

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO
EDAFOLOGÍA**

**INFLUENCIA DEL INJERTO Y NUTRICIÓN EN TOMATE SOBRE
RENDIMIENTO, MATERIA SECA, EXTRACCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE
NUTRIMENTOS EN PLANTA Y SUELO, EN INVERNADERO**

HERIBERTO GODOY HERNÁNDEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

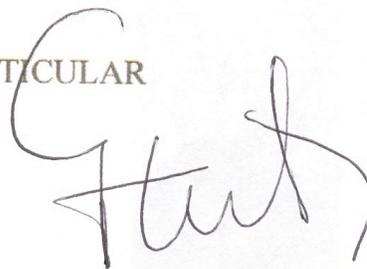
MAESTRO EN CIENCIAS

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO
2007**

La presente tesis titulada: **“Influencia del injerto y nutrición en tomate sobre rendimiento, materia seca, extracción y diagnóstico de nutrimentos en planta y suelo, en invernadero”**, realizada por la alumno: Heriberto Godoy Hernández, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR



CONSEJERO

Dr. Ernesto Gabriel Alcántar González

DIRECTOR DE TESIS



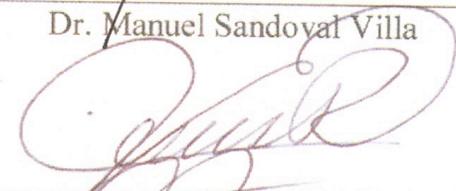
Dr. Javier Zaragoza Castellanos Ramos

ASESOR



Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR



Dr. José de Jesús Muñoz Ramos

Agradecimientos

Instituciones

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

Colegio de Postgraduados (CP)

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)

Por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios y formación de maestría.

Se agradece el apoyo a la SAGARPA 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, durante los años agrícolas 2004-2005.

Personas

De manera especial a mi director tesis, el Dr. Javier Z. Castellanos, por su amistad, confianza, paciencia y apoyo incondicional tanto económico como técnico con el cual siempre conté para la realización de esta investigación.

A los demás integrantes de mi consejo particular: Dres. Ernesto Gabriel Alcantar González, Manuel Sandoval Villa y José de Jesús Muñoz Ramos, por su paciencia y contribuciones en la investigación de esta tesis y productos de la misma.

A mis compañeros y amigos del INIFAP campo bajo que permitieron con sus generosos conocimientos, consejos y apoyo brindado durante este trabajo a Elvira Gasca, Patricia Vargas Tapia, José Luis Ojodeagua, Salvador Villalobos, M. C. Alejandro Rodríguez, Dr. Armando Aguado (y su grupo de trabajo), M. C. Arturo Gaytan, Javier Lerma, Daniel Rodríguez M, Manuel Paredes, Andrea Gómez, Maricruz Gómez, Lolita, Francisco Ramírez, Carlos Barrientos, Ramón Mondragón. Así como también a Ing. Beatriz Hurtado y su grupo de trabajo en especial a Isabel, Silvano, Rene, por el apoyo para la elaboración de análisis de suelo y por su amistad.

A sí como a los maestros de ITR, en especial al Dr. José Luis Maya de León por sus consejos y amistad brindada, M. C. Jesús Frías, M. C. Vidal, M.C. Guadalupe García por su amistad y apoyo.

A mis compañeros del CP quien me permitieron retroalimentarme con sus conocimientos y ayuda de que brindaron, así como su amistad en especial a: Rene Hortelano, Mónica Avilés, Edith, Leonardo Martínez, Guadalupe Valadez, Rodolfo.

Al personal de la biblioteca del CP que me apoyaron en la búsqueda de bibliografía Raymundo Flores, Juan Morales, Hugo Paredes.

Sin embargo, la lista es más larga, pero agradezco a todos quienes contribuyeron en la realización de este trabajo.

....Mil gracias a todos

Dedicatoria

Le dedico este trabajo en especial a mi abuelito *José Hernández Gasca*[†] que con sus relatos y experiencia que hicieron interesarme en la agricultura.

A mi madre *Virginia Hernández Lerma* por ser uno de los pilares que en la motivación y lucha en mi vida, por su amor, fe, paciencia, perseverancia, sacrificio y cuyo ejemplo me sirvió para concluir con este trabajo, con respecto y gratitud eterna, *Gracias*.

A mi Hermana *Maria Concepción Godoy Hernández* gracias por los momentos de convivencia felices que hemos pasado y el apoyo moral en todo momento y a su hija *Guadalupe Alexandra Alberto Godoy* que lleno de amor y alegría a la familia.

A *M. I. R.* por todo el amor y apoyo incondicional que me brindaste y esos momentos inolvidables que me has dado. *Gracias*.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	<i>ii</i>
ÍNDICE DE CUADROS	<i>iv</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>vi</i>
RESUMEN	<i>vii</i>
ABSTRACT	<i>viii</i>
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia de tomate	3
2.2 El injerto en hortalizas	3
2.2.1 Proceso de unión	5
2.2.2 Tipos de injertos	6
2.2.3 Propósito del injerto	8
2.2.3.1 <i>Uso del injerto en la tolerancia a enfermedades</i>	8
2.2.3.2 <i>El injerto y el incremento en el rendimiento del cultivo</i>	9
2.2.3.3 <i>Efecto del injerto sobre la calidad del fruto</i>	10
2.2.3.4 <i>Efecto del injerto en el crecimiento del cultivo</i>	11
2.2.3.5 <i>Efecto sobre la absorción de nutrimentos</i>	12
2.2.4 Problemática del injerto	13
2.3 Solución nutritiva	14
2.4 Conclusiones de la revisión de literatura	15
2.5 Literatura Citada	16
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	24
3.1 Objetivo general	24
3.1.1 <i>Objetivos particulares</i>	24
3.2 Hipótesis generales	25
3.2.1 Hipótesis particulares	25
IV. EFECTO DEL INJERTO Y NUTRICIÓN DE TOMATE SOBRE EL RENDIMIENTO, MATERIA SECA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIMENTOS	27
4.1 Resumen	27
4.2 Summary	28
4.3 Introducción	29

4.4	Materiales y métodos	30
4.4.1	Material vegetal y acondicionamiento cultural	30
4.4.2	Polinización y cosecha	31
4.4.3	Producción de materia seca	32
4.4.4	Análisis químico de suelo y planta.....	32
4.4.5	Análisis estadístico.....	33
4.5	Resultados y discusión	33
4.5.1	Rendimiento comercial.....	33
4.5.2	Producción de materia seca aérea.....	36
4.5.3	Extracción y concentración de nutrimentos	38
4.6	Conclusiones	47
4.7	Agradecimiento.....	48
4.8	Literatura citada	48
V.	<i>DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL EN TOMATE INJERTADO EN INVERNADERO.....</i>	52
5.1	Resumen	52
5.2	Summary	53
5.3	Introducción.....	53
5.4	Materiales y métodos	55
5.4.1	Material vegetal y acondicionamiento cultural	55
5.4.2	Análisis químico de suelo y planta.....	57
5.4.3	Análisis estadístico.....	58
5.5	Resultados y discusión	58
5.5.1	Diagnóstico en la hoja mas recientemente madura	58
5.5.2	Diagnóstico en extracto celular de pecíolo	60
5.5.3	Diagnóstico en extracto de pasta saturada.....	61
5.6	Conclusiones	63
5.7	Literatura citada	64
VI.	<i>CONCLUSIONES GENERALES.....</i>	68
VII.	<i>RECOMENDACIÓN GENERAL</i>	69
VIII.	<i>APÉNDICE</i>	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Cantidad aplicada de nutrimentos en cada uno de los niveles evaluados.....	31
Cuadro 2	Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre el rendimiento y calibre del fruto del tomate.....	35
Cuadro 3	Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la longitud del tallo, área foliar, área foliar específica y materia seca en diversos componentes de la planta de tomate.....	38
Cuadro 4	Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de N en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de N en tomate bajo invernadero.....	40
Cuadro 5	Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de P en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de P en tomate bajo invernadero.....	41
Cuadro 6	Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de K en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de K en tomate bajo invernadero.....	43
Cuadro 7	Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de Ca en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de Ca, en tomate bajo invernadero.....	44
Cuadro 8	Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de Mg en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de Mg en tomate bajo invernadero.....	46
Cuadros en apéndice		
Cuadro 1-a	Concentración de N-NO ₃ , P-Bray, K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ y Na ⁺ en el perfil del suelo antes del trasplante.....	70
Cuadro 2-a	Producción semanal del fruto comercial de tomate ‘Gironda’ injertado y sin injertar, expuesta a tres niveles de fertilización.....	71
Cuadro 3-a	Cantidad aplicada de nutrimentos de la solución nutritiva al 100% y cantidad de agua en promedio diariamente.....	72

Cuadro 4-a	Cantidad aplicada de nutrimentos de la solución nutritiva al 66% y cantidad de agua en promedio diariamente.	73
Cuadro 5-a	Cantidad aplicada de nutrimentos de la solución nutritiva al 33% y cantidad de agua en promedio diariamente.	74
Cuadro 6-a	Cantidad aplicada de micronutrimentos en promedio diariamente.	75
Cuadro 7-a	Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de S en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de S.	76
Cuadro 8-a	Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de Fe en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de Fe.	76
Cuadro 9-a	Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de Mn en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de Mn.	77
Cuadro 10-a	Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de Zn en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de Zn.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Técnicas más usadas en cucurbitáceas: (A) aproximación, (B) empalme; Solanáceas: (C) empalme (Lee, 1994; Miguel, 1997; Lee y Oda, 2003).	6
Figura 2.	Efecto del injerto en tomate, sobre la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la hoja más recientemente madura en diferentes etapas de desarrollo. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estándar.	59
Figura 3.	Efecto del injerto sobre la NO_3^- , PO_4^- y K^+ en extracto celular de pecíolo. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estándar.	60
Figura 4.	Concentración de NO_3^- , PO_4^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (meq L^{-1}) y CE en extracto de pasta saturada en función solución nutritiva al 33, 66 y 100% (SN-33, SN-66 y SN-100, respectivamente) a una profundidad de 30 cm en tomate sin y con injerto. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estándar.	63

Figuras en apéndice

Figura 1-a	Materia seca acumulada por efecto de poda en tomate ‘Gironda’ injertado y sin injertar durante el ciclo del cultivo.	70
Figura 2-a	Relación entre el contenido de N- NO_3 , P y K en el extracto celular de pecíolo (ECP) contra la concentración del N total y P (%) en la hoja más recientemente madura (HMRM) en tomate con y sin injerto.	78
Figura 3-a	Respuesta de plantas con y sin injerto a diferentes densidad de flujo fotonico (0, 600, 1200, 2400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a una concentración de CO_2 de 350 y 1000 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a los 180 DDT bajo condiciones de suelo. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estándar.	78
Figura 4-a	Respuesta de plantas con y sin injerto a diferentes concentración de CO_2 (0, 500, 1000, 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a una densidad de flujo fotonico (DFE) de 600 y 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a los 180 DDT bajo condiciones de suelo.	79

RESUMEN

En México la superficie de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero ha crecido en forma acelerada. La mayor parte se cultiva en suelo, sin embargo su manejo genera 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, provoque una mayor exploración del suelo que eventualmente se traduzca en una mayor eficiencia para tomar los nutrientes, para lo cual es necesario hacer uso del monitorio nutrimental. Esto permite conocer el estado de nutrición de la planta y considerar la cantidad de fertilizante a aplicar y con ello disminuir el impacto al medio ambiente. Para comprobar esta hipótesis, se realizó un estudio donde se evaluó el efecto del uso de injerto y tres niveles de suministro nutrimental sobre el rendimiento de fruto y sobre varios parámetros de acumulación de materia seca, absorción nutrimental, concentración de macronutrientes en la hoja más recientemente madura (HMRM), en el extracto celular de pecíolo (ECP) y en el extracto de pasta saturada. El estudio se realizó en un ciclo de 248 días. Los resultados muestran que aunque el injerto no incrementó el rendimiento comercial, sí aumentó el vigor de las plantas, lo que se reflejó en una mayor longitud del tallo 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 afectó la precocidad y produjo frutos de mayor calibre (4%), pero también incrementó los frutos deformes debido al exceso de vigor. La planta injertada mostró mayor extracción de todos los nutrientes, sobre todo una mayor eficiencia en la absorción de K. El portainjerto mostró 5% más concentración de K en la parte aérea en la

HMRM, un 7% en ECP y 21% menos de concentración en Mg en la HMRM de las plantas injertadas.

ABSTRACT

There has been an accelerated growth of green house surface for tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Mexico. Most use soil but this type of management has caused serious problems of root pathogens. The use of rootstock resistant to soil pathogens is an environment-friendly technology. It is expected that this production technique with plants of larger root systems, should induce more soil exploration which eventually will translate to more efficient nutrient up-take. A monitoring system is necessary as it indicates the nutritional condition of the plant, allowing the determination of fertilizer quantities required and thus reduces their impact on the environment. To test his hypothesis, a study on the effect of grafting and three nutritional regimens on yield, dry matter accumulation and nutrient absorption was carried out. The effect of monitoring nutrient concentration in the most recent mature leaf (MRML), in the extract of petiole cells (ECP) and in the saturated paste extract during the crop cycle was also studied. The study was done in a cycle of 248 days. Although the commercial yields were not raised, the results of the study showed increased vigor in the plants as reflected by increase in height (6%), leaf area (10%), specific leaf area (5%) and dry matter production in leaves, stems and the total of the aerial part (9%). Grafting caused early maturing and produced fruits of a higher caliber (4%), but also more deformed fruit because of increased vigor. The grafted plants had higher concentrations of all nutrients and showed more efficiency in the absorption of K. The rootstock used produced highest concentration of K in the aerial parts, 5% in MRML, 7% in ECP and 21% less in the average concentration of Mg than the grafted plants.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, la industria de la horticultura protegida en los últimos años ha crecido en forma acelerada, siendo el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) el principal cultivo con más de 1900 ha de superficie en invernadero (Steta, 2004). En su producción el costo por tonelada de tomate puede llegar a más de US \$800 (Cook y Calvin, 2005). Los productores buscan disminuir los costos, y la producción en suelo puede ser una alternativa para ello. Por otro lado, el cultivo de solanáceas, ya sea a campo abierto o en condiciones protegidas se han generado serios problemas de enfermedades y nematodos, principalmente debido a la falta de rotación de cultivos (Oda, 1999). Las plantas atacadas por algunos de estos patógenos reducen su vida media, crecimiento, rendimiento, y el calibre de la fruta (Bletsos *et al.*, 2003). Una forma de evitar que estos patógenos afecten al cultivo es la desinfección del suelo con bromuro de metilo (BM), utilizado especialmente en cultivos intensivos de alto valor económico (Ristaino y Thomas, 1997), además de otras alternativas como el “metam sodio” y “metam potasio”. Sin embargo, el BM reacciona con las moléculas de ozono causando la destrucción de está (Molina y Rowland, 1974), lo que ha incrementado la incidencia de rayos ultravioletas sobre la superficie de la tierra elevándose con ello los problemas de cáncer en la piel y los ojos, y el impacto negativo en el medio ambiente, (Robock, 1996). Además, el BM es tóxico para humanos y animales (Ristaino y Thomas, 1997). Desde 2005 en los países desarrollados no se permite el uso del BM y para los países en desarrollo existe un amparo hasta el 2015 y sólo será permitido en algunos usos denominados críticos (TEAP y MBTOC, 2006). Esta circunstancia ha promovido la utilización de nuevas estrategias para enfrentar el problema, entre las que se encuentran enmiendas orgánicas, control biológico, prácticas culturales, mejoramiento genético,

métodos físicos (Smeets, 2004) y el mas prometedor de estos, el uso de injerto sobre patrones resistentes a los patógenos del suelo (Lee, 1994; Oda, 1995).

Sin duda, los portainjertos resistentes a estrés causados por medios abióticos y bióticos, presentan un sistema radical fuerte y vigoroso, el cual, afecta en mayor o menor grado la absorción de nutrimentos. Esto puede estar determinado por el vigor de la parte aérea y radical, así como la compatibilidad entre estas partes. Por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de plantas injertadas y sin injertar con diferentes dosis de nutrimentos sobre la cantidad de materia seca, residuo de cultivo, extracción total de nutrimentos, así como, sobre el diagnóstico nutrimental en planta y suelo, y sobre el rendimiento de plantas de tomate bajo condiciones de invernadero.

El presente trabajo está estructurado de tal manera que en el capítulo correspondiente a resultados se incluyen dos artículos en formato convencional y en cada uno de ellos se describen los materiales y métodos correspondientes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de tomate

El tomate es una solanácea de gran importancia económica en el mundo (Kinet y Peet, 1997). Es uno de los pocos cultivos que se producen en condiciones de horticultura protegida, con la finalidad de obtener productos con alta calidad y seguridad alimenticia, atributos que cada vez son más importantes para el consumidor, no solamente en mercados de exportación, sino también para los nacionales (Baudoin, 1999). Además, bajo esas condiciones existe la posibilidad de lograr una mayor producción por unidad de superficie en comparación con el sistema a campo abierto y, de vender los productos con un sobreprecio, tendientes a recuperar los altos costos de inversión de la producción (Castellanos y Muñoz, 2003).

En México, el tomate es la principal hortaliza que se cultiva. La producción de tomate a campo abierto en el 2003 fue de 1.8 millones de toneladas y en invernadero de 148.3 mil toneladas, con un rendimiento medio de 28 y 156 Mg ha⁻¹, respectivamente (Cook y Calvin, 2005). Para el año 2002 la superficie cultivada en México, fue de 1205.8 ha en invernadero (Urrutia, 2003), en la actualidad se estima una superficie de 2700 ha. Siendo el tomate el cultivo con mayor producción en invernadero, con el 70% de la superficie, del cual el 90% se produce en suelo (Steta, 2004), para reducir costos de producción.

2.2 El injerto en hortalizas

El cultivo de plantas hortícolas injertadas se inició en Corea y Japón alrededor de 1920, injertando sandía sobre patrones de calabaza (Lee, 1994; Lee, 2003). En Europa, los horticultores holandeses, desde 1947, Daskaloff, en los años 50's incluyó esta técnica para

las cucurbitáceas y solanáceas. Las investigaciones de Bravenboer en 1962 fueron el origen del injerto de solanáceas (Miguel, 1997).

En México, la técnica del injerto se empieza a desarrollar a nivel comercial en diferentes empresas agrícolas de tomate y cucurbitáceas, principalmente en los estados de Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Baja California Norte y Sur, Guanajuato, Michoacán y San Luís Potosí (Castellanos, Com. Pers. 2006¹). En el ciclo 2000 y 2001 se llegaron a injertar mas de 60 mil plantas de tomate, pimiento y sandía en los estados de Sinaloa y Jalisco (Burgueño y Barba, 2001), se espera que en los próximos años esta tecnología crezca consistentemente e incluso se extienda rápidamente a las hortalizas producidas en condiciones de campo, pues se esta dando un crecimiento inusitado de esta actividad en varias regiones de México.

El injerto es la unión de dos porciones de tejido vegetal viviente para que se desarrollen como una sola planta (Hartmann *et al.*, 2002). En el ámbito comercial las especies hortícolas que se injertan son: melón (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino), pepino (*Cucumis sativus* L.), sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Nakai), berenjena (*Solanum melongena* L.) tomate y pimiento (*Capsicum annum* L.) (Lee, 1994; Hartmann *et al.*, 2002; Lee y Oda, 2003). En hortalizas el propósito principal del injerto es reducir la infección causada por hongos y nematodos del suelo (Lee, 1994; Hartmann *et al.*, 2002, Lee, 2003; Bletsos *et al.*, 2003), pero a medida que se fue incrementando la utilización de cultivos hortícolas injertados en el mundo los objetivos a cumplir se han ido ampliando, entre ellos se citan: tolerancia a estrés por temperaturas (Ahn *et al.*, 1999; Rivero *et al.*, 2003a), a salinidad (Santa-Cruz *et al.*, 2001) y humedad del suelo (Lee y Oda, 2003), incrementar el rendimiento (Chung *et al.*, 1997), mayor absorción de nutrimentos y

¹ Castellanos J. Z. Investigador titular de INIFAP campo bajo, (Castellanos@intagri.com.mx)

contenido mineral en la parte aérea (Ruiz *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 1997), reduce los agroquímicos aplicados e incrementar en el vigor de la planta (Lee 1994; Lee y Oda, 2003) y simplifica y acorta los programas de mejoramiento genético (Oda, 1999).

2.2.1 Proceso de unión

Para que el injerto tenga éxito ha de haber una coincidencia de los tejidos próximos a la capa de *cambium* que produce un borde producto de la cicatrización llamado “callo” (Hartmann *et al.*, 2002). Se ponen en contacto los tejidos del patrón y del injerto de manera que las regiones del *cambium* coincidan y se mantengan estrechamente unidas mediante una pinza metálica o de silicón o con láminas de plomo. Deben mantenerse unas condiciones de temperatura, alta humedad y baja radiación que estimulen el prendimiento en las células recién puestas en contacto y en las circundantes (Lee, 1994; Oda, 1999). La conexión vascular en injerto compatible se realiza por tres fases: 1) cohesión del patrón y la variedad: poco después de la realización del injerto se forma una capa de aislamiento o capa necrótica que se forma por los residuos de las paredes celulares destruidas por el corte del injerto (Yeoman y Brown 1976; Moore y Walter 1981; Jeffrey y Yeoman 1982); 2) proliferación del callo en la unión: en esta fase se produce una división celular parenquimática en la superficie de contacto entre células e inicia la formación de un callo (Jeffrey y Yeoman 1982; Tiedemann, 1989); 3) diferenciación vascular: Por último, existe una diferenciación del parénquima y de las células del callo en los tubos cribosos formándose una conexión vascular simplástica (Moore y Walter 1981; Jeffrey y Yeoman 1982).

El tomate y la berenjena son compatibles con una gama amplia de géneros y especies mientras que el pimiento sólo puede injertarse sobre plantas de su misma especie. El tomate

se puede injertar sobre *Datura stramonium*, tabaco (*Nicotiana tabacum*), beleño negro (*Solanum nigrum*) (Hartmann *et al.*, 2002) y sobre especies del mismo género (Lee, 1994; Lee, 2003). También se ha injertado tomate sobre papa (*Solanum tuberosum*), produciendo a la vez frutos de tomate y tubérculos de papa (Lee, 2003) y sobre berenjena teniéndose buen prendimiento (Lee y Oda, 2003).

2.2.2 Tipos de injertos

Existen varios tipos de injertos, y se utilizan dependiendo de las especies a injertar, seleccionando siempre el que asegure mayor prendimiento o supervivencia de la planta. Los más importantes y más frecuentemente utilizados en cucurbitáceas son: a) aproximación; b) empalme; y en solanáceas el más usado es empalme (Lee, 1994; Miguel, 1997; Oda, 1999; Lee, 2003), estas técnicas se puede observar en la siguiente Figura 1.

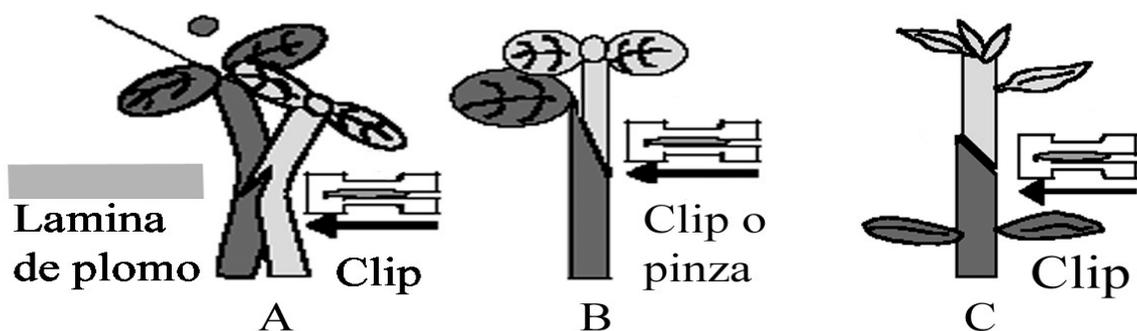


Figura 1. Técnicas más usadas en cucurbitáceas: (A) aproximación, (B) empalme; Solanáceas: (C) empalme (Lee, 1994; Miguel, 1997; Lee y Oda, 2003).

En cuanto al método de empalme, más utilizado en solanáceas (Lee, 1994; Miguel, 1997; Oda, 1999; Lee y Oda, 2003), se realiza de la siguiente manera:

1. El patrón se siembra en charolas de 200 cavidades, la siembra de la variedad (parte área) se realiza en charolas de alveolo pequeño, al mismo tiempo que el patrón si este es *L. esculentum*. Cuando se usa el híbrido Inter específico *L. esculentum* x *L. hirsutum* como portainjertos, se siembra primero el portainjertos y a los 3 a 7 días se efectúa para la variedad.
2. Se realiza el injerto cuando el patrón y la variedad tengan entre 1.8 a 3 mm de diámetro en el tallo. Los cortes del patrón y la variedad se realiza a en diagonal (aproximadamente 45 °C) por debajo de las hojas de los cotiledones. Ambas parte se sujetan y se unen mediante un clip de silicón en el extremo.
3. Se colocan las plantas injertadas en un ambiente de 23 a 28 °C, con una humedad relativa entre 85 a 95% y a baja radiación (5000 lux) durante 7 días.
4. Se inicia la aclimatación a partir de los 3 o 4 días de injertado, que consiste en ir abriendo la cámara para reducir paulatinamente la humedad relativa.
5. Después de los 7 días se llevan al invernadero de plántula para su acondicionamiento, donde se mantiene 7 o 10 días, en caso de usar un solo tallo por planta injertada.
6. Cuando se lleva a dos tallos por planta, la planta injertada se despunta en el invernadero de plántula y se obtienen dos tallos, al salir un brote en la axila de cada una de las dos hojas cotiledonales.
7. Cuando se obtienen dos brotes por planta, se usan charolas con 100 cavidades para evitar la competencia por luz o se separan más las plantas, en las charolas de 200 cavidades.

2.2.3 Propósito del injerto

2.2.3.1 *Uso del injerto en la tolerancia a enfermedades*

En los cultivos hortícolas, el principal objetivo del injerto es obtener resistencia a enfermedades producidas por hongos en el suelo (Cuadro 1). La variedad sensible a cultivar se injerta sobre una planta resistente a la enfermedad que se desea prevenir, perteneciente a otra variedad, otra especie u otro género capaz de unirse (Hartmann *et al.*, 2002). Así, el “portainjerto” resistente permanece sano y asegura un suministro nutrimental normal de la planta, a la cual aísla del parásito. La tolerancia a estas enfermedades en plantas injertadas se debe a la resistencia de los patrones a estos patógenos, ya que se ha aceptado que el sistema radical sintetiza sustancias tolerantes al ataque del patógeno y éstas se transportan a la parte aérea, a través del xilema (Biles *et al.*, 1989; Lee, 1994). Se admite que las características de susceptibilidad de la variedad sensible (parte aérea) a la enfermedad no son translocados al portainjerto (Oda, 1999). Por lo tanto, el portainjerto es el encargado de la aparición o no de los síntomas de infección por hongos del suelo (Lee, 1994). La actividad de estas sustancias relacionadas con la resistencia a la enfermedad variará durante los estados de desarrollo de las plantas injertadas (Padgett y Morrison, 1990; Lee, 1994). Varios experimentos de injerto, incluyendo distintas combinaciones de plantas sensibles y resistentes a *Fusarium oxysporum* spp, indican que la resistencia está ligada con el conjunto raíz-hipocótilo y la susceptibilidad necesita de la existencia del patógeno en el hipocótilo y parte baja del tallo. En la combinación variedad sensible injertada sobre patrón resistente no hay síntomas de enfermedad a causa de la limitada invasión radicular. Si se infectan raíces adventicias de la variedad (parte aérea), se puede manifestar la enfermedad porque el parásito llega a colonizar la parte baja del tallo (Camacho y Fernández, 1999).

Cuadro 1. Enfermedades que previene el uso de injerto en solanáceas

Especie	Enfermedad que se previene	Fuente
Tomate	Marchitez (<i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht f. sp. lycopersici Sn. y Hn. raza 1, 2, 3. F. o. f.sp. radialis lycopersici Jarvis y Shoemaker).	Lee, 1994; Lee y Oda, 2003
	Nemátodos (<i>Meloidogyne</i> spp.).	Miguel, 1997
	<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.	Miguel, 1997; Oda, 1999
	Raíz acorchada [<i>Pyrenochaeta lycopersici</i> (Sch et Gerl)].	Lee y Oda, 2003
	Virus del mosaico de tabaco.	Miguel, 1997
	Marchitez bacteriana (<i>Ralstonia solanacearum</i> Smith).	Oda, 1999
		Yamazaki <i>et al.</i> , 2000a, b; Nakaho <i>et al.</i> , 2000
		Lee y Oda, 2003
Berenjena	<i>Verticillium albo-atrum</i> Reinke & Berthier.	Bletsos <i>et al.</i> , 2003
	<i>Verticillium dahliae</i> Kleb	
	Marchitez bacteriana (<i>Ralstonia solanacearum</i> (Smith) Yabuchii et al. Smith).	Oda, 1999.
	Marchitez (<i>Fusarium oxysporum</i> Schl. f.sp. <i>melongena</i> Matuo et Ishigami).	Lee y Oda 2003; Oda, 1999
Pimiento	Nemátodos (<i>Meloidogyne</i> spp).	
	Marchitez (<i>Phytophthora capsici</i> Leo).	Lee y Oda, 2003 y Lee, 2003
	Tobamovirus.	

2.2.3.2 El injerto y el incremento en el rendimiento del cultivo

El incremento en el rendimiento está fuertemente correlacionado con un mayor vigor de la planta y la resistencia mostrada por el portainjerto a ciertas enfermedades (Lee y Oda, 2003). En resultados obtenidos con tomate ‘Seokwang’, el incremento en el rendimiento fue de 54 y 51% al usar como patrón los cultivares Kagemusa y Helper, respectivamente, comparado con el no injertado (Chung *et al.*, 1997). Por su parte, Dieleman y Heuvelink, (2005) menciona un incremento de un 5 a 15% con un buen manejo de la planta y buena compatibilidad entre el portainjerto y parte aérea, en ciclos largos. El incremento en el rendimiento en plantas injertadas se debe a que los patrones

tienen vigorosos sistemas radicales y son capaces de absorber eficientemente agua y nutrimentos, y funcionando como las raíces de la variedad sin injertar; además, sirven como proveedores de hormonas endógenas (Kim *et al.*, 1999). El rendimiento está fuertemente correlacionado con un buen vigor de la planta y la resistencia mostrada por el portainjerto a ciertas enfermedades (Lee, 1994; Lee, 2003), así como también a la fortaleza de la nueva planta para tolerar ciclos largos de producción sin el detrimento que normalmente ocurre en el rendimiento. Cuando se haya confirmado la compatibilidad entre especies basándose en investigaciones previas, debe llevarse a cabo un estudio de los índices de producción y calidad de la nueva planta formada, ya que ésta puede ser resistente a una gran gama de enfermedades y factores de estrés (Rivero *et al.*, 2003b). Sin embargo, algunas características de producción y calidad de los frutos pueden verse deteriorados por el uso del portainjerto y posiblemente verse afectada la aceptación del producto por el cliente (Lee y Oda, 2003).

El injerto de tomate sobre patrones vigorosos, normalmente híbridos Inter específicos, permite cultivar plantas con dos o más tallos y reducir, de este modo, el número de plantas empleadas y por ende el costo de producción (Miguel, 1997, Peil y Gálvez, 2004), aunque también Miguel (1997) recomienda reducir la densidad de plantas cuando se usa a un solo tallo por planta, cuando la planta muestre gran vigor. Estas alternativas han hecho que el uso del injerto crezca en forma exponencial.

2.2.3.3 Efecto del injerto sobre la calidad del fruto

El tamaño de los frutos, en hortalizas injertadas llega a incrementarse algunas veces, si se compara con frutos de plantas no injertadas. Sin embargo, también se conocen otras características de calidad, como son forma y color del fruto, espesor de la corteza y

concentración de los sólidos solubles, que son influenciados por el portainjerto (Lee, 1994). En resultados obtenidos con tomate, en el cultivar Seokwang, la cantidad de frutos anormales que se obtuvieron fue 45% menor respecto a las plantas sin injertar, usando como portainjerto el cultivar. BFNT-R (Lee, 2003). La influencia de usar un portainjerto sobre las características de calidad del fruto suele ser afectada, esto esta definido principalmente por la compatibilidad y el vigor entre el patrón y la parte aérea (Suzuki *et al.*, 2002).

2.2.3.4 Efecto del injerto en el crecimiento del cultivo

Se ha encontrado que el uso de portainjertos en hortalizas afecta el crecimiento y rendimiento de la parte aérea esto debido al vigor que provee esté (Lee y Oda, 2003). Estas características son el resultado de la resistencia a patógenos que ataca el sistema radical, tolerancia a factores adversos del medio ambiente o del suelo, interacción e incompatibilidad entre el portainjerto y la parte aérea. Estos factores hacen muchas veces que se produzcan un desbalance entre las parte reproductivas y vegetativa, debido a esto es necesario realizar un manejo diferente que las plantas sin injertar, para lograr un mejor balance y distribución de fotoasimilados en la planta (Dieleman y Heuvelink, 2005). Se ha encontrado que en plantas injertadas de pepino, sandia, berenjena y tomate sobre patrones vigorosos tienen un incremento en el área foliar, área foliar específica, longitud del tallo y biomasa (Asao *et al.*, 1999; Chung y Choi, 2002; Lee *et al.*, 2003). En los cultivos de explotación intensiva, tal es como el tomate para obtener altos rendimientos es necesario que la distribución de fotoasimilados sea dirigido hacia los frutos. Pero, esta distribución depende del balance reproductivo-vegetativo, por lo cual, es necesario un equilibrio entre la distribución de los fotoasimilados entre fruto, hoja y tallo para obtener mejores

rendimientos (Heuvelink y Buikool, 1995). Por lo tanto, se hace indispensable que las plantas injertadas sobre patrones vigorosos demandan un manejo diferente para lograr este balance.

2.2.3.5 Efecto sobre la absorción de nutrimentos

Existen portainjertos que muestran resistencia a enfermedades por patógenos edáficos (Lee y Oda, 2003). Sin embargo, se cuenta con pocos trabajos que muestren el efecto que ejerce un patrón sobre el contenido foliar de nutrimentos (Ruiz *et al.*, 2003b). De esta manera, la selección de portainjertos por su eficiencia en la absorción de nutrimentos, es muy rara, limitándose casi siempre a la selección de la misma por su resistencia a distintos factores de estrés ambiental (Ruiz *et al.*, 1997).

El conocimiento de la relación nutricional entre la raíz y la parte aérea puede servir de gran ayuda a la hora de llevar a cabo la selección de un portainjerto tolerante o resistente a suelos deficientes o con niveles excesivos de nutrimentos, así como para la elaboración de programas de fertilización una vez injertada la planta y transplantada a campo o invernadero (Ruiz *et al.*, 2003b).

Inicialmente, Chapin y Westwood (1980), trabajando con árboles frutales injertados sobre distintos patrones, no encontraron ninguna evidencia clara que mostrara que las nuevas raíces utilizadas tuvieran una diferente composición nutricional en las hojas de esos árboles. Posteriormente, Tagliavani *et al.* (1992) sugirieron que las diferencias en la captación y translocación de nutrimentos dependían de la vigorosidad de la parte aérea, y que las concentraciones de los distintos nutrimentos en el xilema parecían ser más descriptivas del vigor ocasionado por la combinación del sistema raíz-parte aérea.

Fueron Brown *et al.* (1994) quienes, investigando con plantas injertadas de *Pistacia* spp., encontraron que un cambio en el portainjerto daba lugar a variaciones en el contenido foliar de varios nutrimentos. Después, Ruiz *et al.* (1996), estudiando los niveles de P y sus bioindicadores en plantas injertadas de melón, observaron que el portainjerto ejercía un efecto positivo sobre los niveles foliares de P total, ya que estas plantas mostraban mayor vigor de su parte aérea. Ruiz *et al.* (1997) sugirieron que en plantas de melón injertadas sobre distintos portainjertos, el contenido foliar de N, Na⁺ y K⁺ estaba determinado por el genotipo de la base radicular utilizada y, además, que el contenido foliar de N y Na encontrado en esas plantas también daba lugar a diferencias en la producción.

Por lo tanto, no cabe duda de que las plantas injertadas muestran una mayor absorción de agua y nutrimentos minerales, dando lugar a variaciones en la concentración foliar de los mismos con respecto a las plantas no injertadas. Esto tiene como primera y fundamental consecuencia, un desarrollo más vigoroso de la planta y un descenso proporcional en la susceptibilidad de la misma a los distintos factores de estrés ambiental.

2.2.4 Problemática del injerto

Existen varios problemas asociados con la labor de injertar y con las plántulas injertadas, tales como: costo adicional de la plántula del portainjerto, cámara de prendimiento, mano de obra y equipo para injertar y falta de experiencia en el manejo en operaciones de post injerto. Por lo cual, es necesario una prudente y adecuada selección del portainjerto, al no hacerlo, es posible que se presente desigualdad entre la senescencia del portainjerto y de la variedad teniéndose problemas al momento de injertar, al igual que un desorden fisiológico de la planta. También es necesario considerar los cambios en la calidad del fruto. A partir del gran vigor que se puede desarrollar, es importante considerar

el manejo de la fertilización, debido a que llega a producirse un exceso en crecimiento vegetativo o vigor de planta (Lee, 1994; Lee *et al.*, 1998; Lee y Oda, 2003), que eventualmente puede desencadenar en un descenso en rendimiento, si el exceso de vigor no se maneja adecuadamente.

2.3 Solución nutritiva

Desde la mitad del siglo XIX, los estudios sobre la fertilidad del suelo se han incrementado sustancialmente, con el fin de conocer los fenómenos fisiológicos y las funciones de la raíz (Parker y Norvell, 1999). Un factor importante, independiente del sistema de producción que se use, es la solución nutritiva. Penningsfield y Kurzman (1975) mencionan que para tener éxito en los cultivos, es necesario considerar la composición de la solución nutritiva. Esta deberá contener todos los elementos esenciales para que esta exprese todo su potencial genético.

El tamaño del sistema radicular y su patrón de distribución en suelo esta determinado en gran parte por la resistencia del suelo a la penetración, que depende a su vez de su contenido de humedad y textura, a su interacción con el aire del suelo y el suministro nutrimental (Hart, 1994), así como al tipo de sistema radical del mismo cultivo (Hartmann *et al.*, 2002).

Sin embargo, en las pasadas décadas se han hecho varias investigaciones en la composición de la solución nutritiva, algunos con gran satisfacción en sus resultados, entre las fórmulas mas populares son la solución nutritiva de “Hoagland”, “Johnson” (Parker y Norvell, 1999) y “Steiner” (Steiner, 1961).

Steiner (1961) desarrolló un método universal para la preparación de soluciones nutritivas, de composición deseable y en la cual es necesario considerar puntos clave con

son: 1) la relación mutua de aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^-) y cationes (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}); 2) la concentración iónica total; 3) y el pH. Sin embargo, la composición de la solución nutritiva puede realizarse mezclando los nutrientes en relaciones o proporciones relativas de manera similar, a las encontradas en las plantas. Este hecho hace que tradicionalmente las soluciones nutritivas, generalmente sean más concentradas que la solución del suelo, en parte porque, esta solución es amortiguada por el intercambio entre iones, adsorción y desadsorción, reacciones de dilución-precipitación, por el ciclo biológico del nutriente y mineralización de la materia orgánica (Parker y Norvell, 1999). Para fines de diagnóstico, la concentración nutricional del extracto del suelo puede ser utilizada exitosamente, cuando previamente se han generado estándares para realizar la interpretación (Castellanos *et al.*, 2000). Las sales minerales que están disponible con mayor facilidad para las raíces son las que se encuentra disueltas en la solución del suelo. Dichos nutrientes llegan a las raíces de tres maneras: difusión, flujo de masas y interceptación radicular (Marschner, 1995).

Dado que regularmente se aplican grandes cantidades de nutrientes a los cultivos en invernadero y que una elevada cantidad permanece en el perfil del suelo al final del cultivo, estos vienen a ser aprovechados durante los ciclos subsecuentes (Scholberg *et al.*, 2000). Esta situación muchas veces no es considerada en los cultivos posteriores. Para ello, una menor concentración de la solución nutritiva puede ser buena opción para obtener buenos rendimientos sin perder calidad del fruto.

2.4 Conclusiones de la revisión de literatura

El proceso del injerto de entrada parece un método caro, ya que pues de hecho se requieren dos semillas para conseguir una planta. Sin embargo, la mayor producción y calidad en cultivos de ciclo largo y el ahorro en el uso de agroquímicos, así como

incremento en la eficiencia de absorción de nutrimentos, además del vigor de la planta injertada se compensan la inversión en el injerto. Por otro lado, es importante recalcar que cuando se utiliza planta injertada, esta pueden manejarse a dos tallos por planta, finalmente, reducir 50% de semilla que normalmente se utilizaría en un cultivo injertado.

El vigor obtenido en las plantas injertadas es superior al logrado en plantas sin injertar. Con el injerto se pierde precocidad en injertos vigorosos, pero las plantas pronto recuperan su balance reproductivo y superan a las no injertadas.

Se estima que en México, la superficie de invernaderos se incrementara en forma exponencialmente, y el tomate será el principal cultivo que se produce en estas estructuras. Debido a este incremento, la técnica del injerto ha empezado a utilizarse en forma exponencial en los últimos años, por lo cual se espera que en los próximos años esta tecnología siga la misma tendencia e incluso se extienda rápidamente a las hortalizas producidas en condiciones de campo. La adopción de esta técnica se ha realizado en forma un tanto empírica y es muy poca la investigación que se ha realizado para comprender este tema y tener mas elementos para usarlo extensivamente.

2.5 Literatura Citada

Ahn, S.J., Y.J. Im, G.C. Chung, , B. H. Cho, and S.R. Suh. 1999. Physiological responses of grafted-cucumber leaves and rootstock roots affected by low temperature. *Sci. Hortic.* 81:397-408.

Asao, T., N. Shimizu, K. Ohta, and T. Hosoki. 1999. Effect of rootstocks on the extension of harvest period of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in no-renewal hydroponics. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 68:598-602.

- Baudoin, W.O. 1999. Protected cultivation in the Mediterranean region. *Acta Horticulturae* 486:23–30.
- Biles, C.L., R.D. Martyn, and H.D. Wilson. 1989. Isozymes and general proteins from various watermelon cultivars and tissue types. *Hort. Sci.* 24: 810-812.
- Bletsos, F., C. Thanassouloupoulos, and D. Roupakias. 2003. Effect of grafting on growth yield, and *Verticillium* wilt of eggplant. *Hortsci.* 38:183-186.
- Brown, P.H., Q. Zhang and L. Ferguson. 1994. Influence of rootstock on nutrient acquisition by pistacho. *J. Plant Nutr.* 17: 1137-1148.
- Burgueño, H. y M. Barba. 2001 El injerto en hortalizas. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial Agro Sintesis S. A. de C. V., Diciembre 31: 8-13.
- Camacho, F., y E. Fernández. 1999. Influencia de patrones utilizados en el cultivo de sandía bajo plástico sobre la producción, precocidad y calidad del fruto en Almería. Disponible en: http://www.larural.es/sernagro/sta/publicaciones/sandia/publ9708_homepage.htm (13 marzo de 2006).
- Castellanos R., J., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da. Ed. Colección INCAPA. Celaya, Gto.
- Castellanos J. Z. y J. J. Muñoz R. 2003. La industria de la horticultura protegida en México. pp. 1-17. *In.* J. J. Muñoz R. y J. Z. Castellanos. (eds.). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. INCAPA. México.
- Chapin, M.H., and M.N. Weswood. 1980. Nutritional status of ‘Barlett’ Pear on cydonia and *Pyrus* species rootstock. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105: 60-63.

- Chung H. D., S. J. Youn and Y. J. Choi. 1997. Effects of rootstock on yield, quality and components of tomato fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:603-607.
- Chung, H. D., and J. Choi. 2002. Growth on varying soil EC and selection of salt-tolerant rootstock of tomato (*Lycopersicon* spp.). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:536-544.
- Cook, R., and L. Calvin. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. Economic Reseach report, No. 2. 1-80 p. www.ers.usda.gov (25 de septiembre, 2005).
- Dieleman, A., and E. Heuvelink. 2005. Gebruik van onderstammen bij vruchgroenten. *Plant Res. Inter. Nota* 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) (28 de noviembre de 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.
- Hart, T. 1994. Drip irrigation and fertigation management of vegetable crops. California Dept. Food and Agriculture. Sacramento, C. A. 89 p.
- Hartmann, H. T., D. E. Kester, y F. T. Davies, Jr., and R. L. Geneve. 2002. *Plant propagation, principles and practices*. 7th ed. Prentice Hall, N. J., USA. 880 p.
- Heuvelink, E., and R. P. M. Buiskool, 1995. Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. *Ann. Bot.* 75:381-389.
- Jeffrey C. E., and M. M. Yeoman. 1982. Development of intercellular connections between opposing cells in a graft union. *New Phytol.* 1983:491-509.

- 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.
- Kinet, M. J. y M. Peet M. 1997. Tomato. pp. 207-258. *In*. Wien, C. H. (ed.). *The Physiology of Vegetable Crop*. Cab International, Wallingford, UK.
- Lee, J. M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *Hort. Sci.* 29:235-239.
- Lee, J. M., J. Bang and H. S. Ham. 1998. Grafting of vegetables. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 67:1098-1104.
- Lee, J. M. 2003. Advances in vegetable grafting. *Chronica Horticulturae* 43(2):13-19.
- Lee J. M., and M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hort. Rev.* 28:61-124.
- Lee, E. M., J. S. Yang, S. H. Oh, Y. B. Lee, and Y. C. Um. 2003. Comparison of growth and productivity of eggplant under different night temperature, grafted plant, and soil heating. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:330-334.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press, London, UK. 673 p.
- Miguel A. 1997. El injerto de hortalizas. Ed. Generalitat Valenciana, Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España. 88 p.
- Molina, J. M., and F. S. Rowland. 1974. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalyzed destruction of ozone. *Nature.* 249:810-812.

- Moore, R. and D.B. Walter. 1981. Studies of vegetative compatibility-incompatibility in higher plants. I. A structural study of a compatible autograft in *Sedum telephoides* (Crassulaceae). Am. J. Bot. 68: 820-830.
- Nakaho, K., H. Hibino, and H. Miyagawa. 2000. Possible mechanisms limiting movement of *Ralstonia solanacearum* in resistant tomato tissues. J. Phytopathology. 148: 181-190.
- Oda, M. 1995. New grafting methods for fruits bearing vegetables in Japan. Jarq 29:187-194.
- Oda, M. 1999. Grafting of vegetables to improve greenhouse production. Ext. Bull. Food & Fert. Tech. Center. 480:1-11.
- Padgett, M., and J.C. Morrison. 1990. Changes in grape berry exudates during fruit development and their effect on mycelial growth of *Botrytis cinerea*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 256-257.
- Parker, R., David and W. A. Norvell. 1999. Advances in solution culture methods for plant mineral nutrition research. Adv. Agron. 65:151-213.
- Peil M. N., R y J. L. Gálvez. 2004. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de tallos en el sistema hidropónico. Hortic. Bras. 22: 265-270.
- Penningsfield F. y P. Kurzman. 1975. Cultivos hidroponicos. 11ª. Ed. Editorial Porrúa. Mexico, D. F.
- 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 R. M., J. M. Ruiz, E. Sanchez, and L. Romero. 2003a. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under condition of thermal shock? Physiol. Plant. 117:44-50.

- Rivero, M. R., J. M. Ruiz, and L. Romero. 2003b. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food, Agric. Environ.* 1:70-74.
- Robock, A. 1996. Stratospheric control of climate. *Sci.* 272:972-973.
- 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. Lopez-Cantarero, and L. Romero. 1997. Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scie. Hortic.* 71:227-234.
- Santa-Cruz A., M. M. Martínez-Rodríguez, J. Cuartero, y M. C. Bolarin. 2001. Response of plant yield and ion contents to salinity in grafted tomato plants. *Acta Hort.* 559:413-417.
- 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.
- Smeets, L. 2004. Update on the reviews of pesticides in the European Union and implication for methyl bromide and chemical alternatives. 27 pp. *In: Proceeding of international conference on alternatives to methyl bromide.* Batchelor T. and F. Alfarroba (eds.). 27 a 30 septiembre 2004, Lisboa, Portugal. European Commission.
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.
- Steta, M. 2004. Perspectivas de la producción de hortaliza en invernadero en México. IV Foro de expectativas del sector agroalimentario y pesquero 2004. SAGARPA. México,

- D.F. 30 de abril 2004. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ForoIV/panel4/MarioSteta.pdf>
(25 de noviembre de 2006).
- Suzuki, 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.
- Tagliavani, M., D. Scudellari, B. Marangoni, A. Bastianel, F. Franzin and M. Zamborlini. 1992. Leaf mineral composition of apple tree: sampling date and effects of cultivar and rootstock. *J. Plant Nutrit.* 15: 605-619.
- TEAP and MBTOC. 2006. Handbook on critical use nominations for methyl bromide. Fifth Version, UNEP. 103 pp.
<http://ozone.unep.org/teap/Reports/MBTOC/Handbook%20CUN-version5-27Nov06.pdf> (25 de diciembre de 2006).
- Tiedemann, R. 1989. Graft union development and symplastic phloem contact in the heterograft *Cucumis sativus* on *Cucurbita ficifolia*. *J. of Plant Phys.* 134 (4):602-608.
- Urrutia M., A. 2003. Comercialización y mercados. p. 333–336. *In.* J. J. Muñoz R. y J. Z. Castellanos. (ed.). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. INCAPA. México.
- Yamazaki, H., S. Kikuchi, T. Hoshina and T. Kimura. 2000a. Calcium uptake and resistance to bacterial wilt of mutually grafted tomato seedlings. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46: 529-534.
- Yamazaki, H., S. Kikuchi, T. Hoshina, and T. Kimura. 2000b. Effect of calcium concentration in nutrient solution on development of bacterial wilt and population of its pathogen *Ralstonia solanacearum* in grafted tomato seedlings. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46:535-539.

Yeoman, M.M., and R. Brown. 1976. Implication of the formation of the graft union for organisation in the intact plant. *Ann. Bot.* 40: 1265-1276.

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo general

Determinar el efecto del injerto y el suministro nutrimental sobre el rendimiento, acumulación de materia seca y nutrimentos, la concentración de macronutrimentos en la hoja más recientemente madura, extracto celular de pecíolo y extracto de pasta saturada.

3.1.1 *Objetivos particulares*

1. Determinar la extracción nutrimental total de N, P, K, Ca y Mg en plantas con y sin injertos bajo tres niveles de nutrición en suelo.
2. Obtener el efecto del injerto y suministro nutrimental, sobre el rendimiento de fruto, la acumulación de materia seca, residuo de cultivo en el cultivo de tomate.
3. Cuantificar el efecto del injerto sobre el estado nutrimental de la planta con y sin injerto.
4. Evaluar la concentración (meq L^{-1}) de nutrimentos en el extracto de pasta saturada en un suelo expuesto a tres niveles de suministro nutrimental.

3.2 Hipótesis generales

El injerto y el suministro nutrimental repercuten sobre el rendimiento, acumulación de materia seca y nutrimentos, estado nutrimental en planta y suelo bajo condiciones de invernadero.

3.2.1 Hipótesis particulares

1. Las plantas injertadas crecidas en suelo son capaces de incrementar la extracción nutrimental total de N, P, K, Ca y Mg.
2. El rendimiento, materia seca, residuos del cultivo son afectados por el uso de injerto en plantas de tomate.
3. La concentración nutrimental en hoja y extracto celular de pecíolo de tomate es mayor en plantas injertadas.
4. El suministro nutrimental en suelo, afecta el rendimiento, acumulación de materia seca, contenido y extracción de macronutrimentos.

Artículo I.

Enviado para su revisión y publicación en la revista *Terra Latinoamericana*

IV. EFECTO DEL INJERTO Y NUTRICIÓN DE TOMATE SOBRE EL 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 Ramos², Gabriel Alcántar González¹,
Manuel Sandoval Villa¹, José de Jesús Muñoz Ramos²

¹Programa de Edafología, Colegio de Posgraduados, 56230, Montecillo, estado de México, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 112, Celaya, Gto, México CP 38010 (castellanos@intagri.com.mx).

4.1 Resumen

En México, la superficie de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero ha crecido en forma acelerada y dispersa. La mayor parte se cultiva en suelo, sin embargo, la forma en que se ha venido manejando, sin el uso de materia orgánica y sin injertar las plantas, 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, favorezca una mayor exploración del suelo que se traduzca en una mayor eficiencia para tomar los nutrientes y agua. Para comprobar esta hipótesis, se realizó un estudio donde se evaluó el efecto del uso de injerto y tres niveles de suministro nutrimental sobre el rendimiento y algunas variables de acumulación de materia seca y absorción nutrimental. El estudio se realizó en un ciclo de 248 días. Los resultados muestran que, aunque el injerto no incrementó el rendimiento comercial, si aumentó el vigor de las plantas, lo que se reflejó en una mayor longitud del tallo 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 afectó la precocidad y produjo frutos de mayor calibre (4%), pero también incrementó los frutos deformes debido al exceso de vigor del cultivo. La planta injertada mostró mayor extracción de todos los nutrimentos.

Palabras Clave: *vigor del cultivo, portainjerto, calidad del fruto, invernadero, Lycopersicon esculentum Mill.*

4.2 Summary

Greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) area has been growing very fast in the recent years in Mexico. Most of it is cultivated under soil conditions nevertheless; without organic matter and grafting soil diseases are very significant. It is expected that grafting produce a very vigorous root system and therefore, having the capacity to explore a larger volume of soil. This situation might be reflected in a higher efficiency nutrients uptake. To test this hypothesis, a study to evaluate grafting and three levels of nutrient supply, was established in Celaya, Gto., during the 2004-05 season in a multitunnel greenhouse under soil conditions. Variables evaluated included: fruit yield and size, dry matter accumulation in the different plant organs, nutrient uptake in fruit, leaves and stem. The study was carried out during 248 days. Results showed that grafting did not increase fruit yield, probable as a result of excess of vigour in rootstock and variety, but it did increase height (6%), leaf area (10%), specific leaf area (5%), leaf dry matter (12%), stem (11%) and total dry matter (9%). Grafting reduced earliness and generated larger fruit (4%), but also produced deformed fruit as a result of vigour excess. Grafted plants extraction larger nutrient quantities in all nutrients.

Index Words: *Vigour, rootstock, fruit size, greenhouse, Lycopersicon esculentum Mill.*

4.3 Introducción

En México, la industria de la horticultura protegida ha crecido en forma acelerada en los últimos años y el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es el principal cultivo que se produce en estas condiciones. Uno de los retos que enfrentará esta industria en los próximos años es mantener costos bajos 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 cual causa importantes daños económicos (Bletsos *et al.*, 2003). Una forma efectiva de controlar dicho problema es con bromuro de metilo, pero éste ha causado un fuerte impacto en el medio ambiente (Ristaino y Thomas, 1997). Tal situación ha originado la búsqueda de métodos de control alternativos, entre los que, destaca el uso del injerto sobre patrones resistentes a los patógenos del suelo (Bletsos *et al.*, 2003).

El principal objetivo del injerto en tomate es obtener resistencia a patógenos del suelo; Sin embargo a medida que se ha utilizado, los objetivos a cumplir se han ido ampliando (Lee y Oda, 2003); entre ellos se cita mayor absorción de nutrimentos y concentración mineral en la parte aérea (Ruiz *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 1997), incremento en el vigor de la planta y la vida poscosecha de la fruta (Lee y Oda, 2003). El injerto de tomate sobre patrones vigorosos, normalmente híbridos inter-específicos, 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 nutrimentos es poco frecuente, casi siempre se selecciona con el criterio de resistencia a estrés, causado por el medio ambiente (Ruiz *et al.*, 1997; Rivero *et al.*, 2003b). Sin embargo, el conocer el comportamiento nutricional que tienen las variedades al ser injertadas puede ayudar a

elaborar un óptimo programa de fertilización (Rivero *et al.*, 2003b), así como a mejorar la calidad de la fruta, 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 el cultivo de tomate en invernadero, que indiquen las cantidades de biomasa aérea, cantidad de nutrimentos que toma la planta, y la cantidad que se queda en el residuo 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, el residuo de cultivo, la concentración y extracción nutrimental, y el rendimiento de plantas de tomate en suelo bajo invernadero.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Material vegetal y acondicionamiento cultural.

El estudio se desarrolló en Celaya, Guanajuato, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado a 20° 34' latitud norte, 100° 49' longitud oeste y 1650 m de altitud. El 11 de agosto de 2004 se sembró el portainjerto 'Maxifort' (Enza Zaden). Seis días después se hizo a la siembra del híbrido 'Gironda' (De Ruiters Seed). La técnica del injerto fue tipo empalme (Lee y Oda, 2003); las plantas no injertadas del híbrido 'Gironda' se sembraron 11 días después del portainjerto. El transplante se realizó el 30 de septiembre, en camas de 80 x 15 cm (ancho x altura) con una densidad de 2.8 tallos m⁻². Antes del transplante, se cinceló el suelo, mulló y desinfectó 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 concentración), lo que aportó un gradiente de dosis de nutrimentos (Cuadro 1). Esta fertilización se aplicó a plantas sin injertar ‘Gironda’ a un tallo (práctica comercial) e injertada ‘Gironda’ sobre ‘Maxifort’ a dos tallos, de acuerdo con Castilla (1999). La unidad experimental fue de 8 m de largo y seis plantas por submuestra. 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 micronutrimentos (Librel Mix-Al) en una dosis de Fe, Mn, Cu, Zn y B solubles de 850, 454, 34, 51, 57 y 23 g m⁻², respectivamente a lo largo del ciclo, en todos los niveles de fertilización. Entre el periodo de 40 a 70 días después del transplante (DDT) dejó de fertilizar y sólo se aplicó agua acidificada. El fertirriego se aplicó con cintilla a 30 cm entre goteros de 1 L h⁻¹ a un bar 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.

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

FISN [†] Steiner (%)	N-NO ₃	P-PO ₄	S-SO ₄	K	Ca	Mg
----- 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 (FISN)

4.4.2 Polinización y cosecha

La polinización se realizó por abejorros (*Bombus terrestris* L.). Se hizo un aclareo del fruto, para dejar seis, cinco, cuatro y tres frutos, respectivamente, en los racimos 1 a 3, 4 a

9, 10 a 14 y 15 a 20, quitando de preferencia frutos deformes, para mejorar su calidad. La cosecha se inició después de 96 DDT y se concluyó a los 248 DDT. Los frutos se clasificaron en pequeños, menores de 7.0 cm; medianos, 7.1 a 8.5 cm; grandes: mayores de 8.6 cm; no comerciales, deformes; y otros, con 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} .

4.4.3 Producción de materia seca

La hoja más recientemente madura (HMRM) se muestreó para determinar el área foliar en un integrador de área foliar (modelo LI-300, LICOR, Lincoln, NE), después se secó, pesó, y se determinó el área foliar específica. Esto fue realizado a los 15, 90, 150 y 210 DDT, se promediaron los cuatro muestreos. Se tomaron muestras de frutos (10 frutos por repetición) a 140, 180 y 220 DDT. Al final del cultivo, se cortaron las plantas al ras del suelo y se midió longitud del tallo. El material del deshoje se secó en estufa a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ y después se peso. También se obtuvo el peso seco de frutos y tallos, y se calculó el índice de cosecha, dividiendo el peso seco del fruto entre la biomasa total (fruto, hojas y tallo).

4.4.4 Análisis químico de suelo y planta

Antes del transplante, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 90 cm para medir la concentración de N en el perfil de suelo, y se detectaron 83 g de N disponible m^{-2} (Cataldo *et al.*, 1975). También se tomaron muestras de 0 a 30 cm de profundidad en el suelo, y se determinó la textura (franca arcillosa), con 29, 35 y 36% de arena, limo y arcilla, respectivamente; con densidad aparente de 1.31 g cm^{-3} , conductividad eléctrica (CE) de 3.13 dS m^{-1} , materia orgánica de 0.95%, NO_3^- , de 87.9 mg kg^{-1} P de 21.8 mg kg^{-1} (Bray y Kurtz, 1945), K de 854, Ca de 2069 y Mg de 304 en 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 microkjeldahal (Jones *et al.*, 1991) y P, K, Ca y Mg mediante digestión húmeda (Jones y Case, 1990). Se cuantificó la extracción total de nutrimentos y la extracción unitaria nutrimental, la cual se obtuvo dividiendo la extracción total de cada uno de los nutrimentos, entre el rendimiento total de fruta con base fresca.

4.4.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico se hizo utilizando el modelo para el diseño experimental de bloques divididos al azar. Los promedios se compararon por la prueba de diferencia mínima significativa (DMS), con un nivel de significancia de 0.05, mediante el programa estadístico Statistical Analysis System versión 8.2 (SAS, 1999).

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 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 reportaron que los portainjertos vigorosos generalmente producen plantas menos precoces que no lo son. 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 manipuló a dos tallos por planta, por lo que esta tal vez no expresó todo su potencial de rendimiento al final del ciclo. Por otra parte, la planta injertada mostró un gran vigor, el cual se reflejó en un desbalance entre la condición vegetativa y la reproductiva de la planta (Lee y Oda, 2003; Dieleman y Heuvelink, 2005).

Una razón adicional que puede explicar la falta de respuesta al injerto es que aunque la planta injertada mostró más vigor y materia seca, y los fotoasimilados no se translocaron a los frutos, debido al aclareo de frutos que se realizó, lo que indirectamente le quito potencial de rendimiento (Heuvelink y Buiskool, 1995). Tal vez la planta injertada hubiera requerido otro criterio de aclareo y no el mismo que la planta no injertada.

Por otro lado, las plantas injertadas mostraron una mayor proporción de fruta de calibre grande ($p \leq 0.0043$) que las no injertadas; similares resultados obtuvieron Chung *et al.* (1997). Esta situación es el resultado del exceso de vigor del cultivo, ya que al final del ciclo las plantas sin injertar tienden a mostrar un menor vigor y frutos de menor calibre.

En cuanto a la respuesta a la fertilización, no ocurrió la respuesta esperada y no hubo diferencia significativa en el rendimiento debido a los niveles de suministro nutrimental. La posible razón de ello es que la planta adquirió sus nutrimentos de la reserva que había en el suelo. Así, por ejemplo, antes de iniciar el experimento había en el perfil del suelo 83 g m^{-2} de N-NO_3^- , los cuales fueron aprovechados por la planta. Esta cantidad de N provenía de las fertilizaciones que se hicieron a los cultivos previos. Dado que regularmente se aplican grandes cantidades de nutrimentos al suelo, en el cultivo de tomate en invernadero y que una elevada cantidad permanece en el perfil del suelo al final del cultivo, éstos se aprovechan durante los ciclos subsecuentes (Scholberg *et al.*, 2000).

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

Factor	Rendimiento comercial por tamaño				Rendimiento no comercial	
	Comercial	Pequeños [†]	Medianos [‡]	Grandes [§]	Deformes	Otros [¶]
	----- kg m ⁻² -----					
Planta (P)						
Injertada	24.4 a ^{††}	5.4 b	17.0 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	ns	0.9	ns	0.5	0.4	ns
SN [#]						
33	24.9 a	6.3 a	17.0 a	2.0 a	1.8 a	0.8 a
66	23.8 a	6.3 a	15.8 a	1.7 a	2.0 a	0.8 a
100	24.6 a	6.4 a	16.2 a	1.7 a	1.8 a	0.9 a
DMS	ns ^{‡‡}	ns	ns	ns	ns	ns
P X SN	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV ^{§§} (%)	7.1	19	6	30	25.7	47.7

[†]Calibre pequeño de < 155 g (Pequeños); [‡]Calibre mediano de 156 a 255 g (Medianos);

[§]Calibre grande > 256 g (Grandes); [¶]Pudrición apical y rajado (Otros); [#]Solución nutritiva

(SN). ^{††}Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística,

según DMS ($p \leq 0.05$); ^{‡‡}ns, no significativo ($p < 0.05$); ^{§§}CV: coeficiente de variación (%).

Por otro lado, el exceso de vigor en las plantas injertadas provocó una mayor cantidad 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, Suzuki 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 adecuada.

4.5.2 Producción de materia seca aérea

La materia seca total de la parte aérea siempre fue mayor en plantas injertadas ($p \leq 0.001$), lo que concuerda con el trabajo de Rivero *et al.*, (2003a). El peso seco de hoja y tallo fue significativamente mayor en las plantas injertadas ($p \leq 0.05$), pero no así el peso seco del fruto (Cuadro 3). La cantidad de materia seca total producida fue similar a la reportada por Heuvelink (1999) en tomate en invernadero. El índice de cosecha (IC) fue de 0.50, menor que el encontrado por Heuvelink y Buiskool (1995) de 0.6 y Hao y Papadopoulos (2001) de 0.7. El bajo valor de IC en este trabajo se explica posiblemente en el aclareo de frutos que se realizó; en este sentido Heuvelink y Buiskool (1995) encontraron que a mayor aclareo de fruto disminuía el IC y le atribuyeron a que los fotoasimilados son trasladados a la parte vegetativa. Se observó que 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, área foliar específica y mayor producción de materia seca, mejoran la intercepción de la radiación (Heuvelink y

Dorais, 2005). Además, las plantas injertadas alcanzaron mayor longitud del tallo ($p \leq 0.0005$), debido al vigor del portainjerto. El vigor del cultivo posiblemente permitía dejar una mayor cantidad de frutos por racimo, sin embargo, en el presente estudio se hizo el aclareo convencional en los tratamientos con y sin injerto. Esta situación de manejo podría explicar el porqué la mayor área foliar, área foliar específica y biomasa de hojas y tallo, no se reflejó en un mayor rendimiento de la planta injertada (Heuvelink y Buiskool, 1995). Es importante destacar que del total de materia seca acumulada en la parte aérea (29.5 y 27.1 Mg ha⁻¹), la mitad es residuo de cultivo, el cual bien podría usarse para preparar composta en el predio y rescatar una importante cantidad de materia orgánica, que regularmente se pierde, dejando ir la posibilidad de recuperar 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 en ninguna de las variables estudiadas: longitud del tallo, área foliar, área foliar específica ni biomasa. La causa de esta falta de respuesta es la reserva nutrimental que había en el suelo antes de iniciar el experimento, como lo sustenta en análisis de la fertilidad del suelo.

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

Factor	Longitud	Área	Área foliar	Materia seca				IC [†]
	de tallo	foliar	específica	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	cm	cm ²	cm ² g ⁻¹	----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
Injertada	511 a [§]	827 a	192 a	1036 a	446 a	1465 a	2947 a	0.50a
Sin injertar	482 b	749 b	183 b	922 b	403 b	1389 a	2714 b	0.51a
DMS	15	52	7	53	37	ns [¶]	126	ns
SN [‡]								
33	493 a	779 a	193 a	966 a	400 b	1423 a	2789 a	0.51a
66	500 a	795 a	185 a	959 a	419 ab	1411 a	2790 a	0.51a
100	497 a	790 a	186 a	1011 a	453 a	1447 a	2911 a	0.50a
DMS	ns	ns	ns	ns	45	ns	ns	ns
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

[†]Índice de cosecha (IC), [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

4.5.3 Extracción y concentración de nutrimentos

Nitrógeno. La acumulación total de N en tomate, a 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, el cual si mostró una mayor concentración ($p \leq 0.0002$) que las no injertadas. Por

otro lado, la extracción de N total en tallo, hoja y en biomasa total fue significativamente mayor en las plantas injertadas (Cuadro 4), lo cual es el resultado de un mayor vigor del cultivo (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 similares a los de Hao y Papadopoulos (2002), con un ciclo similar al de 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 se incrementó la acumulación de este nutrimento en esta porción de la planta, así como en la biomasa total ($p \leq 0.0419$).

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 biomasa total si 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 tallo, por efecto del suministro nutrimental. También se incremento la acumulación de este nutrimento en esta porción de la planta, así como en la biomasa total ($p < 0.01$). La extracción de P es inferior al reportado por Hao y Papadopoulos (2002) en un cultivo de hidroponía. En cambio, Bar-Yosef, (1999) reportó menor acumulación en riego por goteo bajo invernadero.

Cuadro 4 Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de N en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de N en tomate bajo invernadero.

Factor	N total			Extracción de N				ICN [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
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	ns [¶]	ns	ns	1.62	0.71	ns	2.46	ns
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	1.47 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	ns	0.08	ns	ns	0.87	ns	3.0	ns
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

[†]Índice de cosecha de nitrógeno (ICN); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 5 Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de P en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de P en tomate bajo invernadero.

Factor	P total			Extracción de P total				ICP [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
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	ns [¶]	ns	0.016	0.31	0.18	0.36	0.65	ns
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 a
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	ns	0.04	ns	ns	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

[†]Índice de cosecha de fósforo (ICP); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

Potasio. La concentración y extracción de K fue afectada el portainjerto usado; se observó una mayor concentración de K en la hoja de las plantas injertadas. El incremento fue de 20% en tallo y 4.1% en hoja. La cantidad de K extraído por la hoja, fue 35% más alto en las plantas injertadas y, en total, la extracción de K superó en 18% a la planta no injertada. También se observó que las plantas injertadas disminuyeron (7%) el índice de cosecha del K que las plantas no injertadas; por lo tanto, se puede establecer 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 el peso seco de la hoja de tomate fue hasta 54% mayor al injertar las plantas. Al parecer raíces presentan mayor selectividad por algunos elementos (Rivero *et al.*, 2004), aunado a una mayor movilidad del K al cruzar la membrana plasmática, lo cual reduce la absorción de otros cationes de baja movilidad, como el Mg y el Ca (Marschner, 1995). La demanda de K en un ciclo largo de tomate encontrada por Bar-Yosef (1999) es ligeramente inferior a los de esta investigación. El K está fuertemente asociado con la calidad del fruto (Marschner, 1995). Es factible que este efecto haya causado que la planta injertada incrementara los calibres del fruto (Cuadro 2). Chung *et al.* (1997), al usar diferentes patrones de tomate éste incrementó en la concentración de K en hoja y rendimiento, pero decreció los sólidos solubles e incrementó su contenido de licopeno, por efecto del portainjerto. En cambio, Kim *et al.* (1999), al evaluar dos cultivares (parte área) de melón sobre ocho portainjertos, el ‘Keumdongee’, no encontraron efecto en los sólidos solubles, largo y diámetro del fruto, pero la concentración de K en la savia fue, en algunos casos, mayor al usar portainjertos.

Cuadro 6 Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de K en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de K en tomate bajo invernadero.

Factor	K total			Extracción de K total				ICK [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
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
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	ns	1.74	ns	ns	ns
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

[†]Índice de cosecha de potasio (ICK); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 7 Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de Ca en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de Ca, en tomate bajo invernadero.

Factor	Ca total			Extracción de Ca total				ICCa [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
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	ns [¶]	ns	ns	3.3	0.8	ns	3.4	ns
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	ns
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

[†]Índice de cosecha de calcio (ICCa); [‡]Solución Nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

Calcio: La concentración de Ca no fue afectada por el injerto, aunque si fue modificada la extracción de Ca por la hoja y tallo, mas no en fruto (Cuadro 7). 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 nutrimentos, el efecto sobre lo extraído en los componentes de la planta y la extracción total fue el consecuencia de la mayor biomasa acumulada, como resultado del mayor vigor de la planta (Lee y Oda, 2003).

Magnesio: La concentración de Mg fue significativamente menor ($p \leq 0.0001$) en la planta injertada, tanto en hoja como en tallo, mas no en fruto (Cuadro 8). La extracción de Mg fue significativamente menor en la planta no injertada ($p \leq 0.0451$). Posiblemente, el portainjerto dificultó la translocación de este nutrimento a la parte aérea, debido a una incompatibilidad retarda en la unión entre ambas partes, lo cual origina una deficiente conexión entre los vasos del xilema y floema (Andrews and Marquez, 1993). Por su parte, Chung *et al.*, (1997) encontraron una mayor concentración de Mg en las plantas sin injerto. Las concentraciones son similares a las reportadas por Marschner (1995) y la extracción total de Mg es igual a la reportada por Castilla (1999).

Cuadro 8 Efecto del injerto y suministro nutrimental sobre la concentración, extracción de Mg en los distintos órganos del cultivo e índice de cosecha de Mg en tomate bajo invernadero.

Factor	Mg total			Extracción de Mg total				ICMg [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
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	ns [¶]	ns	0.2	ns	0.8	0.02
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	ns	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

[†]Índice de cosecha de Magnesio (ICMg); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación.

Las plantas injertadas son capaces de extraer una mayor cantidad de nutrimentos que las no injertadas (Cuadros 4, 5, 6, 7 y 8). Es importante destacar que una gran parte de estos

nutrimentos se ubican en los residuos del cultivo, los cuales podrían ser aprovechados como abono orgánico para el siguiente ciclo, una vez compostados y en cuyo proceso reduce cualquier reducto de patógenos del cultivo anterior. En un ciclo de 248 DDT se pueden generar hasta 374, 45, 480, 630 y 84 kg ha⁻¹, de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, cantidades que puede significar un ahorro (60, 50, 54, 95, 80% de la demanda de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente) en el uso de fertilizantes para el productor.

Los datos de extracción unitaria nutrimental se obtienen de los Cuadros 3, 4, 5, 6, 7 y 8, en promedio, en planta injertada y sin injerto son de 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 intervalo reportado por Castilla (1999), excepto en K⁺. Este valor fue menor al citado por este autor, pero similar a lo reportado por Bar-Yosef (1999).

4.6 Conclusiones

Bajo las condiciones en que se realizó esta investigación se concluye que el injerto no afectó el rendimiento del fruto de tomate, pero presentó un incremento en frutos de mayor calibre. Por otra parte, las plantas injertadas presentaron mayor vigor, el cual se vio reflejado en un incremento en la altura (6%), área foliar (10%) y área foliar específica (5%). Debido a esto, las plantas injertadas mostraron una mayor acumulación de materia seca (9%) y en una acumulación de todos los macronutrientes, excepto de Mg. También las plantas injertadas mostraron mayor eficiencia en la absorción de K, lo manifestó en una mayor concentración y extracción en hoja, tallo y fruto. Los tratamientos de suministro nutrimental no incidieron en rendimiento. Sin embargo, a menor suministro nutrimental disminuyó la acumulación total de materia seca, extracción total de N, P y Ca en la planta.

4.7 Agradecimiento

Se agradece el apoyo a la SAGARPA 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, realizado en el INIFAP en los años agrícolas 2004-2005.

4.8 Literatura citada

- Aloni, B., E. Presuman, and L. Karni. 1999. The effect of fruit load, defoliation and night temperatura on the morphology of pepper flowers and on fruit shape. *Ann. Bot.* 83:529-534.
- Andrews, K. P., and C. S. Marquez. 1993. Graft incompatibility. *Hort. Rev.* 15:183-232.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. *Adv. Agron.* 65:1-77.
- Bletsos, F., C. Thanassouloupoulos, 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 or Phosphates in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Castilla P., N. 1999. Manejo del cultivo intensivo con suelo pp. 189-225. *In: El cultivo del tomate.* F. Nuez (ed.). 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. *Commun. 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 vruchgroenten. *Plant Res. Inter. Nota 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) (28 de noviembre de 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, y F. T. Davies, Jr and R. L. Geneve. 2002. Plant propagation, principles and practices. 7th ed. Prentice Hall. N. J., 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. Buischool, 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*. Tomatoes. E. Heuvelink (ed.) CAB Publishing. Wallingford, UK.
- Jones, J. B. and V. W. Case. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples pp. 389-427. *In*: R. L. Westerman, (ed.). Soil Testing and Plant Analysis. Third edition. Soil Science Society of America. Wisconsin, USA.
- Jones, J. R., 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. Ed. 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 R. M., J. M. Ruiz, E. Sanchez, and L. Romero. 2003a. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under condition of thermal shock? Physiol. Plant. 117:44-50
- Rivero, M. R., J. M. Ruiz, and L. Romero. 2003b. 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. Lopez-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. SAS/STAT. User's guide. Version 8, Vol. 1-5. SAS Publishing. 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.
- Suzuki, 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.

Artículo II.

Se enviara para su revisión y publicación en la revista Chapingo Serie Horticultura

V. DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL EN TOMATE INJERTADO EN INVERNADERO

Diagnostic of plant nutrients in greenhouse tomato as affected by grafting

Heriberto Godoy-Hernández¹; Javier Z. Castellanos-Ramos²; Gabriel Alcántar-González¹;

Manuel Sandoval-Villa¹; José de Jesús Muñoz-Ramos²

¹Programa de Edafología, Colegio de Posgraduados, 56230, Montecillo, estado de México, México.

hgodoyh@colpos.mx (✉responsable). ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 112, Celaya, Gto, México CP 38010.

Se enviara a la revista Chapingo Serie Horticultura

5.1 Resumen

El monitoreo de la nutrición de la planta es una herramienta fundamental para el manejo de cultivos intensivos. Conocer el estado nutrimental de la planta y la condición de fertilidad del suelo, en forma periódica, permite lograr un alto potencial de rendimiento y disminuir el impacto que podría causar el fertilizante sobre el ambiente. Para ello se realizó el siguiente experimento en el cual plantas de tomate con y sin injerto fueron expuestas a 33, 66 y 100% del suministro nutrimental, de acuerdo a la solución nutritiva de Steiner y se monitoreo durante el ciclo del cultivo la concentración de los macronutrientes en la hoja más recientemente madura (HMRM), extracto celular de pecíolo (ECP) y extracto de pasta saturada. La planta injertada mostró 5% más de concentración de K en la hoja más recientemente madura (HMRM) y un 7% en el extracto celular de pecíolo (ECP), pero presentó un 21% menos concentración en Mg en la HMRM que las plantas no injertadas. El suministro nutrimental incremento la concentración de la solución del suelo progresivamente a través del tiempo.

Palabras Clave: *extracto de pasta saturada, monitoreo, extracto celular de peciolo, portainjerto, solución del suelo.*

5.2 Summary

Monitoring of plant nutrients is a fundamental tool to manage intensive crops. By knowing the nutrient status of the plant and that of the soil, in a continuous way, allow us to attain a high potential yield and to diminish the impact that the fertilizer might cause to the environment. An experiment with three levels of nutrient supply: 33, 66 y 100% of the complete Steiner nutrient solution was evaluated in combination with grafting and no grafting of tomato plant. Plant nutrient were monitored in the most recent mature leave (HMRM), in petiole press sap, and in saturated extract of soil paste. Grafted plants presented 5% more K in the HMRM, and 7% ind petiole sap, but presented 21% less Mg in the HMRM. Nutrient supply progressively increased the concentration of soil solution.

Key words: *saturation extract, monitoring, petiole sap, rootstock, soil solution.*

5.3 Introducción

El diagnóstico de la nutrición de la planta es una herramienta fundamental para manejar los cultivos intensivos y poder conseguir un alto potencial de rendimiento. También apoya a la conservación del medio ambiente, pues se evita hacer fertilizaciones innecesarias, que repercuten negativamente en el ambiente. Esto permite además mantener un control del suministro y del estado nutrimental del cultivo, evitando deficiencias o excesos (Marschner, 1995). El diagnóstico se puede realizar en la hoja mas recientemente madura (HMRM), extracto celular de peciolo (ECP) o en el mismo suelo, mediante muestreo y análisis del extracto de pasta (Cadahia y Lucena, 2005). La razón de ello es que en un cultivo intensivo se generan niveles de extracción mucho mayores que en cultivo extensivo a campo abierto,

por lo que, las técnicas convencionales no suelen ser las mejores estrategias para definir la disponibilidad de los nutrimentos en suelo y su estado en el planta. El uso de extracto de pasta saturada es una herramienta útil en horticultura intensiva bajo condiciones de suelo fertirrigado, debido a que la humedad del suelo se encuentra cercana a la capacidad de campo. Sin embargo, existen pocos trabajos formales que determinen el rango en que oscilaran los iones en el extracto saturado (Castellanos, 2003). Obtener la solución del suelo a través del extracto de pasta saturada es un método fácil de realizar y que el mismo productor y técnico pueden efectuar hacer cerca del cultivo utilizando equipo costo no superior a los \$10,000.00 pesos para obtener esta solución del suelo y determinar con análisis rápidos el suministro nutrimental del cultivo (Hartz *et al.*, 1993; Vinicius *et al.*, 2005). Esta técnica se puede usar para monitorear los nutrimentos más demandados por el cultivo, tales como NO_3^- , K^+ y $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$. Los resultados de estos análisis permiten tomar decisiones evitando efectos negativos sobre el rendimiento del cultivo.

Actualmente, en el cultivo de tomate, se han utilizado nuevos materiales genéticos y técnicas modernas de producción. En esta categoría cae el uso del injerto, que consiste en colocar la parte aérea de una variedad de interés comercial, sobre un portainjertos resistente a enfermedades o que tiene un sistema radicular vigoroso. Normalmente ambas condiciones se consideran al usar esta técnica de producción (Lee y Oda, 2003).

La unión de dos órganos (raíz y parte aérea) de distintas especies y, por lo tanto, con distintos metabolismos, llega a causar cambios en la absorción y translocación de nutrimentos en la planta recién formada (Hartmann *et al.*, 2002; Lee y Oda, 2003). El injerto es la unión de dos porciones de tejido vegetal viviente para que se desarrollen como una sola planta (Hartmann *et al.*, 2002). El propósito principal del injerto en tomate es obtener resistencia a enfermedades principalmente por *Fusarium* spp., nemátodos,

verticillium spp. y virus causado por hongos del suelo e incrementar el rendimiento (Lee, 1994; Miguel, 1997; Lee y Oda, 2003). También, se ha encontrado que las plantas injertadas presentan resistencia o tolerancia a estrés causados por el medio ambiente (Ahn *et al.*, 1999; Fernandez-Garcia *et al.*, 2002; Lee y Oda, 2003). Esta resistencia o tolerancia hace al nuevo sistema radical más fuerte y vigoroso que el de las de las plantas sin injertar, logrando tener una base radical mas ramificado capaz de explorar una mayor volumen de suelo, lo cual llega a tener efecto en la absorción y translocación de ciertos nutrimentos (Lee, 1994; Rivero *et al.*, 2004).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del injerto y del suministro nutrimental sobre los niveles de macronutrimentos: N, P, K, Ca y Mg en la hoja más recientemente madura y en extracto de pasta saturada, y de NO_3^- , P, K en ECP.

5.4 Materiales y métodos

5.4.1 Material vegetal y acondicionamiento cultural

El estudio se desarrolló en Celaya, Guanajuato, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado a 20° 34' Latitud Norte, 100° 49' Longitud Oeste y a 1650 m de altura. El 11 de agosto de 2004 se sembró el portainjerto 'Maxifort' (De Ruiters Seed). Seis días después se procedió a la siembra del híbrido 'Gironda'. La técnica del injerto fue tipo empalme (Lee y Oda, 2003), las plantas no injertadas de 'Gironda' (Enza Zaden) se sembraron 11 días después del portainjerto. El transplante se realizó el 30 de septiembre en camas (80x15 cm de ancho y altura) a una densidad de 2.8 tallos por m^2 . Antes del transplante al suelo se le realizó cincelado, mullida y desinfección con metam sodio (Lucafum^{MR}) a razón de 400 L ha^{-1} en el sistema de riego.

Los seis tratamientos con cuatro repeticiones, se conformaron del factor planta (con y sin injerto) y de la fuerza iónica de la solución nutritiva Steiner de (1961) (Cuadro 1). Esta fertilización fue aplicada a plantas sin injertar ‘Gironda’ a un tallo (práctica comercial) e injertada ‘Gironda’ sobre ‘Maxifort’ a dos tallos de acuerdo a Castilla (1999), la unidad experimental fue de 8 m de largo y 6 plantas por submuestra. 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 micronutrientes (Librel Mix-Al) a una cantidad de Fe^{2+} , Mn , Cu^+ , Zn^{2+} y B solubles de 850, 454, 34, 51, 57 y 23 g m^{-2} respectivamente, en cada uno de los niveles de fertilización. Entre el periodo de 40 a 80 días después del transplante (DDT) no se fertilizó, solo se aplicó agua. El fertirriego se aplicó en cintilla a 30 cm entre goteros de un L h^{-1} a un bar de presión. Para lo cual, se aplicó 774 L m^{-2} de agua de riego. La tensión promedio en el suelo fue de -13, -18 y -22 kPa para 15, 30 y 45 cm de profundidad, respectivamente.

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

FISN [†] Steiner (%)	N-NO ₃	P-PO ₄	S-SO ₄	K	Ca	Mg
	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$					
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 (FISN).

5.4.2 Análisis químico de suelo y planta

Antes del transplante, se realizó un muestreo del suelo a una profundidad de 30 cm, para realizar el análisis de rutina de fertilidad del suelo. Adicionalmente, se tomaron muestras de suelo a 30 a 60 y de 60 a 90 cm, para cuantificar la cantidad de N-NO₃ (Cataldo *et al.*, 1975) que estaba presente en el perfil de suelo. El valor promedio del N-NO₃ de 0 a 90 cm fue de 83 kg m⁻² antes de iniciar el experimento. También se tomaron muestras de 0 a 30 cm de profundidad en el suelo, al cual se determinó la textura (franca arcillosa) con 29, 35 y 36% de arena, limo y arcilla, respectivamente, con una densidad aparente de 1.31 g cm⁻³, pH de 7.7, CE de 3.13 dS m⁻¹, materia orgánica de 0.95%, N-NO₃⁻ con 87.9 mg kg⁻¹, P-Bray con 21.8 mg kg⁻¹ (Bray y Kurtz, 1945), K⁺ con 854, Ca²⁺ con 2069 y Mg²⁺ con 304 en mg kg⁻¹, (Chapman y Kelly, 1930).

Se realizaron muestreos foliares de la HMRM, a partir de 15, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 DDT, las muestras se lavaron con agua destilada, se secaron en una estufa a 70 °C, el material seco se molió, tamizó y dividió en una cuarta parte tomándose está como muestra de análisis. Se determinó N (Microkjeldahl; Jones *et al.*, 1991), se analizó P, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ mediante digestión húmeda (Jones y Case, 1990). Se analizó ECP, en el mismo periodo que HMRM, este extracto fue obtenido a partir de las muestras de peciolo, mediante el uso de una prensa hidráulica. En este extracto se determinó N-NO₃⁻ y K⁺ en ionómetros específicos marca Horiba y P-PO₄⁻ por colorimetría (Anderson e Ingram, 1993).

Se realizaron muestreos del suelo a una profundidad de 30 cm con una barrena de extremo helicoidal, éste se seco y molió, se hicieron seis muestreos a los 0, 100, 150, 180, 210 y 248 DDT, para realizar el extracto de pasta saturada, para el cual, se tomaron 300 g de suelo, se colocaron en un recipiente de plástico adicionándosele agua destilada hasta el punto de saturación (40%). Se taparon y se dejaron reposar durante 16 h; se quitaron las

tapas y se colocó la pasta saturada en embudos buchner, con un papel filtro Whatman No. 42 en el fondo del embudo. Se ajustó un tapón de hule monohoradado en el embudo y se instaló sobre matraces Kitazato 1000 mL de volumen; se aplicó una succión de 10 kPa, con una bomba de vacío, mediante la cual se obtuvieron aproximadamente 50 mL de extracto, para proceder a la determinación de CE, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Chavira y Castellanos, 1987), $N-NO_3^-$ (Cataldo *et al.*, 1975) y $P-PO_4^-$ (Cajuste, 1987).

5.4.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el modelo para el diseño experimental de bloques divididos al azar. Se graficó en paquete Sigma Plot versión 8.

5.5 Resultados y discusión

5.5.1 Diagnóstico en la hoja más recientemente madura

, En la Figura 1 las plantas injertadas mostraron diferencia significativa en la concentración promedio de K^+ en HMRM, con un 5% más de concentración que en las plantas sin injertar. Tanto Nitrógeno y K^+ , son los nutrientes más dinámicos y los que más a menudo afectan el rendimiento y calidad de los cultivos, particularmente de las hortalizas (Castellanos *et al.*, 2000), como se puede observar. Las plantas injertadas tuvieron menor concentración (-22%) de Mg^{2+} en HMRM que al no injertar, esto al parecer es causado por una interacción que ocurre como resultado de una baja translocación del Mg^{2+} de la raíz hacia el tallo (Ohno y Grunes, 1985), por efecto de la mayor absorción de K que se tuvo en estas plantas. Por su parte, Kawaide, (1985) menciona que una disminución de Mg^{2+} en plantas injertadas de pepino sobre *Cucurbita ficifolia* Bouché es inducido por un antagonismo de K^+ y Ca^{2+} en el suelo. Sin embargo, las plantas injertadas que fueron expuestas a mayor fertilización, la concentración de Mg^{2+} en HMRM no mostró una mayor concentración, comparada con la

de menor fertilización. Se observó el efecto de portainjerto sobre la selectividad en la absorción de K teniendo efecto negativo sobre la absorción y translocación de Mg^{2+} hacia la parte aérea. Esta disminución de Mg no causó síntomas de deficiencias visuales en la planta.

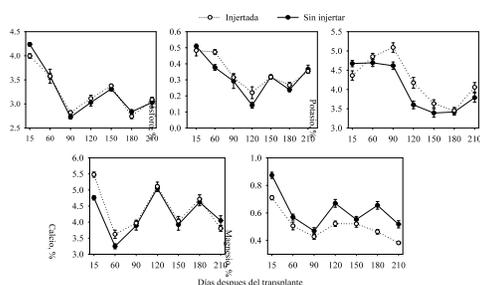


Figura 2. Efecto del injerto en tomate, sobre la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la hoja más recientemente madura en diferentes etapas de desarrollo. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estándar.

Por otra parte, las plantas con y sin injerto mostraron una mayor concentración en la HMRM de N, P, K, Ca y Mg (3.8, 0.46, 4.6, 4.3 y 0.7%, respectivamente) en la etapa vegetativa y fructificación (15 a 60 DDT), siendo similares a los reportados por Cadahía *et al.*, (2005), en la etapa reproductiva (90 a 210 DDT) la concentración disminuyó en N (3%), P (0.28%), K (3.9%), Ca (4.3) y Mg (0.5%) estas concentraciones son menores en N, P y Ca a las

reportadas por Cadahía *et al.* (2005), excepto en el caso de K que son similares a las reportadas por estos autores.

5.5.2 Diagnóstico en extracto celular de pecíolo

Se observa en la Figura 2 que las concentraciones en ambas plantas (con y sin injerto) entre los 15 a 60 DDT mostraron una mayor concentración de N-NO_3^- (947 mg L^{-1}), P-PO_4^- (300 mg L^{-1}) y K (4756 mg L^{-1}) estos datos son similares a los reportados por algunos autores (Cadahía *et al.*, 2005; Locascio *et al.*, 1997). En cambio, en la etapa reproductiva hubo una disminución de N-NO_3^- , P-PO_4^- y K (380 , 242 y 3971 mg L^{-1} , respectivamente), los datos de N-NO_3^- , P-PO_4^- son ligeramente menores a los reportados por Cadahía *et al.* (2005), pero similares en K. No obstante, Lee y Oda (2003) mencionan que uno de los atributos que tiene las plantas injertadas es el incremento de N-NO_3^- y P-PO_4^- en savia. Sin embargo, en este trabajo solo hubo diferencia significativa en las plantas injertadas a los 90 y 120 DDT para P-PO_4^- . Por otra parte, las plantas con injerto en los muestreos de 90, 120 y 150 DDT incrementaron en la concentración de K^+ , mostrando en promedio un 7% más que las no injertadas

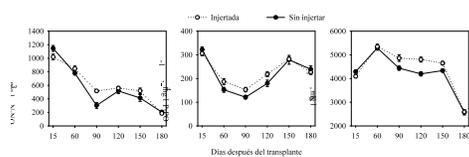


Figura 3. Efecto del injerto sobre la NO_3^- , PO_4^- y K^+ en extracto celular de pecíolo. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estándar.

5.5.3 Diagnóstico en extracto de pasta saturada

Como se observa en la Figura 4 se presentó una acumulación de sales durante el ciclo del cultivo. Esto se puede constatar debido al incremento que presentó la CE en el perfil del suelo, el contenido de arcilla permite acumular una dosis de reserva de K y el P retenido por el Ca de las arcillas y el K directamente adsorbido en el complejo arcilloso (Cadahia y Lucena, 2005). Cabe destacar que la concentración de nutrimentos en el extracto de pasta en suelo a los 100 DDT decreció la concentración de NO_3^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} , K^+ , PO_4^- y la CE, esto debido principalmente a que se dejó de fertilizar más de 30 días, con el fin de disminuir el exceso de vigor de la planta. Esta disminución también se constata con los resultados de análisis de HMRM y ECP que redujeron durante estas fechas (Figura 1). Por lo cual, las plantas consumieron los nutrimentos que estaban presentes en el suelo. Por otra parte, la mayor concentración residual de NO_3^- que fue de 9.7 meq L^{-1} en el suelo donde se fertilizó con 12 meq L^{-1} sugiere que para suelos que presentan al inicio del cultivo altas concentraciones NO_3^- (15 meq L^{-1}), se puede reducir su aplicación o no aplicar N hasta que el cultivo haya consumido, una buena parte de este nutrimento. Por lo tanto, al aplicar 12 meq L^{-1} se excedió de la demanda del cultivo (Figura 4). Por otra parte, Papadopoulos (1987) considera que con 12.8 meq L^{-1} se obtienen los mejores rendimientos en un cultivo de 196 DDT, comparado con usar 6.4 meq L^{-1} en un cultivo de tomate en suelo. Para P las concentraciones en el extracto de pasta se mantuvieron más estables, es posible que haya sido por ser un elemento que reacciona con iones del suelo y es adsorbido en las partículas de arcilla o de amorfos del suelo (Brady y Weill, 1999). Por otra parte, a una mayor concentración en la solución nutritiva de Ca^{2+} (9 meq L^{-1}), Mg^{2+} (4 meq L^{-1}) y K^+ (7 meq L^{-1}), hubo mayor acumulación en la solución del suelo, esto debido a que la demanda del cultivo fue menor a lo aportado (Elfving, 1982). Además se puede observar que el K

permaneció más estable en su concentración en el suelo, al parecer debido a la facilidad del K^+ para reemplazar al Ca^{2+} y Mg^{2+} del complejo de intercambio del suelo (Brady y Weill, 1999). El mayor suministro nutrimental de NO_3^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} , K^+ , PO_4^- inducen a un incremento en la salinidad de la solución del suelo, que se vio reflejado en un incremento progresivo de la CE, esto datos concuerdan con los obtenidos por Papadopoulos (1987), también por Parker y Norvell (1999) quienes mencionan que la adición de una solución mas concentrada presenta mayor acumulación de sales minerales en el suelo, dependiendo del cultivo. Sin embargo, las plantas injertadas no mostraron diferencia significativa en la concentración de la solución del suelo, esto debido a que las plantas del tomate son capaces de explorar un mayor volumen de suelo (Castilla, 1999) y es posible que fueron abastecido los nutrimentos a mayor profundidad, ya que el suelo presentaba hasta 83 g m^{-2} de NO_3^- a una profundidad de 90 cm, lo cual complementó la demanda de este nutrimento.

En general, la acumulación encontrada de NO_3^- en la solución del suelo a través del tiempo es similar a la reportada por Papadopoulos (1999) que obtuvo hasta 10 meq L^{-1} en un ciclo de 196 DDT. Las concentraciones de K^+ están en el rango que reportan Parker y Norvell (1999) que oscilan entre 0.3 a 4 meq L^{-1} , para la mayoría de los suelos de Estados Unidos de América (USA). Para Ca^{2+} Reisenauer (1966) reportó valores entre 2 a 20 meq L^{-1} , los datos que reportamos se encuentran en este rango. De igual manera este mismo autor reportó para Mg^{2+} valores de 2 a 16 meq L^{-1} , siendo ligeramente menor las concentración de la solución nutritiva a 33 y 66% a las reportadas por este autor para suelos de USA. Sin embargo, esta diferencia en las concentraciones de iones en la solución del suelo no se vio reflejada en la concentración de nutrimentos en la parte aérea, esto debido a que existían reservas de nutrimentos del ciclo pasado, entre ellos NO_3^- con 83 g m^{-2} y que se encontraba a un perfil del suelo de 90 cm de profundidad.

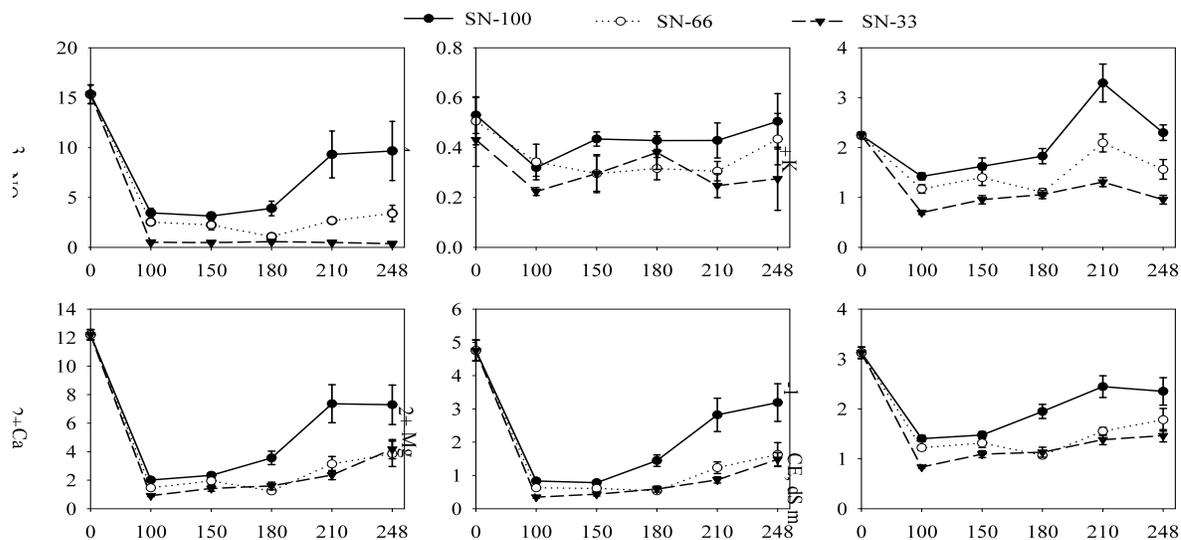


Figura 4. Concentración de NO_3^- , PO_4^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (meq L^{-1}) y CE en extracto de pasta saturada en función solución nutritiva al 33, 66 y 100% (SN-33, SN-66 y SN-100, respectivamente) a una profundidad de 30 cm en tomate sin y con injerto. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estándar.

5.6 Conclusiones

Bajo las condiciones en que se realizó esta investigación se concluye que las plantas que fueron injertadas mostraron una mayor concentración de K^+ tanto en la HMRM (5%) como ECP (7%), las cuales tuvieron una menor concentración de Mg^{2+} (22%) en la HMRM. El uso de una mayor concentración en la solución nutritiva causó un incremento en la acumulación progresiva de sales en la solución del suelo. Sin embargo, estas concentraciones no causaron efecto en la concentración de nutrientes en la HMRM y en ECP en las plantas, esto debido a que las reservas de nutrientes de fertilizaciones del cultivo anterior, que le permitió al cultivo que cubriera su demanda nutricional. No

obstante, estos datos tanto en ECP como extracto de pasta saturada pueden servir para determinar criterios de fertilización en invernadero con equipos de rápida determinación.

5.7 Literatura citada

Ahn, S.J., Y.J. Im, G.C. Chung, B. H. Cho, and S.R. Suh. 1999. Physiological responses of grafted-cucumber leaves and rootstock roots affected by low temperature. *Sci. Hortic.* 81:397-408.

Anderson J.M. and S. L. Ingram J. 1993 .Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods, 2nd. Ed. CAB. International, UK.

Brady, C. N., and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soil. 12th ed. Prentice-Hall. New Jersey, USA. 881 p.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz, 1945. Determination of total, organic, and available forms or phosphates in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.

Cadahía L., C., M. L. Segura P., y A. Massaguer R. 2005. *In: C. Cadahía L. (coord.). Fertilización, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales 355-427 p. 3^a. Ed. Mundi-Prensa (ed.), Madrid, España.*

Cadahía, L., C., y J. J. Lucena M. 2005. Diagnostico de nutrición y recomendaciones del abonado 183-257 p. *In: C. Cadahía L. (coord.). Fertilización, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3^a. Ed. Mundi-Prensa (ed.), Madrid, España.*

Cajuste J. L. 1987. Fósforo aprovechable en suelo. 133-142 p. *In: A. Aguilar S., J. D. Etchevers B., y J. Z. Castellanos R. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación especial. México, D. F.*

Castellanos R., J., J. X. Uvalle-Bueno, y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da. Ed. Colección INCAPA. Celaya, Gto.

- Castellanos J. Z. 2003. Manejo de la Fertirrigación en Suelo. 103-123. *In*: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2ª ed. INTAGRI. México.
- Castilla P., N. 1999. Manejo del cultivo intensivo con suelo pp. 189-225. *In*: F. Nuez (ed.). El cultivo del tomate. Mundi-Prensa (ed.), 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.
- Chavira R., J. G. y J. Z. Castellanos R. 1987. Sales solubles. 109-124 p. *In*: A. Aguilar S., J. D. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación especial. México, D. F.
- Elfving, D. C. 1982. Crops response to trickle irrigation. *Hort. Rev.* 4:1-48.
- Fernández-García N., V. Martínez, A. Cerdá, and M. Carvajal. 2002. Water and nutrient uptake of grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Plant Physiol.* 159: 899-905.
- Hartmann, H. T., D. E. Kester, y F. T. Davies, Jr., and R. L. Geneve. 2002. Plant propagation, principles and practices. 7th ed. Prentice Hall, New Jersey, USA. 880 p.
- Hartz, T. K., R. F. Smith, M. LeStrange, and K. F. Shulbach. 1993. On-farm monitorin of soil and crop nitrogen status by nitrate-selective electrode. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:2607-2615.
- Jones, Jr. B., and V. W. Case. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. *In*: Westerman, R. L. (ed.). Soil testing and plant analysis. Second Edition. SSSA.

- Jones, Jr., J. B., B. Wolf, and H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro Macro Publishing, Inc. Athens, GA. USA. 213 p.
- Kawaide, T. 1985. Utilization of rootstocks in cucurbits production in Japan. JARQ. 18:284-289.
- Lee, J.M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods and benefits. Hort. Sci. 29:235-239.
- Lee J. M. and M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. Hort. Rev. 28:61-124.
- Locascio, J. S., G. J. Hochmuth, F. M. Rhoads, S. M. Olson, A. G. Smajstrla and E. A. Hanlon. 1997. Nitrogen and potassium application scheduling effects on drip-irrigated tomato yield and leaf tissue analysis. Hort. Sci. 32:230-235.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK. 889 p.
- Miguel A. 1997. El injerto de hortalizas. Ed. Generalitat Valenciana, Consejería de Agricultura, Pesca y alimentación. Valencia, España. 88 p.
- Ohno, T., and D. L. Grunes. 1985. Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:685-690.
- Papadopoulus, I. 1987. Nitrogen fertigation of greenhouse-grown tomato. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18:897-907.
- Parker, D. R. and W. A. Norvell. 1999. Advances in solution culture methods. Adv. Agron. 65:151-213.
- Reisenauer, H. M. 1966. Mineral nutrients in soil solution. 507-508 p. *In*: P. L. Altman, and D. S. Dittmer (eds). Environmental Biology. Fec. Am. Soc. Exp. Biol., Bethesda, MD.

- 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.
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *plant soil* 15:134-154.
- Vinicius, F. M., F. Favaro B., R. Marcelli B. A. Eneidi B. 2005. Calibration of cardy-ion meters to measure nutrient concentrations in soil solution and in plant sap. *Sci. Agric.* 62:8-11.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

- El uso del injerto a dos tallos no mostró diferencia significativa en el rendimiento del fruto, pero si incrementó el calibre de los frutos de las plantas no injertadas a un tallo.
- Las plantas injertadas mostraron un mayor vigor que se vió reflejò en una mayor acumulación de materia seca en tallo, hoja. Además se tuvo un incremento de longitud del tallo y área foliar y área foliar específica.
- Hubo una mayor acumulación de los macronutrientes (N, P, K y Ca) en las plantas con injerto, en especial una mayor absorción de K que se manifestó en una mayor concentración y extracción en tallo, hoja y fruto.
- Al disminuir el suministro nutrimental el rendimiento no mostró diferencia significativa, por lo que es factible la producción de tomate con una solución nutritiva al 33% en un ciclo de 248 DDT, en un suelo que presenta alta reserva de nutrimentos en el perfil.
- El uso de una mayor concentración nutrimental en la solución nutritiva causó un incremento en la acumulación progresiva de sales en la solución del suelo.
- Los residuos del cultivo tanto de plantas de tomate con y sin injerto contienen cantidades importantes de nutrimentos, que pueden generar un importante ahorro en la fertilización si se usan como abono orgánico una vez composteados.

VII. RECOMENDACIÓN GENERAL

- Es necesario considerar el balance vegetativo-reproductivo, el cual es afectado por el uso del injerto y no se pueden manejar igualmente las plantas no injertadas. Esto es vital para poder obtener un efecto positivo del injerto en el cultivo de tomate.

VIII. APÉNDICE

Cuadro 1-a Concentración de N-NO₃, P-Bray, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺ en el perfil del suelo antes del trasplante.

Profundidad cm	DA [†] g·cm ⁻³	pH	CE [‡] dS·m ⁻¹	MO [§] %	mg·kg ⁻¹					
					N-NO ₃	P-Bray	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
30 a 60	1.32	7.94	2.50	0.59	73.9	16.37	726	2258	324	264
60 a 90	1.30	7.86	1.79	1.17	14.78	4.29	522	2572	312	273

[†]Densidad aparente (DA), [‡]conductividad eléctrica (CE), [§]Materia orgánica (MO).

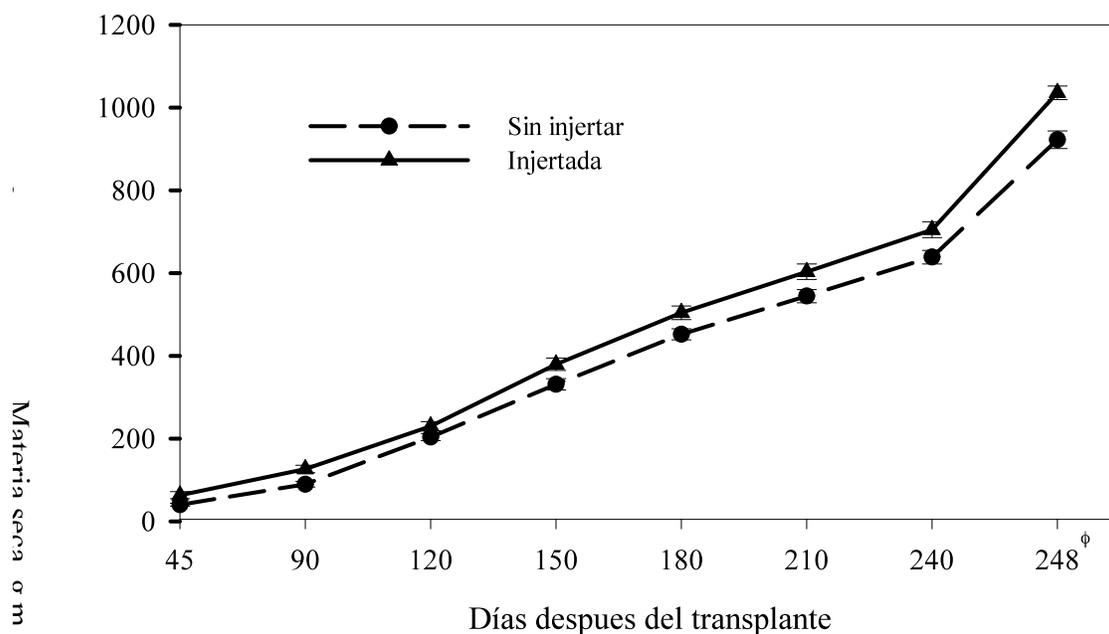


Figura 1-a Materia seca acumulada por efecto de poda en tomate 'Gironda' injertado y sin injertar durante el ciclo del cultivo.

Cuadro 2-a Producción semanal del fruto comercial de tomate ‘Gironda’ injertado y sin injertar, expuesta a tres niveles de fertilización.

DDT	Injertado			Sin injertar		
	SN33	SN66	SN100	SN33	SN66	SN100
	----- kg m ⁻² -----					
96 a 102	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2
103 a 109	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.5
110 a 116	0.9	1.1	1.6	1.7	2.0	1.7
117 a 123	0.8	0.9	1.0	1.6	1.5	1.3
124 a 130	1.0	1.0	1.0	1.6	1.4	1.5
131 a 137	1.5	1.3	1.4	1.2	1.5	1.3
138 a 144	1.5	1.4	1.6	1.0	1.0	0.9
145 a 151	1.1	1.2	1.1	1.0	1.1	0.8
152 a 158	0.9	1.0	1.1	1.1	0.8	1.2
159 a 165	1.5	1.2	1.1	1.2	1.0	1.4
166 a 172	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5
173 a 179	1.4	1.3	1.5	1.4	1.0	1.3
180 a 186	0.6	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4
187 a 193	1.1	1.4	1.4	1.2	1.5	1.3
194 a 200	1.5	1.2	1.3	1.4	1.4	1.0
201 a 207	1.3	1.3	1.6	1.4	1.1	1.1
208 a 214	1.3	1.5	1.6	1.2	1.4	1.3
215 a 221	1.1	1.2	1.0	1.0	0.9	1.0
222 a 228	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.2
229 a 235	0.9	0.9	0.9	0.6	0.7	0.9
236 a 242	1.0	0.9	1.1	0.9	0.7	0.7
243 a 248 [†]	2.3	2.0	2.5	3.0	2.1	1.9
Media	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1
Suma	24.2	23.6	25.6	25.8	24.0	23.6

[†] En esta fecha se cortaron frutos maduros y verdes para todos los tratamientos

Cuadro 3-a Cantidad aplicada de nutrientes de la solución nutritiva al 100% y cantidad de agua en promedio diariamente.

DDT	Agua	NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ⁻	S-SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	aplicada							
	m ³ ha ⁻¹	-----						
1 a 7	33.0	1.39	0.33	3.89	1.31	2.00	1.84	0.52
8 a 14	14.3	2.47	0.65	3.67	1.02	2.84	2.01	0.70
15 a 21	14.3	2.47	0.65	3.67	1.02	2.84	2.01	0.70
22 a 28	18.2	2.49	0.65	3.98	1.14	2.92	2.14	0.72
29 a 35	21.5	3.71	0.98	5.51	1.53	4.26	3.02	1.05
36 a 42	28.7	0.17	0.00	2.27	0.89	0.64	0.93	0.19
43 a 49	15.7	0.09	0.00	1.25	0.49	0.35	0.51	0.10
50 a 56	20.1	0.12	0.00	1.59	0.62	0.45	0.65	0.13
57 a 63	35.9	0.22	0.00	2.84	1.11	0.80	1.16	0.24
64 a 70	21.5	0.13	0.00	1.71	0.66	0.48	0.69	0.14
71 a 77	25.0	3.12	0.81	5.14	1.49	3.69	2.73	0.92
78 a 84	24.1	4.16	1.10	6.18	1.71	4.78	3.39	1.17
85 a 91	21.5	3.71	0.98	6.66	2.13	5.35	3.59	1.05
92 a 98	21.5	2.51	0.65	5.39	1.84	4.09	2.82	0.75
99 a 105	29.4	5.06	1.34	9.88	3.31	8.04	5.30	1.43
106 a 112	21.5	3.71	0.98	7.24	2.43	5.89	3.88	1.05
113 a 119	17.8	3.07	0.81	6.00	2.01	4.88	3.22	0.87
120 a 126	21.5	2.51	0.65	5.39	1.84	4.09	2.82	0.75
127 a 133	21.5	2.51	0.65	5.39	1.84	4.09	2.82	0.75
134 a 140	21.5	2.51	0.65	5.39	1.84	4.09	2.82	0.75
141 a 147	28.7	4.94	1.31	9.65	3.24	7.86	5.18	1.40
148 a 154	28.7	1.37	0.33	4.12	1.47	2.44	1.99	0.49
155 a 161	28.7	1.37	0.33	4.12	1.47	2.44	1.99	0.49
162 a 168	35.9	4.99	1.31	10.22	3.46	8.02	5.41	1.44
169 a 175	43.0	5.03	1.31	10.79	3.68	8.17	5.64	1.49
176 a 182	43.0	7.41	1.96	14.47	4.85	11.78	7.76	2.09
183 a 189	41.0	7.06	1.87	13.78	4.62	11.22	7.39	1.99
190 a 196	43.0	7.41	1.96	14.47	4.85	11.78	7.76	2.09
197 a 203	50.2	8.65	2.29	16.89	5.66	13.75	9.06	2.44
204 a 210	50.2	7.46	1.96	15.04	5.08	11.94	8.00	2.14
211 a 217	50.2	8.65	2.29	16.89	5.66	13.75	9.06	2.44
218 a 224	50.2	7.46	1.96	15.04	5.08	11.94	8.00	2.14
225 a 231	50.2	8.65	2.29	16.89	5.66	13.75	9.06	2.44
232 a 238	48.2	7.10	1.87	14.35	4.84	11.38	7.63	2.04
239 a 245	50.2	7.46	1.96	15.04	5.08	11.94	8.00	2.14
246 a 248	14.3	0.09	0.00	1.14	0.44	0.32	0.46	0.09
Total	7735	989	258	2002	668	1533	1055	289

Cuadro 4-a Cantidad aplicada de nutrimentos de la solución nutritiva al 66% y cantidad de agua en promedio diariamente.

DDT	Agua	NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ⁻	S-SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	aplicada							
	m ³ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹						
1 a 7	33.0	0.97	0.22	3.26	1.71	1.51	1.50	0.40
8 a 14	14.3	1.63	0.43	2.42	1.83	1.87	1.33	0.46
15 a 21	14.3	1.63	0.43	2.42	1.83	1.87	1.33	0.46
22 a 28	18.2	1.65	0.43	2.73	1.95	1.96	1.45	0.49
29 a 35	21.5	2.45	0.65	3.64	2.75	2.81	1.99	0.69
36 a 42	28.7	0.17	0.00	2.27	0.89	0.64	0.93	0.19
43 a 49	15.7	0.09	0.00	1.25	0.49	0.35	0.51	0.10
50 a 56	20.1	0.12	0.00	1.59	0.62	0.45	0.65	0.13
57 a 63	35.9	0.22	0.00	2.84	1.11	0.80	1.16	0.24
64 a 70	21.5	0.13	0.00	1.71	0.66	0.48	0.69	0.14
71 a 77	25.0	2.07	0.54	3.58	2.50	2.49	1.88	0.62
78 a 84	24.1	2.74	0.73	4.08	3.08	3.15	2.24	0.78
85 a 91	21.5	2.45	0.65	4.40	2.75	3.53	2.37	0.69
92 a 98	21.5	1.67	0.43	3.75	2.05	2.75	1.94	0.51
99 a 105	29.4	3.34	0.88	6.52	3.75	5.31	3.50	0.94
106 a 112	21.5	2.45	0.65	4.78	2.75	3.89	2.56	0.69
113 a 119	17.8	2.03	0.54	3.96	2.28	3.22	2.12	0.57
120 a 126	21.5	1.67	0.43	3.75	2.05	2.75	1.94	0.51
127 a 133	21.5	1.67	0.43	3.75	2.05	2.75	1.94	0.51
134 a 140	21.5	1.67	0.43	3.75	2.05	2.75	1.94	0.51
141 a 147	28.7	3.26	0.86	6.37	3.66	5.18	3.42	0.92
148 a 154	28.7	0.90	0.22	2.73	1.36	1.62	1.32	0.32
155 a 161	28.7	0.95	0.22	3.30	1.58	1.78	1.55	0.37
162 a 168	35.9	3.30	0.86	6.94	3.89	5.34	3.65	0.97
169 a 175	43.0	3.35	0.86	7.51	4.11	5.50	3.88	1.02
176 a 182	43.0	4.89	1.29	9.55	5.50	7.78	5.12	1.38
183 a 189	41.0	4.66	1.23	9.10	5.23	7.41	4.88	1.32
190 a 196	43.0	4.89	1.29	9.55	5.50	7.78	5.12	1.38
197 a 203	50.2	5.71	1.51	11.14	6.41	9.07	5.98	1.61
204 a 210	50.2	4.94	1.29	10.12	5.72	7.94	5.36	1.43
211 a 217	50.2	5.71	1.51	11.14	6.41	9.07	5.98	1.61
218 a 224	50.2	4.94	1.29	10.12	5.72	7.94	5.36	1.43
225 a 231	50.2	5.71	1.51	11.14	6.41	9.07	5.98	1.61
232 a 238	48.2	4.70	1.23	9.67	5.46	7.57	5.11	1.36
239 a 245	50.2	4.94	1.29	10.12	5.72	7.94	5.36	1.43
246 a 248	14.3	0.09	0.00	1.14	0.44	0.32	0.46	0.09
Total	7735	656	170	1373	786	1027	717	195

Cuadro 5-a Cantidad aplicada de nutrimentos de la solución nutritiva al 33% y cantidad de agua en promedio diariamente.

DDT	Agua	NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ⁻	S-SO ₄ ²⁻	Cl-	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	aplicada							
	m ³ ha ⁻¹							
					kg ha ⁻¹			
1 a 7	33.0	0.56	0.11	2.66	1.24	1.04	1.17	0.28
8 a 14	14.3	0.82	0.22	1.21	0.89	0.94	0.66	0.23
15 a 21	14.3	0.82	0.22	1.21	0.89	0.94	0.66	0.23
22 a 28	18.2	0.84	0.22	1.52	1.00	1.02	0.79	0.26
29 a 35	21.5	1.22	0.32	1.82	1.33	1.41	1.00	0.35
36 a 42	28.7	0.17	0.00	2.27	0.89	0.64	0.93	0.19
43 a 49	15.7	0.09	0.00	1.25	0.49	0.35	0.51	0.10
50 a 56	20.1	0.12	0.00	1.59	0.62	0.45	0.65	0.13
57 a 63	35.9	0.22	0.00	2.84	1.11	0.80	1.16	0.24
64 a 70	21.5	0.13	0.00	1.71	0.66	0.48	0.69	0.14
71 a 77	25.0	0.86	0.22	1.78	1.11	1.10	0.90	0.28
78 a 84	24.1	1.22	0.32	1.82	1.33	1.41	1.00	0.35
85 a 91	21.5	1.22	0.32	2.20	1.33	1.76	1.19	0.35
92 a 98	21.5	0.86	0.22	2.16	1.11	1.46	1.09	0.28
99 a 105	29.4	1.67	0.44	3.26	1.81	2.65	1.75	0.47
106 a 112	21.5	1.22	0.32	2.39	1.33	1.94	1.28	0.35
113 a 119	17.8	0.82	0.22	1.59	0.89	1.30	0.85	0.23
120 a 126	21.5	0.86	0.22	2.16	1.11	1.46	1.09	0.28
127 a 133	21.5	0.86	0.22	2.16	1.11	1.46	1.09	0.28
134 a 140	21.5	0.86	0.22	2.16	1.11	1.46	1.09	0.28
141 a 147	28.7	1.63	0.43	3.18	1.77	2.59	1.71	0.46
148 a 154	28.7	0.49	0.11	1.93	0.89	0.97	0.89	0.21
155 a 161	28.7	0.54	0.11	2.50	1.11	1.13	1.12	0.26
162 a 168	35.9	1.67	0.43	3.75	1.99	2.75	1.94	0.51
169 a 175	43.0	1.72	0.43	4.32	2.21	2.91	2.17	0.55
176 a 182	43.0	2.45	0.65	4.78	2.66	3.89	2.56	0.69
183 a 189	41.0	2.33	0.62	4.55	2.53	3.70	2.44	0.66
190 a 196	43.0	2.45	0.65	4.78	2.66	3.89	2.56	0.69
197 a 203	50.2	2.85	0.76	5.57	3.10	4.54	2.99	0.81
204 a 210	50.2	2.49	0.65	5.34	2.88	4.05	2.79	0.74
211 a 217	50.2	2.85	0.76	5.57	3.10	4.54	2.99	0.81
218 a 224	50.2	2.49	0.65	5.34	2.88	4.05	2.79	0.74
225 a 231	50.2	2.85	0.76	5.57	3.10	4.54	2.99	0.81
232 a 238	48.2	2.37	0.62	5.12	2.75	3.86	2.67	0.71
239 a 245	50.2	2.49	0.65	5.34	2.88	4.05	2.79	0.74
246 a 248	14.3	0.09	0.00	1.14	0.44	0.32	0.46	0.09
Total	7735	330	84	760	408	531	388	103

Cuadro 6-a Cantidad aplicada de micronutrientos en promedio diariamente.

DDT	Fe ²⁺	Mn ²⁺	B	Zn ²⁺	Cu ²⁺	MoO ₄ ²⁻
	----- g ha ⁻¹ -----					
1 a 7	10.76	5.74	0.72	0.65	0.43	0.29
8 a 14	21.52	11.48	1.43	1.29	0.86	0.57
15 a 21	21.52	11.48	1.43	1.29	0.86	0.57
22 a 28	21.52	11.48	1.43	1.29	0.86	0.57
29 a 35	32.29	17.22	2.15	1.94	1.29	0.86
36 a 42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43 a 49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50 a 56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57 a 63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64 a 70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71 a 77	26.77	14.28	1.78	1.61	1.07	0.71
78 a 84	36.22	19.32	2.41	2.17	1.45	0.97
85 a 91	32.29	17.22	2.15	1.94	1.29	0.86
92 a 98	21.52	11.48	1.43	1.29	0.86	0.57
99 a 105	44.08	23.51	2.94	2.65	1.76	1.18
106 a 112	32.29	17.22	2.15	1.94	1.29	0.86
113 a 119	26.77	14.28	1.78	1.61	1.07	0.71
120 a 126	21.52	11.48	1.43	1.29	0.86	0.57
127 a 133	21.52	11.48	1.43	1.29	0.86	0.57
134 a 140	21.52	11.48	1.43	1.29	0.86	0.57
141 a 147	43.05	22.96	2.87	2.58	1.72	1.15
148 a 154	10.76	5.74	0.72	0.65	0.43	0.29
155 a 161	10.76	5.74	0.72	0.65	0.43	0.29
162 a 168	43.05	22.96	2.87	2.58	1.72	1.15
169 a 175	43.05	22.96	2.87	2.58	1.72	1.15
176 a 182	64.57	34.44	4.30	3.87	2.58	1.72
183 a 189	61.50	32.80	4.10	3.69	2.46	1.64
190 a 196	64.57	34.44	4.30	3.87	2.58	1.72
197 a 203	75.34	40.18	5.02	4.52	3.01	2.01
204 a 210	64.57	34.44	4.30	3.87	2.58	1.72
211 a 217	75.34	40.18	5.02	4.52	3.01	2.01
218 a 224	64.57	34.44	4.30	3.87	2.58	1.72
225 a 231	75.34	40.18	5.02	4.52	3.01	2.01
232 a 238	61.50	32.80	4.10	3.69	2.46	1.64
239 a 245	64.57	34.44	4.30	3.87	2.58	1.72
246 a 248	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	8503	4535	567	510	340	227

Cuadro 7-a Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de S en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de S.

Factor	S total			Extracción de S total				ICS [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
Injertada	2.38 a [§]	0.68 a	0.19 a	24.7 a	3.05 a	2.6 a	30.4 a	0.09 a
Sin injertar	2.39 a	0.73 a	0.18 a	21.9 b	2.95 a	2.6 a	27.3 b	0.09 a
DMS	ns [¶]	ns	ns	2.7	ns	ns	2.67	ns
SN [‡]								
33	2.09 b	0.73 a	0.19 a	20.1 b	2.93 ab	2.6 a	25.6 b	0.1 a
66	3.04 a	0.65 b	0.19 a	29.4 a	2.74 b	2.5 a	34.6 a	0.08 b
100	2.02 b	0.73 a	0.18 a	20.4 b	3.34 a	2.7 a	26.3 b	0.1 a
DMS	0.35	0.06	ns	3.3	0.47	ns	3.3	0.01
P X SN	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	ns
CV [#] (%)	14	8.66	5.33	13.5	17.8	9.8	10.8	13.3

[†]Índice de cosecha de nitrógeno (ICS); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 8-a Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de Fe en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de Fe.

Factor	Fe total			Extracción de Fe total				ICFe [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m ⁻² -----				
Planta (P)								
Injertada	336 a [§]	72.8 a	33.8 a	3.48 a	0.33 a	0.48 a	4.3 a	0.12 a
Sin injertar	330 a	72.5 a	32.0 a	3.04 b	0.29 a	0.43 a	3.8 b	0.12 a
DMS	ns [¶]	ns	ns	0.36	ns	ns	0.3	ns
SN [‡]								
33	341 a	90.1 a	30.0 b	3.27 a	0.36 a	0.4 b	4 a	0.1 b
66	330 a	49.5 b	34.3 a	3.18 a	0.21 b	0.47 a	3.9 a	0.13 a
100	328 a	78.4 a	34.4 a	3.32 a	0.36 a	0.49 a	4.2 a	0.12 ab
DMS	ns	26.7	4.0	ns	0.09	0.06	ns	0.23
P X SN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV [#] (%)	13.4	33.4	11.6	12.9	33.9	13	9.6	18.9

[†]Índice de cosecha de nitrógeno (ICFe); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 9-a Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de Mn en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de Mn.

Factor	Mn total			Extracción de Mn total				ICMn [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m-2 -----				
Planta (P)								
Injertada	331.8 a [§]	48.2 a	14.2 a	3.45 a	0.22 a	0.20 a	3.87 a	0.12 a
Sin injertar	312.4 a	44.3 a	13.2 a	2.88 b	0.18 a	0.18 b	3.24 b	0.12 a
DMS	ns [¶]	ns	ns	0.39	ns	0.02	0.42	ns
SN [‡]								
33	317.0 a	52.3 a	13.7 a	3.06 a	0.21 a	0.19 a	3.46 a	0.10 a
66	331.8 a	39.9 ab	13.4 a	3.21 a	0.17 a	0.19 a	3.57 a	0.13 a
100	317.5 a	46.6 b	14.0 a	3.22 a	0.21 a	0.2 a	3.63 a	0.12 a
DMS	ns	9.9	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P X SN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV [#] (%)	11.2	20.4	10.4	14.31	27.03	10.97	13.85	13.52

[†]Índice de cosecha de nitrógeno (ICFe); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación.

Cuadro 10-a Efecto del injerto y nivel de suministro nutrimental sobre la concentración y extracción de Zn en los distintos órganos del cultivo en índice de cosecha de Zn.

Factor	Zn total			Extracción de Zn total				ICZn [†]
	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Total	
	----- % -----			----- g m-2 -----				
Planta (P)								
Injertada	70.1 a [§]	93.6 a	13.6 a	0.7 a	0.41 a	0.2 a	1.3 a	0.12 a
Sin injertar	68.4 a	82.3 a	12.5 b	0.6 b	0.33 b	0.17 b	1.1 b	0.12 a
DMS	ns [¶]	ns	0.8	0.1	0.07	0.02	0.1	ns
SN [‡]								
33	76.7 a	118.7 a	13.4 a	0.7 a	0.48 a	0.19 a	1.4 a	0.1 b
66	66.6 b	62.3 c	13.0 a	0.6 b	0.27 c	0.18 a	1.1 b	0.13 a
100	64.3 b	83.0 b	12.8 a	0.7 b	0.37 b	0.18 a	1.2 b	0.12 ab
DMS	6.5	19.1	ns	0.1	0.09	ns	0.1	0.02
P X SN	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV [#] (%)	9.0	20.7	7.2	8.7	23.4	10.3	9.8	12

[†]Índice de cosecha de nitrógeno (ICFe); [‡]Solución nutritiva (SN); [§]Promedios con diferentes letras en las columnas indican una diferencia estadística, según DMS ($p \leq 0.05$); [¶]ns, no significativo ($p < 0.05$); [#]CV: coeficiente de variación (%).

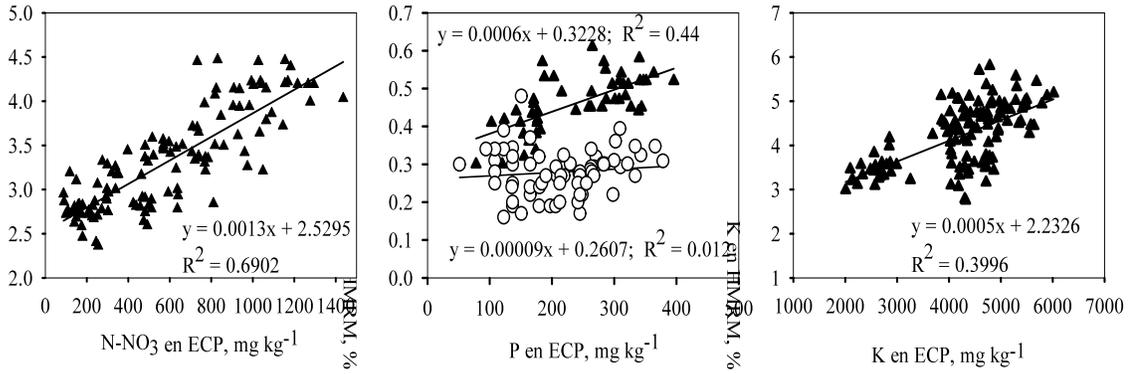


Figura 2-a Relación entre el contenido de N-NO₃, P y K en el extracto celular de peciolo (ECP) contra la concentración del N total y P (%) en la hoja más recientemente madura (HMRM) en tomate con y sin injerto.

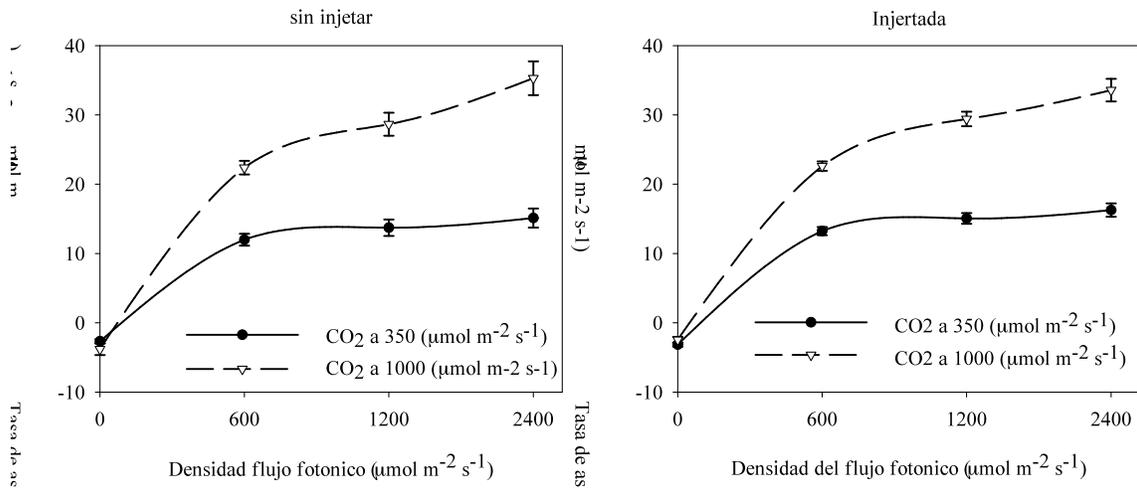


Figura 3-a Respuesta de plantas con y sin injerto a diferentes densidad de flujo fotonico (0, 600, 1200, 2400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a una concentración de CO₂ de 350 y 1000 mol m⁻² s⁻¹ a los 180 DDT bajo condiciones de suelo. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones \pm error estandar.

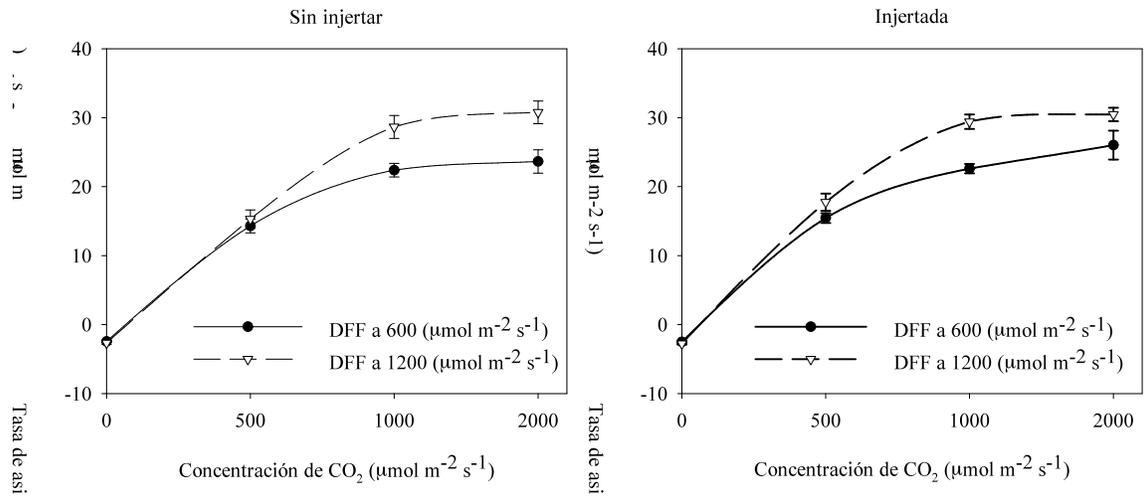


Figura 4-a Respuesta de plantas con y sin inyecto a diferentes concentración de CO₂ (0, 500, 1000, 2000 μmol m⁻² s⁻¹) a una densidad de flujo fotonico (DFF) de 600 y 1200 μmol m⁻² s⁻¹ a los 180 DDT bajo condiciones de suelo.