

COMPORTAMIENTO DE LÍNEAS DE TOMATE SALADETTE CON HÁBITO DE CRECIMIENTO DETERMINADO EN INVERNADERO

PERFORMANCE OF SALADETTE TOMATO LINES WITH DETERMINED GROWTH HABIT IN GREENHOUSE

Sandro Balbuena-Mascada¹, Ricardo Lobato-Ortiz^{1*}, J. Jesús García-Zavala¹, Serafín Cruz-Izquierdo¹ y Eduardo Rodríguez-Guzmán²

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Zapopan, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia (rlobato@colpos.mx)

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un cultivo de gran importancia económica y social en México; sin embargo, la generación de nuevas variedades nacionales es escasa. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial agronómico y de calidad de frutos de 53 líneas F_3 de tomate de hábito de crecimiento determinado y fruto tipo saladette, derivadas de poblaciones nativas, en un sistema hidropónico e invernadero, para su posible uso comercial y en mejoramiento genético. Para ello, las líneas y la variedad comercial Rio Grande se evaluaron durante dos ciclos de producción (años 2020 y 2021) en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se registró información fenológica, características físicas y de calidad de fruto, así como el número y peso total de frutos por planta. Se efectuaron análisis de varianza como series de experimentos, así como comparaciones de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) y análisis de correlaciones de Pearson. Se detectaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre 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 variables de calidad de frutos que las hacen aptas para consumo en fresco y procesamiento industrial. La línea 21002 fue superior a la variedad comercial Río Grande ($P \leq 0.05$) con 38 % más de rendimiento, misma que podría utilizarse como nueva variedad comercial o como fuente de germoplasma.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., hidroponía, mejoramiento genético de tomate, tomate saladette, hábito de crecimiento determinado.

SUMMARY

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a crop of great economic and social importance in Mexico; however, the generation of new national varieties is scarce. The objective of this research was to evaluate the agronomic and quality potential of fruits of 53 F_3 saladette-type lines of determined growth habit tomato, derived from native populations, in a hydroponic and greenhouse system, for possible commercial use and genetic improvement. For this purpose, the lines and the commercial variety Rio Grande were evaluated during two production cycles (years 2020 and 2021), in a randomized complete block experimental design with three replications. Phenological information, physical characteristics and fruit quality were recorded, as well as the number and total weight of fruits per plant. Analyses of variances were carried out as series of experiments, also, comparisons of means (Tukey, $P \leq 0.05$) and Pearson correlations analysis were performed. Differences ($P \leq 0.05$) were detected between lines in days to flowering and maturity, length,

diameter, weight, firmness, soluble solids content, number and total weight of fruits. Outstanding lines were identified in earliness, yield and fruit quality variables that make them suitable for fresh consumption and industrial processing. Line 21002 was superior to the commercial variety Rio Grande ($P \leq 0.05$) with 38 % more yield, which could be used as a new commercial variety or as a source of germplasm.

Index words: *Solanum lycopersicum* L., determinate growth habit, hydroponics, saladette-type tomato, tomato breeding.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de las principales hortalizas cultivadas en México y en el mundo. En 2022 se cultivaron a cielo abierto en México 32,491 ha que produjeron 1.17 millones de toneladas; y en agricultura protegida 15,245 ha generaron cerca de 2.2 millones de toneladas de tomate; además, México fue el principal exportador de tomate a Estados Unidos (SIAP, 2023).

La demanda mundial de tomate exige el incremento de la producción y frutos con calidad adecuada para el mercado, lo que a su vez requiere de la generación de variedades mejoradas (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013); sin embargo, el mejoramiento genético de esta especie lo realizan empresas transnacionales productoras de semillas, y de manera limitada, organismos públicos (Hernández-Ibáñez *et al.*, 2017).

Por la importancia económica y social del tomate, junto a las crecientes necesidades de productores y consumidores de variedades y productos mejores, es conveniente crear programas de mejoramiento nacionales y públicos que aprovechen el potencial genético de los parientes silvestres y nativos; para ello, es necesario recolectar y evaluar germoplasma que permita ampliar la base genética del cultivo (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013).

Las variedades de tomate deben tener frutos con

sabores, colores, aromas, texturas, tamaños y formas que satisfagan las exigencias del consumidor y, además, cualidades que prolonguen su vida de anaquel (Dagade *et al.*, 2015). Para esto, es indispensable evaluar el desempeño de las líneas mejoradas y de las prácticas culturales que maximicen sus rendimientos en diferentes condiciones ambientales durante el proceso de selección, de acuerdo con el mercado objetivo (Frasca *et al.*, 2014).

Los híbridos comerciales de tomate para invernadero tienen hábito de crecimiento indeterminado (HCI), y en campo se usan los de hábito de crecimiento determinado (HCD); sin embargo, estos últimos pueden ser la base de un sistema de producción alternativo, ya que algunas de estas variedades presentan bajo desarrollo y cobertura vegetal reducida; sus ramas cortas forman enredaderas compactas que no requieren podas y sus frutos se desarrollan por encima del suelo (Frasca *et al.*, 2014); además, por su arquitectura, pueden cultivarse a mayor densidad y sus frutos maduran simultáneamente, lo que reduce los costos de producción si se cosecha manualmente en una o dos ocasiones.

Es reducido el número de investigaciones disponibles sobre el mejoramiento genético de tomates con HCD en el mundo. Una de ellas es la de Burbano y Vallejo (2017), quienes realizaron la introgresión del gen *sp*, responsable del hábito de crecimiento determinado, en la variedad UNAPAL-Maravilla; el objetivo fue modificar la forma de la planta y obtuvieron seis líneas con HCD promisorias por rendimiento, precocidad y buenas características de calidad de fruto. En otro trabajo, Burbano-Eraza *et al.* (2020) determinaron que la altura de planta, longitud de entrenudos, días a floración y a cosecha, número de frutos y producción por planta son criterios útiles para la selección de tomates de HCD por su alta heredabilidad en sentido amplio, y encontraron que es posible lograr individuos de menor porte de manera rápida debido a las ganancias genéticas en la reducción de altura de planta.

Es escasa la bibliografía referente al desarrollo de variedades mexicanas de tomates. Entre los estudios de tomates de HCD destacan los de Leyva-Mir *et al.* (2013) quienes evaluaron líneas experimentales (F_6 y F_7) derivadas de autofecundaciones sucesivas de cruza entre híbridos comerciales o directamente de híbridos comerciales F_1 , y encontraron dos líneas tolerantes al daño foliar y de fruto por el tizón temprano (*Alternaria solani*); una de ellas podría poseer tolerancia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Gayosso-Barragán *et al.* (2019) determinaron aptitudes combinatorias generales y específicas en rasgos de rendimiento y calidad de frutos mediante cruza dialélicas e identificaron genotipos aptos para incorporarlos a programas de mejoramiento genético.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico y la calidad de frutos de líneas avanzadas F_5 de tomate saladette con hábito de crecimiento determinado, en condiciones de hidroponía e invernadero, e identificar materiales sobresalientes para su posible uso comercial y como fuentes de germoplasma para programas de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se evaluaron 53 líneas endogámicas (F_5) de tomate tipo saladette con hábito de crecimiento determinado y la variedad comercial Río Grande. Las líneas son producto de mejoramiento genético mediante selección masiva y, posteriormente, de cuatro ciclos de autofecundación y selección por pedigree, a partir de poblaciones recolectadas durante 2015 en Comitán, Chiapas (16° 27' 96" N, 92° 13' 36" O), como parte del programa para la conservación de los recursos fitogenéticos dirigido por el 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 Conservación y Mejoramiento de los Recursos Genéticos del Jitomate del Colegio de Postgraduados y están bajo resguardo del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética de dicha institución.

Establecimiento y conducción de experimentos

Las líneas se estudiaron en los años 2020 y 2021 en condiciones de invernadero e hidroponía, en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 30' N, 98° 53' O, 2250 msnm). Las siembras fueron el 29 de mayo y 18 de marzo, respectivamente, en bandejas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato de turba (Kekkilä Professional®). Una semana después de emerger las plántulas se iniciaron riegos con la solución nutritiva de Steiner (1984) con 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 el 7 de julio de 2020 y el 7 de mayo de 2021, a los 39 y 50 días después de la siembra (dds), respectivamente. Se colocó una planta en cada bolsa de polietileno color negro, de 40 × 40 cm con arena volcánica (tezontle rojo) como sustrato, con densidad de 2.22 plantas m⁻². En cada ensayo se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de un grupo de 10 plantas.

Se eliminaron los brotes por debajo de la rama inferior al primer racimo floral; los dos tallos principales de cada planta se tutoraron con rafia y posteriormente se permitió libre crecimiento. Se realizaron aplicaciones preventivas de fungicidas y plaguicidas en 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 fueron sacudidas suavemente para mejorar la polinización, a las 11:00 horas cada tres días.

Registro de variables

Se registraron: 1) días a floración del primer racimo (DAF), contados a partir de la siembra hasta que la primera flor del primer racimo llegó a antesis; 2) días de siembra a la madurez (DAM), cuando el primer fruto del primer racimo llegó maduración rompiente según la escala de colores para tomates frescos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 1975).

A los 160 dds en dos frutos rojos del tercer racimo de cada planta (20 frutos por unidad experimental) se determinaron y obtuvieron los promedios de: 3) longitud (LF, mm) y 4) diámetro ecuatorial (DF, mm) con vernier digital milimétrico (Truper® mod. Caldi-6MP, México), 5) peso (PF, g) con una balanza digital (Ohaus®, mod. SP2001, Parsippany, New Jersey. EUA), 6) firmeza (FF, N) mediante penetrómetro (Sundoo Instruments®, mod. GY-1, China) con émbolo de 3.5 mm de diámetro, y 7) sólidos solubles

totales del jugo de tomate (SST, °Brix) con refractómetro digital (Atago®, mod. PAL-1, Tokio, Japón).

Las cosechas se realizaron a los 170 y 200 dds, momentos en los que se registró en cada planta: 8) el número total de frutos (NTF), y 9) peso total de frutos (PTF, g) con balanza digital (Torrey®, México).

Análisis estadístico

En cada unidad experimental se obtuvieron los promedios de las variables y se realizaron análisis de varianza como serie de experimentos con las fuentes de variación: Líneas, Años, bloques anidados en años y la interacción Líneas × Años. Se realizaron comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) y se determinaron las correlaciones de Pearson entre pares de variables. Se empleó el paquete SAS® v.9.3 (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

El análisis de varianza combinado (Cuadro 1) detectó diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre las líneas para todas las variables. Esto indica diferencias fenotípicas y genéticas entre el germoplasma de estudio, lo cual es importante para un programa de mejoramiento genético. En Años también hubo significancia para todas las variables, excepto para NTF.

La interacción Líneas × Años resultó significativa para DAF, DAM, FF, SST y NTF, donde algunos genotipos

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado para características agronómicas y de fruto de 53 líneas F_5 y una variedad comercial de tomate con hábito de crecimiento determinado evaluadas en los años 2020 y 2021.

FV	GL	DAF	DAM	LF	DF	PF	FF	SST	NTF	PTF
Líneas	53	35.9**	72.3**	229.8**	27.1**	889.1**	2.4**	1.6**	1310.7**	4133720.2**
Años	1	4122.4**	9034.5**	767.4**	330.1**	8824.0**	72.7**	1.2**	264.0	145278942.2**
Bloques (Años)	4	13.4	165.8**	165.9**	58.6**	1479.4**	7.5**	0.6**	1088.2**	10971823.8**
Líneas × Años	53	13.3**	27.6**	34.2	11.3	387.2	1.2**	0.3*	429.2**	1446110.5
Error	212	5.8	16.1	29.1	9.2	332.6	0.6	0.2	237.9	1034041.5
Total	323									
CV (%)		4.0	3.1	7.1	5.9	16.0	9.5	8.4	16.7	14.9
Media		60.3	130.1	75.5	51.4	113.8	8.3	4.9	92.4	6822.8

** y *: significativo con $P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$, respectivamente, FV: fuente de variación, CV: coeficiente de variación, GL: grados de libertad, DAF y DAM: días a floración y a maduración del primer racimo, respectivamente. Variables de fruto: LF (longitud), DF (diámetro), PF (peso), FF (firmeza), SST (concentración de sólidos solubles totales), NTF y PTF: número y peso total de frutos por planta, respectivamente.

tuvieron comportamientos contrastantes como respuesta a los cambios del ambiente; sin embargo, LF, DF, PF y PTF no fueron modificadas por efecto de la interacción Genotipos x Años de evaluación. Los coeficientes de variación oscilaron entre 3.1 y 16.7 %, lo cual evidencia un buen manejo del experimento y la confiabilidad de la información.

Comparación de líneas

Componentes de rendimiento

Con respecto a PTF, sólo la línea 21002 fue superior ($P \leq 0.05$) al testigo comercial en 2434.4 g/planta (38 %), en tanto que las 21 líneas F_5 restantes fueron estadísticamente similares a Río Grande (Cuadro 2). Ante la necesidad de enriquecer el germoplasma de un programa de mejoramiento genético, las 22 líneas se consideran valiosas, ya que presentaron rendimientos de 7077.8 a 8841.4 g/planta, lo que equivale a rendimientos de 14.24 y 19.65 kg m⁻², respectivamente, superiores a los 5660 g/planta que Djidonou *et al.* (2017) registraron en la variedad con HCD Florida 47 en invernadero e hidroponía, en Florida, EUA.

Carballo-Méndez *et al.* (2018) probaron en México el híbrido Pony express (HCD) en dos sistemas de producción orgánica, con suelo y sustrato en invernadero, donde obtuvieron rendimientos de fruto de 11.93 y 11.67 kg m⁻², respectivamente.

En 2022 el rendimiento medio nacional de tomate saladette en invernadero fue de 179.6 t ha⁻¹. Los rendimientos de las 22 líneas HCD igualaron a los que SIAP (2023) reportó para Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Durango, México, Coahuila y Tlaxcala (145.4 a 196.25 t ha⁻¹), y fueron inferiores a los de Oaxaca, Michoacán, Aguascalientes, San Luis Potosí, Morelos, Nuevo León y Querétaro (198.9 a 435 t ha⁻¹).

Es importante señalar que los sistemas de producción en invernadero son más sofisticados y emplean variedades de tomate con HCD que tienen ciclos productivos mayores de 200 días, superiores a los que se manejó en este estudio, por lo que son más productivos que las líneas de HCD.

Río Grande y la línea 21041 produjeron la mayor cantidad de NTF (121 frutos/planta), mientras que las líneas 21052 y 21017 tuvieron 70 y 73 frutos, más que los 50 frutos/planta que Djidonou *et al.* (2017) reportaron en invernadero e hidroponía en Florida, EUA y más que los 56 frutos/planta que Carballo-Méndez *et al.* (2018) observaron en Pony Express. El rendimiento por planta de estas cuatro líneas no fue diferente entre sí. Burbano-Erazo *et al.* (2020) encontraron una asociación inversa entre el número y el peso de frutos por planta en líneas con HCD; este comportamiento se atribuye a la competencia por fotosintatos que ocurre durante el desarrollo de frutos, lo que limita el aumento de área foliar y el tamaño de frutos (Peixoto *et al.*, 2017). Diecinueve líneas no tuvieron diferencia estadística con la variedad comercial Río Grande en NTF.

El diámetro, longitud y peso individual del fruto son importantes para diferenciar el tipo de tomate y son variables que componen el rendimiento. Río Grande produjo los frutos con menor longitud; en cambio, 21032, 21004, 21017 y 21006 desarrollaron los frutos más largos (Cuadro 2, $P \leq 0.5$). Las variaciones en LF ocurrieron entre 65.8 y 83.9 mm, superiores a los 60 mm de longitud media reportados por Carballo-Méndez *et al.* (2018) en Pony Express en invernadero.

Las líneas 21002 y 21052 produjeron frutos con mayores diámetros y pesos promedios que Río Grande ($P \leq 0.5$). El PF de las 22 líneas sobresalientes en rendimiento osciló entre 99 y 144 g. Djidonou *et al.* (2017) reportaron en Florida 47 frutos con peso de 114 g. Las variaciones en los diámetros de fruto (49.3 a 58.8 mm) fueron mayores que los 46 mm de Pony Express (Carballo-Méndez *et al.*, 2018), y cercanas al intervalo de 55 a 57 mm que Vallecillo *et al.* (2022) observaron al evaluar el desempeño agronómico de cinco líneas de tomate HCD en campos de Colombia.

El rendimiento, tamaño, peso promedio y número de frutos por planta son rasgos importantes para selección en los programas de mejoramiento genético; Burbano-Erazo *et al.* (2020) encontraron que en líneas de tomates HCD el peso y el número total de frutos por planta son caracteres altamente heredables (heredabilidad amplia > 0.80); sin embargo, el PTF es un rasgo poligénico complejo para el mejoramiento a causa de la asociación inversa entre el número total y el peso de frutos por planta.

El rendimiento, tamaño, peso promedio y número de frutos por planta son rasgos importantes para selección en los programas de mejoramiento genético; Burbano-Erazo *et al.* (2020) encontraron que en líneas de tomates HCD el peso y el número total de frutos por planta son caracteres altamente heredables (heredabilidad amplia > 0.80); sin embargo, el PTF es un rasgo poligénico complejo para el mejoramiento a causa de la asociación inversa entre el número total y el peso de frutos por planta.

Calidad de fruto

La firmeza, color, aroma, sólidos solubles totales y pH en frutos de tomate son atributos que influyen en las preferencias del consumidor (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2018), y son determinantes de la calidad postcosecha de frutos; por ejemplo, el ablandamiento que ocurre por maduración durante el almacenamiento y distribución incrementa la susceptibilidad a daños (Batu, 2004).

En los materiales sobresalientes evaluados (22 líneas y Río Grande) no se detectaron diferencias en la firmeza de fruto ($P \leq 0.5$ (Cuadro 2). Las variaciones de las 22 líneas sobresalientes ocurrieron entre 7.0 y 9.2 N, valores

Cuadro 2. Comparaciones de medias de características agronómicas y de fruto de 22 líneas sobresalientes F₅ de tomate de crecimiento determinado de alto rendimiento y la variedad comercial Río Grande. Promedios de los años 2020 y 2021.

Línea	DAF (d)	DAM (d)	LF (mm)	DF (mm)	PF (g)	FF (N)	SST (°Brix)	NTF	PTF(g)
21002	61.6 a-h	127.7 c-h	72.0 d-n	58.8 a	144.3 a	7.7 a-g	5.1 c-l	103.2 a-f	8841.4 a
21004	59.9 c-h	131.7 a-h	81.7 a-i	52.3 a-d	127.2 a-c	8.1 a-g	4.3 j-n	98.8 a-f	8409.0 ab
21050	57.5 e-h	128.7 c-h	72.0 d-n	51.2 cd	111.2 a-d	9.2 ab	5.3 a-j	106.3 a-d	8165.4 a-c
21038	60.8 b-h	131.0 a-h	70.7 h-n	53.5 a-d	113.6 a-d	8.3 a-g	5.1 c-l	106.5 a-d	8144.4 a-c
21039	59.3 c-h	129.2 b-h	72.1 d-n	51.8 a-d	111.1 a-d	8.8 a-f	5.3 b-k	98.8 a-f	8000.9 a-d
21037	63.1 a-e	133.0 a-g	76.6 b-m	51.2 b-d	117.0 a-d	8.6 a-f	5.4 a-i	98.7 a-f	7882.5 a-e
21054	64.5 a-c	131.6 a-h	71.2 f-n	52.1 a-d	111.3 a-d	8.8 a-e	5.5 a-g	101.2 a-f	7786.1 a-f
21052	60.7 b-h	128.0 c-h	70.2 h-n	58.3 ab	138.7 ab	7.0 fg	4.3 j-n	69.6 e-h	7689.8 a-f
21041	56.6 h	130.9 a-h	71.3 e-n	49.6 cd	99.5 b-d	9.1 ab	5.9 a-c	121.1 a	7665.5 a-f
21028	59.3 c-h	127.9 c-h	74.4 c-n	52.2 a-d	116.4 a-d	8.5 a-g	5.5 a-e	99.6 a-f	7665.2 a-f
21005	61.4 a-h	133.0 a-g	78.1 a-l	50.9 cd	115.1 a-d	7.9 a-g	4.6 e-n	95.7 a-g	7627.1 a-f
21051	57.2 f-h	129.7 a-h	72.5 d-n	50.9 cd	108.2 a-d	8.8 a-e	5.0 c-m	107 a-d	7575.2 a-g
21026	60.1 c-h	132.6 a-g	70.2 h-n	52.0 a-d	111.1 a-d	8.9 a-d	5.4 a-h	102.2 a-f	7501.3 a-h
21003	60.3 c-h	131.8 a-h	78.2 a-l	49.3 cd	111.4 a-d	7.5 b-g	4.5 f-n	89.6 a-h	7437.0 a-h
21048	61.5 a-h	125.2 gh	70.3 h-n	52.9 a-d	107.9 a-d	8.6 a-f	4.9 d-m	106.1 a-e	7350.5 a-h
21049	59.7 c-h	131.4 a-h	72.0 d-n	50.3 cd	104.6 a-d	8.9 a-d	5.4 a-i	97.8 a-f	7320.8 a-h
21032	58.4 d-h	131.1 a-h	83.9 a-f	50.3 cd	122.3 a-d	7.2 c-g	4.6 e-n	102.8 a-f	7286.5 a-h
21031	57.6 e-h	127.3 e-h	71.3 e-n	51.6 b-d	111.5 a-d	7.1 d-g	5.3 a-i	104.6 a-f	7233.5 a-h
21043	58.2 d-h	130.2 a-h	74.4 c-n	51.3 b-d	107.9 a-d	8.3 a-g	4.8 d-n	95.6 a-h	7154.8 a-h
21027	59.8 c-h	126.5 f-h	74.9 c-n	54.0 a-d	122.7 a-d	8.2 a-g	4.9 c-m	86.2 a-h	7137.4 a-h
21017	66.1 ab	136.6 a-e	81.6 a-i	53.4 a-d	130.2 a-c	8.0 a-g	4.2 l-n	73.1 d-h	7106.8 a-h
21006	58.7 d-h	132.5 a-h	79.3 a-k	52.0 a-d	120.7 a-d	8.7 a-f	4.7 d-n	93.4 a-h	7077.8 a-h
Río G	66.8 a	138.2 ab	65.8 l-n	50.3 cd	91.6 cd	8.1 a-g	5.4 a-h	120.8 a	6407.0 b-h
DSH	5.7	9.5	12.8	7.2	43.2	1.9	1.0	36.5	2407.0

Medias con letras iguales en cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$); letras separadas por guion indica el intervalo de grupos estadísticos a los que pertenece la línea en cada variable. DAF y DAM: días a floración y a maduración de frutos en el primer racimo, respectivamente. Variables de fruto: LF (longitud), DF (diámetro), PF (peso), FF (firmeza), SST: concentración de sólidos solubles totales, NTF y PTF: número y peso total de frutos por planta, respectivamente, DSH: diferencia significativa honesta.

comprendidos entre los 5.6 y 13.0 N que Hernández-Ibáñez *et al.* (2017) determinaron en frutos de 36 cruces simples de tomates en maduración rompiente, con HCl y HCD, durante dos años de evaluación en invernadero e hidroponía.

Una concentración alta de sólidos solubles totales se asocia con mayor capacidad de absorción y transporte de nutrimentos (Cintora-Martínez *et al.*, 2021), y es el principal componente de calidad para fines nutricionales. Diecinueve de las líneas sobresalientes en rendimiento no difirieron estadísticamente en contenidos de SST con Río Grande. La línea 21041 obtuvo el mayor valor de SST (5.9 %), y las de menor contenido que el testigo ($P \leq 0.05$) fueron 21017, 21052 y 21004 (4.2 a 4.3 °Brix). Los valores de SST ocurrieron cerca del intervalo de 3.8 a 5.1 °Brix que Chattopadhyay *et al.* (2013) reportaron en 31 híbridos de tomates HCD en campos de la India, mayores que los 4.05 a 4.27 °Brix que Burbano y Vallejo (2017) registraron en seis líneas colombianas de tomates HCD en campo, y cercanos al intervalo de 5.0 a 5.2 °Brix que observaron Djidonou *et al.* (2017) en Florida 47 en HCD; además, son valores próximos al intervalo de 3.5 a 6.03 °Brix que Pal *et al.* (2018) registraron al evaluar 22 líneas avanzadas de tomate. Existen evidencias de valores de SST que van de 4.38 a 8.01 °Brix (Méndez *et al.*, 2011).

El contenido de sólidos solubles totales es, dentro de las variables de calidad de frutos de tomate, la más importante para el procesamiento (Marouelli *et al.*, 2012), ya que el rendimiento industrial de pasta se incrementa entre 10 y 20 % por cada grado Brix que aumenta en la materia prima (Boiteux *et al.*, 2012). Figueiredo *et al.* (2015) mencionaron que frutos con concentraciones de SST mayores de 5.0 °Brix son ideales para el procesamiento industrial, ya que a mayor contenido de SST menor es el gasto energético para concentrar la pulpa de tomate; así, los frutos de las líneas 21002, 21050, 21038, 21039, 21037, 21054, 21041, 21028, 21051, 21026, 21049 y 21031 se consideran aptos para la transformación industrial.

Martínez-Rodríguez *et al.* (2013) evaluaron el efecto del volumen y frecuencia de riegos en la calidad de frutos de tomates mexicanos tipo bola; mencionan que el contenido de SST en tomates debe ser mayor de 4 °Brix para que se consideren de calidad para consumo en fresco. Por otro lado, Hernández-Ibáñez *et al.* (2017) establecieron como frutos de categoría comercial a aquellos con pesos mayores de 100 g y que no tuvieran daños físicos, mecánicos, desordenes fisiológicos ni afectaciones por plagas o enfermedades que demeriten su apariencia. Al tomar en cuenta estos dos criterios, los frutos de las 22 líneas de tomates con HCD sobresalientes en rendimiento serían aptas para el consumo en fresco.

Variables de desarrollo fenológico

La precocidad es una característica fenológica que condiciona el inicio temprano de la reproducción y el avance hacia fructificación; las variedades de tomate con HCD son más precoces que las de HCl (Burbano-Erazo *et al.*, 2020). Río Grande fue el genotipo más tardío para florecer en el primer racimo (66.8 dds). Se identificaron 16 líneas entre 6 y 10 d más precoces (Cuadro 2). El genotipo 21002 (de mayor rendimiento) fue 5 d más precoz que Río Grande; y la más precoz, 21041 (56.6 dds), tuvo rendimiento sin diferencia estadística con el testigo (7665.5 g/planta).

En el presente estudio, el inicio de la floración en el primer racimo fue más temprano que en los genotipos HCD que evaluaron Frasca *et al.* (2014) (83 y 85 dds) y Djidonou *et al.* (2017) (63 a 67 dds), en campo con acolchado e invernadero, respectivamente; también fueron menores a los 61-77.5 dds que registraron Hernández-Bautista *et al.* (2014) y Martínez-Vázquez *et al.* (2016) (57 a 78 dds) en materiales precoces de tomates HCl en hidroponía e invernaderos en Montecillo, Estado de México. Burbano-Erazo *et al.* (2020) determinaron alta heredabilidad en sentido amplio ($H^2 = 0.83$) de DAF en líneas de tomate HCD y propusieron este rasgo como un criterio de selección promisorio.

El testigo Río Grande fue más tardío para madurar (138.2 dds). Dentro del germoplasma sobresaliente por rendimiento, siete líneas fueron más precoces entre 9 y 13 d. Los frutos de 21048 maduraron más rápido (125.2 dds) y su producción (7350.5 g/planta) no fue diferente de la del testigo ($P \leq 0.5$); también la línea 21002 fue 10.5 d más prematura y de mayores rendimientos que Río Grande. Estos resultados coinciden con los 125 a 141 dds que observaron Hernández-Bautista *et al.* (2014) en tomates HCl, e inferiores a los 142 dds que Frasca *et al.* (2014) reportaron en líneas HCD.

Se observaron comportamientos equiparables en los caracteres de estudio entre las 22 líneas sobresalientes con la variedad comercial Río Grande; esto abre la posibilidad de incrementar el rendimiento, sus componentes y cualidades de frutos mediante el aprovechamiento de heterosis si se generan híbridos de estas líneas; o si en ellas se encuentran posibles tolerancias a enfermedades, ya que fueron derivadas de poblaciones nativas.

Análisis de correlaciones de Pearson

Los coeficientes de correlación de Pearson (Cuadro 3) indicaron asociaciones positivas entre el número de días a floración y a maduración; la longitud con el diámetro y peso promedio del fruto; el diámetro con el peso promedio de

fruto; la firmeza con la cantidad de sólidos solubles totales; el número con el peso total de frutos; y el número total de frutos con el contenido de SST. También se encontraron correlaciones negativas del número total de frutos por planta con la longitud y peso promedio de fruto ($P \leq 0.01$).

Entre SST y PTF no se observó relación de tipo lineal. Esta condición es de interés en el mejoramiento genético ya que, al tratarse de variables independientes, es posible mejorar los rendimientos sin detrimento del contenido de los sólidos solubles totales y viceversa.

Los resultados coinciden en parte con los de Juárez-López *et al.* (2012), quienes reportaron una correlación positiva de 0.98 entre los días a floración y a maduración en el primer racimo al evaluar siete genotipos nativos de tomate HCl en hidroponía; sin embargo, no se asociaron el NTF con LF ni DF; Monamodi *et al.* (2013) encontraron asociaciones entre NTF y PTF de 0.91 en tomates HCD; sin embargo, no encontraron asociaciones significativas entre SST y NTF, ni en PF con NTF.

De Souza *et al.* (2012) estudiaron correlaciones fenotípicas y genotípicas de características de rendimiento y calidad de frutos de variedades comerciales de tomates HCl, y también encontraron relaciones positivas entre PTF-NTF (0.94) y DF-PF (0.73); sin embargo, detectaron correlaciones positivas entre PTF y PF (0.53) y en LF con NTF (0.57), a diferencia de lo que ocurrió en el presente estudio.

Los valores positivos de correlaciones fenotípicas y genotípicas entre el rendimiento, el número, el peso

promedio de fruto y el grosor de la pared de fruto deben considerarse como características primordiales en el mejoramiento genético del tomate (De Souza *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

Las líneas F_5 de tomates saladette con hábito de crecimiento determinado mostraron variaciones significativas en días a floración y madurez, longitud, diámetro, peso, firmeza, contenido de sólidos solubles, número y peso total de frutos. Se identificaron líneas de tomate de hábito determinado sobresalientes en precocidad, rendimiento y variables de calidad de frutos con aptitudes para procesamiento industrial y para consumo en fresco. La línea 21002 superó al testigo comercial en 38 % de rendimiento, misma que podría utilizarse como variedad comercial o como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento genético.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de Doctorado en Ciencias otorgada al primer autor.

BIBLIOGRAFÍA

- Batu A. (2004) Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61:471-475, [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00141-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00141-9)
- Boiteux L. S., M. E. N. Fonseca, L. B. Giordano e P. C. T. de Melo (2012) Melhoramento genético. In: *Produção de Tomate para Processamento Industrial*. F. M. V. T. Clemente e L. S. Boiteux (eds.). Embrapa. Brasília D. F., Brasil. pp:31-50.
- Bonilla-Barrientos O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, G. López-Romero, E. Rodríguez-Guzmán y E. Hernández-Leal (2018)

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson de características agronómicas y de frutos de 53 líneas avanzadas F_5 y un testigo comercial de tomates con crecimiento determinado cultivados en primavera-verano de 2020 y 2021.

	DAF	DAM	LF	DF	PF	FF	SST	NTF
DAM	0.75**							
LF	-0.07	-0.13*						
DF	-0.13*	-0.29**	0.42**					
PF	-0.12*	-0.27**	0.77**	0.86**				
FF	-0.29**	-0.26**	-0.02	-0.02	-0.05			
SST	-0.02	-0.00	-0.23**	-0.11	-0.18**	0.37**		
NTF	-0.04	0.06	-0.38**	-0.20**	-0.31**	0.21**	0.42**	
PTF	0.28**	0.23**	-0.13*	-0.01	-0.00	-0.10	0.00	0.56**

** y *: significancia con $P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$, respectivamente, DAF y DAM: días a floración y a maduración en el primer racimo, respectivamente; variables de fruto: LF (longitud), DF (diámetro), PF (peso), FF (firmeza) y SST: contenido de sólidos solubles totales, NTF y PTF: número y peso total de frutos por planta.

- Depresión endogámica de híbridos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) derivados de progenitores con distinto grado de domesticación. *Agro Productividad* 11:59-65.
- Burbano E. E. y F. A. Vallejo C. (2017) Producción de líneas de tomate "chonto", *Solanum lycopersicum* Mill., con expresión del gen *sp* responsable del crecimiento determinado. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11:63-71, <http://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5786>
- Burbano-Eraza E., I. J. Pastrana-Vargas, J. R. Mejía-Salazar y F. A. Vallejo-Cabrera (2020) Criterios de selección en líneas de tomate con hábito de crecimiento determinado. *Agronomía Mesoamericana* 31:1-11, <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37093>
- Carballo-Méndez F. J., J. C. Rodríguez-Ortiz, J. A. Alcalá-Jáuregui, H. Rodríguez-Fuentes, P. Preciado-Rangel and J. L. García-Hernández (2018) Comparison of two organic determinate tomato (*Solanum lycopersicon* L.) production systems in a controlled environment. *Interciencia* 43:62-65.
- Carrillo-Rodríguez J. C., J. L. Chávez-Servia, G. Rodríguez-Ortiz, R. Enríquez-del Valle y Y. Villegas-Aparicio (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>
- Chattopadhyay A., I. V. I. Chakraborty and W. Siddique (2013) Characterization of determinate tomato hybrids: search for better processing qualities. *Journal of Food Processing and Technology* 4:1000222, <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000222>
- Cíntora-Martínez E. A., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, M. Hernández-Rodríguez, E. Rodríguez-Guzmán y S. Cruz-Izquierdo (2021) Generaciones avanzadas de una cruz de *Solanum lycopersicum* × *S. habrochaites* como portainjertos de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44:15-24, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.15>
- Dagade S. B., N. J. Nasibhai, H. Krishna, B. V. Mulshankar, D. L. Keshavbhai and B. A. Virsanbhai (2015) Estimating combining ability effect of the Indian and exotic lines of tomatoes by partial diallel analysis. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 3:715-720, <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i9.715-720.319>
- De Souza L. M., P. C. T. Melo, R. R. Luders and A. M. T. Melo (2012) Correlations between yield and fruit quality characteristics of fresh market tomatoes. *Horticultura Brasileira* 30:627-631, <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400011>
- Djidonou D., X. Zhao, J. K. Brecht and K. M. Cordasco (2017) Influence of interspecific hybrid rootstocks on tomato growth, nutrient accumulation, yield, and fruit composition under greenhouse conditions. *HortTechnology* 27:868-877, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03810-17>
- Figueiredo A. S. T., J. T. V. de Resende, M. V. Faria, J. T. de Paula, K. Schwarz and D. S. Zanin (2015) Combining ability and heterosis of relevant fruit traits of tomato genotypes for industrial processing. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 15:154-161, <https://doi.org/10.1590/1984-70332015v15n3a27>
- Frasca A. C., M. Ozores-Hampton, J. Scott and E. McAvoy (2014) Effect of plant population and breeding lines on fresh-market, compact growth habit tomatoes growth, flowering pattern, yield, and postharvest quality. *HortScience* 49:1529-1536, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.12.1529>
- Gayosso-Barragán O., A. López-Benítez, S. A. Rodríguez-Herrera, J. N. Ek-Maas, D. M. Hidalgo-Ramos and J. S. G. J. Alcalá-Rico (2019) Studies on combining ability in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomy Research* 17:77-85, <https://doi.org/10.15159/AR.19.002>
- Hernández-Bautista A., R. Lobato-Ortiz, S. Cruz-Izquierdo, J. J. García-Zavala y J. L. Chávez-Servia (2014) Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruz interespecífica de jitomate. *Interciencia* 39:327-332.
- Hernández-Ibáñez L., J. Sahagún-Castellanos, J. E. Rodríguez-Pérez y M. G. Peña-Ortega (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* 23:21-33, <https://doi.org/10.5154/rchsh.2016.06.021>
- Juárez-López P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, M. Sandoval-Villa, P. Ramírez-Vallejo, D. W. Reed... y S. King (2012) Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18:207-216, <https://doi.org/10.5154/rchsh.2011.02.013>
- Leyva-Mir S. G., C. M. González-Solano, J. E. Rodríguez-Pérez y D. Montalvo-Hernández (2013) Comportamiento de líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a fitopatógenos en Chapingo, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19:301-313, <https://doi.org/10.5154/rchsh.2012.12.070>
- Marouelli W. A., W. L. C. e Silva, H. R. da Silva e M. B. Braga (2012) Irrigação e fertigação. In: Produção de Tomate para Processamento Industrial. F. M. V. T. Clemente e L. S. Boiteux (eds.). Embrapa. Brasília D. F., Brasil pp:131-154.
- Martínez-Rodríguez O. G., A. Can-Chulim, E. Cruz-Crespo y J. D. García-Paredes (2017) Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:53-65, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.71>
- Martínez-Vázquez E. A., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala y D. Reyes-López (2016) Heterosis de cruces entre líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo mexicano tipo pimienta y líneas tipo saladette. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39:67-77, <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.1.67-77>
- Méndez I. I., A. M. Vera G., J. L. Chávez S. and J. C. Carrillo R. (2011) Quality of fruits in mexican tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) landraces. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 18:26-32, <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.6170>
- Monamodi E. L., D. M. Lungu and G. L. Fite (2013) Analysis of fruit yield and its components in determinate tomato (*Lycopersicon lycopersci*) using correlation and path coefficient. *Botswana Journal of Agriculture and Applied Sciences* 9:29-40.
- Pal R. S., N. K. Hedau, L. Kant and A. Pattanayak (2018) Functional quality and antioxidant properties of tomato genotypes for breeding better quality varieties. *Electronic Journal of Plant Breeding* 9:1-8, <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2018.00001.7>
- Peixoto J. V. M., C. M. S. Neto, L. F. C. Campos, W. S. Dourado, A. P. O. Nogueira e A. R. Nascimento (2017) Industrial tomato lines: morphological properties and productivity. *Genetics and Molecular Research* 16:gmr16029540, <https://doi.org/10.4238/gmr16029540>
- SAS Institute (2011) SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 8621 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola (1980-2022) Tomate rojo (jitomate). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Julio 2023).
- Steiner A. A. (1984) The universal nutrient solution. In: Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp:633-650.
- USDA, United States Department of Agriculture (1975) Color classification requirements in United States standards for grades of fresh tomatoes. USDA Agricultural Marketing Service. Lansing, Michigan, USA. https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Tomato_Visual_Aids%5B1%5D.pdf (October 2023).
- Vallecillo G. A. J., S. Ortiz G., F. A. Vallejo C., M. C. Salazar V., D. G. Guerra G. and F. A. Salazar V. (2022) Agronomic evaluation of chonto tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) lines of determinate growth. *Agronomía Colombiana* 40:336-343, <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n3.103518>