 2007; Robertson y Labate, 2007). Ejemplo de ello están la gran variación en base seca de licopeno (116 hasta 368 mg/100 g) reportada en los tomatillos nativos de Oaxaca (Crisanto et al., 2010), y la gran variabilidad agro-morfológica reportada en grupos de jitomate tipo riñón, saladette y tomatillo (Carrillo y Chávez 2010; Vásquez et al., 2010). Por otro lado, en todo proceso de mejoramiento genético se requiere conocer las características genéticas de las poblaciones, en términos de los caracteres métricos objeto del mejoramiento, sus variaciones por efectos ambientales, y por efectos génicos o genotípicos. Entonces, es importante determinar los componentes de la variación atribuibles a diferentes causas, que, comúnmente, se miden y expresan como varianza fenotípica (Molina, 1992; Falconer y Mackay, 1996).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico, la variación de caracteres atribuible a efectos genotípicos y las características físico-químicas de calidad de frutos en ocho líneas avanzadas de tomate cultivadas en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y evaluación agronómica. El material genético evaluado se constituyó por ocho líneas avanzadas de tomate (L-105 a L-112) generadas durante una selección individual y dos autofecundaciones contiguas. Las poblaciones originales tuvieron como origen las poblaciones cultivadas por los agricultores de Texcoco, México, Guanajuato y sur de Guerrero. Las formas de fruto son contrastantes entre líneas, desde el clásico saladette hasta la forma redonda-achatada con hombros parecida a una calabaza con costillas.

Los materiales se evaluaron durante dos estaciones o ciclos de cultivo; agosto-diciembre de 2008 (otoño-invierno) y febrero-julio de 2009 (primavera-verano). En ambos ciclos, las ocho líneas se sembraron bajo una distribución de bloques completos al azar con tres repeticiones, en un invernadero localizado en la Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca (17° 04' N, 96° 43' O). El clima de la región es subcálido, con temperaturas promedios de 21 °C y una altitud de 1530 msnm (INEGI, 2004).

Durante los dos ciclos de cultivo, se evaluó el número de flores, número de frutos y peso de frutos del primer al quinto racimo y del total de frutos. En una muestra de 10 frutos se determinó el diámetro, longitud y número de lóculos del fruto. Adicionalmente, se midieron el diámetro de tallos y longitud de la hoja sin pedúnculo como una estimación del vigor de la planta.

Licopeno y otros parámetros físicos y químicos de calidad. *Licopeno.* Se determinó de acuerdo con la propuesta de Davis et al. (2003), mediante un espectrofotómetro (modelo UV-1601, Shimadzu®) con lecturas a 503 nm y con base en la curva ajustada de un estándar de licopeno (90% puro de tomate). Los datos se expresaron en mg/100 g de muestra en base húmeda y seca. La evaluación del licopeno sólo se realizó en la siembra de otoño-invierno de 2008.

Vitamina C. Se determinó por el método de Dürüst et al. (1997), con lecturas del espectrofotómetro a una longitud de banda de 520 nm y con base en la curva ajustada de calibración del estándar de L-ácido ascórbico (99%).

Parámetros físico-químicos de frutos. El color se determinó mediante un colorímetro portátil Mini Scan (modelo MS/B-200S, Hunter Lab®), a través de la escala CIE L*, a* y b*, con lecturas en la zona ecuatorial del fruto, donde: L*, representa la variación de brillantez o luminosidad; a*, denota las tonalidades de verde a rojo; y b*, los tonos de azul a amarillo. Posteriormente, con los valores de a* y b*, se calculó el ángulo de matiz [$H^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$] e índice de saturación de color o cromaticidad [$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$], de acuerdo con Centurión et al. (2008). El pH se determinó en el jugo de frutos molidos por el método 981.12 de la AOAC (1990), mediante un potenció-

metro digital (modelo PH 15, Conductronic®). Los sólidos solubles se midieron en el jugo y en la muestra molida del fruto con un refractómetro manual (modelo PAL-1, Atago®); se expresaron como grados Brix (°Bx). La acidez titulable (porcentaje de ácido cítrico) se evaluó por el método 942.15 de la AOAC (1990). Todos los análisis se hicieron por triplicado. Con los valores de °Brix y acidez titulable, se calcularon los índices de sabor (IS) y madurez (IM) propuestos por Hernández et al. (2004), mediante las expresiones siguientes: IS = [(°Brix de pulpa)/(20) * (acidez titulable)] + acidez titulable; IM = (°Brix de pulpa)/(acidez titulable). La cuantificación de los azúcares reductores, se realizó por el método Lane-Eynon 923.09C de la AOAC (1990).

Análisis estadístico. Con los datos agronómicos, se hizo un análisis de varianza combinado mediante el diseño de bloques completos al azar, con un modelo mixto (líneas como efectos fijos, ciclos como efectos aleatorios y repeticiones anidadas en ciclos). Con los datos de licopeno y de otros componentes físico-químicos, también se realizó un análisis de varianza. En ambos casos, cuando hubo diferencias estadísticamente significativas en los efectos principales o sus interacciones, se procedió con la comparación de medias por el método de Tukey ($p < 0,05$). Adicionalmente, se estimaron los componentes de varianza por el método de máxima verosimilitud restringida (REML) mediante el procedimiento VARCOMP del paquete estadístico SAS (1999), de acuerdo con las sugerencias de Cadena y Castillo (2000) y Khuri (2000). Ciclos de cultivo, líneas y repeticiones se consideraron como efectos aleatorios con base en las experiencias reportadas por Yao y Mehlenbacher (2000), y Coutiño y Vidal (2006). Posteriormente, con los valores de las varianzas (σ^2) se estimó la heredabilidad en sentido amplio (H^2) mediante la expresión $H^2 = \sigma^2_{\text{Líneas}} / (\sigma^2_{\text{Ciclo}} + \sigma^2_{\text{Líneas}} + \sigma^2_{\text{Ciclo} \times \text{Línea}} + \sigma^2_{\text{Rep}(\text{Ciclo})} + \sigma^2_{\text{Error}})$, donde los subíndices indican los efectos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación agronómica. En el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ciclos de producción para la longitud de hoja sin pedúnculo, diámetro del tallo, longitud del fruto, frutos por racimo y totales, peso medio del fruto y rendimiento. En el ciclo de agosto a diciembre de 2008, las características descriptivas del fruto (longitud, peso y números de frutos) presentaron valores fenotípicos significativamente mayores, incluyendo el rendimiento, que en el ciclo febrero-julio de 2009. La única excepción fue la longitud de la hoja que fue mayor durante febrero-julio de 2009 (Tablas 1 y 2). Esto indicó que las líneas avanzadas evaluadas tendieron a presentar un mejor comportamiento en el ciclo agosto-diciembre que en febrero-julio, bajo invernadero, en los Valles Centrales de Oaxaca, México.

Tabla 1. Cuadrados medios de variables vegetativas y su significancia estadística, y comparación de medias entre ciclos y entre líneas avanzadas de tomate.

Table 1. Mean squares for vegetative variables and its statistical significance, and mean comparisons between cycles and among advanced lines of tomato.

Factores	LH (cm)	DT (cm)	NFOR	NLF	LF (cm)
Cuadrados medio de efectos					
Ciclos (C)	1684,2**	11,3 ^{ns}	0,75 ^{ns}	4,07**	0,36 ^{ns}
Líneas (L)	72,6*	39,8**	43,75**	16,04**	2,34**
C x L	25,7 ^{ns}	6,1 ^{ns}	10,72**	1,60**	1,39**
Rep. (ciclo)	23,5 ^{ns}	8,8 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,38 ^{ns}
CV (%)	14,8	34,1	11,3	6,1	7,9
Comparación de promedios de ciclos de cultivo					
2008	24,4 b	1,4 a	8,2 a	4,1 a	7,0 a
2009	36,3 a	1,3 b	7,2 a	4,3 a	6,4 b
Comparación de promedios de las líneas evaluadas					
L-105	33,7 ab	1,2 a	6,8 b	3,0 c	6,6 c
L-106	31,4 ab	1,3 a	6,5 b	2,4 c	6,6 c
L-107	36,0 a	1,3 a	7,9 b	3,0 c	9,5 a
L-108	26,0 b	1,3 a	6,6 b	2,7 c	6,0 cd
L-109	31,4 ab	1,1 a	5,7 b	2,9 c	7,9 b
L-110	30,4 ab	1,3 a	5,4 b	3,0 c	7,7 b
L-111	27,1 b	1,2 a	13,3 a	10,0 a	4,3 e
L-112	27,0 b	1,2 a	9,2 ab	6,6 b	5,3 d

LH: longitud de la hoja; DT: diámetro del tallo; NFOR: número de flores por racimo; NLF: número de lóculos en el fruto; LF: longitud del fruto.

ns: no significativo ($p > 0,05$); * significativo a $p < 0,05$; ** significativo a $p < 0,01$.

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

LH: leaf length; DT: stem diameter; NFOR: number of flowers per bunch; NLF: locule number in the fruit; LF: fruit length.

ns: not significant ($p > 0.05$); * significant at $p < 0.05$; ** significant at $p < 0.01$.

Means followed by the same letter do not differ significantly (Tukey, $p > 0.05$).

Entre las líneas de tomate, no hubo diferencias significativas en rendimiento, frutos por planta y por racimo, excepto en el peso medio del fruto. Como puede observarse en la Tabla 3, el rendimiento promedio fue de 6,92 kg/m², y el peso de los frutos varió de línea a línea desde 73,0 g hasta 110,6 g por fruto. Estos valores concuerdan con los rangos informados por Santiago et al. (1998) y Restrepo y Vallejo (2003). Sin embargo, los mismos son superiores al promedio registrado por Martínez et al. (2005, 31-52 g) en híbridos tipo bola y sa-

Tabla 2. Cuadrados medios de variables reproductivas y su significancia estadística, y la comparación de medias entre ciclos y entre líneas avanzadas de tomate.

Table 2. Mean squares for reproductive variables and its statistical significance, and mean comparisons between cycles and among advanced lines of tomato.

Factores	DF (cm)	NFUR	NFP	PMF (g)	RTO (kg/m ²)
Cuadrados medio de efectos					
Ciclos (C)	229,5**	5602,2*	72,47**	1407,2**	0,47**
Líneas (L)	5,08 ^{ns}	1109,1*	1,53 ^{ns}	22,1 ^{ns}	0,03 ^{ns}
C x L	5,05 ^{ns}	874,9*	1,05 ^{ns}	30,5 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Rep. (ciclo)	6,06 ^{ns}	315,2 ^{ns}	3,29 ^{ns}	55,2 ^{ns}	0,04 ^{ns}
CV (%)	24,2	20,7	17,5	18,1	11,0
Comparación de promedios de ciclos de cultivo					
2008	5,7 a	6,5 a	31,2 a	99,3 a	9,11a
2009	5,6 a	4,1 b	20,4 b	77,7 b	4,73 b
Comparación de promedios de las líneas evaluadas					
L-105	5,1 c	5,9 a	26,8 a	74,4 b	6,93 a
L-106	5,4 c	5,3 a	26,6 a	77,7 ab	6,06 a
L-107	5,3 c	5,2 a	26,2 a	110,6 a	8,92 a
L-108	6,5 a	5,5 a	25,6 a	98,3 ab	7,26 a
L-109	4,9 c	4,5 a	22,7 a	93,0 ab	6,27 a
L-110	5,6 bc	4,6 a	23,1 a	98,6 ab	7,09 a
L-111	6,2 ab	5,9 a	27,9 a	73,0 b	6,21 a
L-112	6,3 ab	5,5 a	27,5 a	82,8 ab	6,61 a

DF: diámetro del fruto; NFUR: número de frutos por racimo; NFP: número total de frutos por planta; PMF: peso medio del fruto; RTO: rendimiento.

^{ns}: no significativo ($p > 0,05$); * significativo a $p < 0,05$; ** significativo a $p < 0,01$.

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

DF: fruit diameter; NFUR: fruit number per bunch; NFP: total fruit number per plant; PMF: fruit mean weight; RTO: yield.

^{ns}: not significant ($p > 0,05$); *significant at $p < 0,05$; ** significant at $p < 0,01$. Means followed by the same letter do not differ significantly (Tukey, $p > 0,05$).

ladette. Esto significa que estas líneas se pueden constituir en progenitores donantes de caracteres o variedades mejoradas. En relación a los caracteres de flores por racimo, lóculos y diámetro del fruto, sobresalieron las líneas L-111 y L-112 como una lógica de su forma de fruto arriñonada. El rendimiento no presentó diferencias significativas entre las líneas y el promedio general fue de 6,92 kg/m². En general, fueron evidentes las diferencias entre las líneas en relación a sus caracteres de flores y frutos, pero no en el rendimiento total (Tablas 1 y 2).

En la interacción de las líneas avanzadas de tomate por ciclo de cultivo, nuevamente fueron evidentes las diferencias en (1) las características de frutos (número de lóculos, longitud, diámetro y peso medio del fruto), y (2) los caracteres de planta (Tablas 1 y 2). L-112 y L-111 presentaron los mayores valores de número de lóculos en los ciclos agosto-diciembre de 2008 y febrero-julio de 2009, respectivamente. En longitud del fruto, la línea L-107 fue muy consistente en ambos ciclos de cultivo (9,5 cm), y las líneas L-111 y L-112, presentaron las menores longitudes ($< 5,7$ cm) pero los mayores diámetros y pesos medios del fruto (Tabla 3).

En la estimación de varianzas por el método de máxima verosimilitud restringida (*REML*) se observó que la suma de las varianzas debida a efectos no genotípicos o desviaciones ambientales fue mayor que la varianza genotípica (líneas evaluadas) en todas las variables, excepto el número de lóbulos y la longitud de frutos (Tabla 4). Este patrón también fue observado por Argillier et al. (2000) en líneas endogámicas de maíz, y Shimelis y Shiringani (2010) en frijol lima (*Vigna unguiculata* L.). Las varianzas genotípicas calculadas por Baena et al. (2003) para rendimiento y número de frutos por planta en tomate, en líneas promisorias de tomate de las generaciones F₆ y F₇, fueron semejantes a las de este trabajo, y la varianza ambiental fue significativamente mayor que la genotípica. Los resultados mostraron que, en gran medida, se presentó mayor variación entre líneas que dentro de líneas, y baja interacción genotipo-ambiente, principalmente en caracteres agrónomico-reproductivos.

Los valores de heredabilidad en sentido amplio fueron altos ($H^2 > 0,5$) para el número de lóculos y longitud del fruto e intermedios ($0,23 < H^2 < 0,5$) para el diámetro del fruto y número de flores (Tabla 4). Los resultados mostraron que la heredabilidad fue baja en caracteres complejos o de herencia cuantitativa como rendimiento, diámetro y peso de fruto, y número de frutos por racimo. Estos resultados coinciden con los principios teóricos de herencia poligénica (Molina, 1992; Falconer y Mackay, 1996). Los valores estimados para la varianza del efecto de líneas, efectos no genotípicos y heredabilidad, indican cierto grado de homogeneidad dentro de líneas y pueden aprovecharse en un esquema de mejoramiento por hibridación.

El licopeno varió significativamente entre las líneas de tomate: en base húmeda varió de 9,6 a 16,8 mg/100 g, y en base seca varió de 203,8 a 367,6 mg/100 g de muestra. Esto valores están dentro del rango estimado en otros trabajos experimentales, y los resultados confirman la diferencias de genotipo a genotipo. Por ejemplo, George et al. (2004), en diferentes variedades de tomate, determinaron una variación de 9,2 a 32,4 mg en base húmeda, y de 171 a 455 mg/100 g de pulpa en base seca. Además de las diferencias en licopeno entre variedades o genotipos, también influyen significativamente las condiciones de crecimiento del cultivo, la fecha de cosecha y el grado de madurez de los frutos a la cosecha (George et al., 2004; Toor et al., 2006; Tomlekova et al., 2007). En el presente tra-

Tabla 3. Comparación de promedios de las interacciones entre ciclo de cultivo y líneas de tomate.
Table 3. Mean comparisons for the interactions between crop cycles and tomato lines.

Líneas	LH (cm)	DT (cm)	NFOR	NLF	LF (cm)	DF (cm)	NFUR	NFP	PMF (g)	RTO (kg/m ²)
Ciclo agosto-diciembre de 2008										
L-105	36,1 a	1,1 a	7,0 by	3,0 cd	6,2 bcd	5,0a	25,4 abcd	5,0 a	59,2 a	4,43 a
L-106	37,2 a	1,2 a	6,0 b	2,7 cd	6,7 bc	5,4a	18,2 cd	3,6 a	75,4 a	4,14 a
L-107	41,1 a	1,1 a	9,1 ab	3,1 cd	9,5 a	4,8a	19,1 cd	3,8 a	91,0 a	5,28 a
L-108	36,0 a	1,2 a	6,1 b	3,0 cd	6,2 bcd	6,3a	19,6 bcd	3,9 a	93,2 a	5,65 a
L-109	37,2 a	1,0 a	5,7 b	2,8 cd	6,8 bc	4,3a	17,2 d	3,4 a	72,6 a	3,74 a
L-110	36,4 a	1,2 a	4,5 b	3,0 cd	6,7 bc	5,1a	19,5 bcd	3,9 a	69,3 a	4,13 a
L-111	33,5 a	1,2 a	11,3 ab	7,6 b	4,1 f	6,0a	20,8 bcd	4,1 a	72,4 a	4,57 a
L-112	32,7 a	1,1 a	7,7 ab	9,2 b	5,1 d-f	7,3a	23,3 abcd	4,6 a	88,8 a	5,92 a
Ciclo febrero-julio de 2009										
L-105	31,3 a	1,3 a	6,6 b	3,0 cd	6,9 b	5,0a	28,3 abcd	6,6 a	89,5 a	9,42 a
L-106	25,6 a	1,4 a	7,0 b	2,0 d	6,4 bc	5,3a	35,0 a	7,0 a	80,0 a	7,98 a
L-107	30,6 a	1,5 a	6,6 b	3,0 cd	9,4 a	5,7a	33,3 ab	6,6 a	130,2 a	12,57 a
L-108	16,0 a	1,3 a	7,0 b	2,3 d	5,6 bcde	6,6a	31,6 abc	7,0 a	103,3 a	8,88 a
L-109	25,6 a	1,2 a	5,6 b	3,0 cd	9,0 a	5,3a	28,3 abcd	5,6 a	113,4 a	8,81 a
L-110	24,3 a	1,4 a	6,3 b	3,0 cd	8,7 a	6,0a	26,6 abcd	5,3 a	127,9 a	10,05 a
L-111	20,6 a	1,2 a	15,3 a	12,3 a	4,4 ef	6,4a	35,0 a	7,6 a	73,6 a	7,85 a
L-112	21,3 a	1,3 a	10,6 ab	4,0 c	5,5 cde	5,3a	31,6 abc	6,3 a	76,9 a	7,30 a

LH: longitud de la hoja sin pedúnculo; DT: diámetro del tallo; NFOR: número de flores por racimo; NLF: promedio de número de lóculos en el fruto; LF: longitud del fruto; DF: diámetro del fruto; NFUR: número de frutos por racimo; NFP: número total de frutos por planta; PMF: peso medio del fruto; RTO: rendimiento.

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

LH: leaf length without peduncles; DT: stem diameter; NFOR: number of flowers per bunch; NLF: mean locule number in the fruit; LF: fruit length; DF: fruit diameter; NFUR: number of fruits per bunch; NFP: total fruit number per plant; PMF: mean fruit weight; RTO: yield.

Means followed by the same letter do not differ significantly (Tukey, $p > 0.05$).

Tabla 4. Varianzas y heredabilidad en sentido amplio (H^2) estimadas en 10 caracteres evaluados en ocho líneas avanzadas de tomate.
Table 4. Variances and broad-sense heritability (H^2) estimates of 10 traits evaluated on eight advanced lines of tomato.

Caracteres evaluados	σ^2_{Ciclos}	$\sigma^2_{\text{Líneas}}$	$\sigma^2_{\text{Ciclos * Líneas}}$	$\sigma^2_{\text{Rep.(ciclos)}}$	σ^2_{Error}	$\sigma^2_{\text{Fenotípica}}$	H^2
Longitud hoja sin pedúnculo	68,968	7,819	1,834	0,415	20,195	99,231	0,079
Diámetro de tallo	0,018	0,002	0,000	0,003	0,018	0,041	0,044
Número de flores	0,105	5,511	0,000	0,259	6,714	12,589	0,438
Número de lóculos	0,000	5,707	3,095	0,043	0,225	9,069	0,629
Longitud promedio del fruto	0,102	2,407	0,478	0,004	0,172	3,162	0,761
Diámetro promedio del fruto	0,000	0,178	0,358	0,021	0,203	0,760	0,234
Peso medio de fruto	196,968	39,035	180,032	0,000	334,840	750,875	0,052
Número de frutos por racimo	2,874	0,080	0,064	0,303	0,867	4,188	0,019
Número total de frutos	56,153	0,000	1,439	4,161	21,964	83,718	0,000
Rendimiento promedio (kg/m ²)	9,217	0,004	0,750	0,407	2,805	13,183	0,000

bajo, las líneas L-111 y L-112 de frutos de forma arriñonada o tipo calabaza presentaron los valores más bajos en contenido de licopeno (<15 mg/100 g en base húmeda, y <208 mg/100 g en base seca), difirieron significativamente de los frutos tipo saladette. Este mismo patrón se repitió en pH. La línea L-112 presentó un valor de 16 mg de vitamina C/100 g de muestra y superó estadísticamente a todas las líneas evaluadas. En general, las líneas evaluadas presentaron un valor próximo o

superior a 10 mg, favorable para un proceso de selección de líneas de alto valor nutricional (Tabla 5).

En °Brix y pH, la línea L-109 presentó significativamente los mayores valores, seguida de L-106 y L-110, y la acidez titulable, presentó una relación inversa con el pH. Por ejemplo, las líneas L-111 y L-112 con alto porcentaje de ácido cítrico o acidez titulable, presentaron los pH más bajos (Tabla 6).

Tabla 5. Comparación de medias del contenido de licopeno y otras características físico-químicas de ocho líneas avanzadas de tomate, ciclo agosto-diciembre 2008.

Table 5. Mean comparisons on lycopene content and other physico-chemical characteristics of eight advanced lines of tomato. Cycle August-December 2008.

Líneas de tomate	Licopeno base húmeda (mg/100 g)	Licopeno base seca (mg/100 g)	Vitamina C (mg/100 g)	°Brix jugo	°Brix pulpa	pH	Azúcares reductores (%)	Acidez titulable (% ác. cítrico)
L-105	13,5 b	272,9 ab	9,7 b	4,4 bcd	4,5 bc	4,2 cde	2,5 b	0,28 bc
L-106	16,2 a	347,7 a	10,7 b	5,0 ab	5,2 a	4,4 abc	3,1 a	0,30 b
L-107	15,2 ab	367,6 a	9,9 b	3,9 d	4,1 c	4,3 bcd	2,5 ab	0,24 c
L-108	14,2 ab	306,9 ab	9,8 b	4,2 cd	4,4 bc	4,4 ab	2,5 b	0,30 b
L-109	16,8 a	317,2 a	10,5 b	5,2 a	5,4 a	4,5 a	3,1 a	0,28 bc
L-110	16,0 ab	276,3 ab	11,0 b	5,0 ab	5,2 a	4,4 ab	3,0 ab	0,30 b
L-111	9,6 c	207,2 b	10,5 b	4,7 abc	4,7 abc	4,2 e	2,6 ab	0,39 a
L-112	14,8 ab	203,8 b	16,0 a	4,6 abcd	4,8 ab	4,2 de	2,7 ab	0,39 a
Valor de F	6,85*	3,60*	2,08*	4,28*	4,80*	7,62*	2,84*	12,2**
CV (%)	12,2	24,6	29,9	10,8	9,7	1,90	12,7	10,8

Los promedios con letras iguales no difieren significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

* significativo a $p < 0,05$; ** significativo a $p < 0,01$.

Means followed by the same letter do not differ significantly (Tukey, $p > 0.05$).

* significant at $p < 0.05$; ** significant at $p < 0.01$.

Tabla 6. Comparación de los promedios de color e índices de maduración en ocho líneas avanzadas de tomate, ciclo agosto-diciembre 2008.

Table 6. Mean comparisons of color and maturity indexes on eight advanced lines of tomato. Cycle August-December 2008.

Líneas de tomate	L*	a*	b*	Ángulo de matiz	Índice de saturación del color	Índice de sabor	Índice de madurez
L-105	37,6 a	27,69 bc	41,13 c	0,97 bc	49,6 bc	1,08 bc	15,9 bc
L-106	37,3 ab	31,40 a	43,02 ab	0,94 c	53,3 ab	1,16 ab	17,1 abc
L-107	37,1 ab	26,41 c	42,21 ab	1,0 b	49,8 abc	1,09 bc	17,1 abc
L-108	35,3 c	27,83 bc	41,63 ab	0,98 b	50,1 abc	1,03 c	14,5 cd
L-109	35,6 c	28,61 bc	43,32 ab	0,98 b	51,9 ab	1,25 a	19,2 a
L-110	36,3 bc	29,20 ab	44,83a	0,99 b	53,5 a	1,17 ab	17,5 ab
L-111	33,2 d	21,63 d	41,59b	1,0 a	46,9 cd	1,00 c	12,0 d
L-112	33,9 d	23,61 d	36,98c	0,99 b	44,0 d	1,00 c	12,0 d
Valor de F	9,03*	7,77**	4,03*	6,05*	4,85*	5,17*	7,93*
CV (%)	3,8	10,6	9,8	4,4	9,2	7,5	12,2

Los promedios con letras iguales no difieren significativamente (Tukey, $p > 0,05$).

* significativo a $p < 0,05$; ** significativo a $p < 0,01$.

Means followed by the same letter do not differ significantly (Tukey, $p > 0.05$).

* significant at $p < 0.05$; ** significant at $p < 0.01$.

El color de fruto estimado en la zona ecuatorial ayudó a establecer que, en general, todas las líneas presentaron frutos brillantes ($L^* > 33$). Los valores significativamente más bajos se estimaron en las líneas L-111 y L-112, en tanto que los más altos correspondieron a L-105, L-106 y L-107. En cuanto a las tonalidades rojas (a^*), sobresalió L-106 seguido de L-110, y nuevamente L-111 y L-112 presentaron un color rojo menos intenso en los frutos. En relación a las tonalidades del amarillo (b^*), las líneas L-105 y L-112 presentaron los valores más bajos. La consistencia de los valores altos de a^* y b^* en las líneas L-110 y L-106, se reflejó también en valores altos en los índices de saturación del color, sabor y madurez. Sin embargo, nuevamente se notó la inconsistencia en el ángulo de matiz porque el valor significativamente mayor correspondió a la línea L-111 y no a L-110 ni L-106. Para el caso de las relaciones del índice de sabor y de madurez, los valores más bajos correspondieron a los tipo arriñonado L-111 y L-112 y el saladete L-108. En contraparte, L-109 y L-110 presentaron valores altos en ambos índices y denotaron un alto contenido de sólidos solubles en el fruto (Tabla 6). Los valores del ángulo de matiz y el índice de saturación de color fueron alrededor de uno y mayores de 44, respectivamente; esto indica que la mayoría de las líneas tuvieron un color atractivo y brillantez en los frutos. Además, las líneas presentaron una excelente relación de sólidos solubles, expresado en los valores de los índices de sabor y de madurez. Considerando el potencial benéfico antioxidante para la salud del licopeno, vitamina C, sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), acidez titulable y otros constituyentes químicos, los resultados de este y otros trabajos sobre jitomate nativo mexicano son de utilidad directa para los productores y consumidores. Esto se debe a que el consumo frecuente ayudará a prevenir ciertos tipos de cáncer y enfermedades del corazón (Rao y Shen, 2002; Rao et al., 2003; Hernández, 2004; Siler et al., 2005; Kavanaugh et al., 2007).

CONCLUSIONES

Las líneas avanzadas de tomate evaluadas presentaron diferencias significativas en longitud de hojas, lóculos, longitud y diámetro de fruto, número de flores por racimo y peso medio de fruto, e interactuaron con el ambiente, debido a que respondieron mejor en la estación de agosto-diciembre. Las variaciones ambientales influyeron significativamente en las respuestas evaluadas; las varianzas ambientales fueron mayores que la genotípica y la correspondiente a la interacción genotipo-ambiente, en relación al número de frutos por racimo y por planta, peso medio del fruto y rendimiento. Se estimó una heredabilidad de media a alta ($H^2 > 0,23$) en sentido amplio para diámetro y longitud del fruto, número de lóculos y flores. Las líneas L-106 y L-109 sobresalieron en contenido de licopeno, grados Brix, pH y azúcares reductores, y la línea L-112 en vitamina C, por lo que son promisorias para un programa de mejoramiento genético.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-México por el financiamiento otorgado a través del proyecto I003-AC-2008-89550 y al Instituto Politécnico Nacional-México por los proyectos SIP-20080214 y SIP-20090175.

REFERENCIAS

- Álvarez, M., C. Moya, D. Plana, F. Dueñas, M. Varela, L. Francy, S. Miranda y H. Ríos (2007). Incremento de la diversidad de variedades de tomate, su adopción y diseminación por productores en la comunidad el Tejar-La jocuma, La Palma, Pinar del Río, La Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales* 28: 71-77.
- AOAC (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol. 2, 15th ed., Association of Official Analytical Chemist, Washington DC, USA. pp. 685-1298.
- Argillier, O., V. Méchin y Y. Barrière (2000). Inbred lines evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. *Crop Science* 40: 1596-1600.
- Baena, D., F.A. Vallejo y E.I. Estrada (2003). Avance generacional y selección de líneas promisorias de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tipo chonto y milano. *Acta Agronómica* 5: 1-9.
- Cadena M., J.C. y A. Castillo M. (2000). Una comparación de SAS y Harvey en la estimación de componentes de varianza en modelos mixtos. *Agrociencia* 34: 57-68.
- Carrillo R., J.C. y J.L. Chávez S. (2010). Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 1-6.
- Causse, M., R. Damidaux y P. Rouselle (2007). Traditional and enhanced breeding for quality traits in tomato. En: Razdan, M.K. and A.K. Mattoo (eds.), pp. 153-192. Genetic Improvement of Solanaceous Crop, Vol. 2: Tomato. Science Publishers. Enfield, New Hampshire, USA. 658 p.
- Centurión Y., A.R., S. Solís P., C. Saucedo-Veloz, R. Báez-Sañudo y E. Sauri D. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 1-5.
- Coutiño E., B. y V.A. Vidak M. (2006). Variance components of corn hybrids evaluated in the USA corn belt. *Agrociencia* 40: 89-98.
- Crisanto J., A.U., A. Vera G., J.L. Chávez S., J.C. Carrillo R. (2010). Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 7-13.
- Davis, A. R., W.W. Fish y P. Perkins-Veazie (2003). A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato and tomato products. *Postharvest Biology and Technology* 28: 425-430.
- Dürüst, N., D. Sümengen y Y. Dürüst (1997). Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal of the Agriculture and Food Chemistry* 45: 2085-2087.
- Falconer, D.S. y T.F.C Mackay (1996). Introduction to Quantitative Genetics. Prentice Hall. Malaysia, 464 p.
- George, B., C. Kaur, D.S. Khurdiya y C.H. Kapoor (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: 45-51.
- Hernández T., M. (2004). Recomendaciones nutricionales para el ser humano: Actualización. *Revista Cubana de Investigación Biomédica* 23: 266-92.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2004). Anuario Estadístico Regional. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Oaxaca, Oax. CD-R.
- Kavanaugh, C.J., P.R. Trumbo y K.C. Ellwood (2007). The U.S. food and drug administration's evidence-based review for qualified health claims: Tomatoes, lycopene, and cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 99: 1074-1085.
- Khuri, A.I. (2000). Designs for variance components estimation: past and present. *Internacional Statistical Review* 68: 311-322.
- Martínez S., J., A. Peña L., J.E. Rodríguez P., C. Villanueva V., J. Sahagún C. y M.G. Peña O. (2005). Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F₂. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 299-307.
- Molina G., J.D. (1992). Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa: Algunas implicaciones en genotecnia. AGT Editor. México, D.F. 349 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), FAOSTAT (2010). Top de exportaciones de tomate 2008. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma, Italia. En: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=342&lang=es>. Consultado el 5 de abril de 2011.
- Ramos S., O.J. (2008). La producción de jitomate en invernadero en Santa Martha Chichiualtepec, Ejutla, Oaxaca en el periodo 2001-2006. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Rao, A.V. y H. Shen (2002). Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. *Nutrition Research* 22: 1125-1131.
- Rao, L.G., E. Guns y A.V. Rao (2003). Lycopene: its role in human health and disease. *AgroFood Industry Hi-Tech* 15: 25-30.
- Restrepo, E.F. y F.A. Vallejo (2003). Diversidad genética del tomate cultivado tipo "chonto" *Lycopersicon esculentum* Mill., en las zonas productoras de Colombia. *Acta Agronómica* 52: 11-17.
- Robertson, L.D. y J.A. Labate (2007). Genetic resources (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and wild relatives. En: Razdan, M.K. and A.K. Mattoo (eds.), pp. 25-75. Genetic Improvement of Solanaceous Crop, Vol. 2: Tomato. Science Publishers. Enfield, New Hampshire, USA. 658 p.
- Santiago, J., M. Mendoza y F. Borrego (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9: 59-65.
- SAS (1999). SAS® Procedures Guide, Version 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1643 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2009). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2008. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: http://reportes.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp. Consultado el 17 de septiembre de 2009.
- Shimelis, H. y R. Shiringani (2010). Variance components and heritability of yield and agronomic traits among cowpea genotypes. *Euphytica* 176: 383-389.
- Siler, U., A. Herzog, V. Spitzer, N. Seifert, A. Denelavas, H. Buchwald, P.B. Hunziker, L. Barella, W. Hunziker, M. Lein, R. Goralczyk y K. Wertz (2005). Promises and perils of lycopene/tomato supplementation and cancer prevention. *Journal of Nutrition* 135: 2050-2052.
- Tomlekova, N., B. Atanassova, D. Baralieva, F. Ribarova, D. Marinova (2007). Study on variability of lycopene and β -carotene content in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Horticulturae* 729: 101-104.
- Toor, R.K., G.P. Savage y C.E. Lister (2006). Seasonal variation in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 1-10.
- Vásquez, O., R., J.C. Carrillo R. y P. Ramírez V. (2010). Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Rev. Naturaleza y Desarrollo* 8: 49-64.
- Yao, Q. y S.A. Lehlenbacher (2000). Heritability, variance components and correlation of morphological and phenological traits in hazelnut. *Plant Breeding* 119: 369-381.