

EFEITO DEL INJERTO Y NUTRICIÓN DE TOMATE SOBRE RENDIMIENTO, MATERIA SECA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIMENTOS

Greenhouse Tomato Yield, Dry Matter and Nutrient Accumulation, as Affected by Grafting and Nutrient Supply

Heriberto Godoy Hernández¹, Javier Z. Castellanos Ramos^{2†}, Gabriel Alcántar González¹, Manuel Sandoval Villa¹ y José de Jesús Muñoz Ramos²

RESUMEN

En México la superficie de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero ha crecido de forma acelerada. La mayor parte se cultiva en suelo, sin el uso de materia orgánica y con plantas sin injertar, lo que en condiciones de monocultivo suele generar serios problemas de patógenos en la raíz. Una tecnología amigable con el medio ambiente es el uso de portainjertos resistentes a los patógenos del suelo. Es de esperar que esta técnica de producción con plantas de mayor sistema radicular promueva una mejor exploración del suelo, lo que se traduce en una mayor eficiencia para tomar nutrientes y agua. Para comprobar esta hipótesis, se evaluó el efecto del uso de injerto y tres niveles de suministro nutrimental sobre el rendimiento, la acumulación de materia seca y absorción nutrimental. El estudio se realizó en invernadero en un ciclo de 248 días. Los resultados muestran que, aunque el injerto no incrementó el rendimiento comercial, la planta injertada mostró mayor extracción de todos los nutrientes, excepto para magnesio. El injerto aumentó el vigor de las plantas en lo que respecta a altura total (6%), área foliar (10%), área foliar específica (5%) y producción de materia seca en hoja (12%), tallo (11%) y total de la parte aérea (9%). El injerto disminuyó la precocidad y produjo frutos de mayor calibre (4%), pero también incrementó los frutos deformes (10%) debido al exceso de vigor.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum, vigor, portainjerto, calidad, invernadero.*

¹ Programa de Edafología, Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 38010 Celaya, Guanajuato, México.

† Autor responsable (javier.castellanos.ramos@gmail.com)

SUMMARY

The area of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production has been growing very fast in recent years in Mexico. Most of it is grown in soil without the use of organic matter and with plants without grafting; this often results in diseases in the root system. An environment friendly technique is the use of root stock resistant to soil pathogens. It is expected that this technique using plants with a larger root system promotes exploration of a larger volume of soil, meaning greater efficiency in nutrient and water uptake. To test this hypothesis, this study evaluated the effect of grafting and three levels of nutrient supply on yield, dry matter accumulation and nutrient uptake. The experiment was set up in a multi tunnel greenhouse under soil conditions, and lasted 248 days in greenhouse. Results showed that grafting did not increase yield of commercial quality fruit. Grafted plants extracted larger quantities of all nutrients except magnesium. Grafting also increased plant vigor in terms of total height (6%), leaf area (10%), specific leaf area (5%), and leaf (12%), stem (11%) and total dry matter (9%). Grafting reduced earliness and produced larger fruit (4%), but more deformed (10%) fruit was also produced as a result of excess vigor.

Index words: *Lycopersicon esculentum, vigor, fruit size, greenhouse.*

INTRODUCCIÓN

En México, la industria de la horticultura protegida ha crecido de manera acelerada en los últimos años, siendo el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) el principal cultivo que se produce en estas condiciones. Uno de los retos que enfrenta esta industria es mantener o disminuir los costos de producción. Una alternativa para disminuir los costos de producción es cultivar en

suelo en lugar de sustrato, pero las plantas cultivadas en suelo son atacadas por patógenos, lo que causa importantes daños económicos (Bletsos *et al.*, 2003). Una forma efectiva de prevenir el ataque de estos patógenos es mediante el uso de bromuro de metilo, cuyo uso deberá eliminarse a partir del 2015 en todo el mundo debido al impacto sobre el medio ambiente (Ristaino y Thomas, 1997). Tal situación ha hecho necesaria la búsqueda de métodos de control alternativos, entre ellos destaca el uso del injerto sobre patrones resistentes a los patógenos del suelo (Bletsos *et al.*, 2003).

El fin primordial del injerto en tomate es obtener resistencia a patógenos del suelo. Debido a las bondades del injerto, los objetivos a cumplir se han ido ampliando (Lee y Oda, 2003), entre ellos se cita mayor absorción de nutrientes y contenido mineral en la parte aérea (Ruiz *et al.*, 1996; 1997), el incremento en el vigor de la planta y la vida de poscosecha de la fruta (Lee y Oda, 2003). El injerto de tomate sobre patrones vigorosos, normalmente híbridos interespecíficos, permite cultivar plantas con dos o más tallos y reducir el número de plantas empleadas y por ende, el costo de producción (Miguel, 1997).

La selección de un portainjerto eficiente para la extracción de nutrientes es poco frecuente, casi siempre se selecciona con el criterio de resistencia al estrés biótico y abiótico, este último causado por el medio ambiente (Ruiz *et al.*, 1997; Rivero *et al.*, 2003). Sin embargo, el conocer el comportamiento nutricional que tienen las variedades al ser injertados puede ayudar para la elaboración de un programa de fertilización óptimo (Rivero *et al.*, 2003) y, también, para mejorar la calidad del fruto, evitar un crecimiento excesivo de la planta (Lee y Oda, 2003) y ser más eficiente en el aporte nutrimental. En México no hay reportes de investigación en tomate en invernadero que indiquen las cantidades de biomasa aérea, residuo de cultivo que se genera, cantidad de nutrientes que toma la planta, y residuo del cultivo a lo largo del ciclo. El presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto del injerto y del suministro nutrimental sobre la producción de materia seca de fruto y residuo de planta, la concentración y la extracción nutrimental, y el rendimiento de plantas de tomate en suelo en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en Celaya, Guanajuato, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado a 20° 34' N, 100° 49' O y a una altitud de 1650 m. El 11 de agosto

de 2004 se sembró el portainjerto Maxifort (De Ruiter Seed). Seis días después se procedió a la siembra del híbrido Gironda (Enza Zaden). La técnica del injerto fue tipo empalme (Lee y Oda, 2003), las semillas de las plantas no injertadas del híbrido Gironda se sembraron 11 días después del portainjerto. El transplante se realizó el 30 de septiembre en camas (80 cm de ancho y 15 cm de alto) a una densidad de 2.8 tallos m⁻¹. Antes del trasplante, al suelo se le realizó cincelado, mullida y desinfección con metam sodio (Lucafum^{MR}) a razón de 400 L ha⁻¹ aplicado mediante el sistema de riego.

Los seis tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno, se conformaron del factor planta (con y sin injerto) y de la fuerza iónica de la solución nutritiva Steiner (1961) (33, 66 y 100% de la concentración original), lo que aportó un gradiente de nutrientes (Cuadro 1). Esta fertilización se aplicó a plantas sin injertar Gironda a un tallo (práctica comercial) y a la planta injertada Gironda sobre Maxifort a dos tallos por planta, de acuerdo con Castilla (1999). La unidad experimental fue de 8 m de largo o 40 plantas y seis plantas de parcela útil. Los fertilizantes utilizados fueron ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido nítrico, nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato monopotásico y cloruro de potasio. Se aplicó una mezcla de micronutrientos (Librel Mix-Al) a una dosis de 20 g m⁻³ de agua a lo largo del ciclo en todos los niveles de fertilización. De los 40 a 70 días después del trasplante (DDT) no se fertilizó y sólo se aplicó agua acidificada. El fertiriego se aplicó en cintilla a 30 cm entre goteros de 1 L h⁻¹ a 0.1 MPa de presión, para lo cual se aplicó 774 L m⁻² de agua de riego en todos los tratamientos. La tensión de humedad promedio en el suelo fue de -13, -18 y -22 kPa para 15, 30 y 45 cm de profundidad, respectivamente.

La polinización fue realizada por abejorros (*Bombus terrestres* L.). Se realizó un aclareo del fruto para dejar 6, 5, 4 y 3 frutos respectivamente, en los racimos 1 a 3, 4 a 9, 10 a 14 y 15 a 20, quitando frutos deformes para mejorar la calidad. La cosecha se inició

Cuadro 1. Cantidad aplicada de nutrientes en cada uno de los niveles evaluados.

FISN [†]	Steiner	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
%					g m ⁻²		
100		98.9	25.8	200.2	153.3	105.5	28.9
66		65.6	17.0	137.3	102.7	71.7	19.5
33		33.0	8.4	76.0	53.1	38.8	10.3

[†]Fuerza iónica de la solución nutritiva Steiner.

a los 96 DDT y se concluyó a los 248 DDT. El rendimiento comercial se clasificó en frutos pequeños: menores de 7.0 cm; medianos: 7.1 a 8.5 cm; grandes: mayores de 8.6 cm, y no comerciales: deformes, y otros (pudrición apical, entre otros defectos). La extracción unitaria se obtuvo de dividir la cantidad extraída del nutrimento entre la producción total de fruta fresca y se expresó en kg Mg⁻¹.

La hoja más recientemente madura (HMRM) se muestreó para determinar área foliar con un integrador (modelo LI-300 LICOR, Lincoln, NE, USA) para posteriormente secarse, pesarse, y determinar el área foliar específica a los 15, 90, 150 y 210 DDT, promediándose los cuatro muestreos. Se tomaron muestras de frutos (10 por repetición) a los 140, 180 y 220 DDT. Al final del cultivo se cortaron las plantas al ras del suelo y se midió la altura. El material del deshoje se secó en estufa a 70 °C y se pesaron ya secas. También se obtuvo el peso seco de frutos y tallos, y se midió el índice de cosecha, el cual se calculó dividiendo el peso seco del fruto entre la biomasa total (fruto, hojas y tallo).

Antes del trasplante, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 90 cm para medir el contenido de N en el perfil de suelo, habiéndose detectado 83 g m⁻² de N disponible (Cataldo *et al.*, 1975). También se tomaron muestras de 0 a 30 cm de profundidad en el suelo, al cual se determinó la textura que fue franca arcillosa con 29, 35 y 36% de arena, limo y arcilla, respectivamente; densidad aparente: 1.31 g cm⁻³; conductividad eléctrica (CE): 3.13 dS m⁻¹; materia orgánica (MO): 0.95%, NO₃⁻; con 87.9 mg kg⁻¹; P-Bray con 21.8 mg kg⁻¹ (Bray y Kurtz, 1945); K⁺: 854 mg hg⁻¹, Ca²⁺: 2069 y Mg²⁺: 304 mg kg⁻¹ (Chapman y Kelly, 1930).

En la materia seca de cada una de las porciones de la planta: hoja, tallo y fruto, se analizó N total mediante la técnica de microkjeldahl (Jones *et al.*, 1991) así como P, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ mediante digestión húmeda (Jones y Case, 1990). Se cuantificó la extracción total de nutrientes y la extracción unitaria nutrimental, la cual se obtuvo dividiendo la extracción total de cada uno de los nutrientes, entre el rendimiento total de fruta en base fresca.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el modelo para el diseño experimental de bloques divididos al azar. Los promedios se compararon por la prueba de

diferencia mínima significativa (DMS), a un nivel de significancia de 0.05 mediante el programa estadístico SAS, Versión 8.2 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento Comercial

Las plantas injertadas fueron menos precoces que las no injertadas; las primeras iniciaron la cosecha una semana más tarde que las no injertadas. Esto concuerda con Hartmann *et al.* (2002) y Miguel (1997), quienes reportan que los portainjertos vigorosos, generalmente, producen plantas menos precoces. La producción comercial de tomate a los 248 DDT no fue significativamente diferente en ninguno de los tratamientos (Cuadro 2). Estos resultados no son típicos, ya que Dieleman y Heuvelink (2005) reportan que la planta responde al injerto, incrementando el rendimiento de 5 a 15% en ciclos largos. La falta de respuesta se atribuye a que la planta injertada se manejó a dos tallos, por lo que ésta no expresó todo su potencial de rendimiento al final del ciclo. Por otra parte, la planta injertada mostró un gran vigor que se reflejó en un desbalance entre la condición vegetativa y la reproductiva de la planta (Lee y Oda, 2003; Dieleman y Heuvelink, 2005). Hay una razón adicional que puede explicar la falta de respuesta en rendimiento al injerto y es que, aunque la planta injertada mostró más vigor y materia seca, los fotoasimilados no se translocaron al fruto debido al aclareo realizado, lo que indirectamente limitó el potencial de rendimiento (Heuvelink y Buiskool, 1995), pues la planta injertada requiere otro criterio de aclareo y no el mismo que la planta no injertada, es decir, puede soportar más fruta que la no injertada, por lo que el aclareo debe de ser más ligero.

Sin embargo, las plantas injertadas mostraron una mayor proporción de fruta de calibre grande ($P \leq 0.0043$) (Cuadro 2) que las no injertadas, resultados similares a los reportados por Chung *et al.* (1997). Esta situación es consecuencia del exceso de vigor del cultivo ya que, al final del ciclo, las plantas sin injertar tienden a mostrar menor vigor y frutos de menor calibre.

En cuanto a la respuesta a la fertilización, no hubo diferencia significativa en el rendimiento por efecto de los niveles de suministro nutrimental. La causa de ello fue que la planta adquirió sus nutrientes de la reserva del suelo. Así, por ejemplo, antes de iniciar el experimento, en el perfil de suelo había 83 g m⁻²

Cuadro 2. Efecto del injerto sobre el rendimiento y calibre del fruto del tomate.

Factor	Rendimiento comercial				Rendimiento no comercial	
	Comercial	Pequeños [†]	Medianos [‡]	Grandes [§]	Deformes	Otros [¶]
kg m ⁻²						
Planta						
Injertada	24.4 a [#]	5.4 b	17 a	2.1 a	2.4 a	1.0 a
Sin injertar	24.5 a	7.3 a	15.7 a	1.5 b	1.3 b	0.7 a
DMS	1.5	0.9	1.7	0.5	0.4	0.3
CV (%)	7.1	19	6	30	25.7	47.7

[†]Pequeños = menores de 155 g; [‡]Medianos = de 156 a 255 g; [§]Grandes = mayores de 256 g; [#]Otros: pudrición apical y rajado; ^{Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($P \leq 0.05$); DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación.}

de N-NO₃⁻, los cuales fueron aprovechados por la planta. Esta cantidad de N provenía de las fertilizaciones que se hicieron en los cultivos previos. Dado que regularmente se aplican grandes cantidades de nutrientes al cultivo de tomate en invernadero, y que una elevada cantidad permanece en el perfil del suelo al final del cultivo, éstas vienen a ser aprovechadas durante los ciclos subsecuentes (Scholberg *et al.*, 2000).

Por otro lado, el exceso de vigor en las plantas injertadas, que se reflejó en 0.19 m, 78 cm² y 233 g más de altura, área foliar y materia seca total, respectivamente, provocó 1.1 kg m⁻¹ más de frutos deformes que las no injertadas, principalmente en las primeras cosechas, lo que indica que, cuando se usa el injerto, es importante manejar el vigor de la planta. Un ligero incremento en la CE de la solución nutritiva puede ayudar a disminuir el vigor de la planta y, por ende, la incidencia de frutos deformes (Dieleman y Heuvelink, 2005). Otra alternativa es dejar más frutos por racimo (Heuvelink y Buiskool, 1995). También se puede recurrir a la estrategia de quitar hojas activas (Aloni *et al.*, 1999). Por su parte, Susuki y Morishita (2002) indican que el uso simultáneo de portainjerto y variedades vigorosas tiende a reducir el rendimiento comercial cuando el cultivo no se maneja en forma especial.

Producción de Materia Seca Aérea

La materia seca total de la parte aérea fue siempre mayor en plantas injertadas ($P \leq 0.001$) (Cuadro 3), lo que concuerda con el trabajo de Lee y Oda (2003). El peso seco de hoja y de tallo fue mayor en las plantas injertadas ($P \leq 0.05$), pero no así el peso del fruto. La cantidad de materia seca total producida es similar a la reportada por Heuvelink (1999) en tomate en

invernadero. El índice de cosecha (IC) fue de 0.50, menor al reportado por Heuvelink y Buiskool (1995) con valores de 0.60, mientras que Hao y Papadopoulos (2002) reportan IC de 0.70. El bajo IC en este trabajo se explica por el aclareo de frutos que se realizó, lo cual concuerda con lo reportado por Heuvelink y Buiskool (1995). Las plantas injertadas mostraron mayor área de hoja ($P \leq 0.005$) y área foliar específica ($P \leq 0.0167$). En general, mayor área foliar y área foliar específica incrementan la producción de materia seca y mejoran la intercepción de la radiación (Heuvelink y Dorais, 2005). Además, las plantas injertadas alcanzaron mayor altura ($P \leq 0.0005$), debido al vigor del portainjerto. El vigor del cultivo permite dejar una mayor cantidad de frutos por racimo; sin embargo, en el presente estudio se realizó el aclareo convencional en los tratamientos con y sin injerto. Esta situación de manejo explica por qué la mayor área foliar, área foliar específica y biomasa de hojas y tallo no se reflejaron en un mayor rendimiento de la planta injertada (Heuvelink y Buiskool, 1995). Es importante destacar que de la acumulación total de materia seca en la parte aérea que asciende a 29.5 y 27.1 Mg ha⁻¹, la mitad es residuo de cultivo que se puede usar para preparar compost en el predio y rescatar una importante cantidad de MO rica en nutrientes que, regularmente, se pierde cuando se deja ir la posibilidad de ganar contenido de carbono en el suelo con todas las consecuencias benéficas que esto representa para el mejoramiento de sus propiedades físicas y biológicas (Hartz *et al.*, 1996).

Por otro lado, al igual que en el caso de rendimiento, no hubo respuesta a la fertilización para altura, área foliar, área foliar específica y biomasa. La causa de esta falta de respuesta es la reserva nutrimental presente en el suelo antes del experimento, como lo sustenta el análisis de fertilidad del suelo.

Cuadro 3. Efecto del injerto y del suministro nutrimental sobre altura, área foliar, área foliar específica y materia seca en diversos componentes de la planta de tomate.

Factor	Altura total	Área foliar	Área específica	Hoja	Materia seca			Total	IC [†]
	cm	cm ²	cm ² g ⁻¹		Tallo	Fruto	Total		
Planta									
Injertada	511 a ^{††}	827 a	192 a	1036 a	446 a	1465 a	2947 a	0.50 a	
Sin injertar	482 b	749 b	183 b	922 b	403 b	1389 a	2714 b	0.51 a	
DMS	15	52	7	53	37	90	126	0.02	
Porcentaje de solución nutritiva Steiner (SN)									
33%	493 a	779 a	193 a	966 a	400 b	1423 a	2789 a	0.51 a	
66%	500 a	795	185 a	959 a	419 ab	1411 a	2790 a	0.51 a	
100%	497 a	790 a	186 a	1011 a	453 a	1447 a	2911 a	0.50 a	
DMS	18	63	9	65	45	110	154	0.02	
P x SN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CV (%)	3.4	7.6	4.6	6.3	10.2	7.4	5.2	4.47	

[†]IC = Índice de cosecha; ^{††}Promedios con diferentes letras en las columnas y factor indican una diferencia estadística, según DMS ($P \leq .05$); DMS = diferencia mínima significativa; ns = no significativo ($P < 0.05$); CV = Coeficiente de variación.

Extracción y Concentración de Nutrientes

Nitrógeno. La acumulación total de N en tomate a los 248 DDT se presenta en el Cuadro 4. Las plantas injertadas mostraron la misma concentración de N total en hojas y fruto, no así en tallo, que mostró una mayor concentración ($P \leq 0.0002$) que las no injertadas. Por otro lado, la extracción de N total en tallo, hoja y biomasa total fue significativamente mayor en las plantas injertadas (Cuadro 4), lo cual es el resultado de

un mayor vigor del cultivo en condiciones de injerto (Lee y Oda, 2003). Los valores de extracción total mostrados en este estudio son ligeramente mayores que los reportados por Bar-Yosef (1999) en un ciclo de producción más corto, pero semejantes a los de Hao y Papadopoulos (2002) en un ciclo similar a esta investigación. Por otra parte, en cuanto a la variable dosis de fertilización, sólo se afectó ligeramente la concentración ($P \leq 0.0083$) de N total en tallo, por efecto del nivel de suministro nutrimental. También

Cuadro 4. Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de nitrógeno en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de nitrógeno (ICN).

Factor	Concentración de N total			Extracción de N				Total	ICN
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	- - - - - g m ⁻² - - - - -		
Planta									
Injertada	2.91 a [†]	1.61 a	1.72 a	30.2 a	7.17 a	24.9 a	61.7 a	0.40 a	
Sin injertar	2.88 a	1.50 b	1.72 a	26.5 b	6.05 b	23.5 a	55.6 b	0.42 a	
DMS	0.12	0.07	0.08	1.62	0.71	2.04	2.46	0.03	
Porcentaje de solución nutritiva Steiner (SN)									
33	2.89 a	1.54 ab	1.69 a	27.9 a	6.20 b	23.6 a	56.9 b	0.41 a	
66	2.93 a	1.48 b	1.74 a	28.0 a	6.24 b	24.0 a	57.7 b	0.41 a	
100	2.88 a	1.63 a	1.73 a	29.1 a	7.38 a	24.9 a	61.4 a	0.41 a	
DMS	0.15	0.08	0.1	2.0	0.87	2.5	3.0	0.03	
P x SN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CV (%)	5.00	5.19	5.54	6.67	12.6	9.85	4.86	7.56	

[†]Promedios con diferentes letras en las columnas y factor indican una diferencia estadística, según DMS ($P \leq 0.05$); ns = no significativo ($P < 0.05$); CV = coeficiente de variación.

se incrementó la acumulación de este nutriente en esta porción de la planta, así como en la biomasa total ($P < 0.0419$).

Fósforo. La concentración y acumulación de P se presenta en el Cuadro 5. Las plantas injertadas mostraron la misma concentración de P en hojas y tallo, no así en fruto donde hubo una mayor concentración en plantas injertadas que en las no injertadas. Por su parte, la extracción de P en tallo, hoja y en biomasa total fue significativamente mayor en las plantas injertadas, lo cual es el resultado de la mayor acumulación de biomasa en esas plantas (Hartmann *et al.*, 2002). Por otro lado, en cuanto a la variable dosis de fertilización, sólo se afectó ligeramente la concentración de P en el tallo por efecto del nivel de suministro nutrimental. También se incrementó la acumulación de este nutriente en esa porción de la planta, así como en la biomasa total ($P < 0.01$). La extracción de P fue inferior a la reportada por Hao y Papadopoulos (2002) en un cultivo hidropónico. En cambio, Bar-Yosef (1999) reporta menor acumulación en riego por goteo en invernadero.

Potasio. La concentración y extracción de K fue afectada por el portainjerto, mostrando mayor concentración de K en la hoja de las plantas injertadas (Cuadro 6). El incremento fue del 20, 4 y 7% en tallo, hoja y fruto, respectivamente. En cuanto a la cantidad de K extraído por la hoja, el tallo y el fruto, éste fue de 35, 23 y 9%, respectivamente, más alto en las plantas injertadas. En total, la extracción de K superó en 18% a la planta no injertada. En las plantas injertadas el IC

del K fue 7% menor que en las no injertadas, por lo tanto se concluye que, al usar Gironda sobre Maxifort se logra una mayor eficiencia en la absorción de K. Por su lado, Chung *et al.* (1997) encontraron que la concentración de K en la hoja de tomate fue hasta 54% mayor al injertar las plantas. Las raíces presentan mayor selectividad por algunos elementos (Rivero *et al.*, 2004), aunado a una mayor movilidad del K al cruzar por la membrana plasmática, lo cual causa una disminución en la absorción de otros cationes de baja movilidad, como Mg y Ca (Marschner, 1995). La cantidad requerida de K en un ciclo largo de tomate, reportada por Bar-Yosef (1999), es ligeramente inferior a la de esta investigación. El incremento en la absorción de K está fuertemente asociado con la calidad del fruto (Marschner, 1995). Este efecto causó que la planta injertada incrementara los calibres del fruto. Por su parte, Chung *et al.* (1997) encontraron que, al usar diferentes patrones de tomate, se incrementa el contenido de K en hoja, licopeno y rendimiento en el fruto de tomate, pero decrece el contenido de sólidos solubles por efecto del portainjerto. En cambio, Kim *et al.* (1999), al evaluar dos cultivares (parte aérea) de melón sobre 8 portainjertos, en el cultivar Keumdongee usado como parte aérea, no mostró efecto en los sólidos solubles, largo y diámetro del fruto, pero en algunos casos, al usar diferentes portainjertos, la concentración de K en la savia fue mayor.

Calcio. Los datos de concentración y extracción de Ca se muestran en el Cuadro 7. La concentración de Ca no

Cuadro 5. Efecto del injerto y del suministro nutrimental en tomate bajo invernadero sobre la concentración y extracción de fósforo en distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de fósforo (ICP).

Factor	Concentración de P total			Extracción de P total				Total	ICP
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total		
	%			g m ⁻²					
Planta									
Injertada	0.30 a [†]	0.31 a	0.30 a	3.09 a	1.37 a	4.54 a	9.01 a	0.50 a	
Sin injertar	0.28 a	0.28 a	0.27 b	2.57 b	1.14 b	3.83 b	7.58 b	0.51 a	
DMS	0.03	0.03	0.016	0.31	0.18	0.36	0.65	0.03	
Porcentaje de solución nutritiva Steiner (SN)									
33	0.29 a	0.28 b	0.47 a	2.80 a	1.14 b	3.91 b	7.85 b	0.50 ab	
66	0.28 a	0.23 c	0.38 a	2.70 a	0.97 b	4.17 ab	7.83 b	0.54 ab	
100	0.30 a	0.37 a	0.30 a	3.00 a	1.66 a	4.48 a	9.20 a	0.49 b	
DMS	0.04	0.04	0.02	0.40	0.22	0.45	0.79	0.04	
P x SN	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	**	
CV (%)	12.3	13.8	49.5	12.7	17.0	10.1	9.10	7.11	

[†]Promedios con diferentes letras en las columnas y factor indican una diferencia estadística, según DMS ($P \leq 0.05$); * significativo al 5%, ** significativo al 1%.: ns = no significativo ($P < 0.05$); CV = coeficiente de variación.

Cuadro 6. Efecto del injerto y del suministro nutrimental sobre la concentración, extracción e índice de cosecha de potasio (ICK) en tomate en condiciones de invernadero.

Factor	Concentración de K total			Extracción de K total				ICK
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
----- % -----								
Planta								
Injertada	2.88 a [†]	4.03 a	4.48 a	29.8 a	17.9 a	59.6 a	107.3 a	0.56 b
Sin injertar	2.39 b	3.87 b	4.18 b	22.0 b	14.5 b	54.6 b	91.1 b	0.60 a
DMS	0.19	0.12	0.19	1.85	1.42	3.31	4.55	0.02
Porcentaje de solución nutritiva Steiner (SN)								
33	2.74 a	3.88 b	4.29 ab	26.5 a	15.3 b	55.5 a	97.4 a	0.58 a
66	2.70 a	3.94 ab	4.24 b	26.1 a	16.3 ab	56.6 a	99.0 a	0.58 a
100	2.47 b	4.02 a	4.47 a	25.0 a	17.1 a	59.2 a	101.3 a	0.59 a
DMS	0.23	0.15	0.23	2.3	1.74	4.06	5.6	0.02
P x SN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8.25	3.59	5.00	8.33	10.2	6.76	5.35	3.82

[†]Promedios con diferentes letras en las columnas y factor indican una diferencia estadística, según DMS ($P \leq 0.05$); ns = no significativo ($P < 0.05$); CV = coeficiente de variación.

fue afectada por el injerto, aunque su extracción sí fue modificada en hoja y tallo, mas no en fruto. El Ca total extraído por el cultivo fue significativamente mayor ($P < 0.0001$) en la planta injertada que en la no injertada. Al igual que en los otros nutrientes, el efecto sobre la extracción en los componentes de la planta y la extracción total fue el resultado de la mayor acumulación de biomasa como resultado del mayor vigor de la planta (Lee y Oda, 2003).

Magnesio. Los datos de concentración, extracción e índice de cosecha de Mg se presentan en el Cuadro 8. La concentración de Mg fue significativamente menor

($P \leq 0.0001$) en la planta injertada que en la no injertada, tanto en hoja como en tallo, pero no en fruto. La extracción de Mg también fue significativamente menor en la planta no injertada ($P \leq 0.0451$). El portainjerto dificultó la translocación de este nutriente a la parte aérea. Esto es causado por una interacción que ocurre como resultado de una baja translocación del Mg²⁺ de la raíz hacia el tallo y la hoja, pues la absorción de Mg²⁺ al nivel de la raíz no se ve afectada por el exceso en el suministro de K⁺ (Ohno y Grunes, 1985). Por su parte, Chung *et al.* (1997) encontraron una mayor concentración de Mg²⁺ en las plantas sin injerto.

Cuadro 7. Efecto del injerto y del suministro nutrimental en tomate sobre la concentración, extracción e índice de cosecha de calcio (ICCa), en los distintos componentes de la planta de tomate en invernadero.

Factor	Concentración de Ca total			Extracción de Ca total				ICCa
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
----- % -----								
Planta								
Injertada	5.24 a [†]	1.96 a	0.19 a	54.3 a	8.7 a	2.71 a	65.8 a	0.04 a
Sin injertar	5.15 a	1.90 a	0.19 a	47.6 b	7.6 b	2.56 a	57.8 b	0.04 a
DMS	0.17	0.07	0.02	3.3	0.8	0.35	3.4	0.01
Porcentaje de solución nutritiva Steiner (SN)								
33	5.34 a	1.85 b	0.18 a	51.7 a	7.41 b	2.42 a	61.5 b	0.04 a
66	4.83 b	2.07 a	0.19 ab	46.3 b	8.74 a	2.74 a	57.8 b	0.05 a
100	5.42 a	1.86 b	0.21 a	54.9 a	8.43 a	2.74 a	66.0 a	0.04 a
DMS	0.20	0.09	0.03	4.0	0.96	0.43	4.22	0.01
P x SN	ns	**	*	ns	*	ns	ns	ns
CV [#] (%)	3.72	4.37	14.9	7.55	11.1	15.4	6.50	17.73

[†]Promedios con diferentes letras en las columnas y factor indican una diferencia estadística, según DMS ($P \leq 0.05$); * significativo al 5%, ** significativo al 1%; ns = no significativo ($P < 0.05$); CV = coeficiente de variación.

Cuadro 8. Efecto del injerto y del suministro nutrimental sobre la concentración, extracción e índice de cosecha de magnesio (ICMg) en tomate de invernadero bajo condiciones de suelo.

Factor	Concentración de Mg total			Extracción de Mg total				Total	ICMg
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	g m ⁻²		
Planta									
Injertada	0.59 b [†]	0.34 b	0.13 a	6.06 a	1.50 b	1.83 a	9.39 b	0.20 a	
Sin injertar	0.73 a	0.44 a	0.13 a	6.58 a	1.78 a	1.75 a	10.2 a	0.17 b	
DMS	0.5	0.02	0.01	0.63	0.19	0.13	0.8	0.02	
Porcentaje de solución nutritiva Steiner (SN)									
33	0.72 a	0.4 a	0.12 c	6.92 a	1.68 ab	1.66 b	10.26 a	0.21 b	
66	0.69 a	0.4 c	0.13 b	6.50 a	1.46 b	1.83 a	9.79 a	0.19 a	
100	0.56 b	0.4 b	0.14 a	5.53 b	1.79 a	1.90 a	9.16 a	0.17 a	
DMS	0.06	0.02	0.01	0.77	0.23	0.16	0.95	0.02	
P x SN	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	
CV [#] (%)	9.25	5.62	4.59	11.58	13.37	8.24	9.25	11.02	

[†]Promedios con diferentes letras en las columnas y factor indican una diferencia estadística, según DMS ($P \leq 0.05$); * significativo al 5%, ** significativo al 1%; ns = no significativo ($P < 0.05$); CV = coeficiente de variación.

Las concentraciones son similares a las reportadas por Marschner (1995) y la extracción total de Mg es igual a la reportada por Castilla (1999).

En los Cuadros 4, 5, 6, 7 y 8 se aprecia que las plantas injertadas son capaces de extraer mayor cantidad de nutrientes que las no injertadas, excepto para Mg. Una gran parte de estos nutrientes se ubican en los residuos del cultivo, los cuales pueden ser aprovechados como abono orgánico para el siguiente ciclo, una vez compostados y en cuyo proceso se reduce cualquier reducto de patógenos del cultivo anterior. En un ciclo de 248 DDT se pueden generar por el residuo hasta 320, 60, 480, 630 y 70 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, cantidades importantes que puede representar un ahorro significativo en el uso de fertilizantes para el productor.

La extracción unitaria nutrimental se obtiene de los Cuadros 3, 4, 5, 6, 7 y 8 en promedio en planta injertada y sin injerto estos valores son 2.1, 0.31, 3.7, 2.3 y 0.35 g de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, por tonelada de fruta cosechada; estos datos están dentro del rango reportado por Castilla (1999), excepto para K⁺, el cual es menor que el citado por este autor, pero similar al reportado por Bar-Yosef (1999).

CONCLUSIONES

- El injerto no afectó el rendimiento comercial del fruto de tomate, pero originó un incremento de 40% en frutos de mayor calibre (mayores de 256 g).

- Las plantas injertadas presentaron mayor vigor que se reflejó en un incremento de 9% en acumulación de materia seca y en una mayor acumulación de todos los macronutrientos, excepto para magnesio.

- Los tratamientos con diferentes niveles de suministro nutrimental no mostraron diferencias significativas en rendimiento, lo que hace factible la producción de tomate con una solución nutritiva al 33% en un ciclo de 248 días después del trasplante, en un suelo que presenta un alto contenido de nutrientes.

- A menor suministro nutrimental, disminuyeron la acumulación total de materia seca, y la extracción total de nitrógeno, fósforo y calcio en la planta.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la SAGARPA el apoyo en el desarrollo del proyecto "Incremento en rendimiento, productividad y eficiencia en el uso de fertilizantes químicos, biológicos y abonos orgánicos de los principales cultivos básicos empleando métodos racionales de diagnóstico y recomendación", donde este trabajo fue financiado parcialmente. Se agradece al INIFAP las facilidades para realizar este trabajo en el ciclo agrícola 2004-05.

También se agradece al M.C. Jorge Alvarado la revisión y recomendaciones para elaborar el presente manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Aloni, B., E. Pressman, and L. Karni. 1999. The effect of fruit load, defoliation and night temperature on the morphology of pepper flowers and on fruit shape. Ann. Bot. 83: 529-534.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. Adv. Agron. 65: 1-77.

- Bletsos, F., C. Thanassoulopoulos, and D. Roupakias. 2003. Effect of grafting on growth yield, and verticillium wilt of eggplant. Hortscience 38: 183-186.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphates in soils. Soil Sci. 59: 39-45.
- Castilla P., N. 1999. Manejo del cultivo intensivo con suelo pp. 189-225. In: Nuez F. (ed.). El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Cataldo, D. F., H. Haroon, L. E. Sachrader, and V. L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 6: 71-80.
- Chapman, H. D. and W. P. Kelly. 1930. The determination of the replaceable bases and bases exchange capacity of soils. Soil Sci. 30: 391-406.
- Chung, H. D., S. J. Youn, and Y. J. Choi. 1997. Effects of rootstock on yield, quality and components of tomato fruit. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38: 603-607.
- Dieleman, A. and E. Heuvelink. 2005. Gebruik van onderstammen bij vruchtgroenten. Plant Res. Inter. 367: 1-37. [http://www.tuinbouw.nl/website/ptcontent.nsf/vwAllOnID/A86C30ED97C0635EC125707E0034CEF3/\\$File/rapportonderstammen.doc](http://www.tuinbouw.nl/website/ptcontent.nsf/vwAllOnID/A86C30ED97C0635EC125707E0034CEF3/$File/rapportonderstammen.doc) (Consulta: noviembre 28, 2006).
- Hao, X. and A. P. Papadopoulos. 2002. Growth, photosynthesis and productivity of greenhouse tomato cultivated in open or closed rockwool systems. Can. J. Plant Sci. 82: 771-780.
- Hartmann, H. T., D. E. Kester, F. T. Davies, Jr., and R. L. Geneve. 2002. Plant propagation, principles and practices. 7th ed. Prentice Hall. New York, NJ, USA.
- Hartz, K. T., F. J. Costa, and W. L. Schrader. 1996. Suitability of composted green waste for horticultural uses. Hort. Sci. 31: 961-964.
- Heuvelink, E. and R. P. M. Buiskool. 1995. Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. Ann. Bot. 75: 381-389.
- Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. Ann. Bot. 83: 413-422.
- Heuvelink, E. and M. Dorais. 2005. Crop growth and yield. pp. 85-144. In: Heuvelink (ed.). Tomatoes. CAB Publishing. Wallingford, UK.
- Jones, J. B. and V. W. Case. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: R. L. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis. 2nd ed. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Jones Jr., J. B., B. Wolf, and H. A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. Micro Macro Publishing. Athens, GA, USA.
- Kim, S. E., K. H. Jung, and J. M. Lee. 1999. Contents of mineral elements and cytokinins in xylem sap of two oriental melon cultivars affected by rootstock. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 17: 742-746.
- Lee, J. M. and M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. Hort. Rev. 28: 61-124.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London, UK.
- Miguel, A. 1997. El injerto de hortalizas. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España.
- Ohno, T. and D. L. Grunes. 1985. Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 685-690.
- Ristaino, J. B. and W. Thomas. 1997. Agriculture, methyl bromide, and the ozone hole: Can we fill the gaps? Plant Dis. 81: 964-977.
- Rivero, M. R., J. M. Ruiz, and L. Romero. 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. Food Agric. Environ. 1: 70-74.
- Rivero M. R., J. M. Ruiz, and L. Romero. 2004. Iron metabolism in tomato and watermelon plants: influence of grafting. J. Plant Nutr. 27: 2221-2234.
- Ruiz, J., M. A. Belakbir, and L. Romero. 1996. Foliar level of phosphorus as its bioindicators in *Cucumis melo* grafted plants. A possible effect of rootstock. J. Plant Physiol. 149: 400-404.
- Ruiz, J. M., A. Belakbir, I. López-Cantarero, and L. Romero. 1997. Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. Sci. Hortic. 71: 227-234.
- SAS Institute. 1999. User's guide. Version 8. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Scholberg, J., B. L. McNeal, K. K. Boote, J. W. Jones, S. J. Locascio, and S. M. Olson. 2000. Nitrogen stress effects on growth and nitrogen accumulation by field-grown tomato. Agron. J. 92: 159-167.
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. Plant Soil 15: 134-154.
- Susuki, T. and M. Morishita. 2002. Effects of scion and rootstock cultivars on growth and yield of eggplant cultured under two fertilizer levels. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 71: 568-574.