

COMPOSICIÓN MINERAL, BIOMASA Y RENDIMIENTO EN TOMATE

(*Solanum lycopersicum* L.) INJERTADO

Mario de J. Velasco-Alvarado, Rogelio Castro-Brindis, Ana María Castillo-González, Edilberto Avitia-García, Jaime Sahagún-Castellanos y Ricardo Lobato-Ortiz

RESUMEN

La técnica de injerto en la producción de tomate se ha popularizado en varios países en años recientes, como una alternativa para el control de enfermedades del suelo y nemátodos, además de inducir tolerancia a estreses debidos a factores abióticos. Se realizó un estudio en invernadero, donde se evaluó el efecto del portainjerto en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), mediante la medición de biomasa, rendimiento de fruto y contenido de N, P, K, Ca y Mg. Se utilizó como portainjerto al híbrido comercial Multifort (*Solanum lycopersicum* × *S. habrochaites*) y como púa o esqueje *El Cid*, un híbrido con fruto tipo saladette. Se establecieron plantas injertadas y no injertadas dirigidas a uno y dos tallos, usando un diseño experimen-

tal de bloques completos al azar. Los resultados indicaron un incremento de biomasa en plantas injertadas, hasta de 36% en aquellas dirigidas a doble tallo. Se detectó una acumulación mayor de N, K y Ca en plantas injertadas; en plantas con dos tallos el aumento significativo fue de 46; 59,4 y 65,5% de N, K, Ca, respectivamente, comparado con plantas sin injertar a dos tallos. El rendimiento de fruto se incrementó significativamente en plantas injertadas con uno y dos tallos, hasta en 0,93 y 0,79kg/planta, lo que representó un incremento de 12,9 y 6,6% respectivamente. Se concluye que el tomate injertado con Multifort/*El Cid* modificó la composición mineral y mejoró el rendimiento y la acumulación de biomasa.

Introducción

El injerto se define como la unión de dos porciones de tejido vegetal vivo de modo que se unan, crezcan y se desarrollen como una sola planta (Hartman y Kester, 1984). Esta técnica, aunque más estudiada en especies frutales, se ha popularizado en los últimos años en hortalizas, principalmente tomate, sandía (*Citrullus lanatus* Thunb), melón (*Cucumis melo* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.) (Pogonyi *et al.*, 2005). En hortalizas se empleó por primera vez para injertar sandía sobre calabaza (*Lagenaria siceraria* Molina) en Corea y Japón en 1914, a fin de reducir la incidencia de *Fusarium* (Lee *et al.*, 1998; Oda, 2002).

El uso del injerto en la producción de tomate se ha implementado en varios países en años recientes, como una alternativa para el control de enfermedades del suelo y nemátodos; además de inducir tolerancia a estreses por factores abióticos que representan una limitante en su producción (Oda, 2002; Guan *et al.*, 2012). Por ejemplo, en 1992 se injertaron 337 y 651 millones de plántulas en Corea y Japón, respectivamente (Lee, 1994; Lee y Oda, 2003; Kobayashi, 2005); en 2002 se reportaron 40 millones de plántulas injertadas en EEUU, mientras que en México se cultivaron 500ha con plántula injertada (Kubota *et al.*, 2008).

La técnica adquirió mayor importancia con las restric-

ciones del uso de bromuro de metilo en 2005 en países desarrollados, determinado en el Protocolo de Montreal (PNUMA, 2000). Ante tal panorama la técnica de injerto en la producción de tomate se ha convertido en alternativa para su producción en medios con incidencia de ciertas enfermedades. Sin embargo, el propósito de usar plántulas injertadas no solo es inducir resistencia a las enfermedades, sino también tolerancia a altas y bajas temperaturas, a salinidad, incremento del vigor de planta, mejoras en el rendimiento y calidad de fruto, así como maximizar la absorción de minerales y la eficiencia en la fertilización (Oda, 2002; Lee y Oda, 2003; López-Pérez *et al.*, 2006; Kubota *et al.*, 2008; Colla

et al., 2010; El-Shraiy *et al.*, 2011; Voutsela *et al.*, 2012). El incremento en biomasa y rendimiento en plantas injertadas se atribuye a la eficiente absorción de agua y sales minerales por el sistema radical abundante del portainjerto y a la sanidad que le confiere el complejo de resistencia. Además, permite ampliar el ciclo del cultivo y mantener el tamaño de fruto al final del ciclo productivo (Lee, 1994; Ruiz *et al.*, 1997; Oda, 2002).

Los portainjertos comerciales disponibles en el mercado son generaciones F1, comúnmente del cruzamiento interespecífico de *S. lycopersicum* × *S. habrochaites* (King *et al.*, 2010). Los portainjertos pueden incrementar el vigor de planta, lo que permite dirigirlas con doble tallo, práctica

PALABRAS CLAVE / Composición Mineral / Injerto / Rendimiento / *Solanum lycopersicum* L. / Tomate /

Recibido: 18/06/2015. Modificado: 15/09/2016. Aceptado:19/09/2016.

Mario de J. Velasco-Alvarado. Estudiante de doctorado en Recursos Genéticos y Productividad (Genética), Colegio de Postgraduados (COLPOS), Montecillo, México.

Rogelio Castro-Brindis. Doctor en Edafología, COLPOS, México. Profesor Investigador, Uni-

versidad Autónoma Chapingo (UACH), México.

Ana María Castillo-González. Doctor en Fisiología Vegetal, COLPOS, México. Profesor Investigador, UACH, México.

Edilberto Avitia-García. Doctor en Botánica, COLPOS, México. Profesor Investigador, UACH, México.

Jaime Sahagún-Castellanos. Doctor en Estadística, Iowa State University, EEUU. Profesor Investigador, UACH, México.

Ricardo Lobato-Ortiz. Doctor en Mejoramiento Genético, Cornell University, EEUU. Profesor Investigador; COLPOS,

México. Dirección: Carretera México-Texcoco Km. 36.5 Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México, México. e-mail: rlobato@colpos.mx (Autor para correspondencia).

MINERAL COMPOSITION, BIOMASS AND FRUIT YIELD IN GRAFTED TOMATO (*Solanum Lycopersicum L.*)

Mario de J. Velasco-Alvarado, Rogelio Castro-Brindis, Ana María Castillo-González, Edilberto Avitia-García, Jaime Sahagún-Castellanos and Ricardo Lobato-Ortiz

SUMMARY

The grafting technique in tomato production has become popular in many countries in recent years as an alternative to control soil diseases and nematodes, as well as inducing tolerance to stress due to abiotic factors. An experiment was carried out in greenhouse conditions, where the effect of the use of grafted plants in tomato (*Solanum lycopersicum L.*), was evaluated by measuring biomass, fruit yield and content of N, P, K, Ca and Mg. The commercial hybrid Multifort (*Solanum lycopersicum* × *S. habrochaites*) was used as root-stock and as scion El Cid, a saladette type fruit hybrid was used. Grafted and ungrafted plants were established, directed to one and two stems. They were arranged using an exper-

imental design of randomized complete blocks. Results indicate an increase in biomass in grafted plants, up to 36% in grafted plants directed to two stems. A larger accumulation of N, K and Ca was detected in grafted plants; in plants with two stems the significant increase was 46, 59.4 and 65.5% of N, K, Ca, respectively, compared with plants that were not grafted at two stems. Fruit yield was significantly improved in grafted plants directed to one and two stems, up to 0.93 and 0.79kg/plant, which represented increases of 12.9 and 6.6%, respectively. It is concluded that tomato grafted with Multifort/El Cid modifies its mineral composition and improves yield and biomass accumulation.

COMPOSIÇÃO MINERAL, BIOMASSA E RENDIMENTO EM TOMATE (*Solanum lycopersicum L.*) ENXERTADO

Mario de J. Velasco-Alvarado, Rogelio Castro-Brindis, Ana María Castillo-González, Edilberto Avitia-García, Jaime Sahagún-Castellanos e Ricardo Lobato-Ortiz

RESUMO

A técnica de enxerto na produção de tomate tem se popularizado em vários países nos últimos anos, como uma alternativa para o controle de enfermidades do solo e nematóides, além de induzir tolerância a estresses devidos a fatores abióticos. Realizou-se um estudo em estufa, onde foi avaliado o efeito do porta-enxerto em tomate (*Solanum lycopersicum L.*), mediante a medição de biomassa, rendimento de fruto e conteúdo de N, P, K, Ca e Mg. Utilizou-se como porta-enxerto o híbrido comercial Multifort (*Solanum lycopersicum* × *S. habrochaites*) e como garfo a muda El Cid, um híbrido com fruto tipo saladete. Estabeleceram-se plantas enxertadas e não enxertadas orientadas a um e dois caules, usando um desenho experimen-

tal de blocos completos aleatórios. Os resultados indicaram um incremento de biomassa em plantas enxertadas, de até 36% em aquelas orientadas a duplo caule. Detectou-se uma maior acumulação de N, K e Ca em plantas enxertadas; em plantas com dois caules, o aumento significativo foi de 46; 59,4 e 65,5% de N, K, Ca, respectivamente, comparado com plantas sem enxertar a dois caules. O rendimento se incrementou significativamente em plantas enxertadas com um e dois caules, em até 0,93 e 0,79kg/planta, o qual representou um incremento de 12,9 e 6,6% respectivamente. Conclui-se que o tomate enxertado com Multifort/El Cid modificou a composição mineral e melhorou o rendimento e a acumulação de biomassa.

que ayuda a mejorar la distribución de fotoasimilados (Dieleman y Heuvelink, 2005) y mantener el equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. En la producción de tomate injertado se requiere identificar la mejor combinación portainjerto/púa, en función de la compatibilidad y el restablecimiento del tejido vascular (Cohen *et al.*, 2007) y del efecto en el vigor de la planta, expresado a través de variaciones en el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto (Teruo y Hiromichi, 1994). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la acumulación de biomasa, la composición mineral y el rendimiento en plantas injertadas y no injertadas de

tomate desarrolladas a uno y dos tallos, con la combinación Multifort/El Cid.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en invernadero con cubierta de polipropileno blanco, en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México (19°29'N, 98°53'O y 2240msnm). El estudio se realizó de abril a septiembre de 2013 y se evaluaron cuatro tratamientos que consistieron en plantas injertadas (C/Inj) y sin injertar (S/Inj) dirigidas a uno (1T) y dos tallos (2T), con ocho racimos cada uno. Se utilizó como portainjerto el híbrido Multifort (De

Ruiter SeedTM), recomendado para cultivo sin suelo y ciclo corto, el cual tiene alta productividad y equilibrio entre crecimiento vegetativo y reproductivo; como púa o esqueje se empleó el híbrido El Cid (Harris MoranTM) de crecimiento indeterminado y fruto tipo saladete. El injerto se realizó con el método de empalme (Lee, 1994) a los 28 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas tenían 9,0cm de altura, entre 1,8 y 2,0mm de diámetro y cuatro hojas totalmente expandidas. Durante la fase de postinjerto (10 días), las condiciones fueron: temperatura de 25-30°C, humedad relativa de 80-100% y densidad de flujo fotónico de 111µmol·m⁻²·s⁻¹, en

una cámara de prendimiento. El trasplante de las plantas se realizó a los 38 días después de la siembra (dds) en tezontle rojo (sustrato de espuma volcánica o lava porosa) con una granulometría de ~4mm, contenido en macetas de plástico de 20L de capacidad, cada una de las cuales contenía una planta.

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental fue una planta. La densidad de población fue de 2,5 y 1,25 plantas/m², con plantas a uno y dos tallos, respectivamente, misma que se utilizó para el cálculo de rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹). Para obtener las plantas con dos tallos se

realizó un despunte por arriba de la segunda hoja a los 10 días después del trasplante (ddt). Se empleó la solución nutritiva universal de Steiner (1984) a 25, 50, 75 y 100%, de forma progresiva de acuerdo a la etapa fenológica de la planta, la cual se aplicó con sistema de riego por goteo; los fertilizantes utilizados para preparar dicha solución fueron fosfato monopotásico, nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, bórax y multi-micro® (fuente de micronutrientes).

Determinación de materia seca, composición mineral y rendimiento

Para evaluar la dinámica de acumulación de biomasa (materia seca; MS) y la composición mineral, se realizaron tres muestreos destructivos a los 45, 90 y 150 ddt. El material vegetal incluyó hojas, tallos, flores y frutos de tres plantas representativas por tratamiento. El secado se realizó en estufa marca Binder® a temperatura constante de 70°C durante 72h; se tomó el dato de MS con balanza electrónica (Ohaus® modelo scout-pro). Para el análisis de minerales la MS se trituró en molino eléctrico de acero inoxidable (Thomas-Wiley, modelo 4); de este material se tomaron 0,5g para realizar la digestión húmeda con una mezcla de solución di-ácida (ácidos sulfúrico y perclórico 4:1) y 2ml de peróxido de hidrógeno 30% (Jones 1998, Campbell y Plank, 1998). La determinación del nitrógeno (N) se realizó mediante la técnica de microkjeldahl (Horneck y Miller, 1998). La solución obtenida en la digestión húmeda se analizó en un espectrofotómetro de emisión atómica por inducción de plasma acoplado (ICP optical, Varian 725-ES, Australia), para determinar las concentraciones de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). La acumulación (g/planta) se obtuvo en relación a la MS, considerando los valores de las concentraciones de cada elemento.

Para obtener el rendimiento total se pesaron los frutos cosechados en cada corte, la cosecha inició 90 ddt en plantas dirigidas a un tallo y 100 ddt en plantas dirigidas a dos tallos. Los datos fueron analizados con el programa *Statistical Analysis Systems* (SAS, 2002) versión 9.0, donde se realizó el análisis de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0,05$) y la comparación de grupos de tratamientos por contrastes ortogonales para 150 ddt.

Resultados y Discusión

Estado nutrimental

Nitrógeno. En plantas con dos tallos, en la primera evaluación (45 ddt), las plantas sin injertar presentaron significativamente ($p\leq 0,05$) mayor concentración debido a la menor acumulación de biomasa, lo que disminuyó el efecto de dilución del N en el tejido; sin embargo, a los 90 y 150 ddt tanto la concentración como la acumulación se incrementó significativamente en plantas injertadas. El potencial del portainjerto en la absorción de N incrementó en magnitud a través de la fenología del cultivo, como se observó en plantas con dos tallos; a los 90 ddt el incremento de las plantas injertadas (4,39g/planta) respecto de las no injertadas (3,43g/planta) fue 28%, mientras que a los 150 ddt fue de 46%. Esto indica que la capacidad de absorción de N se mantiene y es más prolongada en plantas injertadas, lo que a su vez representa mayor recuperación de nitrógeno y menor pérdida por lixiviación. Por otra parte, en plantas con un tallo, la concentración a los 150 ddt fue significativamente mayor en plantas injertadas (1,60mg·g⁻¹), representando un 12% de incremento; sin embargo, en la acumulación, aun cuando en los tres muestreos los valores promedio fueron mayores en plantas injertadas, únicamente a los 45 ddt se observó diferencia significativa (Tabla I). La mayor acumulación de N está asociado al abundante sistema radical del portainjerto (Rivero *et al.*, 2003).

Rouphael *et al.* (2008) reportaron un incremento de 2,3mg·g⁻¹ en plantas injertadas y, del mismo modo, Godoy *et al.* (2009), en análisis de tejido del tallo, reportaron incremento de 7,3% en la concentración de N en plantas de tomate injertadas.

Fósforo. Este elemento fue el menos beneficiado con la técnica de injerto e incluso se observó que en plantas injertadas disminuyó la concentración (Tabla II). Tal como se observó a los 150 ddt, en plantas a un tallo las injertadas disminuyeron en 0,59mg·g⁻¹ la concentración de P respecto a las no injertadas (de 1,17 a 0,58 mg·g⁻¹), lo que significó un 49,5%; y en plantas con doble tallo, se encontró una disminución significativa de 0,14mg·g⁻¹ (18%) en las injertadas. Este mismo comportamiento se observó en la acumulación final (150 ddt)

en plantas con un tallo; las injertadas redujeron la cantidad de P acumulado en 2,84g/planta (43% menos). Esto puede deberse al aumento de la densidad de raíz del portainjerto, lo cual provoca un agotamiento de minerales en la zona de absorción, principalmente de elementos que se mueven por difusión como el P (Marschner, 1986), y también puede explicarse por la combinación portainjerto/púa utilizado en este trabajo, como lo reportaron Leonardi y Giuffrida (2006) con el portainjerto PG3, donde el fósforo tuvo una disminución de 36%; sin embargo, con el portainjerto Beaufort la acumulación incrementó 47%.

Potasio. Se observó un incremento en la concentración de K con plantas injertadas en la última evaluación (150 ddt).

TABLA I
CONCENTRACIÓN Y ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO EN PLANTAS INJERTADAS Y NO INJERTADAS DE TOMATE CON UNO Y DOS TALLOS

Tratamiento	Concentración de N (mg·g ⁻¹)			Acumulación de N (g/planta)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
Un tallo						
C/Injerto	2,07 c	1,80 ab	1,60 a	1,39 a	3,46 b	10,32 cb
S/Injerto	2,09 bc	1,86 ab	1,42 b	1,14 b	2,98 b	8,09 c
Dos tallos						
C/Injerto	2,29 b	2,01 a	1,56 a	1,16 b	4,39 a	16,15 a
S/Injerto	2,72 a	1,70 b	1,46 b	1,01 b	3,43 b	11,03 b
DMS	0,21	0,24	0,09	0,1519	0,5637	2,74
CV (%)	7,13	10,43	4,71	10,04	12,27	18,68

Letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa (Tukey 0,05). CV: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa, ddt: días después del trasplante, C/Injerto: con injerto, S/Injerto: sin injerto.

TABLA II
CONCENTRACIÓN Y ACUMULACIÓN DE FÓSFORO EN PLANTAS INJERTADAS Y NO INJERTADAS DE TOMATE CON UNO Y DOS TALLOS

Tratamiento	Concentración de P (mg·g ⁻¹)			Acumulación de P (g/planta)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
Un tallo						
C/Injerto	0,50 b	0,68 a	0,58 c	0,34 a	1,33 ab	3,79 b
S/Injerto	0,50 b	0,71 a	1,17 a	0,27 b	1,15 b	6,64 a
Dos tallos						
C/Injerto	0,53 b	0,68 a	0,65 c	0,27 b	1,49 a	6,73 a
S/Injerto	0,67 a	0,71 a	0,79 b	0,25 b	1,46 a	6,02 a
DMS	0,09	0,08	0,13	0,062	0,2787	1,96
CV (%)	12,05	9,8	12,86	17,01	15,94	26,38

Letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa (Tukey 0,05). CV: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa, ddt: días después del trasplante, C/Injerto: con injerto, S/Injerto: sin injerto.

Con plantas a un tallo, las injertadas tuvieron un incremento significativo de 0,14mg·g⁻¹ respecto de plantas sin injerto; del mismo modo en plantas con dos tallos, el aumento por parte de las injertadas fue de 0,21mg·g⁻¹, el cual significó 18,5% de incremento. Esto indica que el portainjerto tiene mayor capacidad para asimilar K en las etapas avanzadas de la planta. Estos resultados coinciden con los de Godoy *et al.* (2009) quienes usaron el híbrido Girona injertado sobre Maxifort. Efecto similar se ha reportado con injertos de melón y sandía (Rouphael *et al.*, 2008; San Bautista *et al.*, 2011).

Respecto a la acumulación, en plantas con un tallo se tuvo diferencia significativa ($p \leq 0,05$) a los 45 y 90 ddt (Tabla III), y en plantas con doble tallo a los 45 y 150 ddt. En estas últimas, la diferencia entre plantas con y sin injerto en la evaluación final fue de 5,12g/planta, que representó un 59% de incremento en plantas injertadas, producto de una mayor concentración del elemento y acumulación de biomasa. El incremento en la acumulación de K en plantas injertadas se atribuye a características físicas del sistema radical, como lo son: raíz abundante, desarrollo lateral y vertical, área de exploración y consecuentemente mayor absorción de agua y minerales (Lee 1994; Lee *et al.*, 1998; Lee y Oda, 2003).

Calcio. La concentración de Ca se modificó significativamente en las plantas injertadas. Cuando éstas fueron dirigidas a un tallo, las diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) se observaron en los tres muestreos, con incremento del 15, 17 y 15%, respectivamente. Este efecto también se manifestó en los niveles de acumulación, ya que los incrementos fueron de 0,36 (45 ddt) y 0,88g/planta (90 ddt), valores que representaron, en ambas etapas, un aumento de 42% comparado con la acumulación en plantas sin injertar.

Para el caso de plantas con dos tallos, la concentración de Ca fue significativamente mayor con injerto a los 90 y 150 ddt, e igualmente se reflejó en una mayor acumulación en los tres muestreos ($p \leq 0,05$). El efecto se manifestó con mayor magnitud a los 90 y 150 ddt (Tabla IV), ya que las plantas injertadas superaron a las plantas sin injerto en 54 y 65%, porcentajes que significaron incrementos de 1,34 y 8,81g/planta, respectivamente. Junto con el K, el Ca es el elemento que se absorbe con mayor eficiencia usando portainjertos con un sistema radical abundante. Al respecto, Leonardi y Giuffrida (2006) y Savvas *et al.* (2011) reportaron 80 y 16,8% mayor acumulación de Ca en plantas injertadas, respectivamente. Esto puede tener una aplicación práctica en los sistemas productivos de tomate bajo agricultura protegida, ya que podría sig-

nificar una reducción en la incidencia del desorden fisiológico de la pudrición apical del fruto debida a una deficiencia de Ca en la parte distal del fruto (Passam *et al.*, 2007).

Magnesio. Los resultados indicaron que el Mg, al igual que el fósforo, es un elemento no beneficiado con la técnica de injerto ya que a los 150 ddt la concentración fue significativamente menor con injerto en ambos tratamientos, plantas con uno y dos tallos (Tabla V). Resultados semejantes reportaron Savvas *et al.* (2011) en tres portainjertos de tomate (Beaufort, He-man y Registrar). No obstante, en este estudio la acumulación fue significativamente ($p \leq 0,05$) mayor en plantas injertadas a los 45 y 90 ddt, en plantas con uno y dos tallos, respectivamente, debido al incremento en la acumu-

lación de biomasa, pero no así en la evaluación final.

Una de las cualidades de los portainjertos en tomate es la de prolongar la capacidad de absorción de agua y minerales, que permite tener ciclos de producción más largos. En el contraste de tratamientos injertados y no injertados para 150 ddt, se obtuvo diferencia estadística en la concentración de cada elemento (Figura 1). Los niveles de concentración en plantas injertadas se incrementaron para N, K y Ca. Sin embargo, el injerto tuvo un efecto negativo sobre P y Mg, al presentarse menor concentración de estos elementos con el uso del injerto, aunque en la acumulación final (150 ddt) únicamente el P fue estadísticamente inferior y la acumulación de Mg fue la misma entre plantas con y sin injerto, mientras que el N, K y Ca mostraron

TABLE III
CONCENTRACIÓN Y ACUMULACIÓN DE POTASIO
EN PLANTAS INJERTADAS Y NO INJERTADAS
DE TOMATE CON UNO Y DOS TALLOS

Tratamiento	Concentración de K (mg·g ⁻¹)			Acumulación de K (g/planta)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
Un tallo						
C/Injerto	0,95 b	1,28 b	1,15 b	0,64 a	2,47 ab	7,48 cb
S/Injerto	0,88 b	1,21 b	1,01 c	0,48 bc	1,95 c	5,79 c
Dos tallos						
C/Injerto	1,06 a	1,46 a	1,34 a	0,54 ab	3,21 a	13,73 a
S/Injerto	1,13 a	1,43 a	1,13 b	0,42 c	2,91 ab	8,61 b
DMS	0,11	0,11	0,09	0,096	0,4536	2,52
CV (%)	8,43	6,73	6,64	14,22	13,37	22,03

Letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa (Tukey 0,05). CV: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa, ddt: días después del trasplante, C/Injerto: con injerto, S/Injerto: sin injerto.

TABLE IV
CONCENTRACIÓN Y ACUMULACIÓN DE CALCIO
EN PLANTAS INJERTADAS Y NO INJERTADAS
DE TOMATE CON UNO Y DOS TALLOS

Tratamiento	Concentración de Ca (mg·g ⁻¹)			Acumulación de Ca (g/planta)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
Un tallo						
C/Injerto	1,80 a	1,55 b	1,89 ab	1,21 a	2,99 b	12,43 b
S/Injerto	1,56 b	1,32 c	1,64 c	0,85 b	2,11 c	9,40 b
Dos tallos						
C/Injerto	1,79 a	1,75 a	2,12 a	0,91 b	3,84 a	22,26 a
S/Injerto	1,67 ab	1,23 c	1,77 bc	0,63 c	2,50 c	13,45 b
DMS	0,14	0,14	0,24	0,1497	0,4433	5,16
CV (%)	6,38	7,79	10,41	12,86	12,02	27,91

Letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa (Tukey 0,05). CV: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa, ddt: días después del trasplante, C/Injerto: con injerto, S/Injerto: sin injerto.

TABLE V
CONCENTRACIÓN Y ACUMULACIÓN DE MAGNESIO
EN PLANTAS INJERTADAS Y NO INJERTADAS
DE TOMATE CON UNO Y DOS TALLOS

Tratamiento	Concentración de Mg (mg·g ⁻¹)			Acumulación de Mg (g/planta)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
Un tallo						
C/Injerto	1,00 b	0,68 a	0,48 b	0,68 a	1,32 b	3,16 b
S/Injerto	1,04 b	0,71 a	0,58 a	0,57 b	1,15 b	3,26 b
Dos tallos						
C/Injerto	1,07 b	0,72 a	0,46 b	0,54 bc	1,57 a	4,91 a
S/Injerto	1,23 a	0,66 a	0,58 a	0,46 c	1,33 b	4,38 ab
DMS	0,12	0,06	0,09	0,0962	0,1928	1,38
CV (%)	8,56	7,07	14,16	13,25	11,14	27,43

Letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa (Tukey 0,05). CV: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa, ddt: días después del trasplante, C/Injerto: con injerto, S/Injerto: sin injerto.

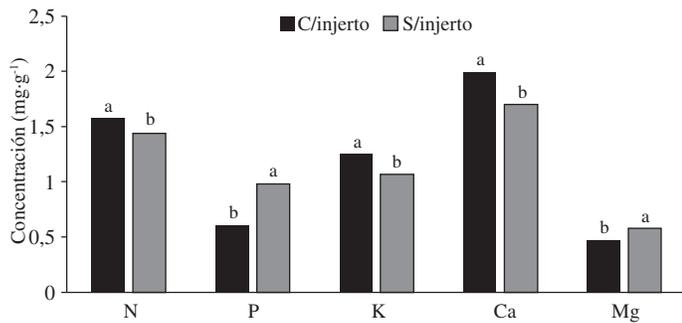


Figura 1. Comparación de la concentración ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) de N, P, K, Ca y Mg, entre grupos de tratamientos (con injerto vs sin injerto) a los 150 ddt. Letras diferentes en cada par de columnas (elemento) indica diferencia significativa (Tukey 0,05). C/Injerto: con injerto, S/Injerto: sin injerto.

incrementos en la acumulación final de 39, 32 y 52%, respectivamente (Figura 2).

Biomasa

De acuerdo a la fenología del cultivo, los tratamientos afectaron la acumulación de biomasa. Se observó incremento significativo ($p \leq 0,05$) en plantas con injerto (Figura 3). Cuando se dirigieron a un tallo el aumento fue de 13,0 y 31,7g/planta a los 45 y 90 ddt, respectivamente. Sin embargo, en la última evaluación, aun cuando presentó un valor promedio más alto, no hubo diferencia estadística ($p \leq 0,05$). Por otra parte, en plantas con dos tallos, en las injertadas se incrementó significativamente la acumulación de biomasa en 14,5; 20,9 y 273,1g/planta, que representó 39; 10,5 y 36%, para 45, 90 y 150 ddt, respectivamente. Investigaciones previas como las de Rivero *et al.* (2003), Godoy *et al.* (2009) y Barrett y Zhao (2012) reportaron mayor acumulación de biomasa en plantas injertadas, atribuida a la mayor capacidad de acumulación de minerales y a la formación de fotosimilados, producto de la mayor tasa fotosintética al incrementarse el área foliar (Lee, 1994; Colla *et al.*, 2010).

Rendimiento

En el análisis de rendimiento por planta, todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). Las plantas desarrolladas a un tallo pre-

sentaron menor rendimiento que las plantas con dos tallos, debido a que estas últimas tuvieron mayor número de racimos y frutos por planta (Figura 4). En plantas con un tallo, las injertadas incrementaron significativamente el rendimiento en 12,9%, mientras que las conducidas con doble tallo e injertadas presentaron un incremento del 6,6%. En el primer caso representó 0,93kg/planta y en el segundo 0,79kg/planta. En la evaluación de rendimiento por hectárea (Figura 4), con los ajustes por densidad de población, las plantas dirigidas con dos tallos ($1,25 \text{ plantas}/\text{m}^2$) redujeron el rendimiento respecto a las desarrolladas con un tallo ($2,5 \text{ plantas}/\text{m}^2$). En general, las plantas injertadas tuvieron mayores rendimientos que las no injertadas ($p \leq 0,05$), los incrementos observados fueron de 23,5 y 9,75t·ha⁻¹, en plantas injertadas con uno y dos tallos, respectivamente. Al respecto, Dieleman y Heuvelink (2005) y Kubota *et al.* (2008) indicaron que el aumento del rendimiento en plantas injertadas de tomate puede ser hasta 15%; aunque en otros estudios se ha reportado mayor efecto (Marsic y Osvald, 2004; Khah *et al.*, 2006; Leonardi y Giuffrida, 2006; Báez-Valdez *et al.*, 2010; Turkmen *et al.*, 2010). Así también, existen trabajos donde no se reportó diferencia significativa para esta variable (Godoy *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2010). Este efecto sobre el incremento del rendimiento se

debe a la mejora en la absorción de minerales por el portainjerto y además se mantiene el calibre de fruto al final de la producción (Lee, 1994; Ruiz *et al.*, 1997; Oda, 2002).

Conclusiones

El tomate injertado incrementó principalmente la concentración y acumulación de nitrógeno, potasio y calcio. La

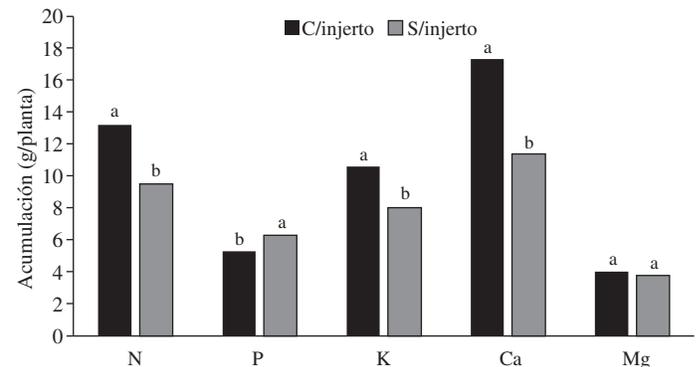


Figura 2. Comparación de la acumulación (g/planta) de N, P, K, Ca y Mg, entre grupos de tratamientos (con injerto vs sin injerto) a los 150 ddt. Letras diferentes en cada par de columnas (elemento) indica diferencia significativa (Tukey 0,05). C/Injerto: con injerto, S/Injerto: sin injerto.

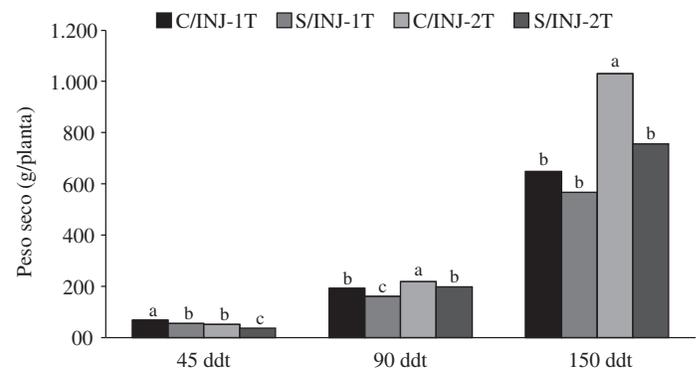


Figura 3. Acumulación de biomasa (peso de la materia seca, g/planta) en plantas de tomate injertado y sin injertar, con uno y dos tallos. ddt: días después del trasplante, C/INJ: con injerto, S/INJ: sin injerto, 1T: un tallo, 2T: dos tallos. Letras diferentes significa diferencia significativa (Tukey 0,05).

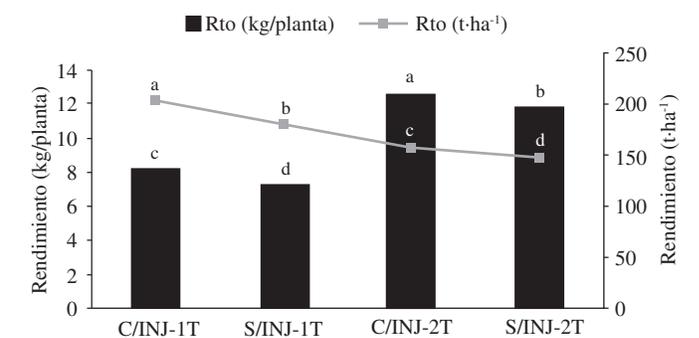


Figura 4. Rendimiento por planta (kg/planta) y por hectárea ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) de tomate injertado y sin injertar, con uno y dos tallos. C/INJ: con injerto, S/INJ: sin injerto, 1T: un tallo, 2T: dos tallos. Letras diferentes significa diferencia significativa (Tukey 0,05).

concentración de magnesio fue similar en plantas injertadas y sin injertar en la evaluación final y se redujo la del fósforo. En este estudio, fósforo y magnesio son los dos elementos donde el injerto no tuvo efecto positivo, ya que se redujeron las concentraciones con plantas injertadas, al menos en una de las etapas. El injerto modificó la biomasa con incrementos significativos, lo cual también impactó positivamente en el rendimiento, que aumentó en 12,9 y 6,6% en plantas injertadas a uno y dos tallos, respectivamente. Consecuentemente, el rendimiento por hectárea se incrementó con el uso del injerto, lo que se observó en mayor magnitud con tomate injertado dirigido a un tallo, donde el incremento representó 23,5t·ha⁻¹.

REFERENCIAS

- Báez-Valdez EP, Carrillo-Fasio JA, Baéz-Sañudo MA, García-Estrada RS, Valdez-Torres JB, Contreras-Martínez R (2010) Uso de portainjertos resistentes para el control de la fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen raza 3) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de malla sombra. *Rev. Mex. de Fitopatol.* 28: 111-122.
- Barrett CE, Zhao X (2012) Grafting for root-knot nematode control and yield improvement in organic heirloom tomato production. *HortScience* 47: 614-620.
- Campbell CR, Plank CO (1998) Preparation of plant tissues for laboratory analysis. En Kalra YP (Ed.) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 37-49.
- Cohen R, Burger Y, Koern A, Edelstein M (2007) Introducing grafted cucurbit to modern agriculture. The Israeli experience. *Plant Dis.* 91: 916-923.
- Colla G, Roupael Y, Leonardi C, Bie Z (2010) Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Sci. Hort.* 127: 147-155.
- Dieleman A, Heuvelink E (2005) Gebruik van onderstammen bij vruchtgroenten. *Plant Res. Int.* September. *Nota.* 367.
- El-Shraiy AM, Mostafa MA, Zaghlool SA, Shehata SAM (2011) Alleviation of salt injury of cucumber plant by grafting onto salt tolerance rootstock. *Aus. J. Bas. Appl. Sci.* 5: 1414-1423.
- Flores BF, Sanchez-Bel P, Estan MT, Martínez-Rodríguez MM, Moyano E, Morales B, Campos JF, García-Abellan JO, Egea MI, Fernández-García N, Romojaro F, Bolarin MC (2010) The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Sci. Hort.* 126: 211-217.
- Godoy HH, Castellanos RJZ, Alcántar GG, Sandoval VM, Muñoz RJJ (2009) Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrientes. *Terra Latinoam.* 27: 1-11.
- Guan W, Zhao X, Hassel R, Thies J (2012) Defense mechanisms involved in disease resistance of grafted vegetables. *HortScience* 47: 164-170.
- Hartman HT, Kester DE (1984) *Propagación de Plantas*. Continental. México. 915 pp.
- Horneck DA, Miller O (1998) Determination of total nitrogen in plant tissues. En Kalra YP (Ed.) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 75-83.
- Jones JBJr (1998) Field sampling procedures for conducting a plant analysis. En Kalra YP (Ed.) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 25-35.
- King SR, Angela RD, Zhang X, Crosby K (2010) Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Sci. Hort.* 127: 106-111.
- Khah EM, Kakava E, Mavromatis A, Chachalis D, Goulas C (2006) Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J. Appl. Hort.* 8: 3-7.
- Kobayashi K (2005) Vegetable grafting robot. *Res. J. Food Agric.* 28: 15-20.
- Kubota CM, McClure N, Kokalis-Burelle MG, Roskopf EN (2008) Vegetable grafting: history, use, and current technology status in North America. *HortScience* 43: 1664-1669.
- Lee J (1994) Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience* 29: 235-239.
- Lee JM, Bang HJ, Ham HS (1998) Grafting of vegetables. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 67: 1098-1104.
- Lee JM, Oda M (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hort. Rev.* 28: 61-124.
- Leonardi C, Giuffrida F (2006) Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplant on three different rootstocks. *Eur. J. Hort. Sci.* 71(3): 97-101.
- López-Pérez JA, Strange ML, Kaloshian I, Ploeg AT (2006) Differential response of *Mi* gene-resistant tomato rootstocks to root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). *Crop. Protec.* 25: 382-388.
- Marschner H (1986) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 674 pp.
- Marsic KN, Osvald J (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.
- Oda M (2002) Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. Biol. Sci. Osaka Univ.* 54: 49-72.
- Passam CH, Karapanos CI, Bebeli JP, Savvas D (2007) A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol.* 1: 1-21.
- Pogonyi A, Pék Z, Helyes L, Lugasi A (2005) Effect of grafting on the tomato's yield, quality and main fruit components in spring forcing. *Acta Alim.* 34: 453-462.
- PNUMA (2000) Secretaría del Ozono. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. www.unep.org/ozone (Cons. 10/01/2015).
- Rivero RM, Ruiz JM, Romero L (2003) Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food Agric. Environ.* 1: 70-74.
- Roupael Y, Cardarelli M, Colla G (2008) Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience* 43: 730-736.
- Ruiz JM, Belakbir A, Lopez-Cantarero I, Romero L (1997) Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Sci. Hort.* 71: 227-234.
- San Bautista A, Calatayud A, Nebauer S G, Pascual B, Maroto JV, López-Galarza S (2011) Effects of simple and double grafting melon plants on mineral absorption, photosynthesis, biomass and yield. *Sci. Hort.* 130: 575-580.
- SAS (2002) *User's Guide of SAS (Statistical Analysis System)*. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU. 550 pp.
- Savvas D, Savva A, Ntatsi G, Ropokis A, Karapanos L, Krumbein A, Olympios C (2011) Effects of three commercial rootstocks on mineral nutrition, fruit yield, and quality of salinized tomato. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 174: 154-162.
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. En *Proc. Sixth International Congress on Soils Culture*. Lunteren, Holanda. (29/04-05/05/1984). pp. 633-647.
- Teruo M, Hiromichi H (1994) Mineral contents in melon plants (*Cucumis melo* L. cv. 'Prince') and fruit quality influenced by grafting on squash root stocks and calcium applications in soil. *Environ. Contr. Biol.* 32: 119-123.
- Turkmen O, Seymen M, Dursun A (2010) Effects of Different Rootstocks and Cultivars on Yield and Some Yield Components of Grafted Tomato. *Bull. UASVM Hort.* 67: 284-291.
- Voutsela S, Yarsi G, Petropoulos SA, Khan E (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(41): 5553-5557.