

INJERTOS INTERESPECÍFICOS ENTRE *Solanum lycopersicum* L. Y *S. habrochaites* Knapp & Spooner COMO ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO DE FRUTO

INTERSPECIFIC GRAFTS BETWEEN *Solanum lycopersicum* AND *S. habrochaites* AS AN ALTERNATIVE TO INCREASE FRUIT YIELD

Mario de J. Velasco-Alvarado¹, Ricardo Lobato-Ortiz^{1*}, J. Jesús García-Zavala¹, Rogelio Castro-Brindis², Serafín Cruz-Izquierdo¹, Tarsicio Corona-Torres¹

¹Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (rlobato@colpos.mx). ²Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México.

RESUMEN

El injerto es una técnica que mejora la productividad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) si la combinación de portainjerto/púa es adecuada. En México la semilla de los portainjertos se importa, es costosa y, por lo tanto, limitada. Con el objetivo de identificar germoplasma sobresaliente con potencial como portainjerto, se establecieron dos experimentos para evaluar 10 recolectas de parientes silvestres del tomate cultivado. La hipótesis fue que existen recolectas de germoplasma silvestre con capacidad de incrementar el rendimiento. Como portainjertos se evaluaron ocho recolectas de *S. habrochaites* Knapp & Spooner, dos de *S. pimpinellifolium* L. y los testigos comerciales 'Maxifort' y 'Multifort' (*S. habrochaites* x *S. lycopersicum*), y como púas 'El Cid' y 'Sun7705'. El diseño fue de bloques completos al azar con tres repeticiones y 10 plantas por unidad experimental, donde los tratamientos fueron las combinaciones portainjerto/injerto. Doce variables se midieron y en la mayoría se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Los portainjertos sobresalientes en combinación con 'El Cid' fueron las recolectas LA2409, LA1223, LA2158, LA1777, LA2167 y LA1576, estas mejoraron en promedio 17% el rendimiento; con LA2409, LA1223, GH08 y LA0373 con 'Sun 7705' incrementaron 24% la productividad y superaron a los portainjertos comerciales hasta en 41%. Existen parientes silvestres del tomate cultivado con potencial de uso como portainjerto, ya que mejoran el rendimiento de fruto, en comparación con las plantas sin injertar y autoinjertadas. Las recolectas LA2409 y LA1223 mostraron estabilidad en ambas púas.

ABSTRACT

Grafting is a technique that improves tomato productivity (*Solanum lycopersicum* L.) if the rootstock/scion combination is adequate. In Mexico, the seed of the rootstock is imported, it is expensive and, therefore, limited. In order to identify outstanding germplasm with potential as a rootstock, two experiments were established to evaluate 10 wild relative accessions from the cultivated tomato. The hypothesis was that there are wild germplasm accessions capable of increasing yield. Eight accessions of *S. habrochaites* Knapp & Spooner, two of *S. pimpinellifolium* L. and the commercial checks 'Maxifort' and 'Multifort' (*S. habrochaites* x *S. lycopersicum*) were evaluated as rootstocks, and 'El Cid' and 'Sun7705' as scions. A randomized complete block design with three replications and 10 plants per experimental unit were used, wherein the treatments consisted of the rootstock/graft combinations. Twelve variables were measured and statistical differences were observed between treatments in most of them. The outstanding rootstocks combined with 'El Cid' were the collections LA2409, LA1223, LA2158, LA1777, LA2167 and LA1576, these improved the yield in 17% average; LA2409, LA1223, GH08 and LA0373 with 'Sun 7705' increased productivity by 24% and surpassed commercial rootstocks by up to 41%. There are wild relatives of the cultivated tomato with potential to be used as a rootstock, since they improve fruit yield in comparison with the ungrafted and self-grafted plants. The accessions LA2409 and LA1223 showed stability in both scions.

Key words: *Solanum habrochaites*, *S. lycopersicum*, rootstock, wild.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2018. Aprobado: agosto, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 1029-1042. 2019.

Palabras clave: *Solanum habrochaites*, *S. lycopersicum*, portainjerto, silvestre.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más populares y con valor económico mayor en el mundo; en 2013 se produjeron 177 millones de toneladas (FAO, 2016). La demanda mundial de tomate se incrementa constantemente debido al aumento de la población. El consumo mundial es de 140 millones de toneladas al año (FAO, 2018). En México, la producción en 2016 fue 2.8 millones de toneladas y el rendimiento promedio por ha incrementa 6% anualmente (FAO, 2016), debido al aumento en la superficie sembrada con agricultura protegida. El tomate es susceptible a más de 200 enfermedades que causan pérdidas de hasta 70 y 90% en las cosechas (Lukyanenko, 1991; Jones, 2000).

El injerto en tomate es una alternativa para el control de patógenos alojados en el suelo (Louws *et al.*, 2010), mejorar la capacidad de absorción de agua y nutrientes e incrementar el rendimiento (Oda, 2002; López-Pérez *et al.*, 2006; El-Shraiy *et al.*, 2011; Voutsela *et al.*, 2012), favorecer la tolerancia a estrés por temperaturas altas (Rivero *et al.*, 2003) y salinidad (Estañ *et al.*, 2005; San Juan-Lara *et al.*, 2015) y controlar nemátodos (Barret y Zhao, 2012). Un injerto es la unión de dos porciones de tejido vegetal vivo, de modo que crezcan y se desarrollen como una sola planta (Hartmann y Kester, 1984).

La técnica para injertar se aplica comercialmente en herbáceas como berenjena (*Solanum melongena*), chile (*Capsicum annuum*), melón (*Cucumis melo*), sandía (*Citrullus lanatus*) y pepino (*Cucumis sativus*). En el injerto se requiere que el portainjerto tenga compatibilidad anatómica con la púa (Hartmann y Kester, 1984) y que no confiera características negativas al vástago, como disminución del contenido de sólidos solubles y la firmeza de los frutos, o del rendimiento (King *et al.*, 2010).

En la actualidad, los portainjertos comerciales para jitomate se desarrollan por cruzamientos interespecíficos entre *S. lycopersicum* y *S. habrochaites* (King *et al.*, 2010). Este pariente silvestre, *S. habrochaites* Knapp & Spooner (anteriormente *L. hirsutum*), tiene su distribución geográfica en el centro de Ecuador y de Perú, en altitudes entre los 200 y 3300 m; típica-

INTRODUCTION

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most popular vegetables with the highest economic value in the world; in 2013, 177 million t were produced (FAO, 2016). The global demand for tomatoes is constantly increasing due to population growth. World consumption is 140 million t per year (FAO, 2018). In Mexico, production in 2016 was 2.8 million t and the average yield per ha increases 6% annually (FAO, 2016), due to the increment in the cultivated area with protected agriculture. Tomato is susceptible to more than 200 diseases that cause of up to 70 to 90% loss in crops (Lukyanenko, 1991; Jones, 2000).

Tomato grafting is an alternative to control soil-borne pathogens (Louws *et al.*, 2010), improving the capacity of water and nutrient absorption and increasing yield (Oda, 2002; López-Pérez *et al.*, 2006; El-Shraiy *et al.*, 2011; Voutsela *et al.*, 2012), favor tolerance to high temperature stress (Rivero *et al.*, 2003) and salinity (Estañ *et al.*, 2005; San Juan-Lara *et al.*, 2015), and control nematodes (Barret and Zhao, 2012). A graft is the union of two portions of living plant tissue, so that they grow and develop as a single plant (Hartmann and Kester, 1984).

The grafting technique is applied commercially in herbaceous species such as eggplant (*Solanum melongena*), chili (*Capsicum annuum*), melon (*Cucumis melo*), watermelon (*Citrullus lanatus*) and cucumber (*Cucumis sativus*). The graft requires that the rootstock is anatomically compatible with the scion (Hartmann and Kester, 1984) and that it does not confer negative characteristics to the shoot, such as decrease in the content of soluble solids and firmness of the fruits or the yield (King *et al.*, 2010).

Commercial rootstocks for tomatoes are developed by interspecific crossings between *S. lycopersicum* and *S. habrochaites* (King *et al.*, 2010). This wild relative, *S. habrochaites* Knapp & Spooner (formerly *L. hirsutum*), has a geographical distribution in central Ecuador and Peru, at altitudes between 200 and 3300 m; it is typically a self-incompatible species (SI), but there are self-compatible collections (*self crossing*, SC) (Peralta and Spooner, 2007).

Genetic resources such as *S. habrochaites* and other wild relatives of tomatoes are a valuable source for developing rootstocks (Venema *et al.*, 2008) that may be an alternative to reduce the high cost

mente es una especie autoincompatible (*self incompatible*, SI), pero hay recolectas autocompatibles (*self crossing*, SC) (Peralta y Spooner, 2007).

Los recursos genéticos como *S. habrochaites* y otros parientes silvestres del tomate son fuente valiosa para desarrollar portainjertos (Venema *et al.*, 2008) que puedan ser una alternativa para reducir el costo alto de la semilla de los portainjertos comerciales de tomate. El uso del injerto es limitado porque toda esta semilla es importada y el costo de la plántula injertada es superior al de una plántula convencional (Djidonou *et al.*, 2013; Rysin *et al.*, 2015). Debido a los costos altos de la semilla de tomate para injertos, el objetivo de este estudio fue evaluar recolectas de *S. habrochaites* Knapp & Spooner y de *S. pimpinellifolium* L. como portainjertos, identificar las que mejoren el rendimiento y proponerlas para producción y mejoramiento genético de portainjertos de tomate. La hipótesis fue que existen recolectas de *S. habrochaites* con capacidad de incrementar el rendimiento cuando se usen como portainjertos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimentos, material vegetal y condiciones del cultivo

El estudio incluyó dos experimentos en invernadero, con cubierta de polietileno (calibre 600; 80% de transmisión de luz), en el ciclo primavera-verano de 2015, en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados (19° 30' N, 98° 53' O y altitud de 2250 m). En el primer experimento (Exp.1) los portainjertos fueron ocho recolectas de *S. habrochaites* y dos de *S. pimpinellifolium* (con °Brix altos) del Centro de Recursos Genéticos del Tomate "C.M. Rick", de la Universidad de Davis California, EE.UU. (Cuadro 1) y los testigos comerciales 'Maxifort' y 'Multifort'. La púa fue 'El Cid', con hábito de crecimiento indeterminado y fruto tipo saladette. En el segundo experimento (Exp.2) los portainjertos fueron los mismos que en Exp.1, pero la púa fue 'Sun 7705', tipo saladette, con hábito de crecimiento indeterminado y más precoz que la púa de Exp.1. En cada experimento se incluyó como control al cultivar púa El Cid o Sun 7705, sin injertar y autoinjertado.

La siembra, en charolas de poliestireno de 128 cavidades, rellenas con el sustrato comercial *Kekkila (Kekkila®, Finlandia), incluyó una semilla por cavidad. Para homogenizar el diámetro de tallo (DT), los genotipos silvestres se sembraron 2 d antes que El Cid y Sun 7705 (púas) y los portainjertos comerciales dos días después. Durante la etapa de plántula se aplicó la solución nutritiva de Steiner (1984) al 25%. El método de empalme (Lee,

of seed of commercial tomato rootstocks. Graft use is limited because seeds are all imported and the cost of the grafted seedling is higher than that of a conventional seedling (Djidonou *et al.*, 2013; Rysin *et al.*, 2015). Due to the high costs of tomato seed for grafts, the objective of this study was to evaluate collections of *S. habrochaites* Knapp & Spooner and *S. pimpinellifolium* L. as rootstocks, identify those that improve yield, and propose them for production and genetic improvement of tomato rootstocks. The hypothesis was that there are collections of *S. habrochaites* capable of increasing yield when used as rootstocks.

MATERIALS AND METHODS

Experiments, plant material and crop conditions

This research included two experiments in a greenhouse, with polyethylene cover (600 caliber; 80% light transmission), in the spring-summer cycle of 2015, at the Montecillo Campus of the Colegio de Postgraduados (19° 30' N, 98° 53' W and 2250 m altitude). In the first experiment (Experiment 1), the rootstocks were eight collections of *S. habrochaites* and two of *S. pimpinellifolium* (with high °Brix) from the Tomato Genetic Resources Center "C.M. Rick", under the University of Davis California, USA (Table 1), and the commercial checks 'Maxifort' and 'Multifort'. The scion was 'El Cid', with a habit of indeterminate growth and saladette-like fruit. In the second experiment (Experiment 2) the rootstocks were the same as in Experiment 1, but the scion was 'Sun 7705', a saladette type, with an undetermined growth habit and earlier than the scion of Experiment 1. In each experiment, ungrafted and self-grafted scion cultivar El Cid or Sun 7705 was included as check.

Sowing made in 128-cavity polystyrene trays, filled with the commercial substrate *Kekkila (Kekkila®, Finland), included one seed per cavity. To homogenize the stem diameter (DT), wild genotypes were sown 2 d before El Cid and Sun 7705 (scions), and commercial rootstocks two days later. During the seedling stage the nutritive solution of Steiner (1984) was applied at 25%. The splicing method (Lee, 1994) was used to make the grafts 30 d after sowing (dds), the seedlings were 8.0 cm high, and the DT was between 1.8 and 2.0 mm with four fully expanded leaves. The graft lasted 10 days in a chamber at 25 °C, 90% HR and 111 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in the first 5 days, and in the next 5 d it was maintained at 28 °C, 70% HR and 148 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Velasco-Alvarado *et al.*, 2016).

Seedlings were transplanted 40 d after sowing and 10 d after grafting to black polyethylene bags, with a capacity of 12 L (40

Cuadro 1. Recolectas de genotipos silvestres utilizadas como portainjertos y su origen de colecta.**Table 1.** Wild genotype accessions used as rootstocks and their collection origin.

Accesión	Sitio de colecta	Departamento	País
<i>S. habrochaites</i>			
LA 1223	Alausi	Chimborazo	Ecuador
LA 1731	Río San Juan	Huancavelica	Perú
LA 1777	Río Casma	Ancash	Perú
LA 2158	Río Chotano	Cajamarca	Perú
LA 2157	Cementerio Caj.	Cajamarca	Perú
LA 2409	Río Miraflores	Lima	Perú
LA 2650	Ayabaca	Piura	Perú
GH08	Línea del programa CP-Genética		
<i>S. pimpinellifolium</i>			
LA 0373	Culebras # 1	Ancash	Perú
LA 1576	Manchay Alta	Lima	Perú

1994) se usó para hacer los injertos 30 días después de la siembra (dds), las plántulas tenían 8.0 cm de altura, DT entre 1.8 y 2.0 mm y cuatro hojas totalmente expandidas. El injerto duró 10 d en una cámara a 25 °C, 90% HR y $111 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en los primeros 5 d, y en los siguientes 5 d se mantuvo a 28 °C, 70% HR y $148 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Velasco-Alvarado *et al.*, 2016).

El trasplante de las plántulas se efectuó 40 dds y 10 d después de los injertos a bolsas de polietileno, color negro, con capacidad de 12 L (40 x 40 cm), casi llenas con sustrato de arenilla de roca volcánica (tezontle rojo, con granulometría aproximada de 4 mm). En cada bolsa se colocó una planta y se manejó para mantener un tallo con 10 racimos; la densidad de población fue $3.0 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$.

Los tratamientos fueron 12 en cada experimento, que resultaron de combinar las 10 recolectas silvestres y los dos testigos comerciales 'Maxifort' y 'Multifort' con el cultivar El Cid o Sun 7705 como púa. Adicionalmente, en cada experimento el cultivar púa respectivo se mantuvo sin injertar y autoinjertado. El diseño experimental fue de bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones y la unidad experimental fue de 10 plantas por repetición.

La nutrición de las plantas en su desarrollo se aseguró con la fórmula universal de Steiner (1984), cuya concentración se incrementó con la etapa fenológica: de 0 a 40 d después del trasplante (ddt) 50 % y de 41 ddt a final del ciclo 100 %. Confidor® (imidacloprid), Beleaf® (flonicamid) y Ampligo® (lambda cialotrina y clorantiraniliprol) se aplicaron: para controlar mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) y paratíroza (*Bactericera cockerelli*), Captan® (captan), Cupravit® (oxicloruro de cobre), Ridomil Gold® (metalaxil y clorotalonil) para prevenir tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y Amistar® (Azoxystrobin) para el tizón temprano (*Alternaria solani*).

x 40 cm), nearly filled with a volcanic sandstone substrate (red tezontle, with granulometry of approximately 4 mm). A plant was placed in each bag and managed to maintain a stem with 10 clusters; the population density was $3.0 \text{ plants}\cdot\text{m}^{-2}$.

There were 12 treatments in each experiment, which resulted from combining the 10 wild collections and the two commercial checks 'Maxifort' and 'Multifort' with the cultivar El Cid or Sun 7705 as a scion. Additionally, in each experiment the respective scion cultivar remained ungrafted and self-grafted. The experimental design was a randomized complete block (BCA) with three replications, and the experimental unit was 10 plants per repetition.

The nutrition of the plants during their development was assured with the universal formula of Steiner (1984), whose concentration increased with the phenological stage: 50% from 0 to 40 days after transplant (ddt) and 100% from 41 ddt to the end of the cycle. Confidor® (imidacloprid), Beleaf® (flonicamid) and Ampligo® (lambda cialotrina and chlorantraniliprol) were applied to control whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) and paratíroza (*Bactericera cockerelli*), Captan® (captan), Cupravit® (oxychloride copper), Ridomil Gold® (metalaxyl and chlorothalonil) to prevent late blight (*Phytophthora infestans*), and Amistar® (Azoxystrobin) for early blight (*Alternaria solani*).

Registered variables and statistic analysis

The days to anthesis (DF) of the first flower were registered and the days to ripening (DM) were counted, when a color change from green to red occurred in at least one fruit of the first cluster. The plant height (AP, in cm) was measured with a measure tape 100 d after transplant, from the base of the stem to the apex, and the stem diameter (DT, in mm) was measured

Variables registradas y análisis estadístico

Se contabilizaron los días a antesis (DF) de la primera flor, y los días a maduración (DM), cuando ocurrió un cambio de color de verde a rojo en al menos un fruto del primer racimo. La altura de planta (AP, en cm), a los 100 ddt se midió, con cinta métrica, de la base del tallo al ápice la altura de la planta y el diámetro DT (en mm) se midió a media altura de la planta, con un vernier digital (Mitutoyo®). El número de frutos por planta (NFP) se contabilizó, el rendimiento fue el peso total de los frutos por planta (RTO). De una muestra de cinco frutos por planta se obtuvo el peso promedio de fruto (PPF; en g) y la longitud (LF; en mm) y la anchura (AF; en mm) de fruto, la forma de fruto (FF) se obtuvo con el índice LF/AL, la firmeza del fruto (FIR) se midió con un texturómetro universal (FORCEFIVE® modelo FDV-30; Greenwich, EE. UU.), con puntal cónico de 0.8 mm, los sólidos solubles totales (SST; en °Brix) se cuantificaron con un refractómetro digital (PAL-1®, Tokio, Japón).

Los resultados se analizaron con ANDEVA, con el procedimiento PROC GLM, en un diseño de bloques completos al azar; con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) se hizo la comparación de medias. Los análisis se hicieron con el programa SAS, versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre tratamientos hubo significancia en la mayoría de las variables (Cuadro 2), excepto LF y AF en Exp.1 y AF y FF en Exp.2. Con El Cid el rendimiento promedio fue mayor (7.0 kg por planta) que con Sun 7705 (6.1 kg por planta), y se relacionó con el mayor número de frutos por planta en el primero. En promedio Sun 7705 fue 5 d más precoz para la madurez que El Cid.

Las diferencias en los promedios de rendimiento (RTO) entre plantas sin injerto y autoinjertadas (Cuadro 3) no fueron significativas ($p > 0.05$). Es decir, el injerto por sí mismo no tuvo efecto en RTO. Este resultado fue similar al reportado por Rivard y Louws (2008) y Borgognone *et al.* (2013) con las púas ‘German Johnson’ y ‘Moneymaker’. En Exp.1 el rendimiento fue de 6.2 a 7.4 kg por planta, en el que los portainjertos sobresalientes fueron LA2409, LA1223, LA2158, LA1777, LA2167 (*S. habrochaites*), LA1576 (*S. pimpinellifolium*) y los dos testigos comerciales ‘Maxifort’ y ‘Multifort’, que superaron significativamente en rendimiento de fruto ($p \leq 0.05$) a las plantas sin injerto y auto injertadas. La combinación ‘Cid’/LA2409 (7.4 kg por planta) sobresalió

at the plant’s mid-height with a digital vernier (Mitutoyo®). The number of fruits per plant (NFP) was counted, the yield was the total weight of the fruits per plant (RTO). From a sample of five fruits per plant, the average fruit weight (PPF, in g), length (LF, in mm) and width (AF, in mm) were obtained, the fruit shape (FF) was obtained with the LF/AL index, the firmness of the fruit (FIR) was measured with a universal texturometer (FORCEFIVE® model FDV-30, Greenwich, USA), with a 0.8 mm conical tip, total soluble solids (SST, in °Brix) were quantified with a digital refractometer (PAL-1®, Tokyo, Japan).

The results were analyzed with ANOVA, using the PROC GLM procedure, in a randomized complete block design and means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). The analysis were done with the SAS program, version 9.0 (SAS Institute Inc., 2002).

RESULTS AND DISCUSSION

There was significance in most of the variables (Table 2) between treatments, except LF and AF in Experiment 1 (Brenda, cambiar Exp.1 a Experiment 1, etc. en todo el manuscrito), and AF and FF in Exp.2. With El Cid, the average yield was higher (7.0 kg per plant) than with Sun 7705 (6.1 kg per plant), and it was related to the greater number of fruits per plant in the first. On average, Sun 7705 was 5 d earlier for ripeness than El Cid.

The differences in yield averages (RTO) between ungrafted and self-grafted plants (Table 3) were not significant ($p > 0.05$); that is, the graft itself had no effect on RTO. This result was similar to that reported by Rivard and Louws (2008) and Borgognone *et al.* (2013) with the ‘German Johnson’ and ‘Moneymaker’ scions. In Exp.1, the yield was 6.2 to 7.4 kg per plant, in which the outstanding rootstocks were LA2409, LA1223, LA2158, LA1777, LA2167 (*S. habrochaites*), LA1576 (*S. pimpinellifolium*) and the two commercial checks ‘Maxifort’ and ‘Multifort’, which significantly surpassed fruit yield ($p \leq 0.05$) of ungrafted and self-grafted plants. The combination ‘Cid’/LA2409 (7.4 kg per plant) stood out for improving the yield with respect to ungrafted plants (6.2 kg per plant) by 19%; the ‘Cid’/LA1223 and ‘Cid’/LA2158 combinations also stood out, as they increased the yield by 18 and 15%. The percentages of yield increase when these three accessions of *S. habrochaites* were used, were comparable with the increases by ‘Maxifort’ and ‘Multifort’, which exceeded the ungrafted check by

Cuadro 2. Cuadrados medios de tratamientos y significancia de variables de tomate injertado sobre especies silvestres y portainjertos comerciales.**Table 2.** Mean squares of treatments and significance of grafted tomato variables on wild species and commercial rootstocks.

FV	Experimento 1 ('El Cid')			Experimento 2 ('Sun 7705')		
	TRAT	CV (%)	MEDIA	TRAT	CV (%)	MEDIA
RTO	0.41	2.6	7.0	1.32	2.3	6.1
NFP	32.9	1.5	71.1	63.2	2.1	60.4
PPF	79.4	2	117.7	35.8	1.2	116.7
LF	4.4 ^{ns}	3.1	64.7	11.3	2.6	63.6
AF	2.8 ^{ns}	3	52.2	2.6 ^{ns}	2.7	52.7
FF	0.009	2.7	1.2	0.0002 ^{ns}	1.3	1.2
FIR	8.4	6.1	15.1	16.1	4.6	16.7
SST	0.1	3.6	3.8	0.21	2.9	4.2
DF	4.7	3.2	22.6	4.6	2.9	22
DM	33.1	1.4	90.7	30.7	1.7	85.3
AP	1237.9	2.7	284	2303.7	3.1	260
DT	2.6	6.2	11.8	4.2	7.4	11.6

Variables significativas ($p \leq 0.01$) excepto ^{ns}: no significativo; FV: fuente de variación, TRAT: tratamiento, CV: coeficiente de variación, RTO: rendimiento de fruto por planta (g), NFP: número de frutos por planta, PPF: peso promedio de fruto (g), LF: longitud de fruto (mm), AF: anchura de fruto (mm), FF: forma de fruto (LF/AF), FIR: firmeza (N), SST: sólidos solubles totales ("Brix), AP: altura de planta (cm), DT: diámetro de tallo (mm), DF: días a floración y DM: días a madurez ♦ Significant variables ($p \leq 0.01$) except ^{ns}: non-significant; FV: source of variation, TREAT: treatment, CV: variation coefficient, RTO: fruit yield per plant (g), NFP: number of fruits per plant, PPF: fruit average weight (g), LF: fruit length (mm), AF: fruit width (mm), FF: fruit shape (LF/AF), FIR: firmness (N), SST: total soluble solids ("Brix), AP: plant height (cm), DT: stem diameter (mm), DF: days to anthesis and DM: days to ripening.

por mejorar en 19% el rendimiento respecto a las plantas sin injerto (6.2 kg por planta); las combinaciones 'Cid'/LA1223 y 'Cid'/LA2158 también sobresalieron, ya que incrementaron el rendimiento en 18 y 15%. Los porcentajes de aumento en el rendimiento, cuando se usaron estas tres accesiones de *S. habrochaites*, fueron comparables con los incrementos por 'Maxifort' y 'Multifort', que superaron en 19 y 17 % al testigo sin injerto. Exp.1 tuvo un incremento de 18%, sobre el promedio de los mejores portainjertos, lo que representó aumento en la productividad de 1.1 kg por planta.

En Exp.2 el rendimiento fue de 5.4 hasta 7.9 kg por planta (Cuadro 3), y cinco portainjertos superaron al testigo sin injerto y autoinjerto, en ellos se incluyeron las accesiones LA2409, LA1223 y GH08 de *S. habrochaites*, LA0373 de *S. pimpinellifolium* y el testigo comercial 'Multifort'. El rendimiento máximo se obtuvo con la combinación 'Sun'/LA1223, con 7.9 kg por planta, que superó en 41% el de 'Sun

19 and 17%. Exp.1 had an increase of 18% on the average of the best rootstocks, which represented an increase in productivity of 1.1 kg per plant.

In Exp. 2, the yield was 5.4 to 7.9 kg per plant (Table 3), and five rootstocks exceeded the ungrafted and self-grafted check, they included accessions LA2409, LA1223 and GH08 of *S. habrochaites*, LA0373 of *S. Pimpinellifolium* and the commercial check 'Multifort'. The maximum yield was obtained with the combination 'Sun'/LA1223, with 7.9 kg per plant, which exceeded by 41% that of 'Sun 7705' ungrafted (5.6 kg per plant); this increase represented 2.3 kg per plant and its magnitude was similar to that obtained by Pogonyi *et al.* (2005) of 2.6 kg per plant with 'Beafort'/Lamance', being one of the highest increases with grafting. The combinations 'Sun'/LA2409, 'Sun'/GH08 and 'Sun'/LA0373 exceeded ($p \leq 0.05$) in 25, 12 and 16% the yield of ungrafted check. The commercial rootstock 'Multifort' improved yield by a percentage similar to that of

Cuadro 3. Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en tomate injertado sobre especies silvestres y portainjertos comerciales.

Table 3. Comparison of means for yield and yield components in tomato grafted on wild species and commercial rootstocks.

Portainjerto	Experimento 1 ('El Cid')			Experimento 2 ('Sun 7705')		
	RTO	NFP	PPF	RTO	NFP	PPF
Sin injerto	6.2f	75.7a	112.3e	5.6h	60.0def	115.7de
Auto-Injerto	6.5ef	75.3a	110.6e	5.8fgh	59.3def	116.0cde
LA 2409	7.4ab	73.0ab	117.3b-e	7.0b	64.7b	114.7de
GH08	6.7def	67.7def	110.8e	6.3cde	61.3bcd	116.0cde
LA 1223	7.4ab	75.0a	113.1e	7.9a	72.7a	120.0bc
LA 1731	6.9c-f	71.0bcd	116.5de	6.1def	60.3cde	113.7e
LA 2650	6.7c-f	67.0ef	114.7e	5.8e-h	60.7cd	115.3de
LA 1777	7.0a-e	70.7bcd	117.4b-e	5.4h	54.0g	115.3de
LA 2167	7.0a-e	69.3cde	117.3cde	6.0efg	59.0def	114.7de
LA 2158	7.2a-d	71.3bc	124.6a	5.7fgh	56.3fg	118.3bcd
LA 0373	6.5ef	64.7f	124.5ab	6.5c	60.3cde	125.7a
LA 1576	7.0a-e	70.7bcd	123.5a-d	5.7fgh	56.7efg	121.0b
'MAXIFORT'	7.4a	70.7bcd	123.8abc	5.6gh	56.3fg	113.0e
'MULTIFORT'	7.3abc	72.7abc	113.6e	6.5cd	64.0bc	114.3de
DSH	0.56	3.3	7.1	0.43	3.7	4.1

Medias con letra distinta en una hilera indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: diferencia significativa honesta; RTO: rendimiento de fruto por planta (kg-por planta), NFP: número de frutos por planta, y PPF: peso promedio de fruto (g) ♦ Means with different letter in columns indicate statistical differences (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: honest significant difference; RTO: fruit yield per plant (kg-per plant), NFP: number of fruits per plant, and PPF: fruit average weight (g).

7705' sin injerto (5.6 kg por planta); este incremento representó 2.3 kg por planta y su magnitud fue similar a la que obtuvieron Pogonyi *et al.* (2005) de 2.6 kg por planta con 'Beafort'/'Lamance', como uno de los incrementos más altos con injerto. Las combinaciones 'Sun'/LA2409, 'Sun'/GH08 y 'Sun'/LA0373 superaron ($p \leq 0.05$) en 25, 12 y 16% el rendimiento del testigo sin injerto. El portainjerto comercial 'Multifort' mejoró el rendimiento en un porcentaje parecido al del Exp.1 (16%). Esto indicó la importancia del genotipo como potencial para el uso de portainjertos, para no limitarse a *S. habrochaites*, de uso común en cruzamientos interespecíficos para el desarrollo de portainjertos (King *et al.*, 2010).

El incremento en el rendimiento se ha observado en plantas injertadas y en condiciones diversas de crecimiento (Ibrahim *et al.*, 2001; Peil y Gálvez, 2004; Khah *et al.*, 2006; Al-Harbi *et al.*, 2016). Ese aumento se atribuye a los beneficios del portainjerto, como mayor absorción y efectos en la distribución de nutrientes (Velasco-Alvarado *et al.*, 2016), desarrollo abundante y tolerancia a enfermedades de

Exp. 1 (16%). This indicated the importance of the genotype as a potential one in the use of rootstocks, and not be limited to *S. habrochaites*, commonly used in interspecific crossings for the development of rootstocks (King *et al.*, 2010).

The increase in yield has been observed in grafted plants and under diverse growth conditions (Ibrahim *et al.*, 2001; Peil and Gálvez, 2004; Khah *et al.*, 2006; Al-Harbi *et al.*, 2016). This increase is attributed to the benefits of the rootstock, such as a greater absorption and effects on the distribution of nutrients (Velasco-Alvarado *et al.*, 2016), and abundant development and tolerance to root diseases (Oda, 2002; Bletsos *et al.*, 2003; Oda *et al.*, 2003). In both experiments of this study, there were also rootstocks with no significant effects on fruit yield. This matched the results of Kacjan and Osvald (2004) and Godoy *et al.* (2009); these authors used the combination 'Gironda'/'Maxifort' and 'Monroe'/'Beaufort'.

The rootstocks that maximized yield in both experiments were the wild LA2409, LA1223 and the commercial 'Multifort'. The two wild ones increased

la raíz (Oda, 2002; Bletsos *et al.*, 2003; Oda *et al.*, 2003). En ambos experimentos de este estudio también existieron portainjertos con efectos no significativos en el rendimiento de fruto. Esto coincidió con los resultados de Kacjan y Osvald (2004) y Godoy *et al.* (2009); estos autores usaron la combinación 'Gironda'/'Maxifort' y 'Monroe'/'Beaufort'.

Los portainjertos que maximizaron el rendimiento en ambos experimentos fueron los silvestres LA2409, LA1223 y el comercial 'Multifort'. Los dos silvestres incrementaron en promedio 1.1 y 1.8 kg por planta con 'El Cid' y 'Sun 7705', respectivamente. Estos valores fueron superiores a los que se obtuvieron con el cv. comercial Multifort, en 1.0 y 0.89 kg por planta.

En NFP y PPF se observaron diferencias significativas con y sin injerto en ambos experimentos. El comportamiento similar se obtuvo en berenjena, cultivar 'Tsakoniki', injertado sobre la especie silvestre *S. torvum* (Bletsos *et al.*, 2003). En Exp.1 PPF se correlacionó positivamente ($r=0.35$) con el aumento del rendimiento en los mejores portainjertos, LA2409, LA1223, LA2158 y en los dos testigos comerciales; no obstante, el carácter significativo se observó únicamente con los dos testigos comerciales y LA2158. En Exp.2 NFP ($r=0.92$) en los portainjertos LA2409, LA2409 y 'Multifort', y PPF ($r=0.3$) en el portainjerto LA0373 se correlacionaron positivamente. Incrementos en el número de frutos se han reportado con las combinaciones 'Belle'/'Beaufort' (Kacjan y Osvald, 2004) y 'Lamance'/'Beaufort' (Pogonyi *et al.*, 2005), y en el primer caso también observaron menos frutos por planta en la combinación 'Monroe'/'Beaufort'.

La interacción de algunos portainjertos mostró aumento del rendimiento con una púa particular y con la otra el efecto fue nulo o negativo. Esta interacción de los portainjertos mostró porcentajes altos de incremento del rendimiento de fruto (Figura 1). El caso más evidente fue la recolecta LA1777, que en combinación con 'El Cid' ('Cid'/LA1777) mejoró en 12% el rendimiento; pero como portainjerto de 'Sun 7705' ('Sun'/LA1777) tuvo un efecto negativo, con disminución de 3% en la productividad con respecto al testigo sin injerto. El comportamiento similar se observó con 'Maxifort', LA2158 y LA1576, que presentaron incrementos de 19, 15 y 13% como portainjertos de El Cid, lo que fue opuesto a los aumentos reducidos que se obtuvieron con Sun 7705.

on average 1.1 and 1.8 kg per plant with 'El Cid' and 'Sun 7705', respectively. These values were higher than those obtained with the commercial rootstock Multifort, at 1.0 and 0.89 kg per plant.

In NFP and PPF, significant differences were observed with and without grafting in both experiments. Similar behavior was obtained in eggplant, cultivar 'Tsakoniki', grafted on the wild species *S. torvum* (Bletsos *et al.*, 2003). In Exp.1, PPF was positively correlated ($r=0.35$) with yield increase in the best rootstocks, LA2409, LA1223, LA2158 and in the two commercial checks; however, the significance was observed only with the two commercial checks and LA2158. In Exp. 2, NFP ($r=0.92$) in the rootstocks LA2409, LA2409 and 'Multifort', and PPF ($r=0.3$) in the rootstock LA0373 were positively correlated. Increases in the number of fruits have been reported with the combinations 'Belle'/'Beaufort' (Kacjan and Osvald, 2004) and 'Lamance'/'Beaufort' (Pogonyi *et al.*, 2005), and in the first case they also observed less fruits per plant in the 'Monroe'/'Beaufort' combination.

The interaction of some rootstocks showed a yield increase with a particular scions and with the other, the effect was void or negative. This interaction of the rootstocks showed high percentages of increased fruit yield (Figure 1). The most evident case was the collection LA1777, which in combination with 'El Cid' ('Cid'/LA1777) improved the yield by 12%; but as a rootstock of 'Sun 7705' ('Sun'/LA1777) it had a negative effect, with a 3% decrease in productivity compared to the ungrafted check. Similar behavior was observed with 'Maxifort', LA2158 and LA1576, which was contrary to the reduced increases obtained with Sun 7705.

In the genetic improvement of rootstocks, the release of new materials is delayed due to the difficulty in evaluating the interaction of the rootstock with the scions and the environment (GxGxE) (King *et al.*, 2010). In this study it was observed that the rootstock 'Multifort' had similar increases of 16 and 16.7% in both experiments (Figure 1). Thus, this rootstock had a greater stability and consistent effect with the two genotypes used as scions. Although the effect of wild rootstocks with higher increase in yield (LA1223 and LA2409) was positive in both scions, the interaction was identified by reducing the magnitude of the increase with 'Sun 7705'. This situation was inconvenient, because stable rootstocks

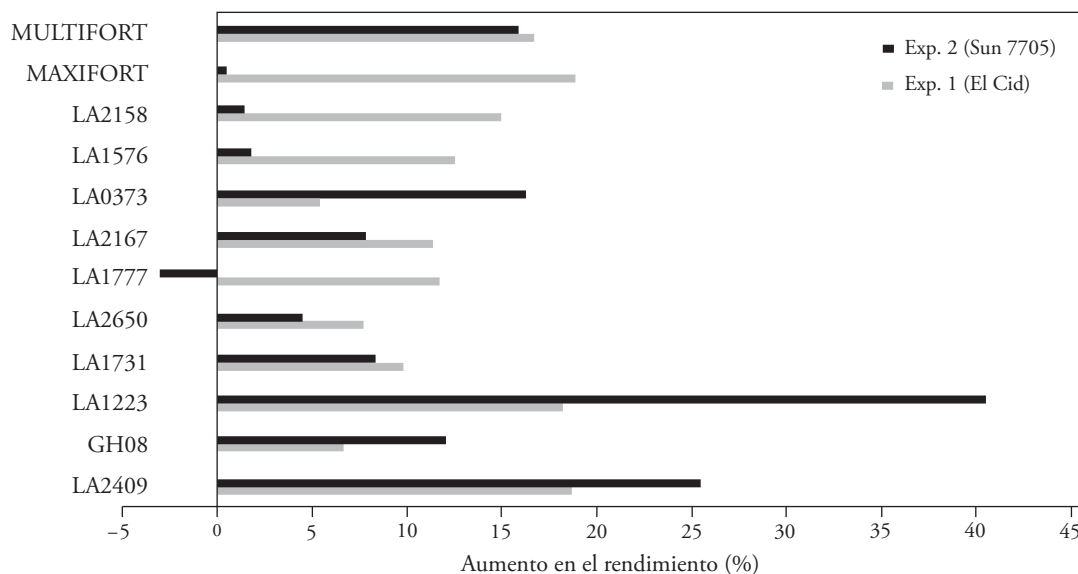


Figura 1. Incremento del rendimiento en tomate injertado con portainjertos silvestres y comerciales. Exp.1: como púa 'El cid'; Exp.2: como púa 'Sun 7705'.

Figure 1. Yield increase in tomato grafted with wild and commercial rootstocks. Exp. 1: 'El Cid' as scions; Exp. 2: 'Sun 7705' as scion.

En el mejoramiento genético de portainjertos, la liberación de nuevos materiales se retrasa debido a la dificultad en la evaluación de la interacción del portainjerto con la púa y el ambiente (GxGxE) (King *et al.*, 2010). En el presente estudio se observó que el portainjerto 'Multifort' tuvo incrementos de 16 y 16.7% similares en ambos experimentos (Figura 1). Así, este portainjerto presentó estabilidad mayor y efecto consistente con los dos genotipos usados como púas. Aunque el efecto de los portainjertos silvestres con incremento mayor en el rendimiento (LA1223 y LA2409) fue positivo en ambas púas, la interacción se identificó al reducirse la magnitud del incremento con 'Sun 7705'. Esta situación representó inconveniente, pues se requieren portainjertos de efectos estables a través de los genotipos usados como púas y de los ambientes.

Variables agronómicas y de calidad de fruto

Los portainjertos en ambos experimentos no tuvieron efecto en LF y AF, ya que todas las combinaciones púa/portainjerto fueron estadísticamente iguales ($p > 0.05$) al testigo sin injerto (Cuadro 4 y 5). La recolecta de *S. pimpinellifolium* LA1576, con FF

are required through the genotypes used as scions and the environments.

Agronomic and fruit quality variables

The rootstocks in both experiments had no effect on LF and AF, since all the scion/rootstock combinations were statistically equal ($p > 0.05$) to the ungrafted check (Tables 4 and 5). The collection of *S. pimpinellifolium* LA1576, with FF of 1.36 (Table 4), significantly modified FF of 'El Cid' (Exp. 1), although this effect was not observed in Exp.2, since all treatments were the same in FF.

In both experiments, the effect of some rootstocks in FIR was observed. Given the graft affects the days to flowering and harvest, the self-grafted check was taken as a reference instead of the ungrafted plants. In Exp. 1, collections LA2409, GH08, LA2167 and LA2158 of *S. habrochaites*, LA1576 of *S. pimpinellifolium* and the rootstock 'Multifort' reduced fruit firmness; the latter had the highest negative effect with a 34% reduction compared to the self-grafted check (Table 4).

In Exp. 2, with Sun 7705, the LA0373 and LA1576 (*S. pimpinellifolium*) collections improved

de 1.36 (Cuadro 4), modificó significativamente FF de 'El Cid' (Exp.1), aunque este efecto no se observó en Exp.2, ya que todos los tratamientos fueron iguales en FF.

En ambos experimentos se observó efecto de algunos portainjertos en FIR. Dado que el injerto afecta los días para floración y cosecha, el testigo autoinjerto se tomó como referencia en lugar de las plantas sin injerto. En Exp.1 las recolectas LA2409, GH08, LA2167 y LA2158 de *S. habrochaites*, LA1576 de *S. pimpinellifolium* y el portainjerto 'Multifort' redujeron la firmeza de fruto; este último tuvo el efecto negativo mayor con 34% de reducción comparado con el testigo autoinjertado (Cuadro 4).

En Exp.2, con Sun 7705, las recolectas LA0373 y LA1576 (*S. pimpinellifolium*), mejoraron FIR en 18% y en la mayoría de los portainjertos fue estadísticamente igual a la del testigo autoinjertado (Cuadro 5), excepto en los portainjertos LA1223, LA2158 y 'Maxifort', que la redujeron 15% en promedio. El incremento de la firmeza de fruto con plantas injertadas se ha reportado también en otras hortalizas, como sandía (Huitrón-Ramírez *et al.*, 2009). En

FIR by 18% and in most of the rootstocks it was statistically equal to that of the self-grafted check (Table 5), except in rootstocks LA1223, LA2158 and 'Maxifort', which reduced it by 15% on average. The increase in fruit firmness with grafted plants was reported in other vegetables, such as watermelon (Huitrón-Ramírez *et al.*, 2009). In regards to tomato, there is no consensus in previous research on the effect of the rootstock in FIR; Romano and Paratore (2001) and Khah *et al.* (2006) did not observe any effect.

In both experiments, the effect of most rootstocks was not significant on the content of SST, although some positive and negative effects were observed. The rootstocks LA1223, LA2158 and 'Maxifort' in Exp. 1 and LA1223 and 'Multifort' in Exp. 2 reduced the SST by 13 and 11%, on average, with respect to the ungrafted and self-grafted checks. The accession LA1576 increased the SST by 12% in the combination 'Sun'/LA1576. In this regard, most reports indicate that the content of SST tends to decrease in grafted plants (Davis *et al.*, 2008). Although, the possibility of increasing SST exists

Cuadro 4. Comparación de medias para variables del cultivar de tomate 'El Cid' injertado sobre especies silvestres y portainjertos comerciales.

Table 4. Comparison of means for variables of tomato cultivar 'El Cid' grafted on wild species and commercial rootstocks.

Portainjerto	LF	AF	FF	FIR	SST	DF	DM	AP	DT
Sin injerto	64.8a	54.4a	1.2b	16.8ab	4.0ab	20.0d	88.7def	305a	13.1a
Auto-Injerto	65.0a	53.2a	1.2b	17.8a	4.0ab	25.3a	97.3a	294abc	13.1a
LA2409	64.8a	52.3a	1.2b	14.6bcd	3.9abc	22.3bc	90.7cde	303a	13.3a
GH08	62.2a	51.2a	1.2b	14.3b-e	3.7a-d	22.0bcd	92.7bc	306a	12.4ab
LA1223	63.5a	51.3a	1.2b	15.1a-d	3.4d	21.3cd	91.3b-e	300ab	12.0ab
LA1731	64.5a	52.4a	1.2b	16.5abc	3.7a-d	23.3abc	93.7ab	288a-d	12.6ab
LA2650	64.6a	51.8a	1.2b	16.5abc	3.6bcd	22.3bc	87.7ef	266def	10.6b
LA1777	64.5a	51.7a	1.2b	15.1a-d	3.9abc	22.0bcd	85.3f	263ef	10.4b
LA2167	67.2a	52.3a	1.3ab	13.8cde	4.0ab	22.7bc	85.3f	250f	11.3ab
LA0373	66.0a	53.0a	1.2b	15.2a-d	4.0ab	24.0ab	89.7cde	275cde	11.3ab
LA1576	65.4a	51.0a	1.3a	13.6de	4.1a	23.7ab	89.7cde	249f	11.3ab
LA2158	65.0a	51.9a	1.3ab	13.3de	3.5cd	22.3bc	93.0bc	280b-e	11.1ab
'MAXIF'	65.7a	53.2a	1.2b	16.7ab	3.5cd	22.7bc	91.7bcd	287a-d	11.6ab
'MULTIF'	63.5a	51.7a	1.2b	11.7e	3.6bcd	22.7bc	93.3bc	306a	11.6ab
DSH	5.9	4.7	0.11	2.79	0.4	2.18	3.79	23.3	2.2

Medias con letra distinta en una hilera indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: diferencia significativa honesta; LF: longitud de fruto (mm), AF: anchura de fruto (mm), FF: forma de fruto, FIR: firmeza (N), SST: sólidos solubles totales (°Brix), DF: días a floración, DM: días a madurez, AP: altura de planta (cm), y DT: diámetro de tallo (mm) ♦ Means with different letter in columns indicate statistical difference (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: honest significant difference; LF: fruit length (mm), AF: fruit width (mm), FF: fruit shape, FIR: firmness (N), SST: total soluble solids (°Brix), DF: days to anthesis, DM: days to ripening, AP: plant height (cm), and DT: stem diameter (mm).

Cuadro 5. Comparación de medias para variables de calidad del cultivar de tomate ‘Sun 7705’ injertado sobre especies silvestres y portainjertos comerciales.

Table 5. Comparison of means for quality variables of tomato cultivar ‘Sun 7705’ grafted on wild species and commercial rootstocks.

PORTAINJ.	LF	AF	FF	FIR	SST	DF	DM	AP	DT
SIN-INJ.	63.6a-d	53.7a	1.2a	21.1a	4.3b	18.3c	87.3b	281b	12.4abc
AUTO-INJ.	63.5a-d	54.0a	1.2a	16.9cd	4.2b	22.6ab	87.0bc	266bc	12.6ab
LA2409	66.4ab	52.5a	1.2a	16.6cde	4.3b	22.0ab	83.7bc	289ab	12.5abc
GH08	62.0a-d	52.4a	1.2a	15.8def	4.2b	21.7ab	84.0bc	290ab	12.8ab
LA1223	65.5abc	54.4 ^a	1.2a	14.5fe	3.6d	23.3a	95.0a	308a	13.8a
LA1731	61.8bcd	52.6a	1.2a	18.6bc	4.3b	22.3ab	86.0bc	275b	11.8a-d
LA2650	60.3d	51.9a	1.2a	15.0def	4.2b	23.0a	85.3bc	245cd	11.2a-d
LA1777	63.6a-d	51.7a	1.2a	16.5c-f	4.3b	21.7ab	82.7c	242de	10.6bcd
LA2167	64.3a-d	52.9a	1.2a	15.1def	4.4ab	22.0ab	82.7c	234de	9.9cd
LA0373	66.8a	53.4a	1.2a	20.2ab	4.4ab	22.7ab	83.7bc	225de	11.5a-d
LA1576	64.0a-d	52.1a	1.2a	19.8ab	4.7a	22.7ab	83.3bc	219e	9.6d
LA2158	64.4a-d	53.5a	1.2a	14.2f	4.2b	22.0ab	84.3bc	237de	10.6bcd
‘MAXIFORT’	62.2a-d	51.2a	1.2a	14.3f	4.1b	21.0b	83.3bc	248dc	11.4a-d
‘MULTIFORT’	61.1cd	51.9a	1.2a	15.1def	3.8dc	23.0a	86.7bc	281b	12.0a-d
DSH	4.9	4.3	0.05	2.3	0.37	1.9	4.3	24.1	2.6

Medias con letra distinta en una hilera indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$), DSH: diferencia significativa honesta; LF: largo de fruto (mm), AF: anchura de fruto (mm), FF: forma de fruto, FIR: firmeza (N), SST: sólidos solubles totales (°Brix), DF: días a floración, DM: días a madurez, AP: altura de planta (cm), y DT: diámetro de tallo (mm) ♦ Means with different letter in columns indicate statistical differences (Tukey, $p \leq 0.05$), DSH: honest significant difference; LF: fruit length (mm), AF: fruit width (mm), FF: fruit shape, FIR: firmness (N), SST: total soluble solids (°Brix), DF: days to anthesis, DM: days to ripening, AP: plant height (cm), and DT: stem diameter (mm).

tomate no hay consenso en investigaciones anteriores en el efecto del portainjerto en FIR; Romano y Paratore (2001) y Khah *et al.* (2006) no observaron algún efecto.

En ambos experimentos, el efecto de la mayoría de los portainjertos no fue significativo sobre el contenido de SST, aunque se observaron algunos efectos positivos y negativos. Los portainjertos LA1223, LA2158 y ‘Maxifort’ en el Exp.1 y LA1223 y ‘Multifort’ en el Exp.2 redujeron los SST en 13 y 11%, en promedio, con respecto a los testigos sin injerto y autoinjertado. La accesión LA1576 incrementó 12% los SST en la combinación ‘Sun’/LA1576. Al respecto, la mayoría de los reportes señalan que el contenido de SST tiende a disminuir en plantas injertadas (Davis *et al.*, 2008). Aunque, la posibilidad de incrementar los SST existe (Flores *et al.*, 2010), como sucedió con el portainjerto LA1576 en este estudio.

El injerto tiene efectos en la precocidad de la planta, debido al retraso del crecimiento inicial por el restablecimiento vascular en el punto de unión del injerto y por la alteración fitohormonal que el portainjerto puede provocar (Davis *et al.*, 2008; Aloni *et al.*, 2010). Las plantas sin injertar en ambos experimentos en

(Flores *et al.*, 2010), as happened with the rootstock LA1576 in this study.

The graft has effects on the earliness of the plant, due to the delay of the initial growth caused by vascular restoration at the point of graft attachment and due to the phytohormonal alteration that the rootstock can cause (Davis *et al.*, 2008; Aloni *et al.*, 2010). The ungrafted plants in both experiments in this study were early ($p \leq 0.05$) in flowering stage (DF) compared to most of the rootstock/scion combinations, although on average the grafted plants only increased 3 and 2 d with ‘El Cid’ and ‘Sun 7705’ (Table 4 and 5). In Exp.1, combinations were also developed (‘Cid’/GH08, LA1223 and LA1777) that were early as the ungrafted check. This indicated the rapid recovery of the grafting process and the growth restart in those combinations. The similar average difference between plants with and without graft in DF retained DM and correlated positively ($r=0.45$); however, the collections LA1777 and LA2167 had the lowest values in Exp. 1, without statistical difference with the ungrafted treatment, in Exp. 2 they were earlier ($p \leq 0.05$) than the ungrafted plants, this is a previously unreported effect in tomato.

este estudio fueron precoces ($p \leq 0.05$) en la floración (DF) respecto de la mayoría de las combinaciones portainjerto/púa, aunque en promedio las plantas injertadas solo incrementaron 3 y 2 d con 'El Cid' y 'Sun 7705' (Cuadro 4 y 5). En Exp.1 también se desarrollaron combinaciones ('Cid'/GH08, LA1223 y LA1777) que fueron precoces como el testigo sin injerto. Esto indicó la recuperación rápida del proceso de injerto y el reinicio del crecimiento en esas combinaciones. La diferencia promedio similar entre plantas con y sin injerto en DF conservó DM y se correlacionaron positivamente ($r=0.45$); sin embargo, las recolectas LA1777 y LA2167 tuvieron los valores menores en Exp.1, sin diferencia estadística con el tratamiento sin injerto, en Exp. 2 fueron más precoces ($p \leq 0.05$) que las plantas sin injertar, este es un efecto no reportado previamente en tomate.

En el Exp.1 AP osciló entre 249 y 306 cm y ninguna combinación superó a 'El Cid' sin injertar o el testigo autoinjertado (Cuadro 4). Los portainjertos LA2650, LA1777, LA2167, LA0373, LA1576 y LA2158, redujeron AP ($p \leq 0.05$), y 'Cid'/LA1576 fue la combinación que produjo la reducción mayor en altura, 56 cm (18%). LA1576 junto con LA2650 y LA1777 fueron los únicos portainjertos en reducir DT ($p \leq 0.05$). Un comportamiento similar se observó en Exp.2. La combinación con LA1576 ('Sun'/LA1576) redujo la altura en mayor proporción (62 cm), esto fue 22% menos que el testigo sin injerto, y fue la única que redujo DT ($p \leq 0.05$). Como resultados del uso de portainjertos en tomate están el aumento en el crecimiento vegetativo y la acumulación de biomasa (Velasco *et al.*, 2016), con lo que se puede aumentar el rendimiento. En este estudio AP y DT se correlacionaron positivamente ($r=0.58$ y $r=0.53$) con el rendimiento; así, los portainjertos que generaron crecimiento vegetativo mayor a la púa son también los que incrementaron el rendimiento.

CONCLUSIONES

Los parientes silvestres del tomate cultivado, como *S. habrochaites* y *S. pimpinellifolium*, son germoplasma útil para el desarrollo de portainjertos, incluso para cultivo directo. Injertos interespecíficos se identificaron, los cuales superaron en rendimiento a las plantas sin injertar y a los portainjertos comerciales; por lo tanto, pueden usarse por los productores en un plazo corto.

In Exp. 1, AP ranged between 249 and 306 cm and no combination exceeded ungrafted 'El Cid' or the self-grafted check (Table 4). The rootstocks LA2650, LA1777, LA2167, LA0373, LA1576 and LA2158 reduced AP ($p \leq 0.05$), and 'Cid'/LA1576 was the combination that produced the highest reduction in height, 56 cm (18%). LA1576 together with LA2650 and LA1777 were the only rootstocks that reduce DT ($p \leq 0.05$). A similar behavior was observed in Exp.2. The combination with LA1576 ('Sun'/LA1576) reduced the height in greater proportion (62 cm), this was 22% less than the ungrafted check, and was the only one that reduced DT ($p \leq 0.05$). Among the results of the use of rootstocks in tomato are the increase in the vegetative growth and the accumulation of biomass (Velasco *et al.*, 2016), with which the yield can be increased. In this study, AP and DT were positively correlated ($r = 0.58$ and $r = 0.53$) with yield; thus, the rootstocks that generated vegetative growth higher than the scion were also those that increased the yield.

CONCLUSIONS

Wild relatives of cultivated tomatoes, such as *S. habrochaites* and *S. pimpinellifolium*, are a useful germplasm for the development of rootstocks, even for direct cultivation. Interspecific grafts were identified, which surpassed ungrafted plants and commercial rootstocks; therefore, they can be used by tomato producers in a short time.

Some rootstocks stand out on both scions, such as LA2409 and LA1223 which improve yield.

Other fruit quality characteristics are positively or negatively affected depending on the rootstock/scion combination. LA1576 is identified as a rootstock that can improve the content of SST.

The scion-rootstock interaction through the effect on growth, yield and fruit quality allows wild genotypes to be selected for use as rootstocks.

—End of the English version—

-----*

Algunos portainjertos sobresalientes en ambas púas, como LA2409 y LA1223 mejoran el rendimiento.

Otras características de calidad de fruto se afectan positiva o negativamente dependiendo de la combinación portainjerto/púa. La recolecta LA1576 se identificó como portainjerto que puede mejorar el contenido de SST.

La interacción púa-portainjerto a través del efecto en el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto permite seleccionar genotipos silvestres para uso como portainjertos.

LITERATURA CITADA

- Aloni, B., R. Cohen, L. Karni, H. Aktas, and M. Edelstein. 2010. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. *Sci. Hort.* 127: 119–126.
- Al-Harbi, A., A. Hejazi, and A. Al-Omran. 2016. Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersicon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. *Saudi J. Biol. Sci.* 24: 1274–1280.
- Barrett C E, and X. Zhao. 2012. Grafting for root-knot nematode control and yield improvement in organic heirloom tomato production. *HortScience* 47: 614–620.
- Bletsos, F., C. Thanassouloupoulos, and D. Roupakias. 2003. Effect of grafting on growth, yield, and Verticillium wilt of eggplant. *HortScience* 38: 183–186.
- Borgognone, D., G. Colla, Y. Roupahel, M. Cardarelli, E. Rea, and D. Zchwarz. 2013. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Sci. Hort.* 149: 61–69.
- Davis, A. R., P. Perkins-Veazie, R. Hassel, A. Levi, S. R. King, and X. Zhang. 2008. Grafting effects on vegetables quality. *Hortscience* 43: 1670–1672.
- Djidonou, D., Z. Gao, and X. Zhao. 2013. Economic analysis of grafted tomato production in sandy soils in North Florida. *HortTechnology* 23: 613–621.
- El-Shraiy, A. M., M. A. Mostafa, S. A. Zaghlool, and S. A. M. Shehata. 2011. Alleviation of salt injury of cucumber plant by grafting onto salt tolerance rootstock. *Aus. J. Bas. Appl. Sci.* 5: 1414–1423.
- Estañ, M. T., M. M. Martínez-Rodríguez, F. Perez-Alfoncea, T. J. Flowers, and C. Bolarin. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *J. Exp. Bot.* 56: 703–712.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016). <http://www.fao.org/statistics/en/> (Consulta: enero 2015)
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016) <http://www.fao.org/statistics/en/> (Consulta: junio 2018)
- Flores, B. F., P. Sanchez-Bel, M. T. Estañ, M. M. Martinez-Rodriguez, E. Moyano, B. Morales, J. F. Campos, J. O. Garcia-Abellan, M. I. Egea, N. Fernandez-Garcia, F. Romojaro, and M. C. Bolarin. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Sci. Hort.* 126: 211–217.
- Godoy H., H., J. Z. Castellanos R., G. G. Alcántar, V. M. Sandoval, y J. J. Muños R. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoam.* 27: 1–11.
- Hartman, H. T., and D. E. Kester. 1984. Propagación de Plantas. Continental. México. 915 pp.
- Huitrón-Ramírez, M. V., M. Ricárdez-Salinas, and F. Camacho-Ferre. 2009. Influence of Grafted Watermelon Plant Density on Yield and Quality in Soil Infested with Melon Necrotic Spot Virus. *Hortscience* 44: 1838–1841.
- Ibrahim, M., M. K. Munira, M. S. Kabir, A. K. M. S. Islam, and M. M. U. Miah. 2001. Seed germination and graft compatibility of wild *Solanum* as rootstock of tomato. *J. Biol. Sci.* 1: 701–703.
- Jones Jr J B (2000) Tomato Plant Culture, in the Field, Greenhouse and Home Garden. CRC Press. Florida, USA. 199 p.
- Kacjan, N. M., and J. Osvald. 2004. The influence of grafting on yield of two tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a plastic house. *Acta Agric. Slov.* 83: 243–249.
- Khah, E. M., E. Kakava, A. Mavromatis, D. Chachalis, and C. Goulas. 2006. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J. Appl. Hort.* 8: 3–7.
- King, S. R., A. R. Davis, X. Zhang, and K. Crosby. 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Sci. Hort.* 127: 106–111.
- Lee, J. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience* 29: 235–239.
- López-Pérez, J. A., M. L. Strange, I. Kaloshian, and A. T. Ploeg. 2006. Differential response of Mi gene-resistant tomato rootstocks to root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). *Crop Protec.* 25: 382–388.
- Louws, F. J., C. L. Rivard, and C. Kubota. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Sci. Hort.* 127: 127–146.
- Lukyanenko, A. N. 1991. Disease resistance in tomato. In: Kallou G. (ed.), Genetic improvement of tomato. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp. 99–119
- Oda, M. 2002. Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Grad. School Agric. Biol. Sci. Osaka Prefecture University* 54: 49–72.
- Oda, M., M. Islam, H. Ikeda, and H. Furukawa. 2003. Initiation and development of flower trusses affected by acclimatizing temperature in grafted tomato plugs. *Environ. Control Biol.* 41:133–139.
- Peil, R. M. N., and J. L. Gálvez. 2004. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Hort. Bras.* 22: 265–270.
- Peralta, I. E., and D. M. Spooner. 2007. History, Origen and Early Cultivation of Tomato, Solanaceae. In: Razdan M. K., and A. K. Matto (eds.), Genetic Improvement of Solanaceous Crops, Vol. 2: Tomato. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, USA, pp: 1–24.
- Pogonyi, A., Z. Pék, L. Helyes, and A. Lugasi. 2005. Effect of grafting on the tomato's yield, quality and main fruit components in spring forcing. *Acta Aliment.* 34: 453–462.
- Rivard, C. L. and F. Louws J. 2008. Grafting to manage soilborne diseases in heirloom tomato production. *HortScience* 43: 2104–2111.
- Rivero, R. M., J. M. Ruiz, and L. Romero. 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food Agric. Environ.* 1: 70–74.
- Romano, D., and A. Paratore. 2001. Effects of grafting on tomato and eggplant. *Acta Hort.* 559: 149–153.

- Rysin, O., C. Rivard, and F. Louws J. 2015. Is vegetable grafting economically viable in the United States: evidence from four different tomato production systems. *Acta Hort.* 1086, 79-86.
- Sanjuan-Lara, F., V.P. Ramírez, G.P. Sánchez, V.M. Sandoval, M.M. Livera, R.J.C. Carrillo, y S.C. Perales. 2015. Tolerancia de líneas nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la salinidad con NaCl. *Interciencia* 40: 704-709.
- SAS Institute, Inc. 2002. User's Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.
- Steiner, A. A. 1984. The Universal Nutrient Solution. *In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650.
- Velasco-Alvarado, M. J., R. Castro-Brindis, A. M. Castillo-González, E. Avitia-Garcia, J. Sahagún-Castellanos, y R. Lobato-Ortiz. 2016. Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado. *Interciencia* 41: 703-708.
- Venema, J. H., B. E. Dijk, J. M. Bax, P. R. van Hasselt, and J. T. M. Elzenga. 2008. Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 63: 359-367.
- Voutsela, S., G. Yarsi, S. A. Petropoulos, and E. Khan. 2012. The effect of grafting of five different rootstocks on plant growth and yield of tomato plant cultivated outdoors and indoors under salinity stress. *Afr. J. Agric. Res.* 7: 5553-5557.