

## Advanced lines of round greenhouse tomatoes as experimental varieties

## Líneas avanzadas de jitomate tipo bola en invernadero como variedades experimentales

Sandro Balbuena-Mascada<sup>1</sup>; Ricardo Lobato-Ortiz<sup>1\*</sup>; J. Jesús García-Zavala<sup>1</sup>; Eduardo Rodríguez-Guzmán<sup>2</sup>; Serafín Cruz-Izquierdo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, C. P. 56230, MÉXICO.

<sup>2</sup>Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez, núm. 2100, Nextipac, Zapopan, Jalisco, C. P. 45200, MÉXICO.

\*Corresponding author: rlobato@colpos.mx, cel. 595 11 28 052.

### Abstract

In Mexico, tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation is of great economic and social importance; however, the generation of innovative national varieties is limited. This research aimed to determine the agronomic potential and fruit quality of 29 F<sub>5</sub> tomato lines with indeterminate growth habit (IGH) and round fruit, for their possible commercial use and as a source of germplasm for breeding. The 29 lines and the commercial variety Caimán (used as a control) were evaluated in a hydroponic greenhouse system during two growing cycles (2020 and 2021), under a randomized complete block experimental design with three replications. Phenological data, physical and fruit quality traits, and total number and weight of fruits per plant were recorded. An analysis of variance, a comparison of means (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) and a Pearson correlation analysis were performed. Significant differences were found among lines in days to flowering and ripening, length, diameter, weight, firmness, soluble solids content, and total number and weight of fruits. Outstanding lines were identified in earliness, yield and fruit quality, making them suitable for fresh consumption. Twenty-eight genotypes showed no significant differences in yield with respect to the control, while line 21136 outperformed it with a 34.9 % higher yield ( $P \leq 0.05$ ), suggesting its potential to be used as a commercial variety or as a source of germplasm in breeding programs.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., indeterminate growth habit, hydroponics, round tomato, genetic improvement.

### Resumen

En México, el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de gran importancia económica y social; sin embargo, la generación de variedades nacionales innovadoras es limitada. El objetivo de esta investigación fue determinar el potencial agronómico y la calidad de fruto de 29 líneas F<sub>5</sub> de jitomate de hábito de crecimiento indeterminado (HCI) y fruto tipo bola, para su posible uso comercial y como fuente de germoplasma en el mejoramiento genético. Las 29 líneas y la variedad comercial Caimán (empleada como testigo), se evaluaron en un sistema hidropónico en invernadero durante dos ciclos de cultivo (2020 y 2021), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se registraron datos fenológicos, características físicas y de calidad de fruto, así como el número y peso total de frutos por planta. Se realizó un análisis de varianza, una comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) y un análisis de correlaciones de Pearson. Se encontraron diferencias significativas entre las líneas en días a floración y a madurez, longitud, diámetro, peso, firmeza, contenido de sólidos solubles, número y peso total de frutos. Se identificaron líneas sobresalientes en precocidad, rendimiento y calidad de fruto, lo cual las hace aptas para consumo en fresco. Veintiocho genotipos no mostraron diferencias significativas en rendimiento con respecto al testigo, mientras que la línea 21136 lo superó con 34.9 % más de rendimiento ( $P \leq 0.05$ ), lo que sugiere su potencial para ser utilizada como variedad comercial o como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento genético.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., hábito de crecimiento indeterminado, hidroponía, jitomate tipo bola, mejoramiento genético.

Please cite this article as follows (APA 7): Balbuena-Mascada, S., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Rodríguez-Guzmán, E., & Cruz-Izquierdo, S. (2024). Advanced lines of round greenhouse tomatoes as experimental varieties. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 31, e2024.006. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2024.07.006>



Revista Chapingo  
Serie Horticultura

## Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most cultivated vegetables in the world. In 2022, 49,196 ha were harvested in Mexico, with a production of 3.46 million tons, of which 13.3 % were of the round type (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023). International demand for tomato requires increased production and quality fruits, which underscores the need to develop new and better varieties (Carrillo-Rodríguez et al., 2013). However, breeding of this species in Mexico is mainly carried out by transnational seed-producing companies and, to a lesser extent, by some public agencies (Hernández-Ibáñez et al., 2017).

Despite the great socioeconomic importance of tomato cultivation in Mexico, there are only 22 varieties registered in the country's National Catalog of Plant Varieties (CNVV). This highlights the need to develop national and public breeding programs that take advantage of the potential of native cultivated, semi-cultivated and wild tomatoes. To do so, it is necessary to: 1) collect and evaluate germplasm that allows expanding the genetic base of the crop (Carrillo-Rodríguez et al., 2013), 2) generate varieties with fruits that respond to the demands of producers and consumers in terms of flavor, color, aroma, texture, size, shape, shelf life, and yield, 3) evaluate the performance of improved lines and agricultural practices that maximize their yields in different environments according to the target market (Frasca et al., 2014), and 4) register varieties in the CNVV.

Some research in Mexico has used commercial varieties of round or ball-type tomatoes to evaluate the effects of different practices on yield, fruit quality and plant development. These studies have analyzed the impact of the application of copper nanoparticles and grafting (Peralta-Manjarrez et al., 2023), the contributions of nitrogen and other nutrients through compost tea (Ochoa-Martínez et al., 2009), variations in the concentration of Steiner's nutrient solution in mixtures of organic substrates based on coconut fiber and humus (Valenzuela-López et al., 2014), substrates based on sand and vermicompost as a nutrient source (Moreno-Reséndez et al., 2008; Rodríguez-Dimas et al., 2007), different levels of fruit thinning (Gaytán-Ruelas et al., 2016), and the yield and fruit quality potential of commercial hybrids in low-tech greenhouses in desert climates (Grijalva-Contreras et al., 2011). However, the literature on the breeding and development of Mexican round tomato varieties with indeterminate growth habit remains limited.

Considering the above, the objective of this work was to study the agronomic performance and fruit

## Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más cultivadas en el mundo. En 2022, en México se cosecharon 49,196 ha, con una producción de 3.46 millones de toneladas, de las cuales el 13.3 % fueron de tipo bola (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023). La demanda internacional de jitomate exige el incremento de la producción y frutos de calidad, lo cual subraya la necesidad de desarrollar nuevas y mejores variedades (Carrillo-Rodríguez et al., 2013). No obstante, el mejoramiento genético de esta especie en México lo realizan, principalmente, empresas transnacionales productoras de semillas y, en menor medida, algunos organismos públicos (Hernández-Ibáñez et al., 2017).

Pese a la gran importancia socioeconómica del cultivo de jitomate, en México solo existen 22 variedades inscritas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). Esto resalta la necesidad de desarrollar programas de mejoramiento genético nacionales y públicos que aprovechen el potencial de los jitomates nativos cultivados, semicultivados y silvestres. Para ello, es necesario: 1) recolectar y evaluar germoplasma que permita ampliar la base genética del cultivo (Carrillo-Rodríguez et al., 2013), 2) generar variedades con frutos que respondan a las demandas de productores y consumidores en cuanto a sabor, color, aroma, textura, tamaño, forma, vida de anaquel y rendimiento, 3) evaluar el desempeño de las líneas mejoradas y de las prácticas culturales que maximicen sus rendimientos en diferentes ambientes de acuerdo con el mercado objetivo (Frasca et al., 2014), y 4) registrar las variedades en el CNVV.

Algunas investigaciones realizadas en México han utilizado variedades comerciales de jitomate tipo bola para evaluar los efectos de distintas prácticas en el rendimiento, la calidad de fruto y el desarrollo de las plantas. Estos estudios han analizado el impacto de la aplicación de nanopartículas de cobre e injertos (Peralta-Manjarrez et al., 2023), las aportaciones de nitrógeno y otros nutrientes mediante té de composta (Ochoa-Martínez et al., 2009), variaciones en la concentración de la solución nutritiva de Steiner en mezclas de sustratos orgánicos a base de fibra de coco y humus (Valenzuela-López et al., 2014), sustratos a base de arena y vermicomposta como fuente de nutrientes (Moreno-Reséndez et al., 2008; Rodríguez-Dimas et al., 2007), diferentes niveles de raleo de frutos (Gaytán-Ruelas et al., 2016), y el potencial de rendimiento y calidad de fruto de híbridos comerciales en invernaderos de baja tecnología en climas desérticos (Grijalva-Contreras et al., 2011). Sin embargo, la literatura sobre el mejoramiento genético y el desarrollo de variedades mexicanas de jitomate tipo

quality of 29 advanced  $F_5$  lines of round tomatoes with indeterminate growth habit in order to identify outstanding materials for possible commercial use and as sources of germplasm for breeding programs.

## Materials and methods

### Plant material

The study included 29 advanced inbred lines of round tomatoes with indeterminate growth habit (IGH) and the commercial hybrid Caimán (Enza Zaden®) as a control. The 29 lines came from the Program for the Conservation and Improvement of Tomato Genetic Resources of the *Colegio de Postgraduados*. These lines were obtained from a cycle of mass selection, followed by four cycles of self-pollination and pedigree selection from a collection carried out in 2015 in Tehuacán, Puebla, Mexico. This was done as part of the National Tomato Network of the National System of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (SINAREFI). The source populations and the study lines are part of the Tomato Breeding Program and are under the custody of the Postgraduate Program in Genetic Resources and Productivity-Genetics of the *Colegio de Postgraduados*. The genotypes were studied under greenhouse and hydroponic conditions in Montecillo, Texcoco, State of Mexico (19° 30' N and 98° 53' W, at 2,250 m a. s. l.).

### Conduction of experiments

Sowing was carried out on May 29, 2020 and March 18, 2021 in 200-cavity polystyrene trays with peat substrate (Kekkilä Professional®, Kekkilä). One week after seedling emergence, irrigation was started with Steiner's (1984) nutrient solution at a concentration of 25 %, which increased to 50 % after transplanting and to 100 % from flowering onwards. During the entire growing cycle, the pH of the nutrient solution was maintained between 5.5 and 6.0.

Transplanting was carried out 35 days after sowing (das), in 2020 and 2021. One plant was placed per 40 × 40 cm black polyethylene bag, with volcanic sand (red tezontle) as a substrate and a density of 4.44 plants·m<sup>-2</sup>. A randomized complete block design with three replications was used in each trial. Each experimental unit consisted of 10 plants managed to one stem. Pruning and tutoring were performed weekly, and at 150 das the plants were topped to limit their growth to 10 clusters.

Fungicides and pesticides were applied preventively, according to the doses and times recommended by the manufacturers: Captan (Captan®, Arysta), Imidacloprid (Confidor®, Bayer), Flonicamid (BeLeaf®,

bola con hábito de crecimiento indeterminado sigue siendo limitada.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el comportamiento agronómico y la calidad de fruto de 29 líneas avanzadas  $F_5$  de jitomate tipo bola con hábito de crecimiento indeterminado, con el fin de identificar materiales sobresalientes para su posible uso comercial y como fuentes de germoplasma para programas de mejoramiento genético.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

El estudio incluyó 29 líneas endogámicas avanzadas de jitomate tipo bola con hábito de crecimiento indeterminado (HCI) y el híbrido comercial Caimán (Enza Zaden®) como testigo. Las 29 líneas provenían del Programa de Conservación y Mejoramiento de los Recursos Genéticos del Jitomate del Colegio de Postgraduados. Dichas líneas se obtuvieron a partir de un ciclo de selección masiva, seguido de cuatro ciclos de autofecundación y selección por pedigree de una colecta realizada en 2015 en Tehuacán, Puebla, México. Esto se realizó como parte de la Red Nacional de Jitomate del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). Las poblaciones de origen y las líneas de estudio forman parte del Programa de Mejoramiento Genético de Jitomate y están bajo el resguardo del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética del Colegio de Postgraduados. Los genotipos se estudiaron en condiciones de invernadero e hidroponía en Montecillo, Texcoco, Edo. de México (19° 30' N y 98° 53' O, a 2,250 m s. n. m.).

### Conducción de experimentos

Las siembras se realizaron el 29 de mayo de 2020 y el 18 de marzo de 2021 en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato de turba (Kekkilä Professional®, Kekkilä). Una semana después de la emergencia de las plántulas, se iniciaron los riegos con la solución nutritiva de Steiner (1984) a una concentración de 25 %, la cual aumentó a 50 % después del trasplante y a 100 % a partir de la floración. Durante todo el ciclo de cultivo, el pH de la solución nutritiva se mantuvo entre 5.5 y 6.0.

Los trasplantes se realizaron a los 35 días después de la siembra (dds), en 2020 y 2021. Se colocó una planta por bolsa de polietileno color negro de 40 × 40 cm, con arena volcánica (tezontle rojo) como sustrato y una densidad de 4.44 plantas·m<sup>-2</sup>. En cada ensayo se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental constó de 10 plantas

FMC), Copper oxychloride (Cupravit®, Bayer), Boscalid + Pyraclostrobin (Cabrio C®, BASF), Lambdacialotrina + Chlorantraniliprole (Ampligo®, Syngenta) and Azoxystrobin + Difenconazole (Amistar Gold®, Syngenta). During flowering, the plants were gently shaken every third day, at eleven o'clock, by vibrating the wires supporting them to enhance pollination.

### Variables evaluated

Initially, two variables were recorded: 1) days to first cluster flowering (DTF), counted from sowing to anthesis of the first flower of the first cluster, and 2) days from sowing to ripeness (DTR), recorded when one fruit from the first cluster of each plant reached grade 2 ripeness (breaker stage) according to the United States Department of Agriculture (USDA, 1975) color grading scale for fresh tomatoes.

At 155 das, in two red fruits (grade six on the USDA ripening scale) from the third cluster of each plant (20 fruits per experimental unit), the following were obtained: the average length (FL, mm) and equatorial diameter (ED, mm) with a digital millimeter vernier (Caldi-6MP, Truper®, Mexico), weight (FW, g) with a digital balance (SP2001, Ohaus®, USA), firmness (FF, N) with a texturometer (GY-1, Sundoo Instruments®, China) and a plunger of 3.5 mm diameter, and total soluble solids of tomato juice (TSS, °Brix) with a digital refractometer (PAL-1, Atago®, Japan).

Harvests were made at 170, 190 and 210 das, and the total number of fruits (TNF) and the total fruit weight (TFW, g) of each plant were recorded with a digital balance (Torrey®, Mexico).

### Statistical analysis

Variable averages were obtained and a combined analysis of variance was performed with the sources of variation: lines, year, block nesting in years and Lines × Years interaction. A Tukey's comparison of means ( $P \leq 0.05$ ) was made and a correlation analysis was performed to determine associations between pairs of variables. SAS® statistical package v.9.3 (SAS Institute, 2011) was used for the statistical analyses.

## Results and discussion

### Analysis of variance

The combined analysis of variance detected significant statistical differences ( $P \leq 0.01$ ) among lines for all variables (Table 1), indicating the existence of phenotypic and genetic differences within the germplasm. This condition is necessary in breeding programs for the species. There were also significant

manejadas a un tallo. Las podas y el tutoreo se realizaron semanalmente, y a los 150 dds se despuntaron las plantas para limitar su crecimiento a 10 racimos.

Se aplicaron fungicidas y plaguicidas de manera preventiva, de acuerdo con las dosis y tiempos recomendados por los fabricantes: Captan (Captan®, Arysta), Imidacloprid (Confidor®, Bayer), Flonicamid (BeLeaf®, FMC), Oxicloruro de cobre (Cupravit®, Bayer), Boscalid + Pyraclostrobin (Cabrio C®, BASF), Lambdacialotrina + Clorantraniliprole (Ampligo®, Syngenta) y Azoxystrobin + Difenconazol (Amistar Gold®, Syngenta). Durante la floración, las plantas se sacudieron suavemente cada tercer día, a las once horas, mediante la vibración de los cables que las sostienen para mejorar la polinización.

### Variables evaluadas

De manera inicial se registraron dos variables: 1) días a la floración del primer racimo (DAF), contados desde la siembra hasta la antesis de la primera flor del primer racimo, y 2) días de la siembra a la madurez (DAM), registrados cuando un fruto del primer racimo de cada planta alcanzó al grado 2 de maduración (estado rompiente) conforme a la escala de clasificación por colores de tomates frescos del *United States Department of Agriculture* (USDA, 1975).

A los 155 dds, en dos frutos de color rojo (grado seis en la escala de maduración del USDA) del tercer racimo de cada planta (20 frutos por unidad experimental), se determinaron y obtuvieron los promedios de la longitud (LF, mm) y el diámetro ecuatorial (DE, mm) con un vernier digital milimétrico (Caldi-6MP, Truper®, México), el peso (PF, g) con una balanza digital (SP2001, Ohaus®, EUA), la firmeza (FF, N) con un texturómetro (GY-1, Sundoo Instruments®, China) y un émbolo de 3.5 mm de diámetro, y los sólidos solubles totales del jugo de jitomate (SST, °Brix) con un refractómetro digital (PAL-1, Atago®, Japón).

Los cortes se realizaron a los 170, 190 y 210 dds, y de cada planta se registró el número total de frutos (NTF) y el peso total de frutos (PTF, g) con una balanza digital (Torrey®, México).

### Análisis estadístico

Se obtuvieron los promedios de las variables y se realizó un análisis de varianza combinado con las fuentes de variación: líneas, año, anidamiento de bloques en años e interacción Líneas × Años. Se hizo una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) y se efectuó un análisis de correlación para determinar las asociaciones entre pares de variables. Para los análisis estadísticos se empleó el paquete estadístico SAS® v.9.3 (SAS Institute, 2011).



**Table 1. Mean squares of the combined analysis of variance for agronomic and fruit quality traits of 29 advanced lines (F<sub>3</sub>) and the commercial hybrid Caimán of round tomatoes with indeterminate growth habit evaluated in Montecillo, State of Mexico, Mexico, in 2020 and 2021.**

**Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para características agronómicas y de calidad de frutos de 29 líneas avanzadas (F<sub>3</sub>) y del híbrido comercial Caimán de jitomates tipo bola con hábito de crecimiento indeterminado evaluados en Montecillo, Edo. de México, México, en 2020 y 2021.**

SV/FV	DF/GL	DTF/DAF	DTR/DAM	FF	TSS/SST	FL/LF	ED/DE	FW/PF	TNF/NTF	TFW/PTF
Line/ Línea	29	41.5**	123.7**	4.8**	0.7**	181.5**	157.5**	11,167.2**	152.9**	2,246,387.8**
Year/ Año	1	1841.3**	2864.0**	27.5**	2.5**	36.0 <sup>NS</sup>	1,046.4**	12,979.5**	29.1 <sup>NS</sup>	19,121,009.4**
Year (Block)/ Año (Bloque)	4	4.3 <sup>NS</sup>	100.9**	35.8**	1.7**	236.0**	259.1**	10,844.6**	1,691.5**	105,823,709.1**
Línea×Year/ Línea×Año	29	12.2**	15.5 <sup>NS</sup>	1.8 <sup>NS</sup>	0.2 <sup>NS</sup>	21.4 <sup>NS</sup>	51.3 <sup>NS</sup>	2,614.9 <sup>NS</sup>	22.3 <sup>NS</sup>	478,944.8 <sup>NS</sup>
Error	116	4.5	14.6	1.4	0.2	20.5	34.2	1,793.8	21.4	536,405.9
Total	179									
Mean/ Media		64.2	134.9	8.8	4.3	64.4	71.3	200.8	35.0	5,551.1
CV		3.3	2.8	13.3	10.7	7.0	8.2	21.1	13.2	13.2

\*\* and \*: significant with  $P \leq 0.01$  and  $P \leq 0.05$ , respectively; NS: not significant; SV: source of variation; CV: coefficient of variation; DF: degrees of freedom; DTF: days to first cluster flowering; DTR: days to first cluster ripening; FF: fruit firmness; TSS: total soluble solids of fruits; FL: fruit length; EF: fruit equatorial diameter; FW: average fruit weight; TNF: total number of fruits per plant; TFW: total fruit weight per plant.

\*\* y \*: significativo con  $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.05$ , respectivamente; NS: no significativo; FV: fuente de variación; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; DAF: días a floración del primer racimo; DAM: días a maduración del primer racimo; FF: firmeza de frutos; SST: sólidos solubles totales de fruto; LF: longitud de fruto; DE: diámetro ecuatorial de fruto; PF: peso promedio de fruto; NTF: número de frutos por planta; PTF: peso de frutos por planta.

differences between years for all variables, except for FL and TNF. In the Lines  $\times$  Years interaction, some genotypes had contrasting behaviors for DTF, in response to the evaluation environments.

## Comparison of lines

### Phenological development variables

Earliness is a phenological trait that conditions the early onset of reproduction and progress towards fruiting (Burbano-Erazo et al., 2020). The evaluated materials took from 59.7 to 68.7 das to flower in the first cluster (Table 2). Lines 21093 and 21094 were the earliest, outperforming 21129, 21085, 21084, 21134, 21131, 21104, 21130, 21081, 21136, 21106, 21127, Caimán, 21133 and 21126 in a range of 4.8 to 9.0 das. The DTF obtained coincide with the 61 to 81.4 das observed by Rodriguez-Dimas et al. (2007) in the Big Beef and Red Chief varieties.

Regarding DTR, variations were observed in the genotypes from 128 to 145 das. Lines 21087, 21105 and 21099 were earlier in this trait than 21085, 21129, 21106, 21098, 21097, 21134, 21136, Caimán and 21133, with differences of 8.5 to 17 days. The DTF and DTR were similar to the 58-65 das and 128 das recorded by Porres et al. (2015) in the Dominique, Beverly, Criollo and Nemonetta varieties (round tomatoes), when

## Resultados y discusión

### Análisis de varianza

El análisis de varianza combinado detectó diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre líneas en todas las variables (Cuadro 1), lo cual indica la existencia de diferencias fenotípicas y genéticas dentro del germoplasma. Esta condición es necesaria en los programas de mejoramiento genético de la especie. Entre años también hubo diferencias significativas en todas las variables, excepto para LF y NTF. En la interacción Líneas  $\times$  Años, algunos genotipos tuvieron comportamientos contrastantes para DAF, como respuesta a los ambientes de evaluación.

### Comparación de líneas

#### Variables de desarrollo fenológico

La precocidad es una característica fenológica que condiciona el inicio temprano de la reproducción y el avance hacia la fructificación (Burbano-Erazo et al., 2020). Los materiales evaluados tardaron de 59.7 a 68.7 dds para florecer en el primer racimo (Cuadro 2). Las líneas 21093 y 21094 fueron las más precoces, y superaron a 21129, 21085, 21084, 21134, 21131, 21104, 21130, 21081, 21136, 21106, 21127, Caimán, 21133 y 21126 en un rango de 4.8 a 9.0 días. Los DAF obtenidos

**Table 2. Agronomic and fruit trait averages of 29 advanced lines (F<sub>5</sub>) and the commercial hybrid Caimán of round tomatoes with indeterminate growth. Averages for 2020 and 2021.**

**Cuadro 2. Medias de características agronómicas y de fruto de 29 líneas avanzadas (F<sub>5</sub>) y del híbrido comercial Caimán de jitomates tipo bola con crecimiento indeterminado. Promedios de 2020 y 2021.**

Line/ Línea	DTF (days)/ DAF (días)	DTR (days)/ DAM (días)	FF (N)	TSS (°Brix)/ SST (°Brix)	FL (mm)/ LF (mm)	ED (mm)/ DE (mm)	FW (g)/ PF (g)	TNF/ NTF	TFW (g)/ PTF (g)
21136	66.4 a-c	141.8 a-c	7.93 ab	3.88 c	66.2 a-h	71.3 b-e	208.8 b-f	29.4 cd	6827.7 a
21102	60.7 e-g	129.0 e-g	10.20 a	4.12 a-c	68.4 a-e	68.5 b-e	186.4 c-f	38.8 a-c	6334.4 ab
21105	62.7 c-g	128.7 fg	8.55 ab	4.07 bc	73.2 a	72.2 b-e	223.8 b-e	35.0 a-d	6280.0 ab
21093	59.7 g	130.9 d-g	8.93 ab	4.27 a-c	69.9 ab	70.3 b-e	204.9 b-f	38.8 a-c	6198.2 a-c
21099	60.7 e-g	129.0 fg	8.17 ab	4.42 a-c	68.8 a-d	68.2 b-e	184.2 c-f	39.4 a-c	6175.6 a-c
21100	61.1 d-g	131.6 d-g	8.63 ab	4.27 a-c	68.4 a-e	68.3 b-e	192.4 b-f	38.3 a-c	6166.5 a-c
21085	65.4 a-e	137.5 a-e	7.83 ab	4.10 a-c	63.7 a-h	76.5 a-d	235.3 b-e	30.0 cd	6121.1 a-c
21087	62.1 c-g	128.1 g	8.22 ab	3.78 c	70.6 ab	78.9 a-c	266.5 a-c	35.1 a-d	6050.3 a-c
21103	61.1 d-g	129.6 e-g	9.82 a	4.17 a-c	71.4 ab	74.0 b-e	231.3 b-e	35.5 a-d	5971.7 a-c
21091	62.5 c-g	132.6 d-g	8.52 ab	4.17 a-c	67.3 a-f	69.8 b-e	195.8 b-f	35.6 a-d	5920.6 a-c
21133	68.5 ab	145.1 a	9.65 a	4.37 a-c	71.3 ab	77.7 a-d	255.0 a-d	29.7 cd	5906.2 a-c
21134	65.6 a-d	141.2 a-c	8.35 ab	4.17 a-c	67.5 a-f	66.2 c-e	171.8 d-f	36.7 a-d	5795.7 a-d
21095	61.3 d-g	131.7 d-g	9.75 a	4.55 a-c	68.9 a-c	73.2 b-e	210.1 b-f	35.7 a-d	5744.5 a-d
21096	61.3 d-g	131.5 d-g	9.47 a	4.55 a-c	67.8 a-f	67.6 c-e	182.6 c-f	33.9 a-d	5660.4 a-d
21104	65.7 a-d	134.7 b-g	9.75 a	4.60 a-c	65.2 a-h	71.2 b-e	197.4 b-f	36.8 a-d	5591.4 a-d
21083	64.1 a-g	136.6 b-f	9.92 a	3.90 c	61.9 b-i	71.2 b-e	182.4 c-f	32.6 b-d	5544.7 a-d
21094	60.6 fg	132.2 d-g	10.05 a	4.20 a-c	68.7 a-d	70.9 b-e	200.1 b-f	35.7 a-d	5540.0 a-d
21097	64.6 a-f	139.1 a-d	7.88 ab	4.95 ab	58.4 e-i	68.3 b-e	168.9 d-f	39.6 a-c	5530.7 a-d
21084	65.5 a-d	135.9 b-g	9.53 a	4.03 bc	59.4 c-i	71.9 b-e	190.1 c-f	34.3 a-d	5370.1 a-d
21081	66.4 a-c	134.3 c-g	9.27 ab	3.95 bc	59.6 c-i	68.6 b-e	162.2 d-f	41.5 ab	5342.5 a-d
21086	62.2 c-g	131.1 d-g	7.70 ab	5.12 a	56.9 hi	66.7 c-e	170.1 d-f	30.6 cd	5243.3 a-d
21127	67.4 ab	135.6 b-g	7.63 ab	4.53 a-c	57.8 f-i	71.7 b-e	185.0 c-f	36.0 a-d	5090.3 b-d
Caimán	67.8 ab	143.0 ab	10.03 a	3.98 bc	66.9 a-g	81.0 ab	285.6 ab	26.7 de	5061.7 b-d
21130	66.3 a-c	134.2 c-g	8.90 ab	4.63 a-c	58.8 d-i	73.5 b-e	204.3 b-f	37.7 a-c	4980.3 b-d
21098	64.8 a-f	139.0 a-d	8.37 ab	4.37 a-c	53.4 i	61.4 e	124.8 f	42.4 ab	4902.6 b-d
21129	65.4 a-d	138.4 a-d	8.33 ab	4.75 a-c	57.1 g-i	65.5 de	148.0 ef	35.2 a-d	4810.3 b-d
21126	68.7 a	136.9 a-f	8.75 ab	4.37 a-c	57.0 g-i	72.7 b-e	190.9 c-f	33.3 a-d	4797 b-d
21106	66.6 a-c	138.4 a-d	6.68 b	4.58 a-c	67.8 a-f	87.1 a	338.7 a	17.9 e	4735.6 b-d
21131	65.7 a-d	136.2 b-g	7.85 ab	4.72 a-c	58.9c-i	70.0 b-e	178.0 c-f	36.1 a-d	4590.1 cd
21080	64.0 b-g	132.0 d-g	9.08 ab	3.80 c	61.4 b-i	65.4 de	150.0 ef	43.2 a	4249.1 d
HSD	4.69	8.47	2.6	1.03	10.06	12.99	94.03	10.27	1626

DTF: days to first cluster flowering; DTR: days to first cluster ripening; FF: fruit firmness; TSS: total soluble solids of fruits; FL: fruit length; ED: fruit equatorial diameter; FW: average fruit weight; TNF: total number of fruits per plant; TFW: total fruit weight per plant; HSD: honestly significant difference. Means with the same letters within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Letters separated by a hyphen represent the range of statistical groups to which the line belongs in each variable.

DAF: días a floración del primer racimo; DAM: días a maduración del primer racimo; FF: firmeza de frutos; SST: sólidos solubles totales de frutos; LF: longitud de fruto; DE: diámetro ecuatorial de fruto; PF: peso promedio de fruto; NTF: número de frutos por planta; PTF: peso de frutos por planta; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Letras separadas por guion representan el intervalo de grupos estadísticos a los que pertenece la línea en cada variable.

evaluating their responses to different fertigation periods in greenhouses in Sololá, Guatemala.

### *Fruit quality*

Firmness, color, aroma, TSS and pH in tomato fruits are determining attributes of postharvest quality and influence consumer preferences (Bonilla-Barrientos et al., 2018). In this regard, the FF of the 30 genotypes ranged from 6.7 to 10.2 N (7.0 to 10.8 kg·cm<sup>-2</sup>) (Table 2). The lines with the firmest fruits were 21102, 21094, Caimán, 21083, 21103, 21095, 21104, 21133, 21084 and 21096, while the one with the lowest firmness was 21106, with differences from 2.8 to 3.5 N. The firmness observed is consistent with that reported by Morales-Ruiz et al. (2021) (7.0 to 11.0 kg·cm<sup>-2</sup>), who determined the physicochemical and postharvest behavior of fruits of the Maxcesa, Komett and Merlissen varieties (IGH round type), grown in greenhouses in Tehuacán, Puebla.

A high TSS concentration is associated with greater nutrient absorption and transport capacity, and is, among the quality variables of tomato fruits, the most important for nutritional and processing purposes (Marouelli et al., 2012). In the lines evaluated, TSS content ranged from 3.78 to 5.12 °Brix. Lines 21086 and 21097 were significantly superior to 21083, 21136, 21080 and 21087, with a difference of 1.05 to 1.34 °Brix (Table 2). Martínez-Rodríguez et al. (2017) point out that the TSS content in tomatoes must be greater than 4.0 °Brix for them to be considered of sufficient quality for fresh consumption. In this sense, 24 genotypes produced fruits with TSS above 4.0 °Brix, so they could be considered suitable for fresh consumption. However, the TSS in the fruits of Caimán, 21081, 21083, 21136, 21080 and 21087 were lower than this value.

The observed TSS are consistent with values reported in previous studies: 5.5 and 5.3 °Brix in the André and Adela hybrids (Moreno-Reséndez et al., 2008); 3.71 °Brix in Bosky, Romina and PX01636262 (Ochoa-Martínez et al., 2009); 4.53 °Brix in the Piranha hybrid (Peralta-Manjarrez et al., 2023), and 4.8 to 5.0 °Brix in Big Beef and Red Chief fruits (Rodríguez-Dimas et al., 2007).

### *Yield components*

Some important traits for selection in breeding programs are yield, size, average weight and number of fruits per plant (Burbano-Erazo et al., 2020). Fruit length ranged from 53.4 to 73.2 mm (Table 2). Lines 21105, 21103, 21133, 21087 and 21093 had longer fruits than 21098, 21086, 21126, 21129, 21127, 21097, 21130, 21131, 21084 and 21081. Caimán fruits were only statistically longer than those from 21086 and 21098. In Coahuila, Mexico, Peralta-Manjarrez et al. (2023) evaluated the fruit quality of the Piranha variety (round fruit and plants with IGH) under greenhouse

coinciden con los 61 a 81.4 dds que observaron Rodríguez-Dimas et al. (2007) en las variedades Big Beef y Red Chief.

En cuanto a los DAM, se observaron variaciones en los genotipos de los 128 a 145 dds. Las líneas 21087, 21105 y 21099 fueron más precoces en este rasgo que 21085, 21129, 21106, 21098, 21097, 21134, 21136, Caimán y 21133, con diferencias de 8.5 a 17 días. Los DAF y DAM fueron similares a los 58-65 dds y 128 dds que registraron Porres et al. (2015) en las variedades Dominique, Beverly, Criollo y Nemonetta (jitomates tipo bola), al evaluar sus respuestas a diferentes periodos de fertirrigación en invernaderos de Sololá, Guatemala.

### *Calidad de fruto*

La firmeza, el color, el aroma, los SST y el pH en frutos de jitomate son atributos determinantes de la calidad postcosecha e influyen en las preferencias del consumidor (Bonilla-Barrientos et al., 2018). En este sentido, la FF de los 30 genotipos varió de 6.7 a 10.2 N (7.0 a 10.8 kg·cm<sup>-2</sup>) (Cuadro 2). Las líneas con frutos más firmes fueron 21102, 21094, Caimán, 21083, 21103, 21095, 21104, 21133, 21084 y 21096, mientras que la de menor firmeza fue 21106, con diferencias de 2.8 a 3.5 N. Las firmezas observadas concuerdan con las reportadas por Morales-Ruiz et al. (2021) (7.0 a 11.0 kg·cm<sup>-2</sup>), quienes determinaron el comportamiento físicoquímico y de postcosecha de frutos de las variedades Maxcesa, Komett y Merlissen (tipo bola de HCl), cultivadas en invernaderos de Tehuacán, Puebla.

Una concentración alta de SST se asocia con una mayor capacidad de absorción y transporte de nutrimentos, y es, dentro de las variables de calidad de frutos de jitomate, la más importante para fines nutricionales y de procesamiento (Marouelli et al., 2012). En las líneas evaluadas, el contenido de SST varió de 3.78 a 5.12 °Brix. Las líneas 21086 y 21097 fueron significativamente superiores a 21083, 21136, 21080 y 21087, con una diferencia de 1.05 a 1.34 °Brix (Cuadro 2). Martínez-Rodríguez et al. (2017) mencionan que el contenido de SST en jitomates debe ser mayor a 4.0 °Brix para que se consideren de calidad para su consumo en fresco. En este sentido, 24 genotipos produjeron frutos con SST por arriba de 4.0 °Brix, por lo cual se podrían considerar aptos para su consumo en fresco. Sin embargo, los SST en los frutos de Caimán, 21081, 21083, 21136, 21080 y 21087 fueron menores a dicho valor.

Los SST observados son congruentes con los valores reportados en estudios previos: 5.5 y 5.3 °Brix en los híbridos André y Adela (Moreno-Reséndez et al., 2008); 3.71 °Brix en Bosky, Romina y PX01636262 (Ochoa-Martínez et al., 2009); 4.53 °Brix en el híbrido Piranha (Peralta-Manjarrez et al., 2023), y de 4.8 a 5.0 °Brix en frutos de Big Beef y Red Chief (Rodríguez-Dimas et al., 2007).

and hydroponic conditions, and observed that the control treatment plants produced fruits with lengths of 51.66 mm.

Equatorial and polar diameters determine the size of tomato fruits; in addition, ED is one of the main quality indicators for marketing (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SCFI], 1998). In the evaluated genotypes, EDs from 61.4 to 87.1 mm were observed, and only the fruits of 21106 and Caimán (87.1 and 81.0 mm) were wider than those of 21096, 21086, 21134, 21129, 21080 and 21098, with differences of 13.4 to 25.7 mm (Table 2). Mexican Standard NMX-FF-031-1997-SCFI establishes the classification of round tomatoes by size according to their ED: small (from 54 to 58 mm), medium-sized (from 54 to 64 mm), large (from 63 to 71 mm), and extra-large (from 70 mm and up) (SCFI, 1998). According to this criterion, line 21098 produced medium-sized fruits (61.4 mm), 14 lines developed large fruits and 18 lines would be classified as extra-large. Moreno-Reséndez et al. (2008) observed that the fruits of the Adela and André varieties had diameters of 66.7 to 69.1 mm, values similar to those reached by some genotypes in the present study. On the other hand, Ochoa-Martínez et al. (2009) reported an ED of 76 mm in the Bosky, Romina and PX01636262 hybrids, while Rodríguez-Dimas et al. (2007) recorded an ED of 73 to 79 mm in the Big Beef and Red Chief varieties, which are very close to the ED of the lines 21106, Caimán, 21087, 21133 and 21085 (76.5 to 87.1 mm).

Regarding FW, genotypes ranged from 124.8 to 338.7 g. Line 21106 (338.7 g) and Caimán (285.6 g) outperformed 21098, 21129, 21080, 21081, 21097, 21086, 21134, 21131, 21083, 21096, 21099, 21127, 21102, 21084 and 21126, with differences of 94.7 to 214.0 g (Table 2). The results partially coincide with the FWs reported by Moreno-Reséndez et al. (2008) in the André and Adela hybrids (218.26 and 177.48 g, respectively), in plants grown in sand under greenhouse conditions and irrigated with Hoagland's nutrient solution. Likewise, Ochoa-Martínez et al. (2009) recorded weights of 223.0 g per fruit in the Bosky, Romina and PX01636262 hybrids, when applying nutrient solution. Rodríguez-Dimas et al. (2007) had fruit weights of 184.8 to 214.0 g with the Big Beef and Red Chief varieties. In the present work, 23 genotypes developed tomatoes weighing more than 177.48 g, and only 21106, Caimán, 21087, 21133, 21085, 21103 and 21105 had fruits weighing more than 223 g.

The TNF per plant in the evaluated materials ranged from 18 to 43 in 10 clusters. Lines 21081, 21098 and 21080 produced 41 to 43 fruits, outperforming 21106, Caimán, 21136, 21133, 21085 and 21086, which had 18 to 30.6 fruits per plant. These results agree with those reported by Rodríguez-Dimas et al. (2007), who

### Componentes de rendimiento

Algunos rasgos importantes para la selección en los programas de mejoramiento genético son el rendimiento, el tamaño, el peso promedio y el número de frutos por planta (Burbano-Erazo et al., 2020). La longitud de fruto fue de 53.4 a 73.2 mm (Cuadro 2). Las líneas 21105, 21103, 21133, 21087 y 21093 presentaron frutos más largos que los de 21098, 21086, 21126, 21129, 21127, 21097, 21130, 21131, 21084 y 21081. Los frutos de Caimán únicamente fueron estadísticamente más largos que los de 21086 y 21098. En Coahuila, México, Peralta-Manjarrez et al. (2023) evaluaron la calidad de frutos de la variedad Piranha (fruto tipo bola y plantas con HCI) en condiciones de invernadero e hidroponía, y observaron que las plantas del tratamiento testigo produjeron frutos con longitudes de 51.66 mm.

Los diámetros ecuatoriales y polares determinan los tamaños de los frutos de jitomate; además, el DE es uno de los principales indicadores de calidad para la comercialización (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SCFI], 1998). En los genotipos evaluados, se observaron DE de 61.4 a 87.1 mm, y únicamente los frutos de 21106 y Caimán (87.1 y 81.0 mm) fueron más anchos que los de 21096, 21086, 21134, 21129, 21080 y 21098, con diferencias de 13.4 a 25.7 mm (Cuadro 2). La Norma Mexicana NMX-FF-031-1997-SCFI establece la clasificación de jitomate tipo bola por tamaños según su DE: chico (de 54 a 58 mm), mediano (de 54 a 64 mm), grande (de 63 a 71 mm) y extra grande (de 70 mm en adelante) (SCFI, 1998). De acuerdo con este criterio, la línea 21098 produjo frutos medianos (61.4 mm), 14 líneas desarrollaron frutos grandes y 18 líneas se clasificarían como extra grandes. Moreno-Reséndez et al. (2008) observaron que los frutos de las variedades Adela y André tuvieron diámetros de 66.7 a 69.1 mm, valores similares a los alcanzados por algunos genotipos del presente trabajo. Por otro lado, Ochoa-Martínez et al. (2009) reportaron DE de 76 mm en los híbridos Bosky, Romina y PX01636262; mientras que, Rodríguez-Dimas et al. (2007) registraron DE de 73 a 79 mm en las variedades Big Beef y Red Chief, los cuales son muy cercanos a los DE de las líneas 21106, Caimán, 21087, 21133 y 21085 (76.5 a 87.1 mm).

Con respecto al PF, los genotipos variaron de 124.8 a 338.7 g. La línea 21106 (338.7 g) y Caimán (285.6 g) superaron a 21098, 21129, 21080, 21081, 21097, 21086, 21134, 21131, 21083, 21096, 21099, 21127, 21102, 21084 y 21126, con diferencias de 94.7 a 214.0 g (Cuadro 2). Los resultados coinciden parcialmente con los PF reportados por Moreno-Reséndez et al. (2008) en los híbridos André y Adela (218.26 y 177.48 g, respectivamente), en plantas desarrolladas en arena, regadas con la solución nutritiva de Hoagland y bajo



obtained 32 to 34 fruits per plant with the Big Beef and Red Chief varieties (round type with IGH) grown in sand with inorganic fertilizers in greenhouses in Torreón, Coahuila. Likewise, these authors point out that by managing the plants at eight clusters and a planting density of 4.2 plants·m<sup>-2</sup> they achieved yields of 24.7 to 28.0 kg·m<sup>-2</sup>, values close to those of the present study.

The TFW of the 30 genotypes evaluated ranged from 4249.0 to 6828.0 g (18.87 to 30.32 kg·m<sup>-2</sup> or 188.7 to 303.2 t·ha<sup>-1</sup>) (Table 2). Line 21136 had the highest yield (6827.7 g), followed by 21102 and 21105 (with 6334.4 and 6280.0 g, respectively). These lines were statistically superior to the commercial control Caimán and to lines 21127, 21130, 21098, 21129, 21126, 21106, 21321 and 21080, with differences of 1,737.0 to 2,579.0 g per plant. In Coahuila, Mexico, Ochoa-Martínez et al. (2009) evaluated the effect of compost tea on the yield and quality of round tomato fruits of the Bosky, Romina and PX01636262 varieties under greenhouse conditions, and observed that the control treatment (nutrient solution in sand substrate) had the highest average yield (21.84 kg·m<sup>-2</sup>). Grijalva-Contreras et al. (2011) reported yields of 20.1 to 31.1 kg·m<sup>-2</sup> when evaluating the performance of 10 round tomato hybrids in low-tech greenhouses in Sonora, Mexico, for two years. These yields are close to the range of 22.1 and 30.3 kg·m<sup>-2</sup> achieved by 24 genotypes in the present study.

In 2022, the average greenhouse yield of round tomatoes in Mexico was 187.68 t·ha<sup>-1</sup>. The yields of the 30 genotypes evaluated (188.7 to 303.2 t·ha<sup>-1</sup>) are close to those reported by SIAP (2023) for the states of Coahuila, Guanajuato, Zacatecas, and San Luis Potosí (164.35 to 315.6 t·ha<sup>-1</sup>), which were higher than those of Michoacán, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Colima and Jalisco (77.2 to 141.9 t·ha<sup>-1</sup>), and lower than those of the State of Mexico, Chihuahua, Querétaro and Aguascalientes (378.1 to 517.0 t·ha<sup>-1</sup>). It is important to note that in several of these states more sophisticated greenhouses and production systems are used, with production cycles longer than 210 das, resulting in higher yields.

### Pearson correlations

In genetic improvement programs, breeders evaluate the variability of multiple traits in individuals of a population and the relationships between these traits (Acquaah, 2007). Therefore, it is important to know the magnitude and nature of the correlations between the traits of interest, since the selection of one trait can influence the expression of another, depending on the genetic correlation between the two (Souza et al., 2012). In this study, significant positive linear correlations ( $P \leq 0.01$ ) were observed between TFW with ED, FW, FL, FF

condiciones de invernadero. Asimismo, Ochoa-Martínez et al. (2009) registraron pesos de 223.0 g por fruto en los híbridos Bosky, Romina y PX01636262, al aplicarles solución nutritiva. Por su parte, Rodríguez-Dimas et al. (2007) tuvieron frutos de 184.8 a 214.0 g con las variedades Big Beef y Red Chief. En el presente trabajo, 23 genotipos desarrollaron jitomates con peso superior a 177.48 g, y solamente 21106, Caimán, 21087, 21133, 21085, 21103 y 21105 tuvieron frutos con peso mayor a 223 g.

El NTF por planta en los materiales evaluados varió de 18 a 43 en 10 racimos. Las líneas 21081, 21098 y 21080 produjeron de 41 a 43 frutos, y superaron a 21106, Caimán, 21136, 21133, 21085 y 21086, las cuales tuvieron de 18 a 30.6 frutos por planta. Estos resultados concuerdan con los reportados por Rodríguez-Dimas et al. (2007), quienes obtuvieron de 32 a 34 frutos por planta con las variedades Big Beef y Red Chief (tipo bola con HCI) cultivadas en arena con fertilizantes inorgánicos en invernaderos de Torreón, Coahuila. Asimismo, estos autores señalan que al manejar las plantas a ocho racimos y densidad de siembra de 4.2 plantas·m<sup>-2</sup> alcanzaron rendimientos de 24.7 a 28.0 kg·m<sup>-2</sup>, valores cercanos a los del presente estudio.

El PTF de los 30 genotipos evaluados varió de 4249.0 a 6828.0 g (18.87 a 30.32 kg·m<sup>-2</sup> o 188.7 a 303.2 t·ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 2). La línea 21136 presentó el mayor rendimiento (6827.7 g), seguida por 21102 y 21105 (con 6334.4 y 6280.0 g, respectivamente). Estas líneas fueron estadísticamente superiores al testigo comercial Caimán y a las líneas 21127, 21130, 21098, 21129, 21126, 21106, 21321 y 21080, con diferencias de 1,737.0 a 2,579.0 g por planta. En Coahuila, México, Ochoa-Martínez et al. (2009) evaluaron el efecto del té de composta en el rendimiento y la calidad de frutos de jitomate tipo bola de las variedades Bosky, Romina y PX01636262 en condiciones de invernadero, y observaron que el tratamiento testigo (solución nutritiva en sustrato de arena) tuvo el rendimiento promedio más alto (21.84 kg·m<sup>-2</sup>). Por su parte, Grijalva-Contreras et al. (2011) reportaron rendimientos de 20.1 a 31.1 kg·m<sup>-2</sup> al evaluar el desempeño de 10 híbridos de jitomate tipo bola en invernaderos de baja tecnología en Sonora, México, durante dos años. Estos rendimientos se aproximan al rango de 22.1 y 30.3 kg·m<sup>-2</sup> alcanzados por 24 genotipos del presente estudio.

En 2022, el rendimiento medio de jitomates bola en invernadero en México fue de 187.68 t·ha<sup>-1</sup>. Los rendimientos de los 30 genotipos evaluados (188.7 a 303.2 t·ha<sup>-1</sup>) son cercanos a los reportados por SIAP (2023) para los estados de Coahuila, Guanajuato, Zacatecas y San Luis Potosí (164.35 a 315.6 t·ha<sup>-1</sup>), los cuales fueron superiores a los de Michoacán, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Colima y

and TNF (28 to 66 %) (Table 3). In this sense, the positive values of the phenotypic and genotypic correlations between yield, number, average fruit weight and fruit wall thickness should be considered as primary traits in tomato breeding (Souza et al., 2012).

There were also significant correlations between DTF with ED and DTR (35 and 83 %, respectively), FW with ED (93 %) and FL (71 %), and FL with ED (63 %). In this regard, López et al. (2015) point out that to increase tomato fruit yield and size, genotypes with larger fruit dimensions (length and width) should be selected. In this study, no linear correlations were observed between FF and TSS with quality traits such as FW, ED or FL, suggesting the possibility of improving these qualities independently, without affecting the other variables.

On the other hand, a significant ( $P \leq 0.01$ ) negative correlation (-31 %) was found between TNF and DTR, indicating that the longer the ripening time of a genotype, the lower its fruit production. This result is similar to the -33 % reported by Liu et al. (2021) when evaluating combining abilities, heterosis and heritabilities of 55 tomato genotypes.

Monge-Pérez and Loría-Coto (2019) calculated Pearson correlations between fruit quality variables of 17 fat-type tomato varieties grown under greenhouse and hydroponic conditions in Costa Rica. As in the present work, these authors found no significant associations between TSS with FF, FW (-0.29) or DTR (-0.39), nor between FW with FF (0.39) or DTR, FF-DTR (0.06) or TFW-DTR. Unlike the present results, these authors

Jalisco (77.2 a 141.9 t·ha<sup>-1</sup>), e inferiores a los del Estado de México, Chihuahua, Querétaro y Aguascalientes (378.1 a 517.0 t·ha<sup>-1</sup>). Es importante señalar que en varios de estos estados se usan invernaderos y sistemas de producción más sofisticados, con ciclos productivos mayores a 210 dds, por lo cual se obtienen mayores rendimientos.

### Correlaciones de Pearson

En los programas de mejoramiento genético, los mejoradores evalúan la variabilidad de múltiples características en los individuos de una población y las relaciones entre estos rasgos (Acquaah, 2007). Por ello, es importante conocer la magnitud y naturaleza de las correlaciones entre los caracteres de interés, ya que la selección de un rasgo puede influir en la expresión de otro, dependiendo de la correlación genética entre ambos (Souza et al., 2012). En este estudio, se observaron correlaciones lineales positivas significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre el PTF con el DE, el PF, la LF, la FF y el NTF (28 a 66 %) (Cuadro 3). En este sentido, los valores positivos de las correlaciones fenotípicas y genotípicas entre el rendimiento, el número, el peso promedio de fruto y el grosor de la pared del fruto se deben considerar como características primordiales en el mejoramiento genético del jitomate (Souza et al., 2012).

También hubo correlaciones significativas entre DAF con DE y DAM (35 y 83 %, respectivamente), PF con DE (93 %) y LF (71 %), y de LF con DE (63 %). Al respecto, López et al. (2015) mencionan que para incrementar el rendimiento y el tamaño de los frutos de jitomate se

**Table 3. Pearson correlation coefficients of 10 agronomic and fruit quality traits of 29 lines (F<sub>3</sub>) and the commercial control Caimán of the round tomato type with indeterminate growth grown in Montecillo, Texcoco, State of Mexico, in 2020 and 2021.**

**Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson de 10 rasgos agronómicos y de calidad de frutos de 29 líneas (F<sub>3</sub>) y el testigo comercial Caimán de jitomate tipo bola con crecimiento indeterminado cultivado en Montecillo, Texcoco, Estado de México, en 2020 y 2021.**

	DTR/DAM	FL/LF	ED/DE	FW/PF	FF	TSS/SST	TNF/NTF	TFW/PTF
DTF/DAF	0.83**	-0.10 <sup>NS</sup>	0.35**	0.22**	0.12 <sup>NS</sup>	-0.1 <sup>NS</sup>	-0.21**	-0.00 <sup>NS</sup>
DTR/DAM	1	-0.15*	0.22**	0.13 <sup>NS</sup>	0.08 <sup>NS</sup>	-0.10 <sup>NS</sup>	-0.31**	-0.09 <sup>NS</sup>
FL/LF		1	0.63**	0.71**	0.22**	-0.06 <sup>NS</sup>	0.10 <sup>NS</sup>	0.45**
ED/DE			1	0.93**	0.14 <sup>NS</sup>	-0.00 <sup>NS</sup>	-0.10 <sup>NS</sup>	0.28**
FW/PF				1	0.09 <sup>NS</sup>	-0.01 <sup>NS</sup>	-0.15*	0.29**
FF					1	-0.10 <sup>NS</sup>	0.25**	0.35**
TSS/SST						1	0.23**	0.15*
TNF/NTF							1	0.66**

\*\* and \*: significance with  $P \leq 0.01$  and  $P \leq 0.05$ , respectively; NS: not significant; DTF: days to first cluster flowering; DTR: days to first cluster ripening; FL: fruit length; ED: equatorial fruit diameter; FW: average fruit weight; FF: fruit firmness; TSS: total soluble solids of fruits; TNF: total number of fruits per plant; TFW: total fruit weight per plant.

\*\* y \*: significancia con  $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.05$ , respectivamente; NS: no significativo; DAF: días a floración del primer racimo; DAM: días a maduración del primer racimo; LF: longitud de fruto; DE: diámetro ecuatorial de fruto; PF: peso promedio de fruto; FF: firmeza de frutos; SST: sólidos solubles totales de frutos; NTF: número de frutos por planta; PTF: peso de frutos por planta.

also did not observe significant correlations between TSS and TFW, nor between TFW with FF and FW.

On the other hand, Gaytán-Ruelas et al. (2016), when evaluating the effect of fruit thinning on the quality and yield of six round tomato varieties under greenhouse conditions, observed significant positive correlations between FW-ED (0.93\*\*), FW-TFW (0.52\*\*) and ED-TFW (0.52\*\*). The first correlation had a value similar to that found in the present work, while the other two almost doubled the coefficients.

Bdr et al. (2020) reported a correlation between ED-FL (64 %) similar to that of the present study, when producing lycopene-rich IGH tomato hybrids, although this was not significant. The correlation coefficients obtained are close to those found by Souza et al. (2012) in tomato genotypes with IGH, with correlations of 0.94\* for TFW-TNF, 0.73\* for ED-FW, 0.53\* for TFW-FW and 0.645 (not significant) for FL-TFW. These authors point out that the high genetic correlation between two traits can favor gain by indirect selection, which is beneficial in economically relevant traits with low heritability or that are difficult to measure.

## Conclusions

The  $F_5$  lines of round tomatoes with indeterminate growth habit showed significant differences for days to flowering and ripening, length, diameter, weight, firmness, soluble solids content, and total number and weight of fruits. These differences allowed us to identify outstanding round tomato lines in earliness, yield and fruit quality variables, which make them suitable for fresh consumption. Of the genotypes evaluated, 28 showed yields statistically equivalent to those of the control, and line 21136 outperformed the control by 34.9 % in total fruit weight. This line has the potential to be used as a commercial variety or as a source of germplasm in breeding programs for the species, except for total soluble solids content.

## Acknowledgements

The authors thank the *Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías* (CONAHCYT; National Council of Humanities, Sciences and Technologies) for the Ph.D. scholarship awarded to the first author.

deben seleccionar genotipos con mayores dimensiones (longitud y ancho) de fruto. En este estudio, no se observaron correlaciones lineales entre FF y SST con las características de calidad como PF, DE o LF, lo cual sugiere la posibilidad de mejorar estas cualidades de forma independiente, sin afectar las otras variables.

Por otro lado, se encontró una correlación negativa (-31 %) significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre el NTF y el DAM, lo cual indica que, a mayor tiempo de maduración de un genotipo, menor es su producción de frutos. Este resultado es similar al -33 % reportado por Liu et al. (2021) al evaluar aptitudes combinatorias, heterosis y heredabilidades de 55 genotipos de jitomate.

Monge-Pérez y Loría-Coto (2019) calcularon las correlaciones de Pearson entre variables de calidad de fruto de 17 variedades de jitomates tipo gordo cultivadas en condiciones de invernadero e hidroponía en Costa Rica. Al igual que en el presente trabajo, estos autores no encontraron asociaciones significativas entre SST con FF, PF (-0.29) o DAM (-0.39), ni entre PF con FF (0.39) o DAM, FF-DAM (0.06) ni PTF-DAM. A diferencia de los resultados presentes, estos autores tampoco observaron correlaciones significativas entre SST y PTF, ni entre PTF con FF y PF.

Por otro lado, Gaytán-Ruelas et al. (2016), al evaluar el efecto del raleo de frutos sobre la calidad y el rendimiento de seis variedades de jitomate tipo bola en condiciones de invernadero, observaron correlaciones positivas significativas entre PF-DE (0.93\*\*), PF-PTF (0.52\*\*) y DE-PTF (0.52\*\*). La primera correlación tuvo un valor similar al encontrado en el presente trabajo, mientras que las otras dos casi duplicaron los coeficientes.

Bdr et al. (2020) reportaron una correlación entre DE-LF (64 %) similar a la del presente estudio, al producir híbridos de jitomate HCI ricos en licopeno, aunque esta no fue significativa. Los coeficientes de correlación obtenidos se aproximan a los encontrados por Souza et al. (2012) en genotipos de jitomates con HCI, con correlaciones de 0.94\* para PTF-NTF, 0.73\* para DE-PF, 0.53\* para PTF-PF y 0.645 (no significativa) para LF-PTF. Estos autores mencionan que la alta correlación genética entre dos rasgos puede favorecer la ganancia por selección indirecta, lo cual es benéfico en caracteres de relevancia económica con baja heredabilidad o de difícil medición.

## Conclusiones

Las líneas  $F_5$  de jitomate tipo bola con hábito de crecimiento indeterminado presentaron diferencias significativas en días a floración y madurez, longitud, diámetro, peso, firmeza, contenido de sólidos solubles, y número y peso total de frutos. Estas diferencias

*End of English version*

## References / Referencias

- Acquaah, G. (2007). *Principles of Plant Genetics and Breeding*. Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9781118313718>
- Bdr, M. F., Anshori, M. F., Emanuella, G., Pratiwi, N., Ermiyanti, I., Yovita, V., Musdalifa, M., & Nasaruddin, N. (2020). High lycopene tomato breeding through diallel crossing. *Agrotech Journal*, 5(2), 63-72. <https://doi.org/10.31327/atj.v5i2.1347>
- Bonilla-Barrientos, O., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Cruz-Izquierdo, S., López-Romero, G., Rodríguez-Guzmán, E., & Hernández-Leal, E. (2018). Depresión endogámica de híbridos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) derivados de progenitores con distinto grado de domesticación. *Agro Productividad*, 11(7), 59-65. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/916>
- Burbano-Erazo, E., Pastrana-Vargas, I. J., Mejía-Salazar, J. R., & Vallejo-Cabrera, F. A. (2020). Criterios de selección en líneas de tomate con hábito de crecimiento determinado. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 1-11. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37093>
- Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, R., & Villegas-Aparicio, Y. (2013). Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 1081-1091. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1273>
- Frasca, A. C., Ozores-Hampton, M., Scott, J., & McAvoy, E. (2014). Effect of plant population and breeding lines on fresh-market, compact growth habit tomatoes growth, flowering pattern, yield, and postharvest quality. *HortScience*, 49(12), 1529-1536. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.12.1529>
- Gaytán-Ruelas, M., Vargas-Espinoza, E., Rivera-Arredondo, M., & Morales-Félix, V. J. (2016). Efecto del raleo de frutos en el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico*, 3(7), 18-25. [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Analisis\\_Cuantitativo\\_y\\_Estadistico/vol3num7/Revista\\_de\\_Analisis\\_Cuantitativo\\_V3\\_N7\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Analisis_Cuantitativo_y_Estadistico/vol3num7/Revista_de_Analisis_Cuantitativo_V3_N7_3.pdf)
- Grijalva-Contreras, R. L., Macías-Duarte, R., & Robles-Contreras, F. (2011). Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del Noroeste de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 675-682. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93918231031>
- Hernández-Ibáñez, L., Sahagún-Castellanos, J., Rodríguez-Pérez, J. E., & Peña-Ortega, M. G. (2017). Predicción de rendimiento y firmeza de fruto de híbridos de tomate con BLUP y RR-BLUP mediante marcadores moleculares ISSR. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(1), 21-33. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.06.021>
- Liu, Z., Jiang, J., Ren, A., Xu, X., Zhang, H., Zhao, T., Jiang, X., Sun, Y., Li, J., & Yang, H. (2021). Heterosis and combining ability analysis of fruit yield, early maturity, and quality permitieron identificar líneas de jitomate tipo bola sobresalientes en precocidad, rendimiento y variables de calidad del fruto, lo cual las hace aptas para consumo en fresco. De los genotipos evaluados, 28 mostraron rendimientos estadísticamente equivalentes al del testigo, y la línea 21136 superó al testigo en un 34.9 % en peso total de frutos. Esta línea tiene potencial para ser utilizada como variedad comercial o como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento genético de la especie, excepto para contenido de sólidos solubles totales.
- Agradecimientos**
- Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de Doctorado en Ciencias otorgada al primer autor.
- Fin de la versión en español**
- in tomato. *Agronomy*, 11(4), 807. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040807>
- López, E., Gabriel, J., Angulo, A., Magne, J., la Torre, J., & Crespo, M. (2015). Herencia y relación genética asociados al rendimiento, madurez en híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L. [Mill.]). *Agronomía Costarricense*, 39(1), 107-119. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v39n1/a08v39n1.pdf>
- Marouelli, W. A., Silva, W. L., da Silva, H. R., & Braga, M. B. (2012). Irrigação e fertigação. In F. M. Clemente, & L. S. Boiteux (Eds.), *Produção de tomate para processamento industrial* (pp. 131-154). Embrapa. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/941866>
- Martínez-Rodríguez, O. G., Can-Chulim, Á., Cruz-Crespo, E., & García-Paredes, J. D. (2017). Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 53-65. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.71>
- Monge-Pérez, J. E., & Loria-Coto, M. (2019). Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo invernadero: Correlaciones entre variables. *Tecnología en Marcha*, 32(3), 37-54. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4478>
- Morales-Ruiz, A., Bravo-Delgado, H. R., Francisco-Francisco, N., Flores-Lezama, A., & Díaz-López, E. (2021). Caracterización fisicoquímica y vida postcosecha de tres cultivares de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) (*Solanaceae*). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 6533-6545. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-133>
- Moreno-Reséndez, A., Gómez-Fuentes, L., Cano-Ríos, P., Martínez-Cueto, V., Reyes-Carrillo, J. L., Puente-Manríquez, J. L., & Rodríguez-Dimas, N. (2008). Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost:arena en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 26(2), 103-109. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313046002>
- Ochoa-Martínez, E., Figueroa-Viramontes, U., Cano-Ríos, P., Preciado-Rangel, P., Moreno-Reséndez, A., & Rodríguez-



- Dimas, N. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(3), 245-250. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.15.034>
- Peralta-Manjarrez, R. M., Cabrera-de la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Campos-Montiel, R. G., Ortega-Ortíz, H., & Hernández-Fuentes, A. D. (2023). Effects of copper nanoparticles on the organoleptic, physicochemical and nutraceutical properties of grafted tomato fruit. *Pakistan Journal of Botany*, 55(5), 1707-1713. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-5\(27\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-5(27))
- Porres, V., León, E., & Cifuentes, R. (2015). Evaluación de cuatro híbridos de tomate y tres programas de fertilización bajo condiciones de invernadero en el departamento de Sololá. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 30, 71-77. <https://res.cloudinary.com/webuvlg/image/upload/v1537378466/WEB/Servicios/Editorial%20universitaria/PDF/30/REV-30-pags-71-77.pdf>
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Favela-Chávez, E., Figueroa-Viramontes, U., Paul-Álvarez, V. de, Palomo-Gil, A., Márquez-Hernández, C., & Moreno-Reséndez, A. (2007). Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 185-192. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2007.01.002>
- SAS Institute. (2011). *SAS/STAT® 9.3 user's guide*. SAS Institute Inc.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). (1998). *Norma Mexicana NMX-FF-031-1997-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - hortalizas frescas - tomate - (Lycopersicon esculentum Mill.)- Especificaciones*. Diario Oficial de la Federación. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/1998/nmx-ff-031-1998.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola (1980-2022): Tomate rojo (jitomate)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Souza, L. M., Melo, P. C., Luders, R. R., & Melo, A. M. (2012). Correlations between yield and fruit quality characteristics of fresh market tomatoes. *Horticultura Brasileira*, 30(4), 627-631. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400011>
- Steiner, A. A. (1984). *The universal nutrient solution*. International Society for Soilless Culture.
- United States Department of Agriculture (USDA). (1975). *Color classification requirements in United States standards for grades of fresh tomatoes*. USDA Agricultural Marketing Service. [https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Tomato\\_Visual\\_Aids%5B1%5D.pdf](https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Tomato_Visual_Aids%5B1%5D.pdf)
- Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., Díaz-Valdés, T., Velázquez-Alcaraz, T. J., Bojórquez-Bojórquez, G., & Enciso-Osuna, T. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 807-818. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131167007>