



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**ANATOMÍA Y MANEJO AGRONÓMICO DE PLANTAS
INJERTADAS EN JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

TESIS

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

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

VELASCO ALVARADO MARIO DE JESÚS

Chapingo, México; Mayo de 2013



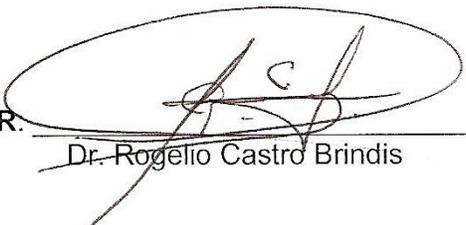
DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



ANATOMÍA Y MANEJO AGRONÓMICO DE PLANTAS INJERTADAS EN JITOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.)

Tesis realizada por **Mario de Jesús Velasco Alvarado** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 
Dr. Rogelio Castro Brindis

ASESOR: 
Dra. Ana María Castillo González

ASESOR: 
Dr. Edilberto Avitia García

ASESOR: 
Ph. D. Jaime Sahagún Castellanos

Chapingo, México. Mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de maestría.

Otra vez a la Universidad Autónoma Chapingo, le agradezco esta oportunidad. Al Programa de Maestría en Ciencias en Horticultura del Departamento de Fitotecnia por apoyarme en lograr esta meta en mis estudios profesionales.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por dirigir el trabajo de investigación, por apoyarme en esta fase de mi vida y por sus consejos para superarme.

A la Dra. Ana María Castillo González por sus valiosas observaciones y aportaciones para mejorar el trabajo.

Al Dr. Edilberto Avitia García por todas las sugerencias y el tiempo dedicado al trabajo de investigación.

Al Ph. D. Jaime Sahagún Castellanos por sus valiosas observaciones, sugerencias y el tiempo invertido en este trabajo de investigación.

A varios encargados de laboratorios por facilitar el trabajo, especialmente a la Sra. Angela.

DEDICATORIA

A los iniciadores de esta historia. Mi madre, Hortencia Alvarado Narváez, es todo para mí. A mi Padre, que aunque ya no este físicamente conmigo me sigue acompañando en cada paso de mi vida...

A mis abuelos, José y América, por su cariño y los valores que me han enseñado...

A mi hermana Magaly, por todo el cariño y amor...

A Magda, por todo el apoyo incondicional y amor que me ha dado...

A mis sobrinos, Laura, Luis y Valeria...

A mis tías y tíos...

A la Familia Moedano Mariano, por su valiosa amistad...

Al Dr. Rogelio y familia, por su amistad...

A mis primas y primos...

A mis compañeros de Generación, Misa, Temo, Gerdiel, Néstor, Erick...

A todos mis amigos y amistades...

A la vida...

...

Amorosamente, Mario Velasco

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor del presente trabajo de investigación es Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo en el año de 2008. El tema del trabajo de investigación con el cual obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo fue **Evaluación de Tres Métodos de Injerto en Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**.

Trabajó para la asociación de productores de hortalizas en Jalpan de Serra, Qro. Se ha dedicado a la producción de jitomate. Este mismo interés lo llevó a ingresar al programa de la Maestría en Horticultura en el año 2011, en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
RESUMEN GENERAL.....	xiv
GENERAL ABSTRACT.....	xiv
1.INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Situación Taxonómica.....	1
1.2. Importancia en México.....	2
1.3. Producción de Tomate y la Agricultura Protegida en México.....	3
1.4. Variedades Resistentes a Enfermedades y su Uso como Portainjertos.....	5
1.5. Injertación en Hortalizas.....	8
1.5.1. Comportamiento de la Producción con Plántulas Injertadas.....	10
1.5.2. Propósitos del Injerto en Hortalizas.....	11
1.5.3. Resistencia a Enfermedades.....	12
1.5.4. Resistencia a Nemátodos.....	13
1.5.5. Tolerancia a Factores Adversos.....	13
1.5.6. Incremento en Rendimiento, Vigor y Calidad.....	14
1.5.7. Problemática del Uso de Plántulas Injertadas.....	15
1.5.8. Métodos de Injertación en Hortalizas.....	17
1.5.8.1. Método de empalme (splice grafting).....	17
1.5.8.2. Método de hendidura (cleft grafting).....	18
1.5.8.3. Injerto de aproximación (tongue approach grafting).....	18
1.6. Literatura Citada.....	21
2. PROCESO DE UNIÓN DEL INJERTO DE EMPALME EN TOMATE.....	25
2.1. INTRODUCCIÓN.....	25
2.2. OBJETIVOS.....	26
2.3. HIPÓTESIS.....	26

2.4.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	27
2.4.1.	Formación de la Unión de Injerto.....	27
2.4.2.	Estructuras Relacionadas con la Cicatrización del Injerto.....	28
2.4.2.1.	Cámbium vascular.....	28
2.4.2.2.	Xilema.....	29
2.4.2.3.	Floema.....	29
2.4.3.	Incompatibilidad de Injertos.....	30
2.4.4.	Factores que Influyen en la Unión del Injerto.....	31
2.4.4.1.	Temperatura.....	31
2.4.4.2.	Humedad.....	31
2.4.4.3.	Superficie de contacto.....	32
2.4.4.4.	Oxígeno.....	32
2.4.4.5.	Contaminación con patógenos.....	33
2.5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
2.5.1.	Material Vegetal.....	34
2.5.2.	Sincronización del diámetro de tallo.....	34
2.5.3.	Obtención de plántulas.....	35
2.5.4.	Procedimiento de injertación.....	36
2.5.5.	Fase Postinjertación.....	37
2.5.6.	Obtención de Cortes Anatómicos.....	39
2.6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
2.7.	CONCLUSIONES.....	47
2.8.	LITERATURA CITADA.....	48
3. PORTAINJERTO Y SU EFECTO SOBRE LA NUTRICIÓN, ACUMULACIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO.....		51
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	51
3.2.	OBJETIVO.....	52
3.3.	HIPÓTESIS.....	53
3.4.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	53
3.4.1.	Elementos Esenciales.....	53

3.4.2.	Nitrógeno.....	55
3.4.3.	Fósforo.....	55
3.4.4.	Potasio.....	56
3.4.5.	Calcio.....	57
3.4.6.	Magnesio.....	57
3.4.7.	Análisis nutrimental de la planta.....	58
3.5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
3.5.1.	Material vegetal.....	60
3.5.2.	Producción de Plántula.....	60
3.5.3.	Condiciones de la Plantación.....	60
3.5.4.	Acumulación de biomasa y análisis nutrimental.....	61
3.5.5.	Rendimiento.....	62
3.5.6.	Diseño Experimental.....	62
3.5.7.	Tratamientos.....	62
3.5.8.	Análisis Estadístico.....	63
3.6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
3.7.	CONCLUSIONES.....	76
3.8.	LITERATURA CITADA.....	78
4. CRECIMIENTO Y CONCENTRACIÓN DE NO₃⁻ Y K⁺ EN EL EXTRACTO		
CELULAR DE PECÍOLO (ECP) EN TOMATE INJERTADO.....		
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	83
4.2.	OBJETIVO.....	84
4.3.	HIPÓTESIS.....	85
4.4.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	85
4.4.1.	Raíz.....	85
4.4.2.	Tallo.....	86
4.4.3.	Hoja.....	87
4.4.4.	Flor.....	87
4.4.5.	Fruto.....	88
4.4.6.	Medidor de Iones y Trabajos Relacionados.....	89

4.5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	91
4.5.1.	Material Vegetal.....	91
4.5.2.	Mediciones de Crecimiento.....	91
4.5.3.	Variables de Crecimiento.....	91
4.5.4.	Análisis del Extracto Celular de Pecíolo (ECP).....	92
4.5.5.	Procedimiento.....	93
4.5.6.	Tratamientos.....	94
4.5.7.	Análisis Estadístico.....	94
4.6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	95
4.7.	CONCLUSIONES.....	102
4.8.	LITERATURA CITADA.....	103
5.	CALIDAD DE FRUTO EN PLANTAS INJERTADAS DE TOMATE.....	107
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	107
5.2.	OBJETIVO.....	108
5.3.	HIPÓTESIS.....	108
5.4.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	109
5.4.1.	Calidad.....	109
5.4.2.	Forma y Tamaño de Fruto.....	109
5.4.3.	Color.....	110
5.4.4.	Firmeza.....	111
5.4.5.	Sólidos Solubles Totales (SST) y Acidez Titulable (AT).....	111
5.4.6.	Ácidos Orgánicos.....	112
5.4.7.	Contenido Mineral.....	112
5.4.8.	Licopeno.....	113
5.4.9.	Calidad de fruto en plantas injertadas.....	113
5.5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	114
5.5.1.	Material Vegetal.....	114
5.5.2.	Muestreos.....	114
5.5.3.	Variables.....	115
5.5.4.	Tratamientos.....	117

5.5.5. Análisis Estadístico.....	117
5.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	118
5.7. CONCLUSIONES.....	124
5.8. LITERATURA CITADA.....	126
6. DISCUSIÓN GENERAL.....	129
7. LITERATURA CITADA GENERAL.....	135
8. CONCLUSIONES GENERALES.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Superficie nacional cultivada de tomate.....	2
Figura 1.2. Producción nacional de tomate.....	2
Figura 2.3. Tendencia de la agricultura protegida en México.....	4
Figura 3.4. Métodos de injertación en hortalizas.....	20
Figura 2.1. Diámetro de tallo Multifort y El Cid.....	35
Figura 2.2. Método de empalme.....	37
Figura 2.3. Cámara de prendimiento.....	38
Figura 2.4. Corte transversal (5 ddi).....	40
Figura 2.5. Corte longitudinal (5 ddi).....	41
Figura 2.6. Corte transversal (5 ddi).....	42
Figura 2.7. Corte transversal (10 ddi).....	43
Figura 2.8. Corte transversal (10 ddi).....	45

Figura 2.9. Corte transversal (15 ddi).....	46
Figura 2.10. Diámetros desiguales y corte disperejo de los materiales.....	47
Figura 3.1. T-1 (izquierda), T-2 (derecha).....	62
Figura 3.2. T-3 (izquierda), T-4 (derecha).....	63
Figura 3.3. Acumulación de biomasa en la parte aérea de plantas injertadas y sin injertar en tomate.....	65
Figura 3.4. Área foliar en plantas injertadas y sin injertar en tomate.....	66
Figura 3.5. Rendimiento en plantas injertadas y sin injertar.....	76
Figura 4.1. Medidor Cardy para K^+	92
Figura 4.2. Medidor Cardy Twin para NO_3^-	92
Figura 4.3. Cardy NO_3^- calibrado a 2000 ppm.....	93
Figura 4.4. Cardy NO_3^- calibrado a 2000 ppm.....	93
Figura 4.5. Concentración de NO_3^- del ECP en plantas injertadas y sin injertar en tomate.....	100
Figura 4.6. Concentración de K del ECP en plantas injertadas y sin injertar en tomate.....	101
Figura 5.1. Frutos seleccionados para medición de calidad.....	114
Figura 5.2. Frutos en bandejas para evaluación de pérdida de peso.....	116
Figura 5.4. Total de frutos en plantas injertadas y no injertadas de tomate.....	122
Figura 5.5. Peso promedio de fruto en plantas injertadas y no injertadas de tomate.....	122
Figura 5.6. Diámetro de frutos en plantas injertadas y no injertadas de tomate....	122

Figura 5.7. Pérdida de peso del fruto (12 días) en plantas injertadas y no injertadas de tomate.....	122
Figura 5.3. Calibre de frutos en plantas injertadas y sin injertar en tomate conducidas a uno y dos tallos.....	124

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1. Genes de resistencia más importantes en tomate.....	6
Cuadro 1.2. Propósitos del uso de plántulas injertadas de hortalizas.....	12
Cuadro 5.3. Problemas asociados al proceso de injertación y el uso de plántulas injertadas de hortalizas.....	16
Cuadro 3.1. Concentración nutrimental en la hoja más recientemente madura, incluyendo el peciolo, en tomate.....	58
Cuadro 3.2. Concentraciones óptimas en hoja de tomate.....	59
Cuadro 3.3. Fertilización durante el experimento.....	61
Cuadro 3.4. Concentración y extracción de nitrógeno en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.....	67
Cuadro 3.5. Concentración y extracción de fósforo en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.....	69
Cuadro 3.6. Concentración y extracción de potasio en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.....	71
Cuadro 3.7. Concentración y extracción de calcio en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.....	72
Cuadro 3.8. Concentración y extracción de magnesio en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.....	74

Cuadro 4.1. Crecimiento en plantas injertadas y no injertadas de tomate conducidas a uno y dos tallos.....	97
Cuadro 5.1. Temperaturas mínimas, máximas y media para pérdida de peso fruto.....	117
Cuadro 5.2. Parámetro de calidad de fruto en plantas injertadas y no injertadas de tomate conducidas a uno y dos tallos, en los primeros seis racimos.....	120

ANATOMÍA Y MANEJO AGRONÓMICO DE PLANTAS INJERTADAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

ANATOMY AND AGRICULTURAL MANAGEMENT OF GRAFTED PLANT TOMATO (*Solanumlycopersicum* L.)

M. J. Velasco-Alvarado¹; R. Castro-Brindis²; A. M. Castillo-González²; E. Avitia-García²; J. Sahagún-Castellanos²

RESUMEN GENERAL

El trabajo de investigación se realizó en los años 2011 y 2012. Se utilizó como portainjerto el híbrido 'Multifort' (*Solanum lycopersicum* x *S. habrochaites*) y como injerto el híbrido 'El Cid'. Con el objetivo de describir la unión portainjerto/injerto. Para esto se realizaron cortes anatómicos del punto de unión, se encontró que el inicio de la formación del nuevo tejido vascular fue a los 5 ddi y su completa conexión y funcionalidad se dió a los 10 ddi. Se evaluó el efecto del portainjerto en la nutrición de la planta, área foliar, acumulación de biomasa y rendimiento; el experimento se estableció en invernadero e hidroponía, utilizando el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner al 25, 50, 75 y 100 %. La biomasa en plantas injertadas conducidas a dos tallos se incrementó 36 % y en plantas injertadas a un tallo 24 %. Las plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos extrajeron mayor cantidad de N, K, Ca y Mg. El rendimiento fue mayor en plantas injertadas dirigidas a un tallo (12.9 %), las plantas injertadas conducidas a dos tallos incrementaron 6.6 % (0.79 kg/planta). Las plantas injertadas presentaron mayor crecimiento vegetativo. Las plantas injertadas incrementaron la concentración de NO₃ a inicios y mediados de la época de cosecha. Se evaluó la calidad del fruto. Las plantas injertadas dirigidas a un tallo, en los racimos tres y cinco la firmeza se redujo en 12 y 11.5 %; de igual manera se redujo la cantidad de sólidos solubles totales en los racimos cuatro y cinco. El calibre de fruto se incrementó en plantas injertadas dirigidas a un tallo, las cuales incrementaron el número de frutos clasificados como jumbos y disminuyeron la cantidad de frutos de rezaga. En plantas dirigidas a dos tallos no se presentó diferencia significativa en el calibre del fruto.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., portainjerto, injerto, efecto.

GENERAL ABSTRACT

The research was conducted during 2011 and 2012. 'Multifort' (*Solanumlycopersicum* x *S. habrochaites*), an hybrid rootstock and 'El Cid' were used. Engraftment process observed to describe rootstock/graft union. An anatomical cutting at the junction point, showed that the beginning of the formation of new vascular tissue was 5 dag and the complete connection and functionality occurred 10 dag. the rootstock effect on plant nutrition, leaf area, biomass accumulation and yield were evaluated; the experiment was conducted in a greenhouse with hydroponics; a completely randomized block design with three replications was used. We used the universal nutrient solution Steiner 25, 50, 75 and 100 %. Biomass in grafted plants at two stems increased 36 %, and grafted plants at one stem 24 %. Grafted plants at one and two stems removed more N, K, Ca and Mg. Yield increase was 12.9 % higher in plants grafted directed to one stem. Grafted plants directed to two stems increased yield by 6.6 % (0.79 kg/plant). Grafted plants had greater vegetative growth, and therefore. Grafted plants increased concentration the NO₃ in early and mid-harvest time. There was no clear trend in the concentration of K⁺. Fruit quality was assessed. Plants that were grafted directly to one stem had fruits on the third and fifth clusters whose firmness was reduced by 12 and 11.5 %. Moreover, the amount of total solids in fruits of the fourth and fifth clusters was reduced. The fruit size in grafted plants directed to one stem increased, increasing the number of fruits classified as jumbos and decreased the amount of linger fruits. In plants directed at two stems, fruit size of grafted plants was not different.

Keywords: *Solanumlycopersicum* L., rootstock, grafting effect.

¹ Estudiante de Maestría en Ciencias en horticultura. ² Profesor-Investigador. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C.P.: 56230. MEXICO.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Situación Taxonómica

El tomate pertenece a la familia Solanáceae y género *Lycopersicon*. Esta familia incluye otras especies de importancia agrícola como chile (*Capsicum* spp.), tomatillo ó tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), berenjena (*Solanum melongena*) y papa (*Solanum tuberosum*). La clasificación taxonómica del tomate ha sido motivo de debate entre taxónomos. En 1753 Linnaeus lo clasificó como *Solanum lycopersicon*, 15 años después P. Miller lo renombra como *Lycopersicon esculentum* (Costa y Huevelink, 2005; Spooner *et al.*, 1993); destacando diferencias como la unión y dehiscencia de las anteras con el género *Solanum*. En 1900 Karsten sugiere nombrarlo como *Lycopersicon lycopersicum* (Taylor, 1986). Recientemente los taxónomos han decidido nombrar a esta especie con el nombre científico inicial.

El género *Lycopersicon* se cree que se originó en la franja litoral de América del Sur, desde el ecuador hasta los 30° latitud sur. Actualmente se conocen nueve especies de este género que han sido fuente importante en el mejoramiento genético del tomate cultivado, *L. esculentum* var. *Cerasiforme* (Dun.) Gray; *L. pimpinellifolium* (Jusl.) Mill.; *L. cheesmanii* Riley; *L. pinnellii* (Corr.) D'Arcy; *L. hirsutum* Humb. & Bonpl.; *L. parviflorum* Rick, Kesicki, Fobes & Holle; *L. chimielewskii* Rick, Kesicki, Fobes & Holle; *L. chilense* Dun.; *L. peruvianum* Mill. (Esquinas-Alcazar y Nuez, 1995). La especie *esculentum* es nativa de América del Sur, especialmente de Perú y las Islas Galápagos. Al tomate se le considera originario de la región Andina (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú); en esta zona existe la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres, el ancestro más probable de esta especie es *L. esculentum* var. *Cerasiforme* (Dun.) Gray (Fernández *et al.*, 2004; Costa y Huevelink, 2005). El centro de domesticación también ha sido motivo de discusión entre especialistas, pero México es considerado como el centro más importante de domesticación (Jones, 2000); incluso la palabra tomate proviene del vocablo Náhuatl *tomatl*: *tomate*. A

menudo en algunas regiones del sureste mexicano se le conoce como jitomate, a nivel mundial es mejor conocido como tomate.

1.2. Importancia en México

El tomate es una de las cuatro hortalizas cultivadas más importantes del mundo, en México ocupa el primer lugar. La superficie destinada a la producción ha decrecido año con año, para 1990 se reportaron 85 506 ha cultivadas, para 1995 un total de 79 019 ha, para los años 2000, 2005 y 2010 se destinaron 75 898.52; 74 354.56 y 54 510.59 ha, respectivamente (SIAP, 2011). Esto muestra una tendencia clara a disminuir la superficie cultivada (Figura 1), pero no así la producción (Figura 2); esto debido a la aplicación de nuevas tecnologías y la implementación de la agricultura protegida; en 1990 se tuvo un volumen de producción de 1 885 277 toneladas; 1 941 231 para 1995; 2 086 029.72 en el 2000; 2 246 246.34 y 2 277 791.44 toneladas en 2005 y 2010, respectivamente (SIAP, 2011). Por lo tanto, también se ha aumentado el rendimiento promedio por hectárea, de 22.04 t·ha⁻¹ en 1990 a 41.78 t·ha⁻¹ en 2010; incremento del 89.5 %.

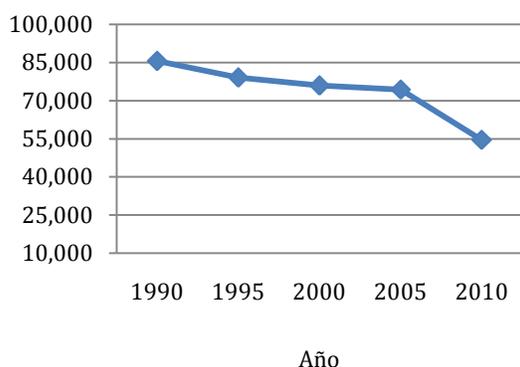


Figura 1.1. Superficie nacional cultivada de tomate (hectáreas). Datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2011).

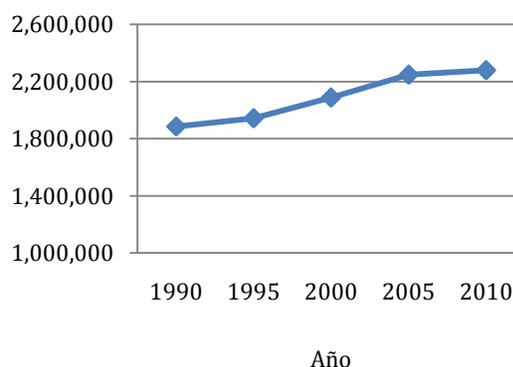


Figura 6.2. Producción nacional de tomate (toneladas). Datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2011).

México se encuentra entre los diez principales países productores de tomate en el mundo; en la parte norte del Continente Americano ocupa el segundo lugar, superado por los Estados Unidos con 10 millones de toneladas anuales

aproximadamente (Merino, 2004). Sin embargo, en exportación ocupa el primer lugar a nivel mundial, seguido por España. En exportaciones hortofrutícolas ocupa el primer lugar en volumen y el segundo en valor de las exportaciones, superado por el aguacate. La cantidad exportada varía año con año, en 2011 se exportó el 56 % de la producción total, con valor de 2 mil millones de dólares (Reho, 2012). El principal destino de exportación es Estados Unidos, donde el tomate mexicano participa con 80 % de las importaciones de ese país, su principal competidor es Canadá con 14.1 %. Sinaloa es el estado con mayor participación en la exportación de tomate, con 50 % del total (CIDH, 2011).

El cultivo de tomate en México también es importante por la capacidad de generar empleos. La actividad hortofrutícola nacional genera 1 220 000 empleos, de los cuales 970 000 son directos y 250 000 son indirectos. El cultivo del tomate es una de las fuentes más importantes de empleo rural. Según el Censo de Población y Vivienda de 1990, del total de la PEA en México (23.4 millones de personas), 5 millones (22 %) trabajaban en la agricultura, de los cuales 20 % se dedicaba a actividades hortofrutícolas. Específicamente en la producción de tomate se emplean 172 mil 89 trabajadores, 3.3 % de la PEA (Población Económicamente Activa) empleada en el sector agropecuario (Muñoz, 1995). En cuanto a la producción bajo invernadero y casas sombra se generan de 7 a 10 empleos permanentes por hectárea, dando un total de 50,000 a 80,000 empleos diarios (Castellanos y Borbón, 2009).

1.3. Producción de Tomate y la Agricultura Protegida en México

La agricultura protegida es un sistema de producción que se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio ambiente impone para el desarrollo óptimo de las plantas (Bastida y Ramírez, 2008). El término agricultura protegida ha sido transformado a horticultura protegida, dado que se cultivan principalmente hortalizas y flores de corte. Sánchez (2008), define a la horticultura protegida como aquel sistema de

producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar un crecimiento óptimo y con ello un alto rendimiento. Las cifras en cuanto a la superficie cultivada con esta tecnología varía en las diferentes fuentes de información. En 2011 México contaba con 11 759 ha cultivadas bajo condiciones de agricultura protegida, incluyendo microtúneles con cubierta flotante, casas sombra e invernaderos. Para ese mismo año la FAO reporta 20 mil hectáreas de agricultura protegida en México (FAO, 2011).

La superficie con agricultura protegida en México se ha incrementado año con año (Figura 1.3). De invernaderos en 1999 se estimaba en 721 ha; para 2005 ascendió a 3 200 ha (Ocaña, 2008). Castellanos y Borbón (2009) reportaron 4 405 ha de invernadero y 4 529 ha de casas sombra hasta el 2008. Se estima un crecimiento anual de 1 200 ha de agricultura protegida (Ponce, 2011). Específicamente en el cultivo de tomate se emplean 950 ha de invernadero, 2 000 ha en casas sombra y aproximadamente 50 000 ha de producción a campo abierto; utilizando el rendimiento promedio de $41.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ establecido en párrafos anteriores, se tiene un total de 2.2 millones de toneladas.

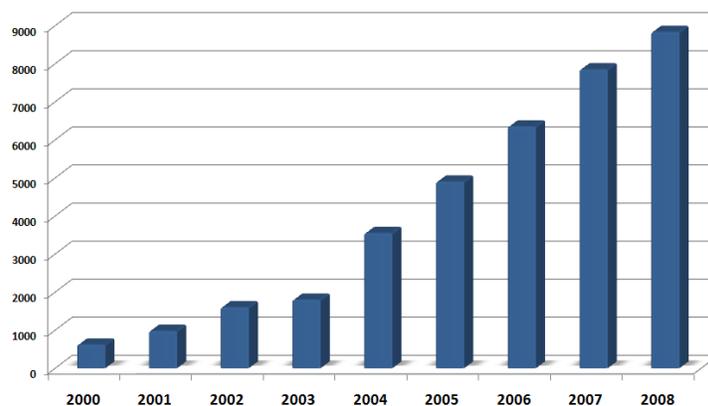


Figura 7.3. Tendencia de la agricultura protegida en México. Fuente: INTAGRI-AMHPAC, 2008.

Los principales estados del país con invernadero son los del noroeste; Sinaloa, Baja California Sur y Norte representan 52.8 %. Después de éstos Sonora y Jalisco cuentan aproximadamente con 990 y 900 ha, respectivamente. Estos cinco estados abarcan 73.9 %. El tomate es el principal cultivo producido en agricultura

protegida con 70 % (Ponce, 2011), bajo invernadero ocupa 75 % de la superficie, el pimiento 12 % y pepino 10 % (Castellanos y Borbón, 2009). La adopción de este sistema de producción ha permitido aumentar los rendimientos y la calidad del producto mexicano, teniendo mayor aceptación en los mercados extranjeros. El 60 % de la producción en agricultura protegida se exporta, de los cuales 70 % corresponde a exportaciones de tomate (Ponce, 2011).

1.4. Variedades Resistentes a Enfermedades y su Uso como Portainjertos

El tomate es susceptible a más de 200 enfermedades, causando pérdidas en el rendimiento hasta de 70 a 90 % (Lukyanenko, 1991). Sin duda el método de control más económico a largo plazo es la incorporación de resistencia genética a los cultivares. Con este método de control se puede tener la protección completa ante una enfermedad, en ocasiones cuando la resistencia es incompleta es necesario combinar otra alternativa de control. El tomate es un ejemplo de los cultivos beneficiados con la resistencia genética de enfermedades asegurando producciones con altos rendimientos; en el Cuadro 3.1 se presentan los 20 genes de resistencia a enfermedades reportados en tomate (Lukyanenko, 1991; Diez y Nuez, 2008). El primer antecedente de un material resistente en el mercado es de 1941, resistente a *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Watterson, 1986). En trabajos previos se obtuvieron algunas variedades con moderada resistencia a *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*; tales como Rutgers y Marglobes, estas fueron desarrolladas en Estados Unidos antes de 1939, pero sucumbían a la enfermedad cuando las condiciones climáticas eran favorables. La mayor fuente de resistencia a este patógeno fue encontrada en Estados Unidos en 1939 en un gen dominante de *Lycopersicum pimpinellifolium* (Jusl.) Mill., fue denominado I (Rodríguez *et al.*, 1997; Watterson, 1986). La resistencia conferida por un gen dominante también se encontró para la marchitez por *Verticillium*, mancha gris de la hoja, cancro del tallo provocado por *Alternaria*, pudrición de la corona ocasionada por *Fusarium* y virus mosaico del tabaco (VMT). Después de la aparición de la raza 2 de *F. o. lycopersici*, a la cual sucumbían las plantas de

tomate con el gen I, se dispuso prontamente de nuevas líneas con un nuevo gen de resistencia (I₂) que las hacía inmunes a las razas 1 y 2, de las cuales hoy se disponen para el cultivo al aire libre y en invernadero. La mayoría de los portainjertos de tomate en la actualidad poseen resistencia hasta la raza 3 de *Fusarium* (Rodríguez *et al.*, 1997).

Años más tarde en 1950, Bravenboer descubrió la resistencia de *Lycopersicum hirsutum* Humb. & Bonpl. a *Pyrenochaeta lycopersici* y de sus híbridos F₁ con el tomate cultivado (*L. esculentum* Mill.), para ser utilizados como portainjertos. Más adelante y partiendo de líneas que poseían los genes de resistencia, I, Ve y Mi (*Fusarium*, *Verticillium* y *Meloidogyne*, respectivamente), se pudo obtener el portainjerto KNVF que resiste a las enfermedades más importantes del tomate, *Fusarium* sp., *Verticillium* sp., *Rhizoctonia* sp., *Pyrenochaeta* sp. (Rodríguez *et al.*, 1997; Watterson, 1986).

Cuadro 8.1. Genes de resistencia más importantes en tomate.

Enfermedad	Patógeno	Gen de Resistencia	Fuente	Referencia de Control Genético
<i>Hongos</i>				
Marchitamiento por <i>Verticillium</i>	<i>Verticillium dahliae</i>	Ve	<i>Solanum pimpinellifolium</i>	Cannon and Waddoups. 1952
Marchitamiento por <i>Fusarium</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> .			
	Raza 0			
	Raza 1	I	<i>Solanum pimpinellifolium</i>	Kesevan and Choudhuri, 1977.
	Raza 2	I-2	<i>Solanum pimpinellifolium</i>	Alexander and Hoover, 1955.
		I-3	<i>Solanum pennelli</i>	Scott and Jones, 1989.
Cáncer del tallo por <i>Alternaria</i>	<i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Asc	<i>Solanum lycopersicum</i>	Clouse and Gilchrist, 1987.
Mancha gris de la hoja	<i>Stemphyllium</i> spp.	Sm	<i>Solanum pimpinellifolium</i>	Andrus <i>et al.</i> , 1942.
Moho de la hoja	<i>Fulvia fulva</i>	Cf (1 a 24)	<i>Solanum</i>	Kerr <i>et al.</i> ,

	<i>(Cladosporium fulvum)</i>		<i>pimpinellifolium</i> <i>Solanum lycopersicoides</i> <i>Solanum habrochaites</i> <i>Solanum peruvianum</i>	1971.
Cenicilla del tomate	<i>Leveillula taurica.</i>	Lv	<i>Solanum chilense</i>	Stamova and Yordanov, 1990.
	<i>Oidium neolyopersici</i>	OI-1 OI-2	<i>Solanum habrochaites</i> <i>Solanum lycopersicum</i>	Van der Beek <i>et al.</i> , 1994.
Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	Ph-1 Ph-2 Ph-3	<i>Solanum pimpinellifolium</i> <i>Solanum pimpinellifolium</i> <i>Solanum pimpinellifolium</i>	Pierce, 1971. Moreau <i>et al.</i> , 1998. Chunwongse <i>et al.</i> , 1998.
Pudrición de la corona y raíz	<i>Fusariumoxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i>	Frl	<i>Solanum peruvianum</i>	Berry and Oakes, 1987.
Raíz corchosa	<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	Pyl	<i>Solanum peruvianum</i>	Laterrot, 1978.
<i>Virus</i>				
Virus mosaico del tomate	Tomato mosaic virus (ToMV)	Tm-1 Tm-2 Tm2 ²	<i>Solanum hirsutum</i> <i>Solanum peruvianum</i> <i>Solanum peruvianum</i>	Pelham, 1966. Laterrot and Pecaut, 1969. Hall, 1980.
Virus marchitez manchada del tomate	Tomato sotted wilt virus (TSWV)	Sw-5	<i>Solanum peruvianum</i>	Stevens <i>et al.</i> , 1995.
Virus del rizado amarillo de la hoja en tomate	Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)	Tylc Ty-1 Ty-2	<i>Solanum pimpinellifolium</i> <i>Solanum chilense</i> <i>Solanum habrochaites</i>	Kasrawi, 1989. Zamir <i>et al.</i> , 1994 Hanson <i>et al.</i> , 2000.
Virus rizado de la hoja del tomate	Tomato leaf curl virus (TLCV)	Tlc	<i>Solanum pimpinellifolium</i>	Barenjee and Kalloo, 1987.
Virus mosaico de la alfalfa	Alfalfa mosaic virus (AMV)	Am	<i>Solanum hirsutum</i> f. <i>glabratum</i>	Parrella <i>et al.</i> , 1998.
Virus Y de la papa	Potato virus Y (PVY)	Pot-1	<i>Solanum habrochaites</i>	Legnani <i>et al.</i> , 1995.

<i>Bacterias</i>				
Peca bacteriana	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Pto.	<i>Solanum pimpinellifolium</i>	Pitblado and MacNeill, 1983.
Mancha bacteriana	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>	Bs-4	<i>Solanum pennelli</i>	Ballvora <i>et al.</i> , 2001.
<i>Nemátodos</i>				
Nemátodo nodulador de la raíz	<i>Meloidogyne incognita</i>	Mi, Mi-1	<i>Solanum peruvianum</i>	Smith, 1944.
	<i>M. arenaria</i>	Mi-3, Mi-9	**	
	<i>M. javanica</i>	Ma**	**	
Nemátodo formador de quistes	<i>Globodera restochiensis</i>	Hero	<i>Solanum pimpinellifolium</i>	Ellis and Maxon-Smith, 1971.

Fuente: Díez, M.J. y Nuez, F. 2008. Tomato. *In*: Prohens, J. y Nuez, F. 2008. Handbook of Plant Breeding, Vegetables II.

En la transferencia de genes resistentes a enfermedades, también se transfieren características indeseables a los nuevos materiales. La mayoría de los híbridos de tomate que presentan un amplio complejo de resistencia a enfermedades, no poseen buenos rendimientos, ni características de fruto aceptables para el mercado. Una alternativa en hortalizas y especialmente en tomate a este problema, es el uso de injertos con portainjertos resistentes que poseen un extenso complejo de resistencia a enfermedades alojadas en el suelo.

1.5. Injertación en Hortalizas

El injerto se define como la unión de dos porciones de tejido vegetal viviente de modo que se unan, crezcan y se desarrollen como una sola planta. Los orígenes de esta técnica son muy antiguos en especies leñosas. En 1000 a.C. ya era conocida por los chinos. Aristóteles (384-322 a.C.) en algunas de sus obras se refería a los injertos con bastante conocimiento del tema. Durante el Imperio Romano y después en el Renacimiento (1300-1500 d.C.) existía interés por los injertos y fueron muy populares. Desde el siglo XVI en Inglaterra se usaban el

método de hendidura y lengüeta, además se sabía que las capas de cambium debían coincidir (Hartman y Kester, 1984).

La técnica de injerto ha sido más estudiada en especies frutales, con diferentes propósitos; la mayoría como medio de propagación vegetativa o asexual y para obtener resistencia a enfermedades. El injerto en hortalizas comienza por primera vez injertando sandía (*Citrullus lanatus*) sobre calabaza (*Lagenaria siceraria*) en Corea y Japón en 1914, para reducir la incidencia de enfermedades del suelo, principalmente para *Fusarium* (Lee *et al.*, 1998), de manera comercial inicia en 1920 (Oda, 2002). Lee y Oda (2003), mencionan el uso del injerto para producir una calabaza gigante con dos sistemas radicales, descrito en un libro antiguo escrito por Hong (1643-1715) en Corea. Sin embargo, estos mismos autores comentan que esta técnica no parece haber sido una práctica común antes del siglo XX en Asia. En la actualidad el injerto en hortalizas se utiliza en varias partes del mundo, con diferentes propósitos. España, Italia, Francia, Holanda, Japón y Estados Unidos, son quizá los países donde se ha adoptado esta técnica con mayor importancia, incluso, en los dos últimos países se han desarrollado robots especiales para la injertación de solanáceas y cucurbitáceas aumentando la eficiencia en el proceso.

Esta técnica poco a poco se fue integrando para otras especies, en 1950 se utilizó la berenjena escarlata (*Solanum integrifolium*) como portainjerto, injertándole berenjena (*Solanum melongena*). Los injertos en pepino (*Cucumis sativus*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*) iniciaron comercialmente alrededor de 1960 y 1970, respectivamente (Oda, 2002; Lee y Oda, 2003). Esta técnica en la producción de tomate se ha convertido en una herramienta fundamental para su producción en suelos con problemas de enfermedades y plagas. Sobre todo por el rápido desarrollo del cultivo intensivo y la agricultura protegida, que impide la rotación de cultivos aumentando los problemas de fitopatógenos.

1.5.1. Comportamiento de la Producción con Plántulas Injertadas

En la década de 1990, 59 % de la producción en Japón (melón, sandía, pepino, tomate y berenjena) y 81 % en Corea se realizaba con plántulas injertadas (Lee, 1994; Lee y Oda, 2003). En 1992, Lee (1994) reportó 337 millones de plántulas injertadas anualmente en Corea, 651 millones en Japón (campo abierto e invernaderos). Más del 95 % de las sandías en ambos países son injertados. La mayoría de los pepinos en invernadero son injertados, a campo abierto de 10 a 30 %. Para 2005 en Japón se injertaban 500 millones de plántulas anualmente (Kobayashi, 2005).

En España se iniciaron los experimentos de injerto de sandía y tomate en el período 1975-1980 y fue a finales de los 80's cuando la técnica se extendió en el cultivo de sandía y a mediados de los 90's en tomate. En este país en 2005 se injertaron 30 millones de plantas de sandía, que representan más de 90 % de las plantas que se utilizan en las zonas de Almería, Murcia y Valencia. En Francia se cultivaron 1000 ha de melón injertado y 30 % del tomate que se cultiva en invernadero que corresponde a 1 200 ha, aún cuando gran parte se cultiva sobre sustrato. En Italia se injertaron entre 4 y 5 millones de plántulas de melón, 20 millones de plántulas de tomate y 20 millones de plántulas de sandía. Finalmente en Marruecos 50 % (20 millones de plántulas) de la superficie de tomate para exportación se estableció con plántulas injertadas (De Miguel y Cebolla, 2005).

Existe muy poca información sobre el uso de tomate injertado en Estados Unidos y México. Kubota *et al.* (2008), reportan para el año 2002, 40 millones de plántulas injertadas en Estados Unidos y 500 ha en México, 13.5 millones de plántulas aproximadamente.

Esta técnica a nivel comercial en México es de reciente introducción, muy probablemente se inició entre el año 2000 y 2003. Peña (2008) reportó para ese año alrededor de 40 millones de plántulas de tomate injertadas por año; principalmente en los tipo bola y saladette para producción protegida (casa sombra e invernadero) y a menor escala en campo abierto.

En cuanto a la mano de obra ocupada en el proceso de injertación, también se han tenido grandes avances; todos ellos encaminados a aumentar la eficiencia del proceso; junto con ello se han descrito diversos métodos de injertación que también han facilitado esta técnica. Desde el uso de clips especiales para la sujeción en el punto de unión, hasta los modernos robots desarrollados en Japón y Estados Unidos. Normalmente un injertador capacitado realiza 1 200 injertos al día (150 injertos/hora), los robots alcanzan hasta 10 000 injertos diarios; tal es el caso del “Grafting robot AG 1000” para solanáceas que realiza 1000 injertos por hora (Lee *et al.*, 1998; Lee, 1994; Lee y Oda, 2003).

1.5.2. Propósitos del Injerto en Hortalizas

El auge de los injertos en hortalizas comienza a raíz de las restricciones en el uso del bromuro de metilo en el año 2005, sobre todo en países desarrollados. Sustancia relacionada con la destrucción de la capa de ozono. En la agricultura su uso es como desinfectante del suelo, eliminando hongos, bacterias, nemátodos y semillas de malezas. En México, según datos de la SEMARNAP en 1995 se importaron 3 357 t, en 1996 alrededor de 2 918 ton y 3 130 t en 1997. Todos los lineamientos sobre el uso del bromuro de metilo se encuentran establecidos en el Protocolo de Montreal, donde se establece que para el año 2015 el uso de esta sustancia será eliminada por completo (PNUMA, 2000).

Inicialmente el propósito de usar plántulas injertadas era para la prevención de enfermedades fitopatógenas alojadas en el suelo, caso específico de la marchitez por *Fusarium*, minimizando el uso de productos químicos. Sin embargo, los objetivos se han ampliado, en el Cuadro 1.2 se mencionan algunos de los más importantes.

Cuadro 1.2. Propósitos del uso de plántulas injertadas de hortalizas

Resistencia a enfermedades en el suelo
Resistencia a nemátodos
Tolerancia a altas temperaturas
Tolerancia a bajas temperaturas
Tolerancia a la salinidad
Tolerancia a los suelos húmedos
Incremento en el rendimiento
Incremento en la calidad del fruto
Incremento en el vigor de la planta
Incremento en la absorción de los minerales y de la eficiencia de la fertilización

Fuente: Oda, 2002; Lee y Oda, 2003; Hartman y Kester, 1984; Kubota y *et al.*, 2008.

1.5.3. Resistencia a Enfermedades

La raíz del portainjerto generalmente es vigorosa y muestra resistencia a enfermedades alojadas en el suelo, como las causadas por *Fusarium*, *Verticillium* y *Pyrenochaeta*. Aunque la resistencia y tolerancia varía considerablemente con el portainjerto utilizado. El mecanismo de resistencia, no se sabe con exactitud. Se ha encontrado resistencia a *Fusarium* en plántulas sin injertar cuando presentan raíz muy vigorosa; incluso esta resistencia es comparable con plántulas injertadas, pero aún falta investigación al respecto. La resistencia a una enfermedad puede variar a lo largo del desarrollo del cultivo (Lee, 1994).

En tomate los portainjertos han evolucionado, en la actualidad existen en el mercado portainjertos con múltiples resistencias. Desde 1962, los híbridos de las cruza entre *L. glabratum* x *L. esculentum* fueron utilizados como portainjertos para reducir la infección por *Fusarium*, obteniendo 3 a 4 veces más rendimiento. *L. hirsutum* ha sido utilizado para incorporar genes de resistencia al tomate cultivado ante *Pyrenochaeta lycopersici* y *Dydimella lycopersici*. Existen portainjertos del tipo KNVF, provenientes de la crusa entre *L. hirsutum* y *L. esculentum*. “K”

corresponde a la resistencia a *Pyrenochaeta lycopersici*, “N” a nemátodos (*Meloidogyne* sp.), “V” a *Verticillium* y “F” para *Fusarium*. Con este portainjerto se incrementó en un principio 600 % el rendimiento en tomate (Oda, 2002).

1.5.4. Resistencia a Nemátodos

La resistencia a nemátodos (*Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* y *M. javanica*); al igual que a *Verticillium* en tomate, se ha adquirido de las cruzas del tomate cultivado con *L. hirsutum* y *L. peruvianum* (Oda, 2002). La resistencia de los portainjertos a estas tres especies de nemátodos se debe a la presencia de los genes dominantes Mi, Ma y Mj. Estos genes desencadenan una respuesta de hipersensibilidad que provoca la muerte de las células poco tiempo después que los nemátodos comienzan a alimentarse (Fassuliotis, 1991). La resistencia a nemátodos está fuertemente influenciada por la temperatura del suelo, pues puede llegar a perderse a temperaturas por encima de los 28 °C (López-Pérez, 2006).

1.5.5. Tolerancia a Factores Adversos

Los injertos en hortalizas también se han utilizado para la producción bajo condiciones desfavorables en la producción. Como el caso del pepino injertado sobre *Cucurbita ficifolia* obteniendo tolerancia al frío. Se ha encontrado que la sandía injertada sobre Shintosa (*Cucurbita maxima* x *C. moschata*) adquiere tolerancia a la sequía, Shintosa No1 también al ser utilizado como portainjerto en pepino ha mostrado crecimiento estable en varias temperaturas del suelo (Oda, 2002) y mejora el rendimiento y calidad de fruto en condiciones de salinidad (El-Shraiy *et al.*, 2011). Varias cucurbitáceas se han estudiado como portainjertos para tolerancia a la salinidad de los suelos. Por ejemplo, el crecimiento de la raíz de *Cucurbita* spp. es menos inhibido, comparado con la de *Lagenaria siceraria*, al haber sido tratadas con concentraciones de 0, 1000 y 10,000 mg·L⁻¹ de NaCl. La

combinación portainjerto/injerto es muy importante para la tolerancia a la salinidad en tomate (Voutsela *et al.*, 2012). Colla *et al.* (2010) mencionan algunos efectos del injerto en relación a la tolerancia a la salinidad, como alta acumulación de prolina (osmoprotector) y azúcar en las hojas, alta capacidad antioxidante en las hojas, baja acumulación de Na⁺ y/o Cl⁻ en las hojas.

1.5.6. Incremento en Rendimiento, Vigor y Calidad

Múltiples trabajos han demostrado el efecto del portainjerto sobre el vigor, calidad y rendimiento de la variedad injertada. La causa principal de este efecto es el abundante sistema radical de los portainjertos, que tiene la capacidad de proveer de mayor cantidad de nutrimentos, agua y hormonas (Lee, 1994). El incremento en el rendimiento puede llegar hasta 15 % más en plantas injertadas (Kubota *et al.*, 2008). Las citocininas son sintetizadas principalmente en la raíz, plantas con un sistema radical vigoroso produce mayor cantidad de esta hormona y el incremento en el rendimiento dado por un portainjerto vigoroso está asociado con el contenido total de citocininas en el xilema (Lee y Oda, 2003). La savia del xilema está fuertemente influenciada por el portainjerto y por el injerto. Kato y Luo (1989; citados por Lee, 1994), analizaron las concentraciones hormonales en berenjena injertada sobre diferentes portainjertos, donde encontraron que las concentraciones de citocininas (trans-zeatina) fueron más altas en las plantas injertadas sobre el portainjerto VF y las más bajas sobre Torubamu, dejando claro el efecto en los diferentes tipos de portainjertos. Las concentraciones más bajas de la auxina ácido indol acético (AIA) fueron para las plantas sin injertar.

En relación al incremento de la calidad de los frutos, es una ventaja de los portainjertos que muchos agricultores están explotando, que en ocasiones se convierte en una desventaja potencial. En el caso de la producción de sandía y pepino injertados, es considerable el incremento en tamaño; sin embargo, puede llegar a afectar otros parámetros de calidad como los sólidos solubles, color, textura y color de la pulpa (Lee, 1994). El vigor inducido por el portainjerto también

puede llegar a ser una desventaja si no se maneja adecuadamente, ya que puede provocar un desbalance en el tipo de crecimiento de la planta, promover mayor crecimiento vegetativo e inhibir el generativo; una de las soluciones en tomate a este problema es la conducción de las plantas injertadas a dos o más tallos; en general es recomendable un manejo agronómico especial para plantaciones injertadas. El portainjerto no afecta el hábito de crecimiento en tomate. Las variedades de crecimiento indeterminado continúan con el mismo porte cuando se injertan sobre alguna variedad de crecimiento determinado, aunque reduciendo su vigor (Staden *et al.*, 1987).

1.5.7. Problemática del Uso de Plántulas Injertadas

En el uso de plántulas injertadas existen algunos problemas que conviene analizarlos antes de tomar la decisión de utilizar esta técnica. Los principales son la mano de obra que demanda el proceso de injertación y el manejo de las plántulas injertadas en la fase postinjertación, donde se requiere de espacios adecuados que proporcione condiciones de temperatura, humedad relativa y luminosidad adecuadas para el prendimiento. En relación a la mano de obra, un injertador con experiencia puede llegar a injertar 1 200 plántulas por día, pero varía con el método utilizado (Lee, 1994). Además de estos problemas se pueden presentar la incidencia de enfermedades inesperadas; como el caso de antracnosis en el cultivo de calabaza injertada, puede existir mal prendimiento del portainjerto/injerto, resistencia incompleta, incompatibilidad de los materiales y reducción en la calidad del fruto. El costo económico es otro de los problemas, por el precio de las semillas del portainjerto y los gastos en la operación (Lee y Oda, 2003), estos gastos suelen desalentar al productor. Por ejemplo, en Estados Unidos el precio de una plántula de tomate sin injertar es de 0.30 a 0.40 dólares, mientras que el costo de una plántula de tomate injertada es de 0.90 dólares; un aumento de 125 % en costo (Kubota y *et al.*, 2008). La Agencia de Protección Ambiental (APA) reporta un costo por fumigación con bromuro de metilo entre 0.41

y 0.92 dólares/plántula, similar al costo de plántulas injertadas. Sin embargo, explotando todos los beneficios del portainjerto, esta técnica paga su inversión.

En el Cuadro 1.3 se muestran algunos de los inconvenientes del injerto de hortalizas y las posibles soluciones, presentado por Lee, (1994).

Cuadro 9.3. Problemas asociados al proceso de injertación y el uso de plántulas injertadas de hortalizas.

Factor	Categoría	Posible solución
Labor	Proceso de injertación	Navajas especiales, maquinas para injertar y robots para injertar.
	Cuidado postinjertación	Experiencia necesaria, la cámara de acondicionamiento postinjerto puede requerir automatización.
Técnicas	Portainjerto	Selección adecuada del portainjerto de acuerdo con el cultivo y el injerto.
Manejo	Aplicación de fertilizantes	Manejo de campo diferente, especialmente reducir la aplicación de fertilizantes.
Compatibilidad	Envejecimiento desigual	Correcta sincronización de la estación de crecimiento y la selección del tipo de portainjerto.
Crecimiento	Excesivo crecimiento vegetativo	Fertilización reducida y de la humedad del suelo.
	Desorden fisiológico	Correcta selección del portainjerto para evitar la absorción excesiva de agua y nutrimentos.
Calidad del fruto	Tamaño y forma	Parcialmente controlado con el portainjerto
	Apariencia	Correcto manejo cultural
	Sabor insípido	Selección adecuada del portainjerto/injerto.
	Sólidos solubles	Control en la humedad del suelo
	Banda amarilla en la carne	Puede aparecer en la parte comestible (roja) de la sandía.
Gasto	Descomposición interna	Aplicación foliar de Ca y reducir la aplicación de N.
	Semilla de portainjerto	Semillas baratas de portainjerto (nacional o importado)
Enraizamiento del injerto	Enraizamiento externo	Manejo cuidadoso en la etapa de plántula y en el transplante
	Enraizamiento interno	Diferentes métodos de injerto para evitar el enraizamiento del injerto.

En tomate existe un problema de especial importancia, el riesgo de una diseminación masiva de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, el cáncer bacteriano del tomate. La semilla del portainjerto o del injerto pueden ser portadoras de esta bacteria y con la práctica de injertación llegar ha infectar a muchas plántulas; estas son sometidas a condiciones de alta humedad relativa durante el prendimiento que favorecen a la bacteria. Es importante realizar un tratamiento previo a las semillas sin importar la procedencia de las mismas. Godoy y Castellanos (2009), recomiendan remojar las semillas en agua caliente a una temperatura de 52 °C durante 30 minutos. La desinfección de la herramienta de injertación es indispensable para reducir riesgos, no solo del cáncer bacteriano, sino de otras bacterias transmitidas por semilla. Rodríguez (2010) recomienda el uso de Virkon-S[®], hipoclorito de sodio a 2 % o formaldehido (35-40 %).

1.5.8. Métodos de Injertación en Hortalizas

El método empleado varía de acuerdo con la especie y en cada una de ellas el porcentaje de prendimiento está relacionado con el método de injertación. En tomate el más generalizado es el método de empalme y en cucurbitáceas el de aproximación.

1.5.8.1. Método de empalme (splice grafting)

Este es uno de los métodos más sencillos y utilizados a nivel comercial, muy aceptado en tomate considerando el número de plantas necesarias para una hectárea. El diámetro de tallo recomendado para este método es 1.5 a 2.0 mm, que se alcanza entre 25 y 28 días después de la siembra, dependiendo del material. El portainjerto e injerto deben tener el mismo diámetro para facilitar el prendimiento. Se realiza un corte inclinado en 45°, en el portainjerto puede realizarse por arriba o por debajo de los cotiledones (Figura 1.4 a). En el injerto se realiza un corte similar en longitud e inclinación (Figura 1.4 b) por arriba de los cotiledones, de preferencia se debe realizar el corte en un solo movimiento con

navajas filosas como las de afeitar (Hartman y Kester, 1984). Las superficies cortadas se colocan juntas procurando poner en contacto a las regiones del cambium, por eso es necesaria la homogenización del diámetro de los tallos. Cuando el tallo de uno de los materiales es considerablemente más grueso o delgado, las zonas del cambium no quedan alineadas, por lo tanto se reduce el prendimiento. El portainjerto/injerto se unen con pinzas especiales de silicón para agilizar el trabajo y mejorar el porcentaje de prendimiento (Figura 1.4 c).

1.5.8.2. Método de hendidura (cleft grafting)

Las plántulas del portainjerto son decapitadas y cortadas longitudinalmente, se realiza un corte hacia abajo por el centro del tallo con una longitud de 1-1.5 cm (Figura 1.4 d). Al injerto se le realiza un corte en forma de cuña de 1-1.5 cm de largo, procurando que tenga 3 hojas (Figura 1.4 e). El injerto se inserta en el portainjerto de modo que las partes de las superficies cortadas queden en contacto (Figura 1.4 f) (Lee y Oda, 2003).

El injerto de hendidura es un método conveniente para injertar tallos herbáceos. En papa (*Solanum tuberosum*) se realizan injertos de cuña cuando los brotes tienen 15 a 22.5 cm de alto; esto permite la producción de tubérculos y evita el riesgo de enraizamiento del injerto (Hartman y Kester, 1984).

1.5.8.3. Injerto de aproximación (tongue approach grafting)

La característica que distingue ha este método es que se injertan dos plantas independientes entre sí, cada una con su sistema radical (Hartman y Kester, 1984). Es un método muy recurrido cuando el productor no cuenta con una cámara para la fase postinjerto, aunque es más laborioso que los otros dos métodos. Sobre el portainjerto se realiza un corte en forma de lengua hacia abajo (Figura 1.4 g), esta última recomendación es importante dado que el portainjerto es quien da el soporte a la planta. Al injerto se le realiza un corte similar pero en

dirección contraria; es decir, hacia arriba (Figura 1.4 h). Del mismo modo que en los métodos anteriores, la unión se realiza tratando de hacer coincidir las partes cambiales (Figura 1.6 i). Cuando la unión está completa, el injerto es cortado por debajo de la unión y la parte aérea del portainjerto se elimina para formar así una sola planta, en ocasiones este proceso se realiza de forma gradual (Bonffelli, 2000; Hartman y Kester, 1984; Lee y Oda, 2003).

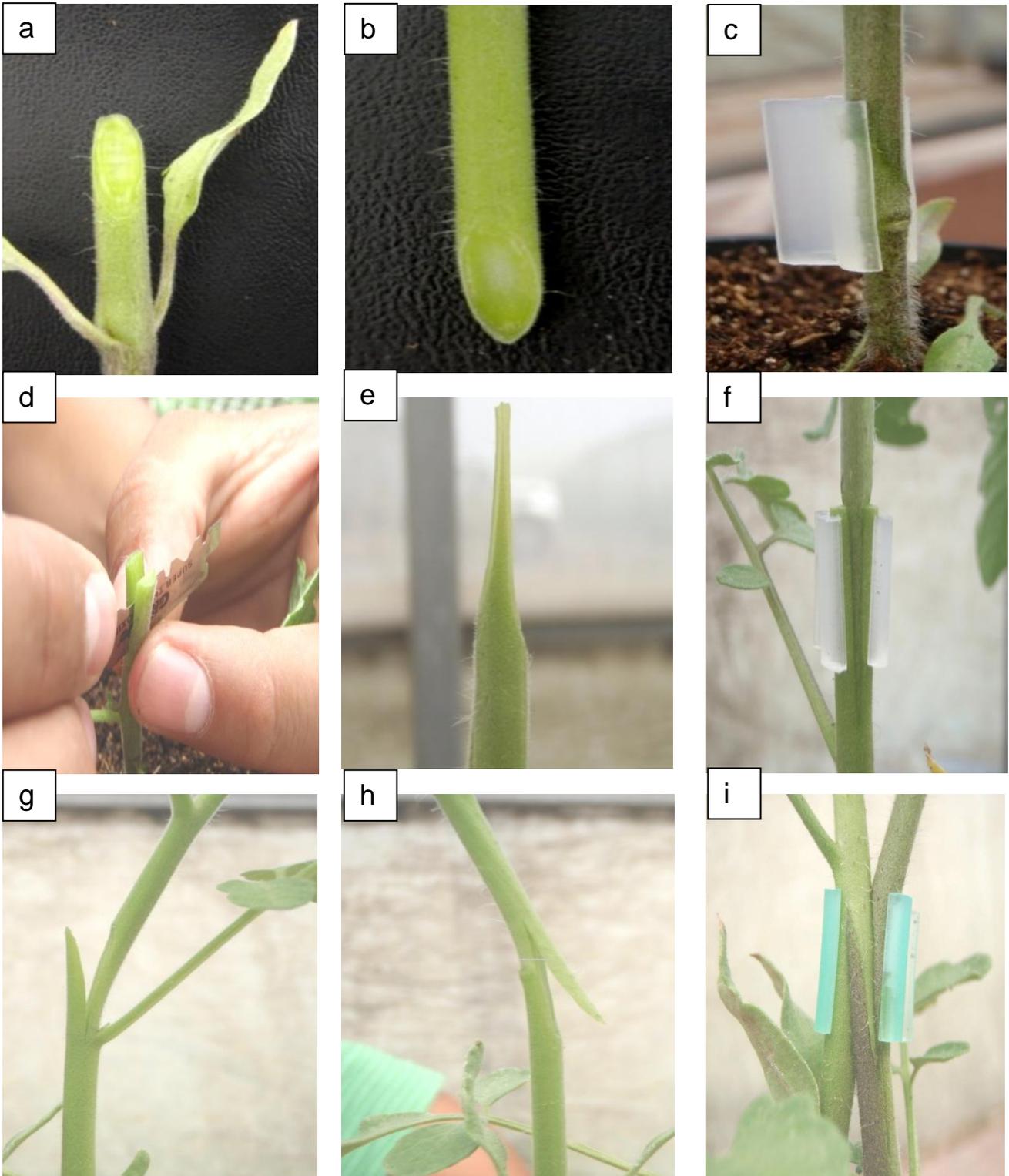


Figura 10.4. Métodos de injertación en hortalizas. abc: injerto de empalme; def: injerto de hendidura; ghi: injerto de aproximación.

1.6. LITERATURA CITADA

Bastida T A, J A A Ramírez (2008) Los Invernaderos en México. Universidad Autónoma Chapingo, Edo. México. 123 p.

Bonffelli E (2000) Guía Fotográfica de los Injertos. DE VECCHI. Barcelona, España. 158 p.

Castellanos J Z, M C Borbón (2009) Panorama de la horticultura en México. *In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. J Z Castellanos (ed). Intagri. Guanajuato, México. 458 p.

Colla G, Y Roupshael, C Leonardi, Z Bie (2010) Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* 127: 147-155.

Comisión para la Investigación y Defensa de las Hortalizas (CIDH) (2011). Tomado de <http://www.cidh.org.mx>.

Costa J M, E Huevelink (2005) The tomato crop and industry. *In: Tomatoes*. E Huevelink (ed). CABI Publishing. Massachusetts, USA. 325 p.

De Miguel A, y V Cebolla (2005) Unión del injerto. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada, Valencia, España.

Diez J M, F Nuez (2008) Tomato. *In: Handbook of Plant Breeding. Vegetables II. Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. J Prohens, F Nuez (eds). Springer. New York, USA. 359 p.

El-Shraiy A M, M A Mostafa, S A Zaghlool, S A M Shehata (2011) Alleviation of salt injury of cucumber plant by grafting onto salt tolerance rootstock. *Aus. J. Basic and Appl. Sci.*, 5(10):1414:1423.

Esquinas-Alcazar J, F V Nuez (1995) Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. *In: El Cultivo del Tomate*. F V Nuez (ed). Mundi-Prensa. Barcelona, España. 769 p.

Fernández R E J, F F Camacho, S M Ricárdez (2004) El cultivo del tomate. *In: Tomates, Producción y Comercio. Compendio de Horticultura 15.* A Namesny (ed). Ediciones de Horticultura, S.L. Barcelona, España. 253 p.

Godoy H H, J Z Castellanos (2009) El injerto en tomate. *In: Manual de producción de tomate en invernadero.* J Z Castellanos (ed). Intagri. Guanajuato, México. 458 p.

Hartman H T, D E Kester (1984) Propagación de Plantas. Continental, S.A. de C.V., México. 915 p.

Jones Jr J B (2000) Tomato Plant Culture, in the Field, Greenhouse and Home Garden. CRC Press. Florida, USA. 199 p.

Kobayashi K (2005) Vegetable grafting robot. *Research Journal of Food and Agriculture* 28:15–20.

Kubota C M, N McClure, M G Kokalis-Burelle, E N Roskopf (2008) Vegetable grafting: history, use, and current technology status in North America. *HortScience.* 43(6):1664-1669.

Lee J (1994) Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience.* 29(4): 235-239.

Lee J M, M Oda (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *In: Horticultural Reviews.* John Wiley & Sons. Vol. 28. USA, New York. 478 p.

Lee Jung-Myung, Hae-Jeen Bang, Hyun-Sook Ham (1998) Grafting of vegetables. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 67(6): 1098-1104.

López-Pérez J A, M L Strange, I Kaloshian, A T Ploeg (2006) Differential response of *Mi* gene-resistant tomato rootstocks to root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). *Crop. Protec.* 25:382-388.

Lukyanenko A N (1991) Disease resistance in tomato. *In: Genetic Improvement of Tomato.* G Kalloo (ed). Springer-Verlag. Heidelberg, Alemania. 637 p.

Merino P M (2004) Un cosmopolita exitoso, el tomate en la economía mundial. *In*: Tomates, Producción y Comercio. Compendio de Horticultura 15. A Namesny (ed). Ediciones de Horticultura, S.L. Barcelona, España. 253 p.

Muñoz M (1995) Desarrollo de Ventajas Competitivas en la Agricultura. El Caso del Tomate Rojo. CIESTAAM-SAGAR. Universidad Autónoma Chapingo. 120 p.

Ocaña C R (2008) Crecimiento de la superficie de invernadero en México. Informe técnico, Productores de Hortalizas. Tomado de <http://www.hortalizas.com>.

Oda M (2002) Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. and Biol. Sci.* Osaka Pref. Univ. 54:49–72.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAOSTAT (2011). Tomado de <http://www.fao.org>.

Peña, E. 2008; Gerente de ventas y mercadotecnia de Ahern Seed. Informe técnico, Productores de Hortalizas. Tomado de <http://www.hortalizas.com>.

Ponce C P (2011) Panorama mexicano: revisión de datos de la industria de invernadero en México. Informe técnico, Productores de Hortalizas. Tomado de <http://www.hortalizas.com>.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (2000). Secretaría del Ozono. Tomado de <http://www.unep.org/ozone>.

Reho A I (2012) Primer cultivo de exportación: tomate. Informe técnico, Productores de Hortalizas. Tomado de <http://www.hortalizas.com>.

Rodríguez M M L (2010) Enfermedades Bacterianas en Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 306 p.

Rodríguez R R, R J Tabares, S J Medina (1997) Cultivo Moderno del Tomate. Mundi-Prensa. 255 p.

Sánchez del C F (2008) Perspectivas de horticultura protegida en México. *In*: modulo I. Introducción y Fundamentos de la Horticultura Protegida. Primer Curso

de Especialización en Horticultura Protegida. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Texcoco, Estado de México.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP (2011) Tomado de <http://www.siap.gob.mx>.

Spooner D M, G J Anderson, R K Jansen (1993) Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepinos (solanaceae). *Amer. J. Bot.* 80(6): 676-688.

Staden J V, C Forsyth, D T Krizek (1987) Cytokinin like activity in the roots and shoots of tomatoes following reciprocal grafts between normal and dwarf genotypes. *South African J. of Bot.* 53 (4): 276-278.

Taylor I B (1986) Biosystematics of the tomato. *In: The tomato crop.* J G Atherton, J Rudich (eds). Chapman and Hall. New York, USA. 661 p.

Voutsela S, G Yarsi, S A Petropoulos, E Khan (2012) The effect of grafting of five different rootstocks on plant growth and yield of tomato plant cultivated outdoors and indoors under salinity stress. *Afr. J. Agric. Res.* 7(41): 5553-5557.

Watterson J C (1986) Diseases. *In: The tomato crop.* J G Atherton, J Rudich (eds). Chapman and Hall. New York, USA. 661 p.

2. PROCESO DE UNIÓN DEL INJERTO DE EMPALME EN TOMATE

2.1. INTRODUCCIÓN

El uso de plántulas injertadas en la producción de hortalizas es una técnica relativamente nueva en comparación con su uso en especies frutales. En los últimos años ha tomado importancia en la producción de tomate, pimiento, sandía y melón, principalmente (Fernández *et al.*, 2004). Sin embargo, para poder obtener al máximo los beneficios del uso de plántulas injertadas es necesario el estudio de las combinaciones portainjerto/injerto; tales como la compatibilidad anatómica, que determina el tiempo de prendimiento y nivel del establecimiento vascular; el efecto sobre el vigor de la planta, expresado a través de variaciones en el crecimiento, rendimiento y calidad del producto (Teruo y Hiromichi, 1994). Se han hecho diversos estudios detallados de la cicatrización de la unión del injerto, en su mayoría en especies leñosas, en hortalizas hay poca información al respecto (Hartman y Kester, 1984; Fernández *et al.*, 2004). La evaluación sobre el prendimiento del injerto en hortalizas permite tomar la decisión para realizar el trasplante, especialmente el tiempo que tarda en establecerse la continuidad vascular entre portainjerto/injerto; este último evento se procura que sea rápido, pues una vez dada la conexión del tejido vascular se inicia la conducción de agua, nutrimentos y sustancias orgánicas al injerto y viceversa, y así la nueva planta puede reanudar su crecimiento y desarrollo (Turquoise y Malone, 1996). Este proceso de cicatrización de la unión del injerto es una respuesta natural de la planta semejante a cualquier herida. Hartman y Kester (1984) mencionan que durante la unión del injerto no se entremezclan los contenidos celulares. Es decir, las células del portainjerto e injerto conservan su identidad propia. El proceso de unión de los tejidos en el injerto está influenciado por las condiciones ambientales en las que se realiza tanto el proceso de injertación como la fase postinjertación. Otros factores que influyen en dicho proceso son el método y posibles contaminaciones por patógenos (De Miguel, 1997).

Se ha desarrollado diversas técnicas para mejorar el prendimiento de los injertos en hortalizas, los métodos utilizados son una de ellas, el uso de clips especiales para la sujeción en el punto de unión es otra técnica importante que facilita el trabajo y mejora el porcentaje de prendimiento (Lee y Oda, 2003). El conocimiento de las condiciones de temperatura, humedad relativa y luminosidad en la fase postinjertación, que favorecen la división celular y la rápida formación de callo en injertos compatibles (Hartman y Kester, 1984), también es otro aspecto que ha permitido el desarrollo de la técnica de injerto en hortalizas.

El crecimiento de las plántulas del portainjerto es más rápido que las del injerto; en el método de empalme el aspecto que más interesa es el diámetro de tallo. Una de las recomendaciones es usar plántulas con diámetros de tallo parecidos, para poner en contacto una porción considerable de las regiones cambiales del portainjerto y del injerto (Hartman y Kester, 1984); esto aumenta el porcentaje de prendimiento. De gran importancia cuando el proceso de injertación se realiza de manera mecanizada. En el uso de robots para injertar hortalizas la falta de uniformidad en el tallo es causa de bajos porcentajes de éxito (Kubota *et al.*, 2008).

2.2. OBJETIVOS

- ✓ Describir el proceso de unión portainjerto/injerto con el método de empalme en tomate, mediante cortes anatómicos, para determinar el tiempo en que se establece la continuidad vascular.

2.3. HIPÓTESIS

- ✓ La continuidad vascular en el punto de unión del injerto depende de la temperatura, humedad relativa y luminosidad; se prevé el inicio de dicho proceso 10 días después de la injertación y concluirá 5 días después de iniciado.

2.4. REVISIÓN DE LITERATURA

2.4.1. Formación de la Unión de Injerto

De acuerdo con Hartman y Kester (1984), Andrews y Marquez (1993), Moore (1984) y De Miguel (1997), se puede describir el proceso de cicatrización y unión del injerto en los pasos siguientes:

1. El primer paso es un aspecto técnico, sobre el cuál tiene control el injertador; consiste en unir el portainjerto/injerto procurando hacer coincidir las partes cortadas. De tal manera que una porción considerable de las regiones cambiales queden en contacto y se de la cohesión entre ambas.
2. Durante la injertación las células dañadas al momento del corte se vuelven de color pardo y mueren, formando una capa o línea necrótica. Debajo de esta línea de demarcación se forman células nuevas de parénquima, denominado, *callo*; el tiempo depende de la especie y condiciones postinjertación. La formación de callo puede darse en injertos de especies incompatibles, pero es más rápido en injertos compatibles, demostrando que ésta primera reacción sólo es una respuesta natural de la planta ante una herida; no indica aún el prendimiento del injerto, aunque puede haber translocación de agua a través de estas células. La formación de nuevo parénquima se da en ambos materiales; sin embargo, el portainjerto es el que produce la mayor cantidad. En tomate se ha observado que las primeras divisiones celulares comienzan dos días después de la injertación. Durante la formación de callo las células se entrelazan, rellenando los espacios en el punto de unión y funciona también para dar soporte a la unión. Conforme avanza la cicatrización del injerto la línea de demarcación es reabsorbida y finalmente desaparece.
3. En las nuevas células de parénquima (tejido de callo) se diferencian nuevas células cambiales. Esto gracias a que las células parenquimáticas son capaces de reasumir la actividad meristemática, debido a la presencia de

un protoplasto completo con amplio sistema de membranas que les permite realizar varias funciones al mismo tiempo (Esau, 1987). Este proceso también se encuentra relacionado con condiciones postinjertación.

4. A partir del nuevo cámbium en el callo, se forma tejido vascular nuevo; al interior se forma xilema y floema hacia el exterior. Al término de esta actividad se puede decir que el injerto tuvo éxito, la conexión vascular se ha establecido, dando lugar al paso de agua y nutrimentos entre el portainjerto y el injerto. En la formación del nuevo tejido vascular están involucradas sustancias sintetizadas, principalmente en los puntos de crecimiento del injerto; estas pueden ser reemplazadas con aplicaciones exógenas en concentraciones adecuadas de auxinas, citocininas, giberelinas y azúcares (Esau, 1987). Hartman y Kester (1984), indicaron concentraciones de azúcar del 2.5 a 3.5% + 0.5 mg de IAA o NAA por litro para favorecer la formación de xilema y floema en el callo. Asahina *et al.* (2002), reportaron la importancia del ácido giberélico durante la división celular en la unión de injertos de tomate y pepino, y los cotiledones son importantes en el suministro de esta hormona.

2.4.2. Estructuras Relacionadas con la Cicatrización del Injerto

2.4.2.1. Cámbium vascular

El cámbium vascular es el meristemo lateral que forma los tejidos vasculares secundarios; lateral porque ocupa esa posición en contraste a los meristemos apicales. Se halla localizado entre el xilema y el floema, en tallos y raíces tiene comúnmente la forma de un cilindro. Generalmente las células del cambium presentan un citoplasma denso, núcleo grande y muy vacuoladas. Son de dos tipos, las iniciales fusiformes e iniciales radiales, las primeras son más largas que anchas, con extremos afilados; en contraste, las segundas son más pequeñas y de formas isodiamétricas. La importancia del cámbium vascular en el injerto es la generación de nuevo tejido de conducción; cuando esto sucede las células

iniciales se dividen periclinalmente, denominada divisiones aditivas, derivando células hacia el xilema y otras al floema. Cuando una célula se divide periclinalmente, una de las dos células nuevas permanece como inicial y la otra pasa a formar parte del xilema o del floema (Esau, 1985; Fahn, 1969).

2.4.2.2. Xilema

El xilema es el principal tejido conductor de agua y solutos en las plantas vasculares y junto con el floema forman el tejido vascular. Presenta varios tipos de células relacionadas con la conducción, sostén y almacenamiento. Dentro del xilema las principales células conductoras de agua son las traqueidas y los elementos de vaso. El almacenamiento se realiza en el parénquima del xilema, ubicados en filas verticales. Las células encargadas del sostén son las fibras y esclereidas. Como se mencionó anteriormente la formación del xilema en el punto de unión del injerto se da a partir del cámbium vascular, puede ser estimulado por la aplicación exógena de hormonas, principalmente auxinas. Se observa que el tipo de células formadas por el cámbium puede estar influenciado por las células del portainjerto que están adyacentes al cámbium. Por ejemplo, las células de los radios de xilema se forman donde el cámbium está en contacto con los radios de xilema del portainjerto y los elementos del xilema donde quedan en contacto con los elementos de xilema del portainjerto (Esau, 1985; Fahn, 1969).

2.4.2.3. Floema

El floema es el encargado del transporte de los productos de la fotosíntesis. Presenta varios tipos de células y se encuentra junto al xilema. El floema también está relacionado con la conducción, almacenamiento y sostén. Las células encargadas de la conducción son las células cribosas, que dan origen a los elementos de los tubos cribosos. Los tubos cribosos están asociados con las células acompañantes, que son de parénquima. Las fibras y esclereidas son las

relacionadas al sostén. Su posición en el tallo es externa a diferencia del xilema el cual tiene una posición interna (Esau, 1985; Fahn, 1969).

2.4.3. Incompatibilidad de Injertos

Compatibilidad es la capacidad de dos plantas diferentes, que al ser injertadas pueden producir con éxito una unión y desarrollarse satisfactoriamente como una sola planta. Si esto no ocurre se dice que existe incompatibilidad. La diferenciación entre una unión de injerto compatible y otra incompatible no se ha definido. Por una parte, el portainjerto e injerto de plantas que tienen una relación botánica entre sí, se unen con facilidad. Cuando no están relacionadas botánicamente entre sí y son injertadas, es muy probable que falle por completo la unión. Con el gran número de materiales vegetales genéticamente diversos que se pueden combinar por injerto, se pone en contacto una amplia variedad de sistemas fisiológicos, bioquímicos y anatómicos diferentes, con la posibilidad de numerosas interacciones tanto favorables como desfavorables. Se han propuesto diversas teorías para explicar la incompatibilidad, pero las pruebas que las apoyan en general son inadecuadas, y a veces contradictorias. Uno de los mecanismos posibles es que existen diferencias en las características de crecimiento entre el portainjerto y el injerto, como son: la época de brotación, la caída de hojas y velocidad de crecimiento; otros mecanismos son las diferencias fisiológicas y bioquímicas entre los materiales injertados (Hartman y Kester, 1984).

En injertos incompatibles se observa un engrosamiento excesivo de la corteza, disminución en la formación de traqueidas, degeneración del floema, discontinuidad vascular en la zona de unión, los elementos del xilema pueden ser obstruidos por acumulación de tilosa e impedir el paso de agua y solutos (Parkinson *et al.*, 1987). Andrews y Marquez (1993) mencionan los siguientes síntomas externos: una morfología anormal de las hojas, clorosis y caída prematura de las mismas, marchitamiento del injerto, disminución en el crecimiento vegetativo, muerte prematura, aunque puede sobrevivir unos días. El

desprendimiento limpio de la unión del injerto y el bajo porcentaje de éxito, son síntomas fáciles de observar que pueden estar relacionados con incompatibilidad. También se ha observado una disminución en la distribución de almidón a causa de la incompatibilidad en injertos (Bonffelli, 2000). Injertos incompatibles en especies frutales pueden sobrevivir varios años, sin afectar visiblemente el crecimiento del injerto, pero cuando estos se exponen a fuertes vientos puede partirse el árbol en el punto de unión. Jeffrey y Yoeman (1983) observaron un adelgazamiento de las paredes celulares de las células del callo, que puede estar relacionado con la formación de plasmodesmos también identificados en el mismo trabajo. Estos plasmodesmos participan en el flujo de líquido, y también se cree pueden estar involucrados en el transporte de señales enzimáticas entre el portainjerto y el injerto sobre la compatibilidad o incompatibilidad entre ambos.

2.4.4. Factores que Influyen en la Unión del Injerto

2.4.4.1. Temperatura

La temperatura influye sobre la división celular; como se describió anteriormente la formación de callo y posteriormente la diferenciación de nuevo tejido vascular, es el resultado de divisiones celulares en el punto de unión del injerto; por lo tanto, la temperatura es de vital importancia en el proceso de unión del injerto. La temperatura ideal en la fase postinjertación se encuentra entre los 26 a 30°C, fuera de este intervalo los procesos se hacen lentos (De Miguel y Cebolla, 2005). Black *et al.* (2003) reportaron temperaturas óptimas de 25 a 32 °C en la fase postinjertación.

2.4.4.2. Humedad

Los tejidos cortados para la unión del injerto deben mantenerse en condiciones de humedad relativa elevada, entre 85 y 95 %; pues en caso contrario, la probabilidad de una buena unión es reducida. Las partes expuestas a baja humedad se suberifican, impidiendo la unión. Esto se debe a que las células nuevas de

parénquima presentan una pared celular delgada muy susceptible a la deshidratación (De Miguel y Cebolla, 2005; Black *et al.*, 2003). En injertos con el método de empalme es necesaria una alta humedad relativa para evitar que se deshidrate el injerto, el cual se le ha cortado la parte radical.

2.4.4.3. Superficie de contacto

En tomate, los haces conductores están dispuestos hacia la periferia del tallo. Si el portainjerto y el injerto tienen diámetros similares en la zona de unión, la proximidad entre haces vasculares es máxima y por lo tanto la facilidad de unión también lo es (De Miguel y Cebolla, 2005). De lo contrario se aumenta el tiempo de unión, debido a que el nuevo tejido vascular debe alinearse con el otro material, adquiriendo una forma de “s” (Moore, 1984).

La perfección de la técnica de injertación es muy importante. El ángulo y longitud del corte; así como un corte parejo de un solo movimiento son aspectos que debe practicar el injertador. Si se pone en contacto sólo una pequeña parte de los tejidos del portainjerto/injerto, la unión es deficiente. Aunque haya una buena cicatrización y comience el crecimiento de la planta, cuando alcanza un desarrollo importante; una unión tan escasa impide el transporte de agua suficiente y se produce el colapso de la planta injertada (De Miguel y Cebolla, 2005).

2.4.4.4. Oxígeno

Para la producción de tejido de callo es necesaria la presencia de oxígeno en la unión del injerto. La división y crecimiento de las células va acompañado de una respiración elevada. Para algunas plantas puede bastar una tasa de oxígeno menor que la presente en el aire, pero para otras es conveniente que la ligadura del injerto permita el acceso del oxígeno a la zona de unión (Hartman y Kester, 1984).

2.4.4.5. Contaminación con patógenos

El simple hecho de realizar los cortes en los tallos, es un punto de entrada de patógenos. Durante las condiciones postinjertación, temperatura y humedad relativa altas son favorables para la proliferación de hongos y bacterias que pueden penetrar por la herida, ocasionando la pérdida del injerto. Para prevenir estas infecciones se deben tener estrictas condiciones de asepsia, desinfectar herramientas y las manos del injertador (Hartman y Kester, 1984; De Miguel y Cebolla, 2005).

2.5. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo para la producción de las plántulas injertadas se realizó en invernadero, ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a 19° 29´ latitud norte y 98° 53´ latitud oeste, con una altitud de 2 240 m. Dentro del cual se construyó una cámara para el prendimiento de los injertos (Figura 2.5).

2.5.1. Material Vegetal

El portainjerto fue el híbrido interespecífico 'Multifort', caracterizado por tener un sistema radical abundante, presenta resistencia al Virus Mosaico del Tomate, *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* raza 1, 2 y 3, *Pyrenochaeta lycopersici*, *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahlie*, *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*. Puede ser utilizado como portainjerto para berenjena (De Rooter Seeds, 2012).

Como injerto se utilizó el híbrido El Cid, de tipo saladette, de crecimiento indeterminado. Produce frutos uniformes en tamaño y forma, con color rojo intenso. Presenta resistencia a *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* razas 1 y 2, *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahlie*, *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* y Virus Mosaico del Tomate (Harris Moran, 2012).

2.5.2. Sincronización del Diámetro de Tallo

Para obtener plántulas con el mismo diámetro de tallo, se hizo la prueba sembrando 50 semillas del portainjerto e injerto, en charolas de unisel de 200 cavidades con peat moss como sustrato. Ambos materiales fueron sembrados el mismo día; una vez emergidas las plántulas se midió diariamente el diámetro de los tallos durante 25 días. Conjuntamente se tomaron los datos de temperatura mínima y máxima diarias, se acumularon 427 unidades calor.

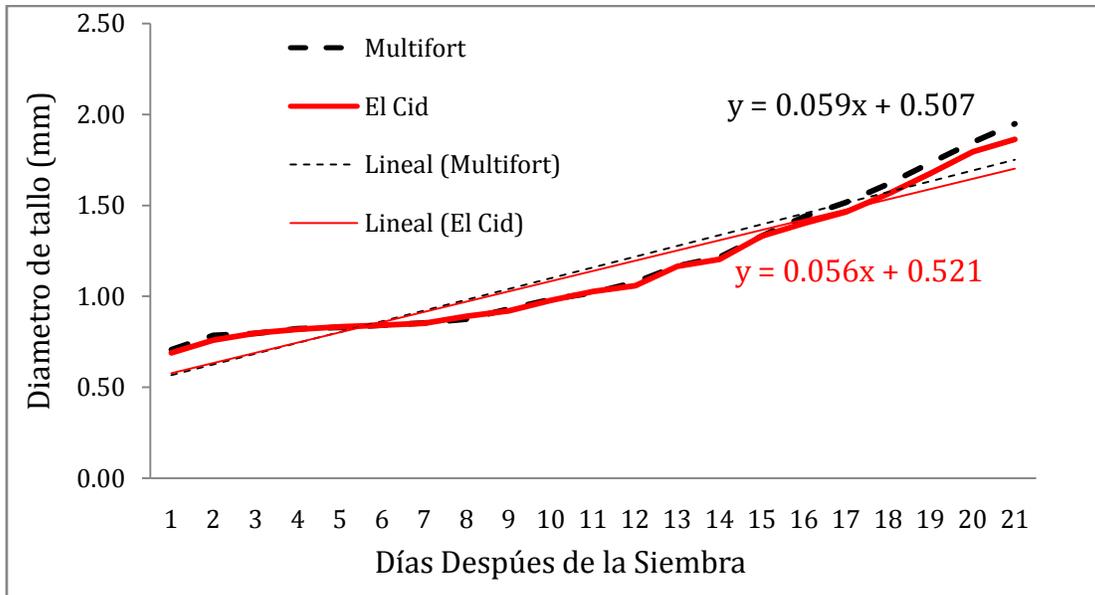


Figura 2.1. Diámetro de tallo Multifort y El Cid.

De acuerdo con los modelos obtenidos, el portainjerto crece $0.059 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ y el injerto $0.056 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$. Por ejemplo, si se decide injertar con tallos de 2.0 mm de diámetro:

Portainjerto

$$Y = 0.059x + 0.507$$

$$x = \frac{0.507 - 2.0}{0.059} = 25.30 \text{ días}$$

Injerto

$$Y = 0.056x + 0.521$$

$$x = \frac{0.521 - 2.0}{0.056} = 26.41 \text{ días}$$

Por lo tanto, la diferencia en días en la siembra es de $26.41 - 25.30 = 1.1$ días. Es decir, para obtener 2.0 mm de diámetro tanto en el portainjerto como en el injerto al momento de la injertación, se requiere sembrar únicamente 1 día antes el injerto (El Cid).

2.5.3. Obtención de Plántulas

Se sembraron en charolas de unicel de 200 cavidades y peat moss como sustrato, 50 semillas de cada material (portainjerto e injerto). Sembrando 2 días antes las semillas del injerto, para homogenizar el diámetro de los tallos. Para la fertilización se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner al 20%, comenzando la aplicación 8 días después de emergidas las plántulas. Después de 25 días de la siembra se realizó la injertación, las plántulas alcanzaron una altura de 9 cm y 2.0 mm de diámetro.

2.5.4. Procedimiento de Injertación

Se utilizó el método de empalme descrito por Lee (1994). El proceso realizado se describe en los siguientes pasos:

1. Desinfección del material y equipo (mesa de trabajo, navajas y manos), utilizando alcohol a 70%.
2. Selección de plántulas con diámetros iguales de manera visual (Figura 2.1 a).
3. Corte al portainjerto por debajo de los cotiledones, a una altura de 2.5-3.0 cm de la base del tallo. Con 45° de inclinación y 0.3-0.5 cm de longitud de corte (Figura 2.1 b).
4. Corte al injerto por arriba de los cotiledones, similar al corte del portainjerto (Figura 2.1 c).
5. Unión del portainjerto/injerto, con pinzas especiales para injertar (Figura 2.1 d).

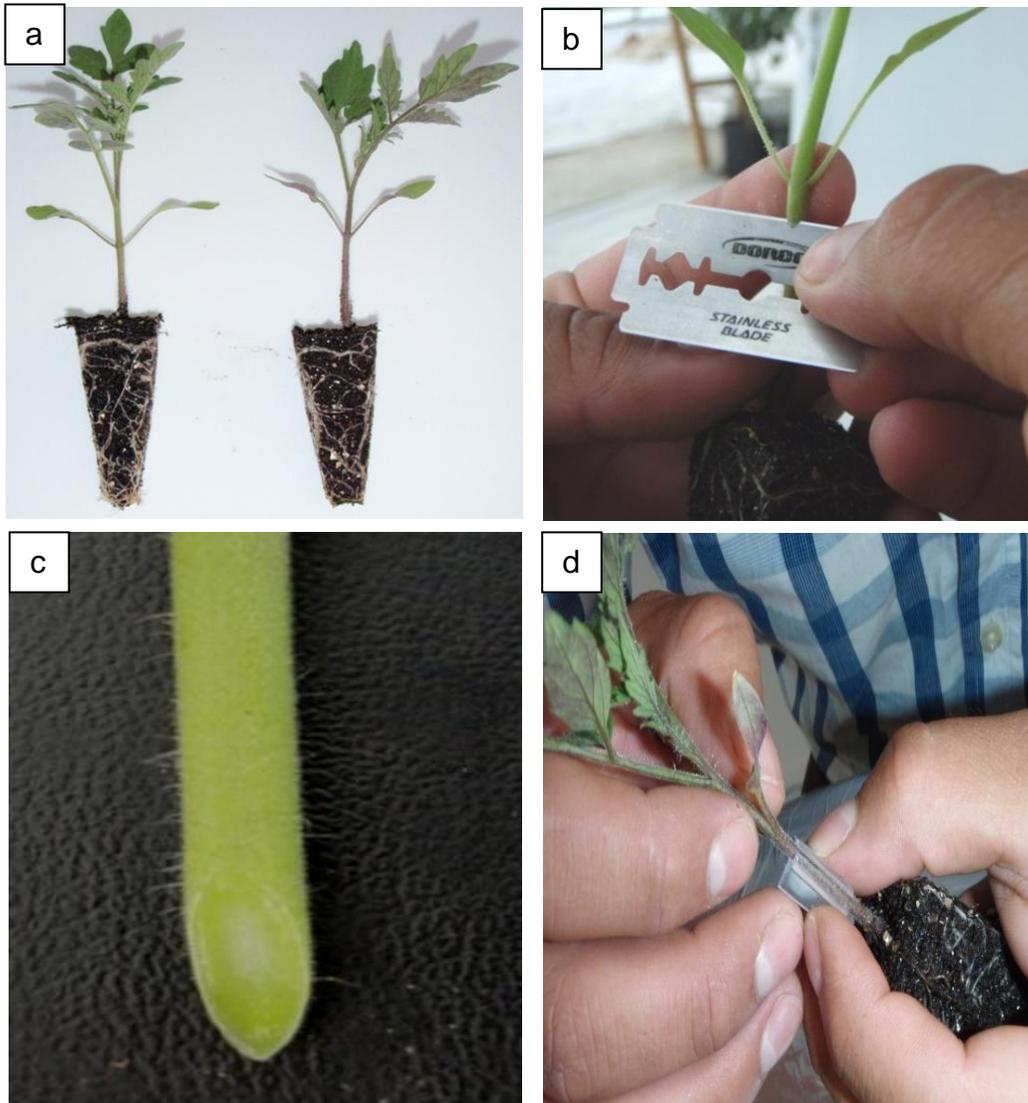


Figura 2.2. Método de empalme.

2.5.5. Fase Postinjertación

Para la fase postinjertación se construyó una cámara de prendimiento (Figura 2.2), las temperaturas obtenidas al interior fueron de 14 a 32 °C. Durante las horas de mayor calor, que es el periodo donde las plántulas injertadas corren el riesgo de deshidratarse, se mantuvieron con temperaturas de 25 a 32 °C y humedad relativa de 85 a 100 %. Con densidad de flujo fotónico de $111 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6 000 lux)

dentro de la cámara de prendimiento al medio día, colocando un plástico negro calibre 600 por arriba de la cámara.

Para dar las condiciones de temperatura y humedad relativa mencionadas, se utilizó un sistema de microaspersores, accionándolos 1 segundo/minuto, mediante un cortador eléctrico y una bomba de 0.5 HP. Un microaspersor tiene un gasto de $0.00833 \text{ L}\cdot\text{seg}^{-1}$, equivale a $0.4998 \text{ L}\cdot\text{hora}^{-1}$ (60 veces por hora), se ocuparon 8 horas diarias (9:00 am-17:00); es decir, el volumen total de agua fue $31.98 \text{ L}\cdot\text{día}^{-1}$, con 8 microaspersores dentro de la cámara.

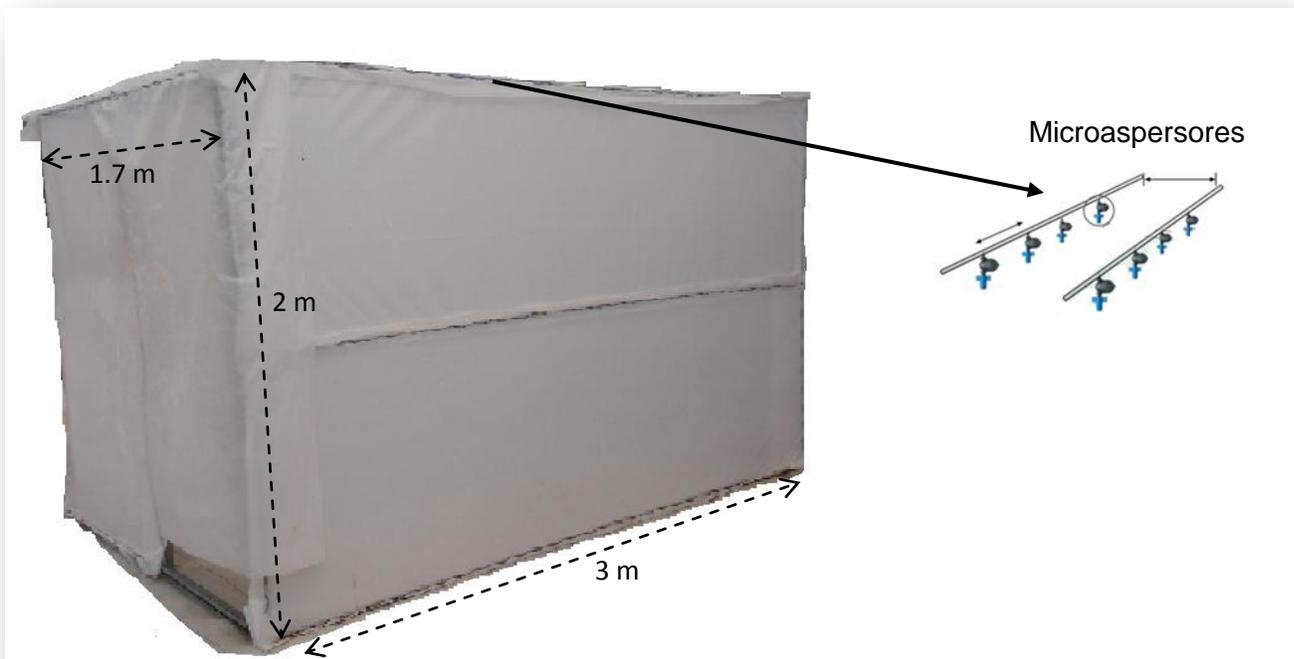


Figura 2.3. Cámara de prendimiento. Al interior 8 microaspersores colocados en dos líneas paralelas.

La frecuencia de aspersion se disminuyó gradualmente, los primeros 3 días los aspersores se accionaban 1 seg/min. Los siguientes 3 días 1 segundo por cada 1.5 minutos y finalmente 1 segundo cada 2 min.

2.5.6. Obtención de Cortes Anatómicos

Se realizaron muestreos a los 5, 10 y 15 días después de la injertación (ddi); consistió en muestrear el punto de unión de 5 plántulas injertadas, cortando 3 mm por arriba y por abajo del punto de unión. Los cuales se fijaron en FAA (50 % de etanol a 96 % + 5 % de ácido acético glacial + 10 % de formaldehído + 35 % agua destilada). La deshidratación se realizó con etanol (50, 70, 96 y 100 %) y la transparentación con xileno a 100 %, utilizando un procesador automático (Histokinette 2000). La inclusión se hizo en parafina y se cortó el tejido en micrótomo rotatorio marca Leica® (Jung Histocut 820), haciendo cortes de 10 µm de espesor. La tinción se hizo con safranina y fast green. Las fotografías se tomaron en microscopio óptico Carl Zeiss y cámara digital Canon adaptada al microscopio.

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de un injerto compatible comprende tres eventos principales: cohesión del injerto y portainjerto; proliferación de células de callo en la interfase del injerto y rediferenciación vascular a través de la interfase (Moore, 1984). En tomate la cohesión se inicia pocas horas después de realizado el injerto; este primer evento está relacionado con la secreción de sustancias pécticas del portainjerto e injerto; dicha fase tiene el objetivo de proporcionar un soporte mecánico inicial en el punto de unión (Parkinson *et al.*, 1987; Jeffrey y Yoeman, 1983). La acumulación de estas sustancias pécticas y los restos de las células muertas ocasionadas por el corte, forman una línea de demarcación en la zona de unión, en la Figura 2.3 de los cortes anatómicos obtenidos, se observa claramente una región más intensa, al momento de la tinción con fast green.

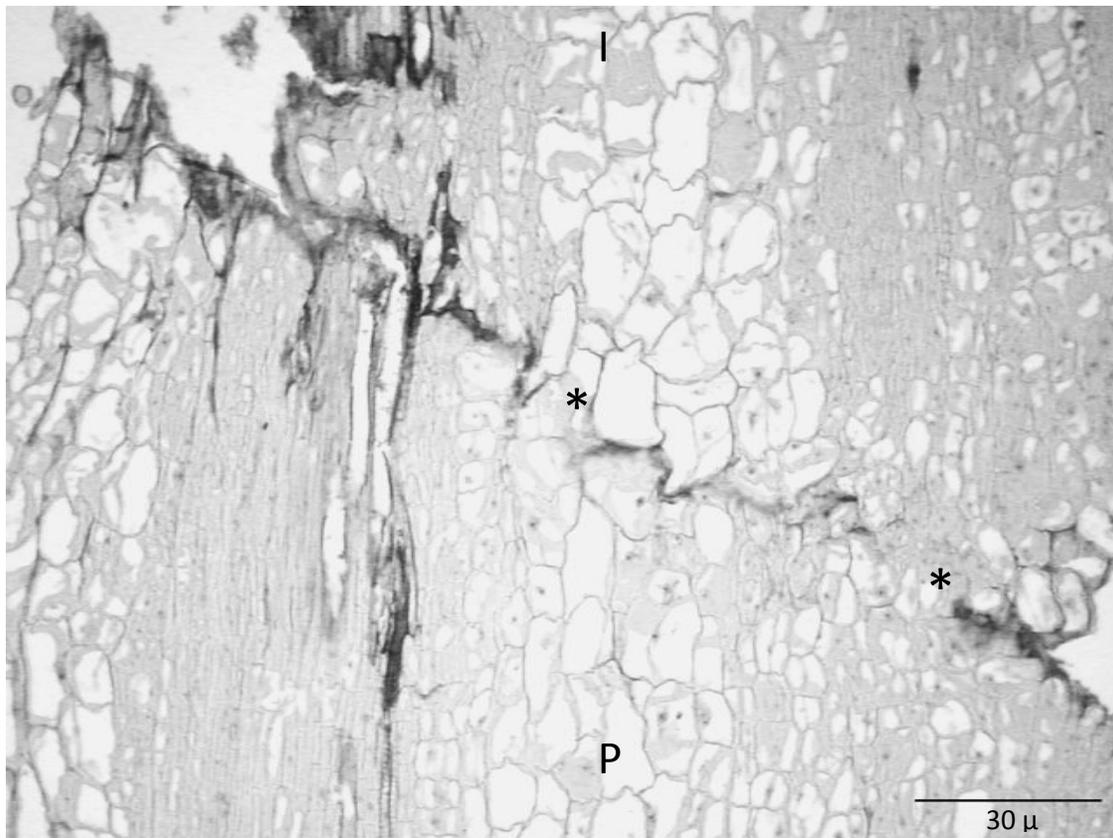


Figura 2.4. Corte transversal (5 ddi). P: portainjerto, I: injerto *: zona de reabsorción de la línea de demarcación.

La actividad celular generalmente comienza 24 horas después de realizado el injerto en especies leñosas, para la formación del callo en las células adyacentes a la herida del corte (Mosse, 1962). De Miguel (1997) y Jeffrey y Yoeman (1983), reportaron el inicio de la actividad celular en injertos de tomate 2 ddi (días después de la injertación). Conforme se va desarrollando el callo la capa necrótica se reabsorbe gradualmente. En los cortes obtenidos se observa la reabsorción de la línea de demarcación en la interfase 5 ddi (Figura 2.3), incluso en el corte longitudinal (Figura 2.4) se observa que la línea de demarcación se ha reabsorbido en 50 %; se aprecia al mismo tiempo el entrelazamiento de las células del portainjerto/injerto, debido al aumento en tamaño de las nuevas células del callo, también confiere mayor resistencia mecánica en el punto de unión (Jeffrey y Yoeman, 1983).

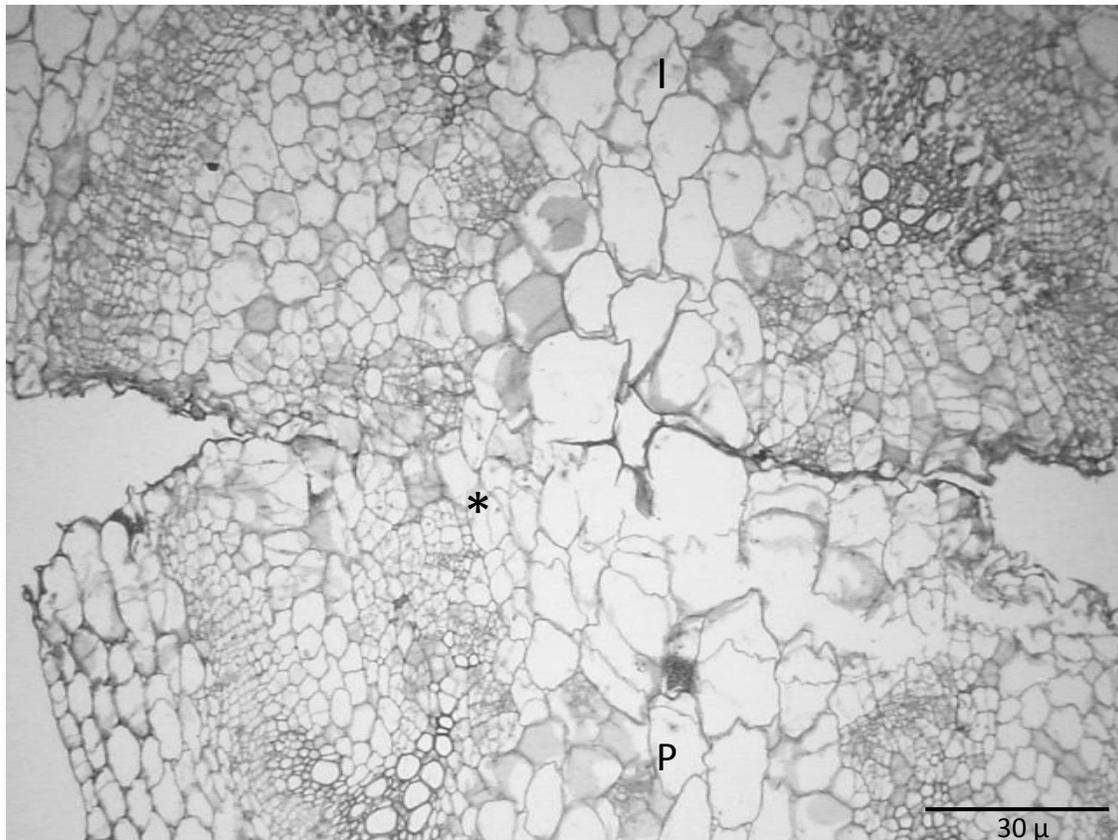


Figura 2.5. Corte longitudinal (5 ddi). P: portainjerto, I: injerto *: zona de reabsorción de la línea.

En injertos de especies frutícolas, la reabsorción de la línea de demarcación del injerto comienza a las dos ó tres semanas después de realizado el injerto, semanas después es difícil identificar la línea en la médula (Parkinson *et al.*, 1987). En injertos de chícharo (*Pisum sativum*) la reabsorción de la línea necrótica inicia 4 ddi (Oda, 2002).

Durante la formación de callo se van rellenando los espacios vacíos entre el portainjerto y el injerto, tal como lo mencionan Hartman y Kester (1984). En tomate se observó que a los 5 ddi no se encuentra totalmente lleno el punto de unión, iniciando del centro hacia las periferias (Figura 2.3 y 2,4). Sin embargo, se alcanzan a observar los inicios de la formación de la continuidad vascular (Figura 2.5). La fase de adhesión y formación de tejido de callo en el punto de unión no es garantía de éxito del injerto, ya que estos dos primeros procesos no requieren de reconocimiento celular; por lo tanto, se llevan a cabo tanto en injertos compatibles como en incompatibles (Jefree y Yoeman, 1983; Moore, 1984; Moore y Walker, 1981).

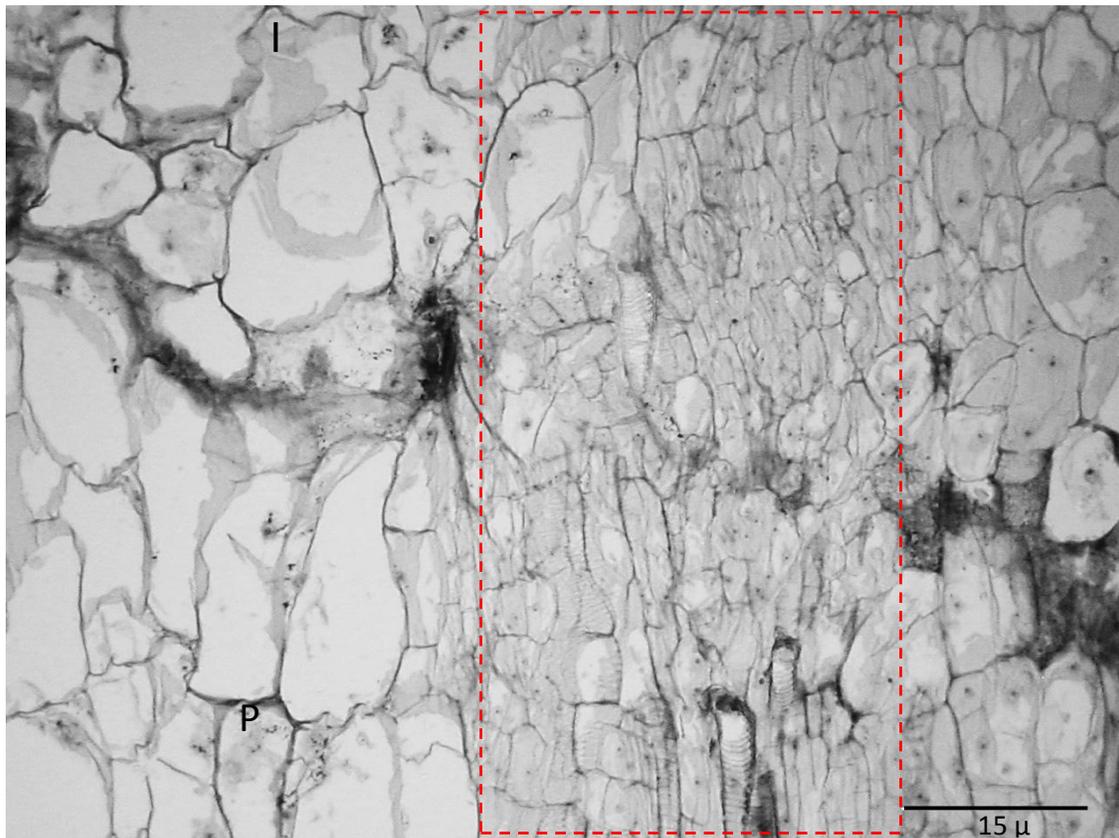


Figura 2.6. Corte transversal (5 ddi). P: portainjerto, I: injerto ---: zona rediferenciación vascular.

En tomate a los 10 ddi aún eran observable restos de la línea de unión; sin embargo, en ese momento fue notoria la rediferenciación vascular, estableciéndose una continuidad de los elementos del xilema entre el injerto y el portainjerto (Figura 2.6). En este momento también se identificó mayor entrelazamiento entre las células de parénquima de las partes injertadas. Al respecto, Fernandez-García *et al.* (2004) reportaron en tomate que los inicios del nuevo tejido vascular se presenta entre 4 y 8 ddi, siendo totalmente funcional a los 15 ddi. Turquois y Malone (1996), encontraron aumento en la conexión hidráulica 5 ddi. En otros injertos herbáceos, como el que reporta Oda (2002) en chícharo, la conexión del xilema ocurre a los 7 ddi y del floema 8 ddi. En la Figura 2.6 se puede observar la continuidad vascular, haciéndose notar que en la interfase portainjerto/injerto los elementos del xilema se orientaron de manera oblicua. A partir de este momento el injerto estaba totalmente cicatrizado y por lo tanto, la planta era fuerte y funcional.

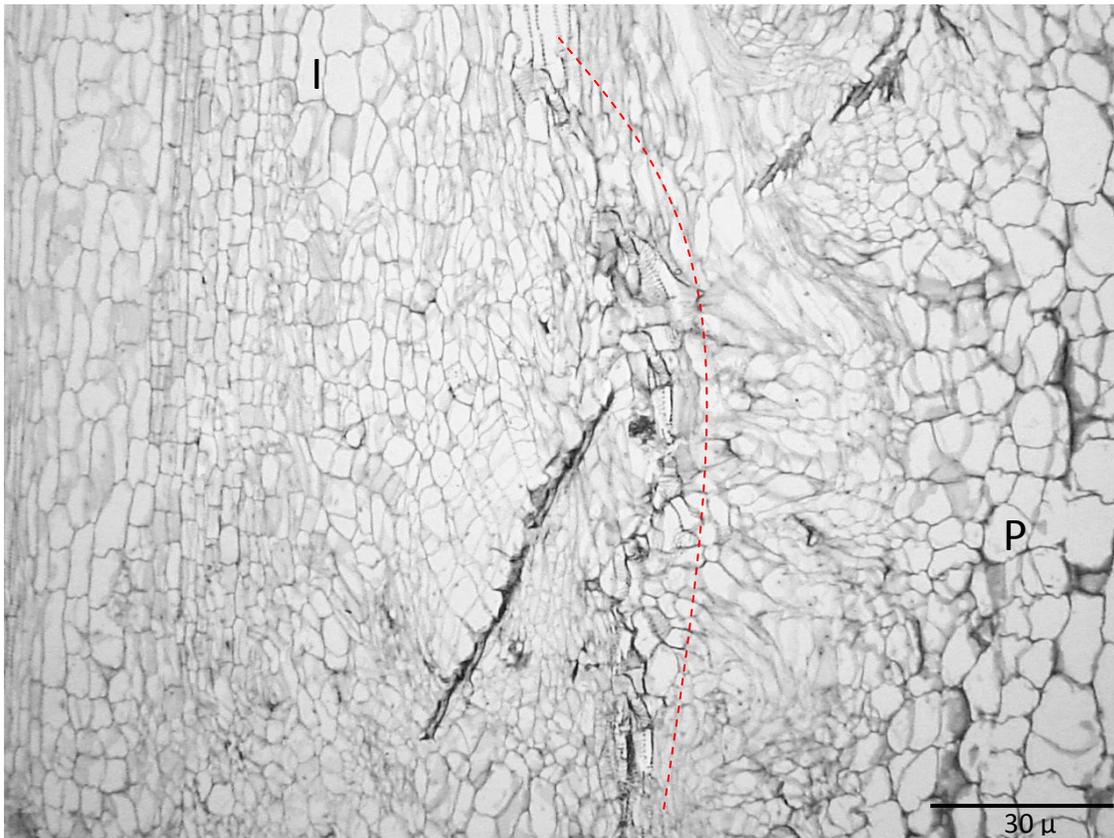


Figura 2.7. Corte transversal (10 ddi). P: portainjerto, I: injerto ---: zona de rediferenciación vascular.

Es precisamente el establecimiento de la conexión vascular el último evento de la unión del injerto y el más importante también; una vez establecida la conexión vascular se aumenta la resistencia mecánica en el punto de unión, al igual que el transporte de agua y solutos del portainjerto al injerto, aunque existen reportes de plantas injertadas que sin haber establecido conexiones vasculares sobrevivieron varios años (Moore, 1984). Los resultados en el presente trabajo, a través de las imágenes obtenidas, muestran que después de 5 días de realizado el injerto, además de haberse dado la cohesión e iniciado la formación de callo, se observan los inicios de la conexión vascular entre portainjerto/injerto (Figura 2.5); pero con funcionalidad limitada, ya que al ser disminuida la frecuencia de encendido de los microaspersores dentro de la cámara de prendimiento, las plántulas aún presentaban síntomas de deshidratación.

A los 10 ddi se observa una conexión mas avanzada del tejido vascular, con plántulas capaces de sobrevivir sin las condiciones de la cámara de prendimiento (Figura 2.6); momento en el que también fue retirada la pinza de sujeción. En la Figura 2.7 se observa la continuidad vascular en la región de unión, también se aprecian a los lados indicios de la línea de demarcación. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Lindsay *et al.* (1974); donde describen el desarrollo del establecimiento de la continuidad vascular en injertos en tomate, dividiendo este proceso en dos fases, la primera que abarca hasta los 4 ddi, se caracteriza por una intensa actividad celular y el aumento en el número de las traqueidas del xilema, la segunda fase tiene una duración de 3 días; es decir, hasta los 7 ddi, donde se presenta la diferenciación de las traqueidas formadas en la primera fase.

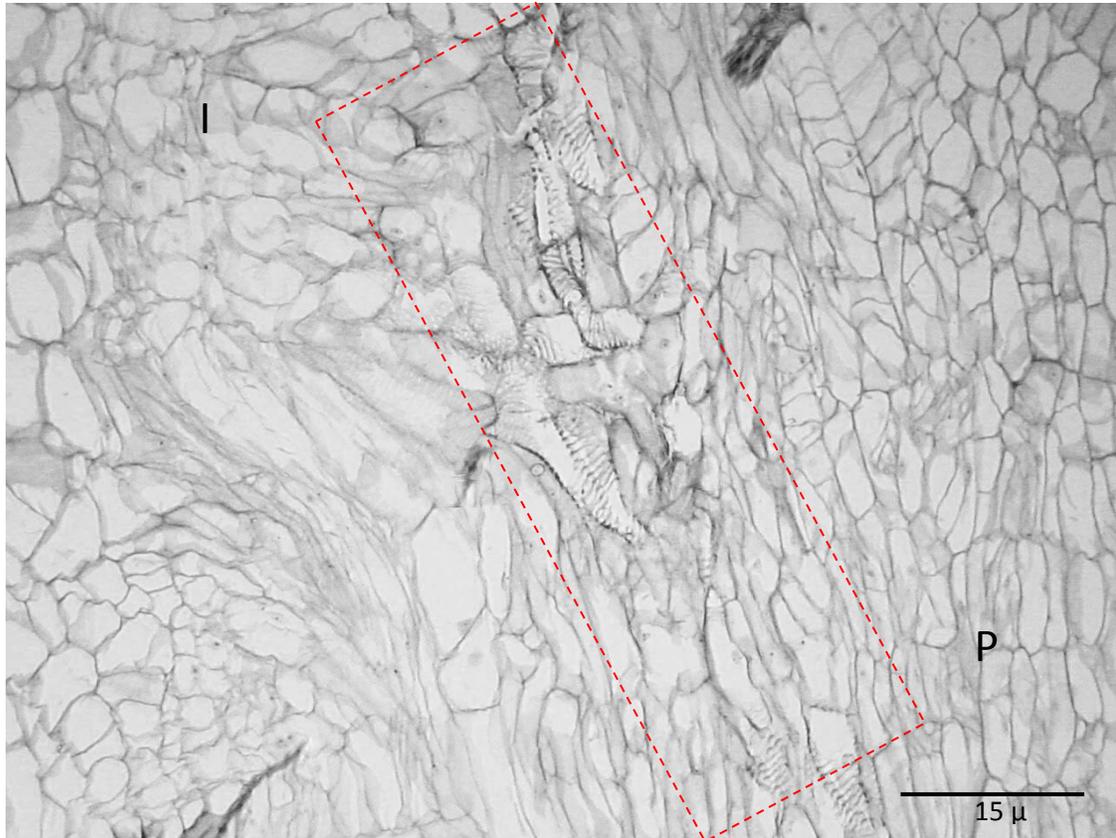


Figura 2.8. Corte transversal (10 ddi). P: portainjerto, I: injerto ---: zona de rediferenciación vascular.

El tiempo en finalizar la unión del injerto depende de las especies injertadas, el método de injerto y las condiciones postinjerto. Así por ejemplo, Chang *et al.* (2012) evaluaron el proceso de unión de injertos en pimiento, encontrado el establecimiento vascular a los 14 ddi, donde también compararon el efecto del injerto mecanizado y a mano, sin encontrar diferencia en el tiempo de conexión vascular. En tomate 15 ddi la conexión vascular se observa totalmente desarrollada (Figura 2.8). En cuestiones prácticas entre 10 y 15 ddi, representa el momento ideal del trasplante, sin riesgo de deshidratación o desprendimiento de las plántulas injertadas.

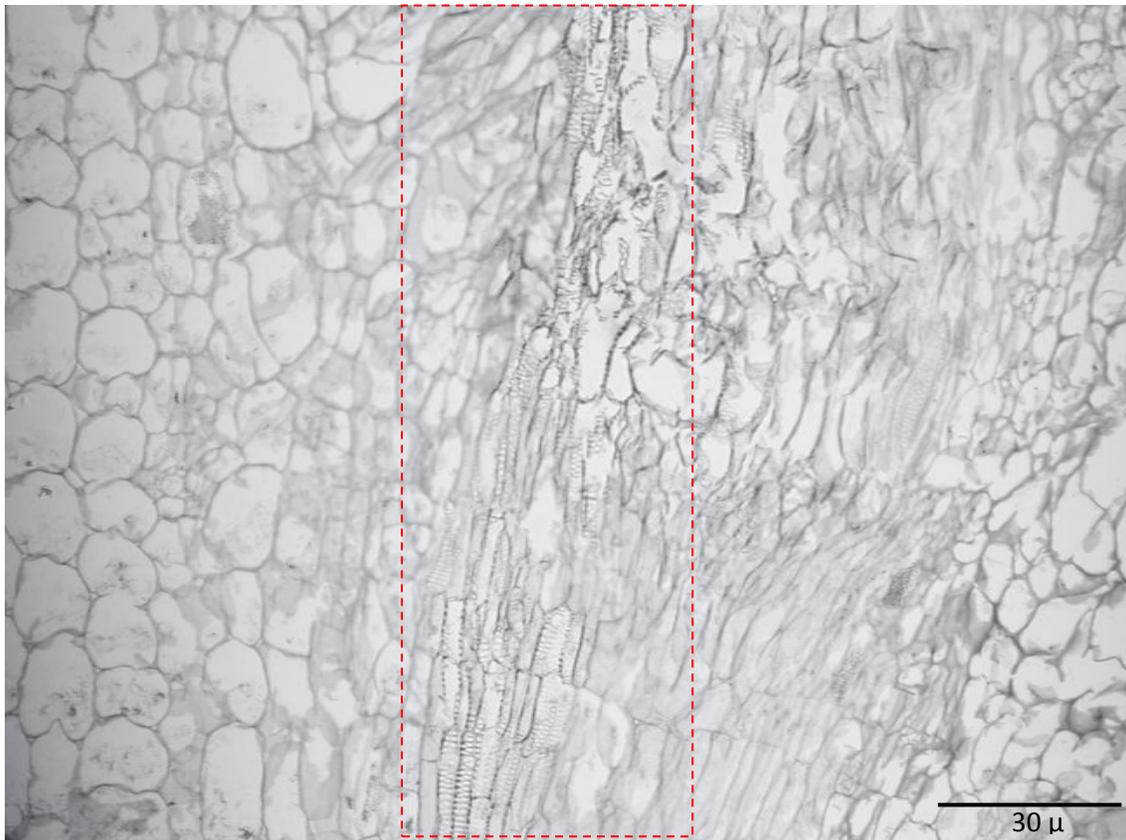


Figura 2.9. Corte transversal (15 ddi). ---: zona de rediferenciación vascular

Al momento de realizar los injertos es importante homogenizar el diámetro de los tallos, lo cual permite que las partes cambiales del portainjerto e injerto coincidan estrechamente, por lo tanto, el proceso de prendimiento es más rápido. La funcionalidad del nuevo tejido vascular también se ve beneficiada al considerar este factor. De lo contrario el portainjerto e injerto necesitan formar mayor cantidad de tejido de callo, y la disposición del tejido vascular se realiza en forma curvada, en lugar de llevarse a cabo de manera lineal. En la figura 2.9 se puede observar el efecto que tiene utilizar materiales con diámetros de tallos desiguales, sumándole el corte disperejo de los materiales; esto conduce a una unión débil, dificultando la cicatrización y por lo tanto la producción de una planta injertada más débil, que al realizar el trasplante puede traer problemas de desprendimiento de los tejidos. La línea punteada ejemplifica la manera en que debe realizarse el corte.

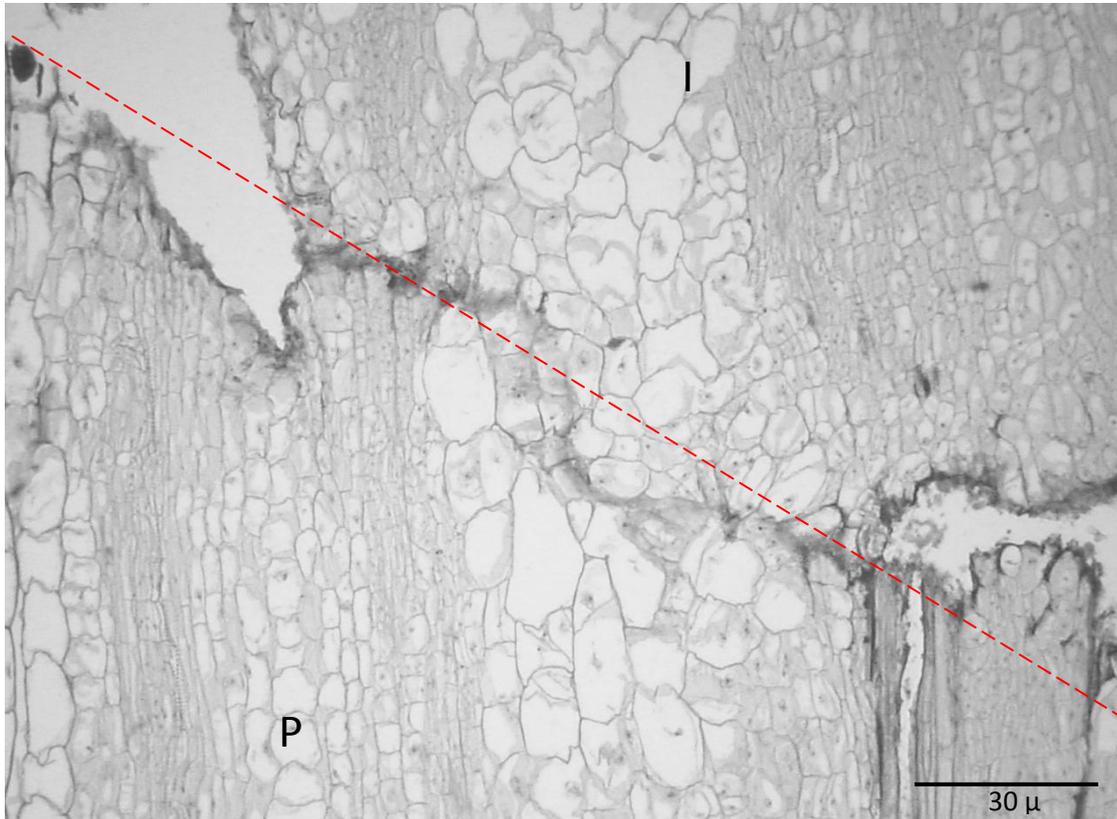


Figura 2.10. Diámetros desiguales y corte disparejo de los materiales. P: portainjerto, I: injerto, ---: dirección ideal de corte.

2.7. CONCLUSIONES

Después de 5 días de realizado el injerto se observó el entrelazamiento de las nuevas células del callo entre portainjerto e injerto; al mismo tiempo también fue observable el inicio de la reabsorción de la línea de demarcación en el punto de unión, junto con ello se identificó el inicio de la continuidad vascular, aún con funcionalidad limitada.

La completa conexión del tejido vascular se obtuvo 10 ddi, siendo también éste el momento en el que las plantas fueron capaces de sobrevivir sin las condiciones de la cámara de prendimiento.

El uso de plántulas con diámetros desiguales conduce a una unión débil de los materiales y retrasa el proceso de prendimiento.

2.8. LITERATURA CITADA

Andrews K P, C S Marquez (1993) Graft Incompatibility. Horticultural Reviews. John Wiley and Sons Inc. Vol. 15. 467 p.

Asahina M, H Iwai, A Kikuchi, S Yamaguchi, Y Kamiya, H Kamada, S Satoh (2002) Gibberellin produced in the cotyledon is required for cell division during tissue reunion in the cortex of cut cucumber and tomato hypocotyls. Plant. Physiol. 129: 201-210.

Black L L, J F Wang, T Kalb, D Abbass, J H Chen (1971) Grafting tomatoes for production in the hot-wet season. The World Vegetable Center. Asian Vegetable Research and development Center. N. 03-551.

Bonffelli E (2000) Guía Fotográfica de los Injertos. DE VECCHI. Barcelona, España. 158 p.

Chang Y C, S Chen, Y C Chiu, L H Lin, Y S Chang (2012) Growth and union acclimation process of sweet pepper grafted by a tubing-grafting robotic system. Hort. Environ. Biotechnol. 53(2): 93-101.

De Miguel A (1997) Injerto de hortalizas. Conselleria d'Agricultura, Pesca y Alimentación, Generalitat Valenciana. Valencia, España.

De Miguel A, y V Cebolla (2005) Unión del injerto. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada, Valencia, España.

De Ruiter Seeds. Tomado de www.es.deruiterseeds.com

Esau K. (1982) Anatomía de las Plantas con Semilla. Traducido al Español por: P A Izaguirre, A A M Laguardia. Hemisferio Sur, S. A. Buenos Aires, Argentina. 550 p.

Fahn A (1969) Plant Anatomy. Oxford Pergamon Press. Gran Bretaña. 354p.

Fernandez-García N, Carvajal M, E Olmos (2004) Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. *Ann. Bot.* 93: 50-60.

Harris Moran. Tomado de www.harrismoran.com

Hartman H T, D E Kester (1984) *Propagación de Plantas*. Continental, S.A. de C.V., México. 915 p.

Jeffree C E, M M Yoeman (1983) Development of intercellular connections between apposing cells in a graft union. *New Phytol.* 93: 491-509.

Kubota C M, N McClure, M G Kokalis-Burelle, E N Roskopf (2008) Vegetable grafting: history, use, and current technology status in North America. *HortScience*. 43(6):1664-1669.

Lee J (1994) Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience*. 29(4): 235-239.

Lee J M, M Oda (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *In: Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons. Vol. 28. USA, New York. 478 p.

Lindsay D W, M M Yeoman, R Brown (1974) An analysis of the development of the graft union in *Lycopersicon esculentum*. *Annals of Botany*, 38, 639-646.

Moore R (1984) A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants. *Amer. J. Bot.* 71(5): 752-758

Moore R, D B Walker (1981) Studies of vegetative compatibility-incompatibility in higher plants II. A structural study of an incompatible heterograft between *Sedum telephoides* (Crassulaceae) and *Solanum pennellii* (Solanaceae). *Amer. J. Bot.* 68(6):831-842.

Mosse B (1962) Graft-incompatibility in fruit trees. Technical Communication N. 28. Commonwealth Agricultural Bureaux Farnham Royal. Bucks, England.

Oda M (2002) Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. & Biol. Sci. Osaka Pref. Univ.* 54:49–72.

Parkinson M, C E Jeffree, M M Yoeman (1987) Incompatibility in cultured explant-grafts between members of the solanaceae. *New Phytol.* 107: 489-498.

Teruo M, H Hiromichi (1994) Mineral contents in melon plants (*Cucumis melo* L. cv. 'Prince') and fruit quality influenced by grafting on squash root stocks and calcium applications in soil. *Environ. Contr. Biol.* 32 : 119-123.

Turquois N, M Malone (1996) Non-destructive assessment of developing hydraulic connections in the graft union of tomato. *J. Exper. Bot.* 47: 701-707.

3. PORTAINJERTO Y SU EFECTO SOBRE LA NUTRICIÓN, ACUMULACIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO

3.1. INTRODUCCIÓN

El propósito principal del uso de plántulas injertadas en la producción de hortalizas, es la resistencia a patógenos del suelo, con el uso de portainjertos resistentes y tolerantes. La técnica nace injertando cucurbitáceas y se extendió a las solanáceas. Actualmente representa una alternativa para reducir el uso de plaguicidas en el control de enfermedades relacionadas con la raíz. Sin embargo, los propósitos del injerto en hortalizas se ha diversificado, entre los que destacan, tolerancia a factores abióticos y bióticos, incremento en el rendimiento y calidad de fruto, aumento en el vigor de la planta, mejorar la absorción de los minerales así como la eficiencia en la fertilización, en algunas especies la injertación induce variabilidad genética (Oda, 2002; Lee y Oda, 2003; Kubota *et al.*, 2008).

No solo el uso de portainjertos es el responsable de los efectos obtenidos, sino que también las combinaciones portainjerto/injerto influyen sobre el comportamiento de la planta, las combinaciones determinan el vigor de la planta, el rendimiento y calidad de frutos (Teruo y Hiromichi, 1994; Leonardi y Giuffrida, 2006; Ruiz *et al.*, 1997). Los mecanismos a los que se le atribuye este efecto son diversos, el sistema radical abundante de los portainjertos permite mayor aprovechamiento de agua y nutrientes, mayor síntesis de hormonas de crecimiento, principalmente citocininas, ya que son sintetizadas en su mayoría en la raíz. Los portainjertos de tomate cuentan con un sistema radical vigoroso; por el complejo de resistencia que presentan mejoran el aprovechamiento de nutrientes, a diferencia de las plantas sin injertar que son susceptibles al ataque de patógenos en la raíz, lo cual provoca una disminución en la capacidad de absorción (Lee, 1994).

El incremento en el aprovechamiento de los nutrimentos es un beneficio de los injertos en hortalizas, pero es necesario el estudio previo de las posibles combinaciones, ya que el efecto varía de acuerdo con el portainjerto e injerto utilizados. Por ejemplo, el uso del híbrido Sintozwa de calabaza como portainjerto en pepino adaptado para su cultivo en verano, no presentó efecto sobre el crecimiento y rendimiento. No obstante, este mismo portainjerto con otros cultivares de pepino, reflejó un incremento en el crecimiento y rendimiento en el mismo verano (Lee, 1994). Los portainjertos que inducen un crecimiento vigoroso de la parte aérea de la planta, se relacionan directamente con altos niveles de N y K en la hoja (Ruiz *et al.*, 1997). Puede suceder lo contrario, que el uso de portainjertos reduzca los niveles nutrimentales de la planta. Por ejemplo el portainjerto de berenjena Okitsu N.1 es susceptible a desórdenes fisiológicos y a deficiencia de Mg y consecuentemente tiene baja productividad (Yamakawa, 1982). También el efecto del portainjerto sobre la nutrición depende de la etapa de desarrollo de la planta. En sandía injertada sobre calabaza, en la etapa vegetativa mantiene niveles más altos de N que en las plantas no injertadas, pero en evaluaciones posteriores no presentaron diferencias (Yamasaki *et al.*, 1994). Por toda esta gama de posibilidades es necesario el estudio previo de las combinaciones portainjerto/injerto que se desean aplicar a nivel comercial y de esta manera generar información útil que ayude en la toma de decisiones en producción con plántulas injertadas. Junto a esto la técnica de injerto puede ser una opción para reducir la cantidad de insumos aplicados, teniendo un impacto en la economía del productor y sobre el medio ambiente.

3.2. OBJETIVO

Determinar el efecto del portainjerto de plántulas injertadas de tomate, sobre el área foliar, la acumulación de biomasa, rendimiento, concentración y extracción nutrimental, a través del análisis de materia seca, en plantas dirigidas a uno y dos tallos

3.3. HIPÓTESIS

El uso de plantas injertadas favorece la concentración y extracción nutrimental de la planta, incrementa el área foliar y aumenta la acumulación de biomasa y el rendimiento.

3.4. REVISIÓN DE LITERATURA

3.4.1. Elementos Esenciales

El crecimiento y desarrollo normal de las plantas depende de varios factores, entre ellos la disponibilidad de nutrimentos. En las plantas cultivadas este factor es manipulado por el hombre para alterar los rendimientos y la calidad de los productos según sus necesidades, incluso ha formado una disciplina especializada en esta área llamada *nutrición de plantas* (Jones, 1999). En la actualidad se conocen 16 elementos esenciales para las plantas, el Co, Ni, Na y Si, son esenciales solo para algunas especies de plantas, por lo que no se consideran dentro de estos (Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 2001; Jones, 1999). Los criterios de esencialidad de los nutrimentos fueron establecidos por Arnon y Stout en 1939, y son tres los criterios:

1. La deficiencia del elemento en cuestión debe resultar en crecimiento anormal, la planta no puede completar la etapa vegetativa y reproductiva de su ciclo de vida.
2. Dicha deficiencia es específica para el elemento en cuestión y se puede prevenir o corregir sólo mediante el suministro de este elemento.
3. El elemento debe ejercer su efecto directamente sobre el crecimiento o metabolismo, sin tomar en cuenta otros posibles efectos como corregir alguna condición desfavorable.

De acuerdo con los criterios de Arnon y Stout (1939) son elementos esenciales para las plantas el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl).

Estos elementos se mueven en el suelo para ser absorbidos por la planta; mediante tres mecanismos, flujo de masas, difusión e intercepción por la raíz. El flujo de masas se refiere al movimiento de los iones hacia la raíz a través del desplazamiento del agua, donde se encuentran disueltos. El Ca y N (en forma de NO_3^-) son principalmente movidos en el suelo por este mecanismo (Jones, 1998a). La difusión es el movimiento de los iones dentro del suelo de una región de alta concentración a otra región de baja concentración; la difusión del P y K se ha reportado en maíz como el principal mecanismo (Fagaria, 1997). La intercepción es un mecanismo que se lleva a cabo por la raíz, conforme el sistema radical crece aumenta la superficie de contacto con el suelo y al mismo tiempo con los nutrimentos durante su desplazamiento (Fagaria *et al.*, 1991; Walsh *et al.*, 1973). Los portainjertos de tomate presentan un sistema radical abundante que tiene efecto sobre la absorción de nutrimentos. Marschner (1986) menciona que una alta densidad de raíces y pelos radicales largos son importantes factores en la extracción de nutrimentos que son movidos por difusión. La relación entre la densidad de raíz y la extracción de nutrimentos no es lineal, cuando la densidad es demasiado alta la extracción no se altera, sino más bien alcanza un punto donde se mantiene constante. Esto es causado por el agotamiento de los nutrimentos en la zona de la raíz y competencia entre estos.

En seguida se presenta una breve descripción de cada uno de los macronutrimentos, con la intención de resaltar algunas de las principales funciones en la planta.

3.4.2. Nitrógeno

Dependiendo de la especie, la etapa de desarrollo y el órgano, el requerimiento óptimo varía entre 2.0 y 5.0 % de la materia seca (Marschner, 1986). Este elemento es absorbido principalmente por la planta en forma de nitrato (NO_3^-) pero también puede ser asimilado como amonio (NH_4^+); el nitrógeno combinado con C, H y O, y en algunas ocasiones con el S, forma aminoácidos, aminoenzimas, ácidos nucleicos, alcaloides y bases púricas. (Mengel y Kirbky, 2001; Jones, 1998a).

De acuerdo con esta última función, una deficiencia de N provoca un colapso de los cloroplastos, manifestando clorosis de las hojas viejas y posteriormente el síntoma es en toda la planta. El crecimiento es lento, las hojas son pequeñas y mueren prematuramente, se acortan los entrenudos y se reduce considerablemente el rendimiento. Los síntomas de deficiencia del N son parecidos al de Fe, Ca y S con la diferencia de que estos se presentan primero en las hojas nuevas (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

El exceso de nitrógeno se manifiesta con crecimiento vegetativo excesivo, hojas verde oscuras y quebradizas, tallos muy gruesos y succulentos, bajo estas condiciones la planta es más susceptible al ataque de patógenos (Fagaria *et al.*, 1991). Hay incremento en el área foliar y puede provocar un desbalance con la fase reproductiva, disminuyendo el rendimiento. El tomate es más sensible cuando se trata de un exceso de NH_4^+ , la toxicidad se manifiesta como puntos cloróticos en las hojas, luego se tornan necróticas, el amonio también es antagónico con otros cationes como Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ (Jones, 1998a).

3.4.3. Fósforo

El fósforo constituye entre 0.15 y 1.00 % de la materia seca, el intervalo óptimo en tomate durante la floración es de 0.25 a 0.75 %. La forma en que la planta absorbe este elemento es como fosfato dihidrogenado (H_2PO_4^-) y fosfato monohidrogenado (HPO_4^{2-}), dependiendo del pH, en pH alcalinos predomina la segunda forma (Jones, 1998a). Está involucrado en la formación de enzimas y proteínas, en la

adenosin trifosfato (ATP), en el ácido ribonucleico y desoxirribonucleico (Menguel y Kirbkby, 2001).

La deficiencia de fósforo aparece en las hojas viejas al igual que el N, las hojas se observan de un color verde oscuro inusual, provocado por el aumento en la concentración de clorofila al tener un proceso de fotosíntesis reducido por la falta de RuBP, al no existir niveles adecuados de ATP's para su síntesis. El envés de las hojas se torna de un color púrpura incluyendo las nervaduras, por la concentración de antocianinas, son pequeñas y adquieren una curvatura hacia abajo. Las raíces también pueden adquirir esta misma coloración (Peet, 2005; Mengel y Kirkby, 2001). Aplicaciones adecuadas en etapa de plántula previene de enfermedades al promover el crecimiento vigoroso de la raíz (Fagaria *et al.*, 1991). El exceso de fósforo pocas veces es visto, se manifiesta como crecimiento lento y síntomas típicos de deficiencia de Zn. Las hojas se tornan de color marrón claro dando apariencia de quemaduras (Jones, 1998a).

3.4.4. Potasio

El potasio constituye de 1.0 a 5.0 % de la materia seca, el intervalo óptimo en tomate durante la floración es de 2.9 a 5.0 %. La planta lo absorbe en forma de catión potasio (K^+); está involucrado en mantener el estado hídrico de la planta, turgencia celular, apertura y cierre de estomas. Más de 50 enzimas son activadas por el K^+ (Marschner, 1986). Es el elemento de la calidad, relacionado con la vida postcosecha. Por su alta movilidad dentro de la planta está relacionado con la translocación de los nuevos carbohidratos formados (Jones, 1998a).

La deficiencia de K^+ se expresa primero como follaje oscuro, clorosis y luego necrosis marginal de las hojas más viejas, se curvean hacia abajo; posteriormente la necrosis es intervenal, en conjunto la planta es pequeña. Durante la maduración del fruto una deficiencia de K^+ provoca maduración irregular, baja calidad y disminución en la vida postcosecha (Peet, 2005).

El exceso de K^+ está relacionado con el antagonismo que genera con otros cationes como Ca^{++} y Mg^{++} , los frutos presentan problemas de Blossom End Rot (Peet, 2005).

3.4.5. Calcio

El calcio constituye de 0.20 a 5.0 % de la materia seca, el intervalo óptimo en tomate durante la floración es de 1.0 a 3.0 %. La planta lo absorbe como ion divalente (Ca^{++}). Es constituyente importante de la pared celular, relacionado con la permeabilidad de la membrana, la germinación del grano de polen, división y expansión celular. Cuando se encuentra en el citosol se une con una pequeña proteína llamada calmodulina que funciona como activadora de enzimas (Jones, 1998a; Salisbury y Ross, 1992).

La deficiencia de Ca^{++} se presenta como necrosis de las hojas en las puntas de crecimiento, el crecimiento de la raíz disminuye y reducen los pelos radicales. El problema más asociado a la deficiencia de Ca^{++} en tomate es la pudrición apical del fruto (Blossom End Rot), pero no necesariamente se trata de una deficiencia en el suministro de este elemento, sino de condiciones ambientales y de manejo del cultivo. Deficiencia de agua, baja humedad relativa y una transpiración elevada, son factores que limitan el aporte de Ca al fruto en desarrollo (Peet, 2005; Ho y White, 2005).

El exceso de Ca^{++} se manifiesta con deficiencias de Mg^{++} y K^+ al competir en el sitio de absorción (Peet, 2005).

3.4.6. Magnesio

El magnesio constituye de 0.15 a 1.0 % de la materia seca, el intervalo óptimo en tomate durante la floración es de 0.40 a 0.60 %: la planta lo absorbe como ion divalente (Mg^{++}). Es componente de la molécula de clorofila y cofactor de varias enzimas que activan el proceso de fosforilación (Jones, 1998a).

El Mg^{++} es un elemento móvil en el floema, por lo que en deficiencia el síntoma se observa en las hojas viejas como clorosis intervenal, generalmente la deficiencia de este elemento es provocada por el exceso de K^+ y Ca^{++} . El exceso de Mg^{++} se ve reflejado en desbalance de cationes, Ca^{++} principalmente y K^+ (Peet, 2005).

3.4.7. Análisis nutrimental de la planta

El nivel de nutrimentos es determinado por medio del análisis de la planta. El monitoreo de la concentración de nutrimentos resulta una herramienta importante en la toma de decisiones sobre el manejo de la fertilización en el cultivo; de esta manera se pueden identificar deficiencias, toxicidades o desbalances nutrimentales, medir las cantidades de nutrimentos removidos por el cultivo para remplazarlo y mantener la fertilidad del suelo, se puede monitorear la eficiencia de las prácticas de fertilización adoptadas y predecir el rendimiento del cultivo (Fagaria *et al.*, 1991). Las concentraciones pueden variar por efecto de factores como el cultivar de la especie, edad de la planta, interacción con otros minerales y factores ambientales (Marschner, 1986). En el cuadro 3.1 se presentan las concentraciones adecuadas para cada nutrimento en tomate, reportado por Peet (2005).

Cuadro 3.1. Concentración nutrimental en la hoja más recientemente madura, incluyendo el peciolo, en tomate. (Adaptado por Hochmuth *et al.*, 1991).

Tiempo de muestreo	Estatus	%						ppm					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Etapa de 5 hojas	Rango	3.0	0.30	3.0	1.0	0.30	0.30	40	30	25	20	5	0.2
	adecuado	5.0	0.60	5.0	2.0	0.50	0.80	100	100	40	40	15	0.6
Inicio de floración	Rango	2.8	0.20	2.5	1.0	0.30	0.30	40	30	25	20	5	0.2
	adecuado	4.0	0.40	4.0	2.0	0.50	0.80	100	100	40	40	15	0.6
	Toxicidad (>)	-	-	-	-	-	-	-	-	1500	300	250	-
Inicio de fructificación	Rango	2.5	0.20	2.5	1.0	0.25	0.30	40	30	20	20	5	0.2
	adecuado	4.0	0.40	4.0	2.0	0.50	0.60	100	100	40	40	10	0.6
	Toxicidad (>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	-
Inicio de maduración	Rango	2.0	0.20	2.0	1.0	0.25	0.30	40	30	20	20	5	0.2
	adecuado	3.5	0.40	4.0	2.0	0.50	0.60	100	100	40	40	10	0.6
Durante la cosecha	Rango	2.0	0.20	1.5	1.0	0.25	0.30	40	30	20	20	5	0.2
	adecuado	3.0	0.40	2.5	2.0	0.50	0.60	100	100	40	40	10	0.6

Fuente: Peet, 2005.

El análisis de la parte aérea de la planta proporciona información sobre la concentración y contenido total de nutrimentos, relacionado con la acumulación de biomasa. El análisis puede ser secuencial y final. El primero consiste en realizar una serie de muestreos durante el ciclo del cultivo, con esto se puede conocer el comportamiento de la concentración y extracción de los nutrimentos en diferentes etapas y el análisis final es utilizado para conocer la extracción nutrimental total del cultivo (Peet, 2005; Fagaria *et al.*, 1991; Jones, 1998a).

Jones (1999) reporta niveles óptimos de concentración de los elementos en tomate, especificando el porcentaje por debajo del cual se considera una deficiencia del elemento (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Concentraciones óptimas en hoja de tomate.

Elemento	Rango normal %	Deficiencia %	
N	2.8-6.0	Menor a 2.0	
P	0.3-0.9	Menor a 0.2	
K		Menor a	1.5
	2.5-6.0	(vegetativa)	
		Menor a	2.5
		(fructificación)	
Ca	0.9-1.72	Menor a 1.0	
Mg	0.4-1.3	Menor a 0.3	
S	0.3-4.2	-	
	ppm	ppm	
B	25-100	Menor a 20	
Cl	-	-	
Cu	5-20	Menor a 4	
Fe	40-300	Menor a 40	
Mn	40-500	Menor a 30	
Mo	0.9-10	-	
Zn	20-100	Menor a 16	

Fuente: Jones B. (1999).

3.5. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. En invernadero tipo túnel con ventila cenital. Este capítulo es parte consecutiva del trabajo de injertos en tomate, por lo que se omiten algunos apartados en materiales y métodos.

3.5.1. Material vegetal

- Portainjerto. Multifort, híbrido interespecífico (*Solanum lycopersicum* X *S. habrochaites*), destacado por el vigor que confiere a la planta y por su resistencia a *Fusarium oxysporum* raza 3.
- Injerto. El Cid, híbrido de crecimiento indeterminado de tipo saladette.

3.5.2. Producción de Plántula

Las semillas se sembraron en charolas de unicel de 200 cavidades, utilizando peat moss como sustrato; las del injerto se sembraron dos días antes que las del portainjerto para homogenizar el diámetro de los tallos.

A partir de los ocho días de emergencia hasta antes de la injertación, el riego se realizó con solución nutritiva de Steiner a 20%.

Las plántulas se injertaron cuando el diámetro de los tallos alcanzaron entre 1.5 y 2.0 mm. Esto ocurrió 28 días después de la siembra en el portainjerto y 30 días en el injerto. El método utilizado fue el de empalme (Lee, 1994). El período postinjertación fue de 10 días, las condiciones son las detalladas en el capítulo 2.

3.5.3. Condiciones de la Plantación

El transplante se realizó el 14 de abril de 2012, las plantas se establecieron sobre tezontle contenido en macetas de 20 kg. La densidad de plantación fue de 2.5

plantas·m⁻² (1 m entre hileras y 0.4 m entre plantas). La fertilización se realizó como se indica en el Cuadro 3.3, la etapa está dada en días después del transplante (ddt); se aplicó a través de un sistema de riego por goteo con espagueti.

Cuadro 3.3. Fertilización durante el experimento.

Etapa (ddt)	% solución de Steiner	Riegos por día
0-15	25	3
16-45	50	4
46-80	75	6
81-fin de cosecha	100	9

ddt: días después del transplante

Despunte para obtención de plantas con dos tallos. Para obtener plantas dirigidas a dos tallos se realizó el despunte por arriba de la segunda hoja, para obtener un brote de la yema axilar de la primera y segunda hoja, esta práctica se llevó a cabo 10 ddt.

El número de racimos por tallo fue de 8, en el caso de plantas con dos tallos 16 en total.

A lo largo del experimento se realizaron aplicaciones de cobre+mancozeb (oxicob®) para prevenir enfermedades foliares, aproximadamente una vez cada 15 días. Para el control de mosquita blanca se realizaron cuatro aplicaciones de flonicamid (beleaf®). Para gusano del fruto se aplicó en dos ocasiones spinosad, del mismo nombre comercial.

3.5.4. Acumulación de biomasa y análisis nutrimental

Se realizaron tres muestreos: 45, 90 y 150 ddt, consistió en tomar una planta representativa, como unidad experimental, en cada tratamiento, el material vegetal incluyó hojas, tallos, flores y frutos. El secado se realizó en estufa marca Binder®

a temperatura constante de 75 °C. Una vez seco el material se registraron los datos de materia seca con balanza electrónica (Ohaus® modelo Scout-pro). Siguiendo el proceso para el análisis nutrimental, el material seco se molió en molino (Thomas-Wiley, modelo 4), del compuesto obtenido se tomaron 0.5 g para realizar la digestión húmeda (Jones 1998b, Campbell y Plank, 1998). La determinación del N se realizó mediante la técnica de microkjeldahl (Horneck y Miller, 1998). La solución obtenida se analizó en espectrofotómetro de emisión atómica por inducción de plasma acoplado (ICP optical, Varian 725-ES), para determinar las concentraciones de P, K, Ca y Mg.

3.5.5. Rendimiento

El inicio de la cosecha fue 90 ddt en plantas dirigidas a un tallo y 100 ddt en plantas dirigidas a dos tallos. Se tomó en cada fruto el peso y diámetro ecuatorial. Con estos datos se obtuvo el rendimiento total, además de realizar la clasificación por calibre de fruto.

3.5.6. Diseño Experimental

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar, se establecieron tres bloques, es decir, tres repeticiones para cada tratamiento, la unidad experimental estuvo conformada por una planta.

3.5.7. Tratamientos

- Tratamiento 1 (T-1). plantas injertadas a un tallo.
- Tratamiento 2 (T-2). plantas sin injertar a un tallo.



Figura 3.1. T-1 (izquierda), T-2 (derecha).

- Tratamiento 3 (T-3). plantas injertadas a dos tallos.
- Tratamiento 4 (T-4). plantas sin injertar a dos tallos.



Figura 3.2. T-3 (izquierda), T-4 (derecha).

3.5.7. Análisis Estadístico

El análisis fue el correspondiente para el diseño de bloques completos al azar. Los datos fueron analizados en el programa Statistical Analysis Systems (SAS) versión 9.0. Se hizo el análisis de varianza (ANOVA), y para la comparación de medias se utilizó la prueba LSD (Least Significant Difference), con nivel de significancia de 0.05.

3.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa. A los 45 ddt plantas injertadas a un tallo acumularon mayor biomasa; en esta etapa plantas conducidas a dos tallos obtuvieron menor biomasa, debido al despunte para promover los dos tallos, lo que provocó un retraso en el crecimiento. A los 90 y 150 ddt, plantas conducidas a dos tallos, injertadas y no injertadas, presentaron significativamente mayor biomasa que las conducidas a un tallo. En estos dos muestreos no se obtuvo diferencia estadística entre plantas injertadas y no injertadas conducidas a un tallo (Figura 3.6). A los 150 ddt, plantas injertadas dirigidas a dos tallos acumularon 36 % más biomasa que las plantas no injertadas dirigidas a dos tallos (Figura 3.6). En varios trabajos se indica mayor acumulación de biomasa en plantas injertadas. Barrett and Zhao (2012), reportaron en los cultivares, Brandywine y Flamme injertados sobre Multifort, un incremento de 36.7 y 54.2 %, respectivamente, comparado con plantas sin injertar. Rivero *et al.* (2003), Abdelmageed *et al.* (2004) y Godoy *et al.* (2009), reportaron incremento en biomasa en plantas injertadas, en relación a plantas sin injertar. La acumulación de biomasa es un factor importante para determinar como el ambiente afecta la tasa de crecimiento y está relacionada a la capacidad de extracción nutrimental (Colla *et al.*, 2010). El efecto del portainjerto sobre la acumulación de biomasa es atribuido a la mayor absorción de agua y nutrimentos, así como a la mayor cantidad de fotoasimilados, producto del incremento en la fotosíntesis que es provocado por la mayor área foliar que presentan las plantas injertadas (Lee, 1994; Martínez-Ballesta *et al.*, 2010).

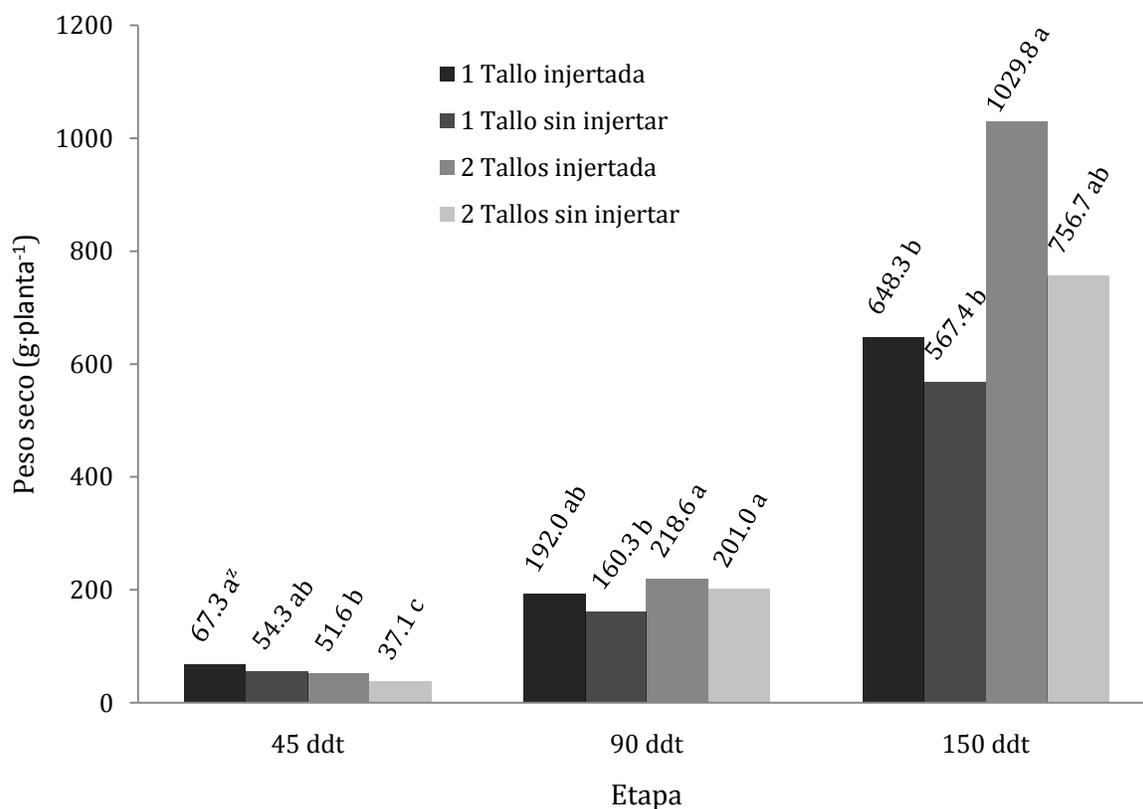


Figura 3.3. Acumulación de biomasa en la parte aérea de plantas injertadas y sin injertar en tomate. ddt: días después del transplante. ^Z Letras diferentes indica diferencias significativas con $\alpha \leq 0.05$, usando prueba de LSD.

Área foliar. A los 45 ddt no se observó diferencia significativa. 90 y 150 ddt, plantas injertadas dirigidas a dos tallos presentaron significativamente mayor área foliar. En el último muestreo (150 ddt) las plantas injertadas obtuvieron mayor área foliar respecto a su homólogo sin injertar (Figura 3.7); plantas injertadas dirigidas a un tallo incrementaron en 15.5 % el área foliar en relación a plantas no injertadas a un tallo; las injertadas dirigidas a dos tallos obtuvieron un incremento de 33.5 % comparadas con las no injertadas dirigidas a dos tallos (Figura 3.7). Al respecto, Barrett y Zhao (2012), observaron en los cultivares Brandywine y Flamme injertados sobre Multifort incremento en 39 y 52 %, respectivamente, en relación a plantas no injertadas. Mayor área foliar implica mayor intercepción de luz y se incrementa la eficiencia del uso de la misma, se conoce como LUE (Light Utilisation Efficiency), esta eficiencia se refleja en una mayor acumulación de

biomasa (Heuvelink y Buiskool, 1995). Lo que explica que en el presente trabajo, a los 90 y 150 ddt el comportamiento de la acumulación de biomasa fue similar al del área foliar; los tratamientos con mayor área foliar por ende presentaron mayor biomasa.

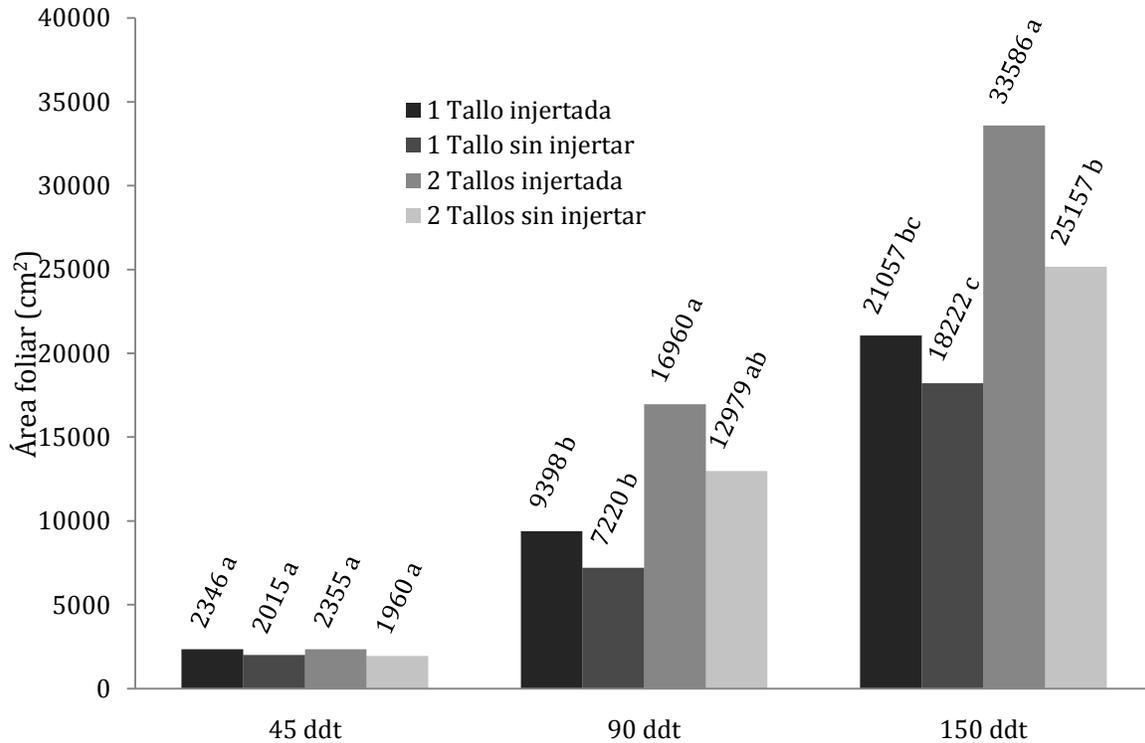


Figura 3.4. Área foliar en plantas injertadas y sin injertar en tomate. ddt: días después del transplante. ^z Letras diferentes indica diferencias significativas con $\alpha=0.05$, usando prueba de LSD.

Estado Nutricional

Nitrógeno. En la primera evaluación (45 ddt) las plantas sin injertar a dos tallos presentaron mayor concentración de N (Cuadro 3.4); este resultado se debe a que las plantas de este tratamiento presentaron la menor acumulación de biomasa, por lo que disminuye el efecto de dilución y aumenta la concentración. Godoy *et al.* (2009) reportaron concentraciones similares en hoja y fruto en plantas injertadas y no injertadas; en tallos obtuvieron mayor concentración en plantas injertadas, incremento de 7.3 %, con respecto a las no injertadas. A los 90 ddt la

concentración de N en los cuatro tratamientos fue estadísticamente similar en esta investigación (Cuadro 3.4). Sin embargo, 150 ddt las plantas injertadas a un tallo presentaron significativamente mayor concentración (Cuadro 3.4). Roupael *et al.* (2008), reportaron mayor concentración de N en plantas injertadas, con incremento de 2.3 mg·g⁻¹, comparado con plantas no injertadas. De igual forma, Yamasaki *et al.* (1994), encontraron en sandía mayor concentración de N en plantas injertadas. Este comportamiento demuestra el efecto del portainjerto al mantener la capacidad de absorción por un tiempo más prolongado, comparado con plantas no injertadas; lo que permite tener un ciclo de producción más largo (Lee, 1994; Oda, 2002). El efecto del portainjerto sobre la concentración de N en la parte aérea de la planta está determinado por la combinación portainjerto/injerto y condiciones de temperatura y salinidad en el suelo (Ruíz *et al.*, 1997; Venema *et al.*, 2008 y Colla *et al.*, 2010). Peet (2005) indica concentraciones óptimas al inicio de la maduración en tomate de 2.0 a 3.5 %, comparado con los datos obtenidos (90 ddt), el tratamiento con plantas injertadas a dos tallos se encontraron dentro de lo recomendado, los tres tratamientos restantes se encuentren en deficiencia de acuerdo con este autor.

Cuadro 3.4. Concentración y extracción de nitrógeno en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.

Tratamiento	Concentración de N (%)			Extracción de N (g.planta ⁻¹)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
1 tallo-Injertada	2.07 b ^z	1.80 a	1.60 a	1.38 a	3.46 ab	10.32 b
1 tallo-Sin injertar	2.09 b	1.86 a	1.44 b	1.14 ab	2.98 b	8.09 b
2 tallos-Injertada	2.29 b	2.01 a	1.56 ab	1.15 ab	4.39 a	16.15 a
2 tallos-Sin injertar	2.72 a	1.70 a	1.46 ab	1.01 b	3.43 ab	11.03 b
CV %	8.8	13	5.8	12.5	15.3	23.3
DMS	0.4	0.48	0.17	0.29	1.09	5.3

^z letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa, con $\alpha=0.05$ usando prueba de LSD. CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. ddt: días después del transplante.

Por otro lado, la extracción de N resultó ser mayor en plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos a los 45 y 90 ddt, respecto de plantas sin injertar a uno y dos

tallos, respectivamente (Cuadro 3.4). En plantas dirigidas a un tallo, las injertadas incrementaron 21 y 16 %, respectivamente; en plantas dirigidas a dos tallos plantas injertadas aumentaron 15 y 27.9 %, respectivamente. A los 150 ddt las plantas injertadas dirigidas a dos tallos presentaron la mayor extracción, lo cual se relacionó con la mayor acumulación de biomasa; en relación a plantas sin injertar a dos tallos se incremento 46.4 %. En plantas dirigidas a un tallo no se presentó diferencia significativa, no obstante las injertadas extrajeron mayor N. Lo anterior coincide con lo reportado por Godoy *et al.* (2009) y Leonardi y Giuffrida (2006), quienes reportaron mayor extracción total de N en plantas injertadas.

La cantidad extraída de N, está en función de la biomasa acumulada, por lo que las plantas dirigidas a dos tallos presentaron mayor valor en la etapa de 150 ddt (Cuadro 3.4). La mayor extracción de nitrógeno se asocia al abundante sistema radical del portainjerto (Rivero *et al.*, 2003). Actualmente se han identificado genes (*NRT1* y *NRT2*) involucrados en la absorción de N en forma de NO_3^- bajo condiciones de alta y baja disponibilidad (Wang *et al.*, 2001), que puede estar asociado a esta cualidad del portainjerto.

Fósforo. La concentración fue afectada negativamente por el portainjerto a los 45 y 150 ddt, en plantas conducidas a uno y dos tallos, respectivamente; ya que a los 45 ddt las plantas no injertadas dirigidas a dos tallos presentaron mayor concentración, 20 % más respecto de plantas injertadas a dos tallos y a los 150 ddt plantas no injertadas dirigidas a un tallo obtuvieron significativamente mayor concentración, 50 % más respecto de plantas injertadas a un tallo (Cuadro 3.5). Si bien no existió diferencia estadística 90 ddt, la tendencia fue que las plantas sin injertar a uno y dos tallos presentaron el mayor valor. De acuerdo a Peet (2005) y Jones (1999), ninguno de los tratamientos presenta deficiencia de este elemento, ya que reportan rangos óptimos de 0.20-0.40 % y 0.30-0.90 %, respectivamente. Rouphael *et al.* (2008) no reportaron diferencia significativa en la concentración de P entre plantas de sandía injertadas y sin injertar, 1.1 y 1.0 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente. Yamasaki *et al.* (1994) reportaron en sandía diferencia significativa entre plantas injertadas y sin injertar únicamente durante la antesis,

posteriormente no presentaron diferencias significativas en plantas con un fruto. Por su parte, Ruiz *et al.* (1997) reportaron en melón influencia de la combinación portainjerto/injerto sobre P, utilizando el portainjerto 'Kamel' en dos diferentes injertos, 'Yuma' y 'Gallicum', encontraron diferencias de 58.8 y 18 %, respectivamente, en relación a las plantas no injertadas.

Cuadro 3.5. Concentración y extracción de fósforo en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.

Tratamiento	Concentración de P (%)			Extracción de P (g·planta ⁻¹)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
1 tallo-Injertada	0.50 b ^z	0.68 a	0.58 b	0.33 a	1.32 a	4.79 a
1 tallo-Sin injertar	0.50 b	0.71 a	1.17 a	0.27 a	1.15 a	6.64 a
2 tallos-Injertada	0.53 ab	0.68 a	0.65 b	0.27 a	1.49 a	6.73 a
2 tallos-Sin injertar	0.67 a	0.71 a	0.79 b	0.25 a	1.46 a	6.02 a
CV %	15	12.2	16	21.2	19.8	32.9
DMS	0.16	0.17	0.25	0.12	0.53	3.81

^z letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa, con $\alpha=0.05$ usando prueba de LSD. CV%: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. ddt: días después del transplante.

Ninguno de los tratamientos presentó diferencia significativa en la extracción de P en las tres etapas de evaluación (Cuadro 3.5). Al respecto, Leonardi y Giuffrida (2006) reportaron diferencia significativa de acuerdo al portainjerto, en PG3 se redujo la extracción de P en 36 % comparado con plantas auto-injertadas; sin embargo, al utilizar Beaufort la extracción se incrementó en 47 %. La combinación usada en el presente estudio, Cid/Multifort, puede estar asociada al nulo efecto de las plantas injertadas sobre la extracción de P. Los resultados difieren de lo obtenido por Godoy *et al.* (2009), quienes obtuvieron mayor extracción en plantas injertadas, 18.8 % más en relación a plantas no injertadas; el trabajo al que se hace referencia se estableció en suelo, con 86 frutos por planta divididos en 20 racimos. La absorción de P también puede ser afectada por la densidad de la raíz; Marschner (1986), menciona que la densidad de la raíz puede causar agotamiento de nutrientes en la zona de absorción y poner en deficiencia a los elementos que

se mueven principalmente por difusión, como el P. Argumento que puede estar relacionado con lo obtenido en el presente trabajo, el portainjerto presenta un sistema radical abundante; es decir, la densidad de la raíz es alta, considerando el sistema de producción empleado; junto con esto el suministro de P fue el mismo para todos los tratamientos.

Potasio. A los 45 ddt en plantas dirigidas a un tallo, las injertadas presentaron significativamente mayor concentración de K; aunque en plantas dirigidas a dos tallos las injertadas disminuyeron 6% en esta primera evaluación; el efecto del portainjerto se observó en las siguientes evaluaciones; ya que a los 90 y 150 ddt la mayor concentración de K se observó en plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos, respecto de plantas no injertadas a uno y dos tallos; en plantas conducidas a un tallo las injertadas incrementaron 5 y 15 %, respectivamente; en plantas a dos tallos las injertadas aumentaron 2 y 28 %, en relación a plantas sin injertar. Al respecto, Godoy *et al.* (2009) encontraron diferencias significativas, 248 ddt, en hoja, tallo y fruto; al mismo tiempo reportan mayor extracción de K en plantas injertadas, 17.7 % más respecto de plantas sin injertar. En contraste, Savvas *et al.* (2011) no observaron diferencia significativa entre plantas injertadas y no injertadas, usando como portainjertos Beaufort ($63.1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), He-man ($61.6 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) y Registrar ($61.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$). En melón, San Bautista *et al.* (2011) reportaron incremento en absorción de K en plantas injertadas, usando el método injerto doble, con aumento de 28 %. Del mismo modo Roupael *et al.* (2008) reportaron incremento de $2.8 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ en plantas injertadas de sandía.

Cuadro 3.6. Concentración y extracción de potasio en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.

Tratamiento	Concentración de K (%)			Extracción de K (g.planta ⁻¹)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
1 tallo-Injertada	0.95 ab ^z	1.28 ab	1.15 ab	0.64 a	2.46 ab	7.48 b
1 tallo-Sin injertar	0.88 b	1.21 b	1.01 b	0.48 ab	1.95 b	5.79 b
2 tallos-Injertada	1.06 ab	1.46 a	1.34 a	0.54 ab	3.21 a	13.73 a
2 tallos-Sin injertar	1.13 a	1.43 ab	1.13 b	0.42 b	2.92 a	8.61 b
CV %	10.5	8.3	8.2	17.7	16.6	27.4
DMS	0.21	0.22	0.19	0.18	0.87	4.89

^z letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa, con $\alpha=0.05$ usando prueba de LSD. CV%: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. ddt: días después del transplante.

La extracción de K fue significativamente mayor en plantas injertadas. A los 45 y 90 ddt, plantas injertadas a un tallo presentaron significativamente mayor extracción, con incremento de 33 y 26 %, respectivamente, en relación a plantas no injertadas conducidas a un tallo (Cuadro 3.6). Cabe mencionar que en plantas a un tallo no se obtuvo diferencia estadística a 150 ddt, por el coeficiente de variación alto, pero plantas injertadas incrementaron 29 % (1.69 g.planta⁻¹) la extracción final. En plantas dirigidas a dos tallos, las injertadas extrajeron 28.5 y 59 % más K a los 45 y 150 ddt, respectivamente, respecto de las no injertadas. Aunque en plantas injertadas a dos tallos la extracción fue mayor a los 90 ddt, no existió diferencias estadísticas (Cuadro 3.6). Al respecto Leonardi y Giuffrida (2006), en evaluación de tres portainjertos (‘PG3’, ‘Energy’ y ‘Beaufort’), encontraron significativamente mayor extracción de K sobre ‘Beaufort’, lo cual presentó 49 % más comparado con no injertadas. Los mismos autores reportaron un incremento de 64 kg·ha⁻¹ en berenjena (*S. melongena*), injertada sobre ‘Beaufort’. De manera similar, Godoy *et al.* (2009) reportaron mayor extracción final de K en plantas injertadas, en las que se incrementó 17.7 %.

El caso del K es ejemplo del incremento en la extracción de nutrientes con el uso de portainjertos en tomate, atribuido a las características físicas del sistema radical, presentan raíces abundantes lo que permite mayor desarrollo lateral y

vertical, promoviendo mayor área de exploración; resultando en mayor absorción de agua y nutrientes (Lee, 1994; Lee y Oda, 2003).

Calcio. A los 45 ddt la concentración de Ca no fue afectada por el portainjerto. Sin embargo, 90 ddt y 150 ddt se encontraron diferencias significativas por efecto del portainjerto, en plantas conducidas a uno y dos tallos. A los 90 y 150 ddt, plantas injertadas conducidas a un tallo incrementaron 17.5 y 15%, respectivamente, en relación a plantas sin injertar a un tallo (Cuadro 3.7). Plantas injertadas dirigidas a dos tallos presentaron mayor concentración de Ca a los 90 y 150 ddt, respecto de plantas sin injertar se incrementó la concentración en 42 y 19.7%, respectivamente. Al respecto, Savvas *et al.* (2011) reportaron diferencia significativa, 87 ddt, en sistema recirculante, utilizando Beaufort como portainjerto se incrementó en 16.8% la concentración de Ca, en relación a plantas no injertadas. Godoy *et al.* (2009) reportaron concentraciones similares, 248 ddt, en hoja, tallo y fruto entre plantas injertadas y sin injertar. De igual forma Rouphael *et al.* (2008) no encontraron diferencia significativa en la concentración de Ca entre plantas injertadas, 27.1 mg·g⁻¹, y no injertadas, 27.9 mg·g⁻¹.

Cuadro 3.7. Concentración y extracción de calcio en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.

Tratamiento	Concentración de Ca (%)			Extracción de Ca (g·planta ⁻¹)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
1 tallo-Injertada	1.80 a ^z	1.55 ab	1.89 a	1.21 a	2.99 ab	12.43 b
1 tallo-Sin injertar	1.79 a	1.32 bc	1.64 b	0.85 b	2.11 c	9.40 b
2 tallos-Injertada	1.56 a	1.75 a	2.12 a	0.91 b	3.84 a	22.26 a
2 tallos-Sin injertar	1.67 a	1.23 c	1.77 ab	0.63 b	2.50 bc	13.45 b
CV %	7.9	9.7	12.9	16	15	34.8
DMS	0.27	0.28	0.48	0.28	0.85	10

^z letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa, con $\alpha=0.05$ usando prueba de LSD. CV%: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. ddt: días después del transplante.

En las tres evaluaciones la extracción de calcio fue afectada por el portainjerto, excepto en las injertadas dirigidas a dos tallos a 45 ddt. Las plantas injertadas dirigidas a un tallo presentaron mayor extracción, respecto de plantas no injertadas dirigidas a un tallo, lo cual mostraron incrementos de 42, 41.7 y 32 % para 45, 90 y 150 ddt, respectivamente (Cuadro 3.7). En plantas dirigidas a dos tallos, las injertadas obtuvieron mayor extracción, incrementando en 53.6 y 65.5 % para 90 y 150 ddt (Cuadro 3.7). A los 150 ddt plantas injertadas conducidas a un tallo fueron estadísticamente similares a las plantas sin injertar conducidas a dos tallos (Cuadro 3.7), considerando la mayor cantidad de biomasa acumulada en estas últimas, lo que refleja la mayor capacidad de la raíz del portainjerto para la absorción de Ca. Leonardi y Giuffrida (2006) evaluaron tres portainjertos en tomate y berenjena ('PG3', 'Energy' y 'Beaufort'), las plantas injertadas sobre 'Beaufort', reportaron mayor extracción de Ca que las plantas autoinjertadas, incrementó en 80 %; sobre 'PG3' y 'Energy' no hubo diferencia estadística.

El calcio es un elemento que es absorbido en el flujo de la transpiración, cuando la transpiración es alta, incrementa la extracción de Ca (Peet, 2005), este fenómeno está relacionado con condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa, también por las características de la planta en especial al área foliar (Marschner, 1986). En el presente trabajo la correlación fue de $r=0.90$, entre la extracción de Ca y el área foliar ($P \leq 0.0001$); lo que explica la mayor extracción de Ca en plantas injertadas conducidas a dos tallos, $22.26 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$, las que presentaron mayor área foliar.

Magnesio. La concentración de Mg no fue afectada por el portainjerto en ninguna de las evaluaciones. Savvas *et al.* (2011), encontraron resultados parecidos, donde evaluaron tres portainjertos de tomate (Beaufort, He-man y Registrar), ninguno superó las concentraciones de Mg en plantas autoinjertadas ($5.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). Reportaron resultados similares Godoy *et al.* (2009), quienes obtuvieron mayor concentración en plantas sin injertar, en hoja (0.73 %) y tallo (0.44 %), comparado con plantas injertadas (0.59 y 0.34 %, respectivamente). En contraste, en sandía Yamasaki *et al.* (1994) reportaron mayor concentración en plantas injertadas sobre

Shintosa, comparado con plantas no injertadas; representó 104 % más concentración; en ese mismo trabajo, 45 días después de la polinización, las plantas injertadas sobre Sakigake presentaron menor concentración de Mg, comparadas con las plantas sin injertar.

Cuadro 3.8. Concentración y extracción de magnesio en plantas injertadas y no injertadas de tomate, conducidas a uno y dos tallos.

Tratamiento	Concentración de Mg (%)			Extracción de Mg (g·planta ⁻¹)		
	45 ddt	90 ddt	150 ddt	45 ddt	90 ddt	150 ddt
1 tallo-Injertada	1.00 a ^z	0.68 a	0.48 a	0.67 a	1.32 ab	3.16 a
1 tallo-Sin injertar	1.04 a	0.71 a	0.58 a	0.57 ab	1.15 b	3.26 a
2 tallos-Injertada	1.07 a	0.72 a	0.46 a	0.54 ab	1.57 a	4.91 a
2 tallos-Sin injertar	1.23 a	0.66 a	0.58 a	0.46 b	1.33 ab	4.38 a
CV %	10.6	8.8	17.6	16.5	13.8	34.2
DMS	0.23	0.12	0.18	0.18	0.37	2.68

^z: letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa, con $\alpha=0.05$ usando prueba de LSD. CV%: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. ddt: días después del transplante.

La extracción de Mg fue significativamente mayor en plantas injertadas a los 45 y 90 ddt (Cuadro 3.8), por efecto del incremento en la acumulación de biomasa; Pero no así en la extracción final (150 ddt). A los 45 y 90 ddt plantas injertadas incrementaron en 17.5 y 14.7%, respectivamente, en relación a plantas no injertadas a un tallo. En plantas a dos tallos, las injertadas incrementaron en 17.3 y 18% para 45 y 90 ddt, respectivamente. Leonardi y Giuffrida (2006), reportaron mayor extracción con el portainjerto Beaufort, en relación a plantas auto-injertadas, aumentó en 31 %. San Bautista *et al.* (2011), no reportaron diferencia significativa entre plantas injertadas, con el método injerto simple (13.3 mg·g⁻¹·día) y doble (17.6 mg·g⁻¹·día), comparados con plantas sin injertar (15.1 mg·g⁻¹·día).

Rendimiento total. Todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes. Las plantas conducidas a un tallo presentaron menor rendimiento que las conducidas a dos tallos; debido a que el número de racimos por tallo fue de 8, en

el caso de plantas con dos tallos fue de 16 en total. Las plantas injertadas conducidas a dos tallos presentaron mayor rendimiento, incrementó en 6.6 %, respecto de plantas sin injertar a dos tallos (Figura 3.8). Las plantas injertadas dirigidas a un tallo presentaron mayor rendimiento, respecto a plantas sin injertar dirigidas a un tallo, con incremento de 12.9 %. El aumento del rendimiento fue mayor en plantas injertadas dirigidas a un tallo, $0.93 \text{ kg}\cdot\text{planta}^{-1}$, que en plantas injertadas dirigidas a dos tallos, $0.79 \text{ kg}\cdot\text{planta}^{-1}$. El incremento del rendimiento asociado al uso de plántulas injertadas en tomate puede ser hasta de 15 % comparado con plantas no injertadas (Kubota *et al.*, 2008; Dieleman y Heuvelink, 2005). El mayor rendimiento se debe a la eficiente absorción de agua y nutrimentos por la raíz abundante del portainjerto, a la sanidad de la raíz que le confiere el complejo de resistencia a enfermedades y factores abióticos; junto con esto el ciclo de producción es más largo, además se conserva mejor calibre de fruto al final de la producción (Oda, 2002; Lee, 1994; Ruiz *et al.*, 1997; Dieleman y Heuvelink, 2005). En los resultados del presente trabajo, la mayor extracción nutrimental, excepto P, así como la acumulación de biomasa y área foliar, está relacionada con el rendimiento; ya que las plantas injertadas dirigidas a dos tallos presentaron los mejores parámetros mencionados, y obtuvieron el mayor rendimiento. Son varios los trabajos previos que indican incremento en el rendimiento. Turkmen *et al.* (2010), usando los portainjertos 'Rezistar', 'Heman' y 'Spirit' y los cultivares Gokce, Beril y Alida, reportaron significativamente mayor rendimiento en todas las combinaciones. Khah *et al.* (2006), reportaron incremento de 48 % en plantas injertadas sobre 'Heman', comparado con plantas no injertadas. El mismo cultivar injertado sobre 'Primavera' no presentó diferencia significativa, esto en invernadero. Yilmaz *et al.* (2011) reportaron incremento de $600 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ utilizando tomate injertado en suelo infestado de *Meloidogyne incognita* y *Fusarium oxysporum*. Leonardi y Giuffrida (2006), incrementaron en 35.6 % el rendimiento utilizando el portainjerto Beaufort. Con este mismo portainjerto Marsic y Osvold (2004), reportaron 37 % más rendimiento en plantas injertadas. Báez-Valdez *et al.* (2010) reportaron 171 y 167 % de incremento del rendimiento en plantas injertadas sobre 'Multifort' y 'Vigostar', respectivamente,

respecto de plantas sin injertar, en suelo infestado de *Fusarium oxysporum* raza 3. En contraste, Flores *et al.* (2010) y Godoy *et al.* (2009) no reportaron diferencias significativas entre plantas injertadas y sin injertar.

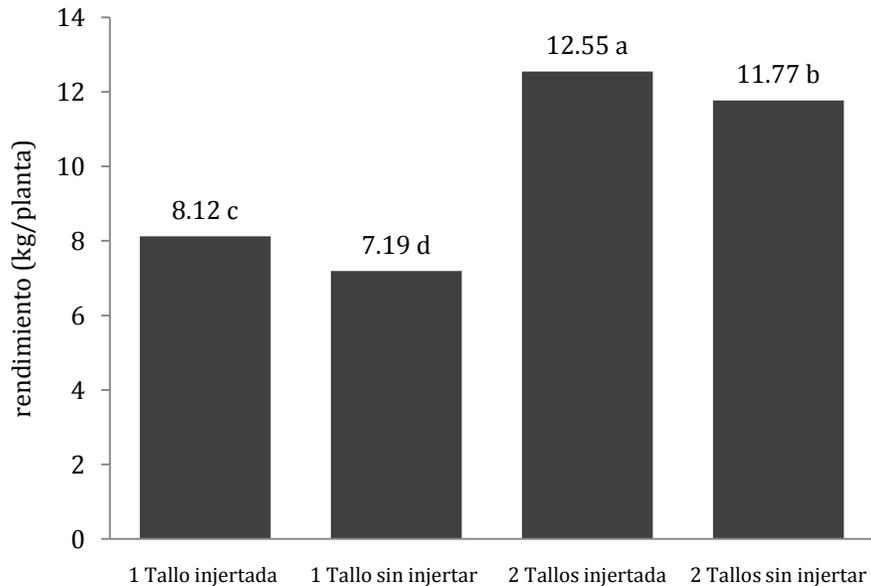


Figura 3.5. Rendimiento en plantas injertadas y sin injertar. ^z Letras diferentes indica diferencias significativas con $\alpha=0.05$, usando prueba de LSD.

3.7. CONCLUSIONES

La acumulación de biomasa y área foliar se incrementó en plantas injertadas y tiene relación con el número de tallos por planta.

Por efecto del portainjerto se afectaron las concentraciones de N, K y Ca. En relación al P, el efecto fue negativo en plantas injertadas dirigidas a un tallo. No se presentó efecto sobre Mg. La extracción de N, K, Ca y Mg fue afectada positivamente por la combinación Multifort/El Cid.

Las plantas injertadas conducidas a uno y dos tallos incrementaron el rendimiento en 12.9 y 6.6%, respectivamente, con respecto de plantas sin injertar conducidas a uno y dos tallos.

3.8. LITERATURA CITADA

Abdelmageed A H A, N Gruda, B Geyer (2004) Effects of temperature and grafting on the growth and development of tomato plants under controlled conditions. Rural Poverty Reduction through Research for Development and Transformation. Berlin, Alemania.

Arnon D I, P R Stout (1939) The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14: 371-375.

Báez-Valdez E P, J A Carrillo-Fasio, M A Baéz-Sañudo, R S García-Estrada, J B Valdez-Torres, R Contreras-Martínez (2010) Uso de portainjertos resistentes para el control de la fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen raza 3) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de malla sombra. *Rev. Mex. de Fitopatología* 28(2): 111-122.

Barrett C E, X Zhao (2012) Grafting for root-knot nematode control and yield improvement in organic heirloom tomato production. *HortScience* 47(5): 614-620.

Campbell C R, C O Plank (1998) Preparation of plant tissues for laboratory analysis. *In: Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Soil and Plant Analysis.* Y P Kalra (ed). Council Inc. CRC Press, Boca Raton, USA. 285 p.

Castellanos J Z, J L Ojodeagua (2009) Formulación de la solución nutritiva. *In: In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero.* J Z Castellanos (ed). Intagri. Guanajuato, México. 458 p.

Colla G, Y Roupael, M Cardarelli (2006) Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. *Hortscience* 41(3): 622-627.

Colla G, Y Roupael, C Leonardi, Z Bie (2010) Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* 127: 147-155.

Dieleman A, E Heuvelink (2005) Gebruik van onderstammen bij vruchtgroenten. Plant Res. Inter. September. Nota. 367.

Fagaria N K, V C Baligar, C A Jones (1991) Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Marcel Dekker, INC. New York, USA. 624 p.

Flores B F, P Sanchez-Bel, M T Estan, M M Martinez-Rodriguez, E Moyano, B Morales, J F Campos, J O Garcia-Abellan, M I Egea, N Fernandez-Garcia, F Romojaro, M C Bolarin (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. Scientia Horticulturae, 126: 211–217.

Godoy H H, R J Z Castellanos, G G Alcántar, V M Sandoval, R J J Muños (2009) Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. Terra latinoamericana 27(1): 1-11.

Heuvelink E, R P M Buiskool (1995) Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. Annual of Bot. 75: 381-389.

Ho L C, P J White (2005) A cellular hypothesis for the induction of blossom-end-rot in tomato fruit. Annals of botany 95: 571-581.

Horneck D A, O Miller (1998) Determination of total nitrogen in plant tissues. *In*: Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Soil and Plant Analysis. Y P Kalra (ed). Council Inc. CRC Press, Boca Raton, USA. 285 p.

Jones Jr J B (1998a) Plant Nutrition Manual. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 147 p.

Jones Jr J B (1998b) Field sampling procedures for conducting a plant analysis. *In*: Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Soil and Plant Analysis. Y P Kalra (ed). Council Inc. CRC Press, Boca Raton, USA. 285 p.

Jones Jr J B (1999) Tomato Plant Culture, in the Field, Greenhouse and Home Garden. CRC Press. Florida, USA. 199 p.

Khah E M, E Kakava, A Mavromatis, D Chachalis, C Goulas (2006) Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. J. of Appl. Horticulture 8(1): 3-7.

Kubota C M, N McClure, M G Kokalis-Burelle, E N Roskopf (2008) Vegetable grafting: history, use, and current technology status in North America. HortScience. 43(6):1664-1669.

Lee J (1994) Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. HortScience. 29(4): 235-239.

Lee J M, M Oda (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *In: Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons. Vol. 28. USA, New York. 478 p.

Leonardi C, F Giuffrida (2006) Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplant on three different rootstocks. *Europ.J.Hort.sci.* 71 (3): 97-101.

Martínez-Ballesta M C, C Alcaráz-López , B Muries, C Mota-Cadenas, M Carvajal (2010) Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Scientia Horticulturae.* 127: 112-118.

Marsic K N, J Osvald (2004) The influence of grafting on yield of two tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a plastic house. *Acta Agricul. Slovenia.* 83(2): 243-249.

Marschner H (1986) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press INC. San Diego, USA. 674 p.

Mengel K, E A Kirkby (2001) Principles of Plant Nutrition. 5th edición KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, Notherlands, USA. 849 p.

Oda M (2002) Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. & Biol. Sci. Osaka Pref. Univ.* 54:49–72.

Peet M M (2005) Irrigation and fertilization. *In: Tomatoes*. E Huevelink (ed). CABI Publishing. Massachusetts, USA. 325 p.

Rivero R M, J M Ruiz, L Romero (2003) Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food Agric. and Environ.* 1(1): 70-74.

Rouphael Y, M Cardarelli, G Colla (2008) Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience* 43(3): 730-736.

Ruiz J M, A Belakbir, I Lopez-Cantarero, L Romero (1997) Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scientia Horticulturae*. 71 (1997): 227-234.

Salisbury F B, C W Ross (2000) *Fisiología de las Plantas*. Paraninfo, Thomson Learning. Madrid, España. 988 p.

San Bautista A, A Calatayud, S G Nebauer, B Pascual, J V Maroto, S López-Galarza (2011) Effects of simple and double grafting melon plants on mineral absorption, photosynthesis, biomass and yield. *Scientia Horticulturae* 130: 575-580.

Savvas D, A Savva, G Ntatsi, A Ropokis, L Karapanos, A Krumbein, C Olympos (2011) Effects of three commercial rootstocks on mineral nutrition, fruit yield, and quality of salinized tomato. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 174: 154-162.

Teruo M, H Hiromichi (1994) Mineral contents in melon plants (*Cucumis melo* L. cv. 'Prince') and fruit quality influenced by grafting on squash root stocks and calcium applications in soil. *Environ. Contr. Biol.* 32: 119–123.

Turkmen O, M Seymen, A Dursun (2010) Effects of Different Rootstocks and Cultivars on Yield and Some Yield Components of Grafted Tomato. *Bulletin UASVM Horticulture* 67(1): 284-291.

Venema J. H, B E Dijk, J M Bax, P R van Hasselt, J T M Elzenga (2008) Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. Environ. Exp. Bot. 63: 359–367.

Walsh L M, J D Benton, R C Dinaver, P S Macmahan, S Schoenfeld (1973) Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America, INC. Madison, Wisconsin, USA. p. 26-27.

Wang Y H, D F Garvin, L V Kochian (2001) Nitrate-Induced Genes in Tomato Roots. Array Analysis Reveals Novel Genes That May Play a Role in Nitrogen Nutrition. Plant physiology 127: 345-359.

Yamakawa K (1982) Use rootstocks in solanaceous fruit-vegetables production in Japan. JARQ 15 (3): 175-179.

Yamasaki A, M Yamashita, S Furuya (1994) Mineral concentration and cytokinin activity in the xylem exudates of grafted watermelons as affected by rootstock and crop load. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62 (4): 817-826.

Yilmaz S, I Celik, S Zengin (2011) Combining effects of soil solarization and grafting on plant yield and soil-borne pathogens in cucumber. Inter. J. of Plant. Produc. 5(1): 95-104.

4. CRECIMIENTO Y CONCENTRACIÓN DE NO₃⁻ Y K⁺ EN EL EXTRACTO CELULAR DE PECÍOLO (ECP) EN TOMATE INJERTADO

4.1. INTRODUCCIÓN

Es sabido que los portainjertos utilizados en la técnica de injertación en hortalizas, afecta el crecimiento de la planta y el rendimiento. Inicialmente la intención de usar esta técnica fue el de proporcionar mayor vigor a la planta, para obtener una calabaza gigante mediante una planta con dos sistemas radicales unidos por injerto de aproximación. Sin embargo, el propósito más importante es la resistencia a enfermedades alojadas en el suelo (Lee y Oda, 2003). El excesivo vigor de las plantas injertadas, se debe principalmente al sistema radical abundante del portainjerto, que permite mayor absorción de agua y algunos nutrimentos, así como la mayor producción de citocininas (Lee, 1994).

En el caso de tomate mediante el uso de portainjertos resistentes a raíz corchosa del tomate (K), raíz corchosa y *Verticillium* (KV), raíz corchosa, *Verticillium* y *Fusarium* (KVF) y raíz corchosa y nemátodos (KN), se obtuvieron plantas más vigorosas en relación a las plantas sin injertar (Oda, 2002). En ocasiones, el uso de portainjertos puede reducir el crecimiento de la planta, el rendimiento y la calidad de los frutos; esto depende de la combinación portainjerto/injerto. Por ejemplo, en tomate injertado sobre *Datura tatula*, el rendimiento disminuye comparado con las plantas sin injertar, injertado sobre *Solanum sodomaeum* y *Solanum auriculatum* se disminuye considerablemente el tamaño promedio del fruto. Sin embargo, en tomate injertado sobre *Solanum laciniatum* en condiciones de suelo saturado, el crecimiento fue mayor que en plantas sin injertar, además, su ciclo de vida se prolongó por dos meses más que plantas no injertadas. Existen portainjertos de berenjena que pueden ser utilizados para injertar tomate, pero su crecimiento puede disminuir (Oda *et al.*, 1996).

El portainjerto puede afectar el crecimiento modificando la morfología de la hoja; en plantas de papa (*Solanum tuberosum*) injertadas sobre tomate, disminuyó el

tamaño de las hojas y redujo el área foliar; incluso la forma de las hojas del injerto, que en este caso fue la papa, fue modificada adquiriendo la forma de la hoja de tomate, también el número de tricomas en las hojas disminuye, estos cambios en las características del injerto, son atribuibles a la interacción genética entre los materiales. Para dar soporte a esta hipótesis, se han realizado estudios del fluido del floema, donde se reporta el transporte de ARN del portainjerto al injerto vía floema provocando cambios en el fenotipo del injerto (Kudo y Harada, 2007). Con la combinación de estas especies es posible producir ambos productos en una sola planta, papa en la parte radical y tomates en la parte aérea; sin embargo, esta práctica no se lleva a cabo a nivel comercial (Lee, 1994).

Se ha tratado sobre el efecto del portainjerto sobre la absorción de nutrimentos y del estado nutrimental de la planta. Sin embargo, es necesario el monitoreo de la nutrición de estos cultivos injertados, ya que un exceso de nutrimentos puede desencadenar varios problemas, como antagonismo entre elementos nutritivos, susceptibilidad a patógenos, excesivo vigor y disminución del rendimiento. Los equipos de medición portátil son una herramienta útil para el monitoreo nutrimental de la planta, el pecíolo de la hoja es el tejido normalmente utilizado para este fin obteniendo su extracto (Jones, 1999); estos equipos también pueden ser útiles para mediciones en la solución nutritiva, agua de riego y solución de suelo (chupatubos). Los datos obtenidos por estos equipos son altamente confiables, la precisión se ha comprobado en laboratorio (Hochmuth, 1999; Vargas *et al.*, 2009). La ventaja de los ionómetros es la rapidez con la que se obtienen los datos, mediante la interpretación de los mismos se puede tomar una decisión inmediata de manejo en la nutrición del cultivo.

4.2. OBJETIVO

Obtener información sobre el efecto del portainjerto en tomate conducido a uno y dos tallos sobre el crecimiento, comportamiento de las concentraciones de nitrato

y potasio en el extracto celular de peciolo y correlacionar estas variables con el rendimiento.

4.3. HIPÓTESIS

El portainjerto aumenta la capacidad de absorción de agua y nutrimentos en la planta; por lo tanto, incrementa la concentración de nitrato y potasio en el ECP, que favorece el crecimiento y el rendimiento.

4.4. REVISIÓN DE LITERATURA

El tomate es una planta arbustiva y el crecimiento es ilimitado en las variedades indeterminadas y limitado en las determinadas. Su ciclo de vida puede prolongarse más de un año, pero se cultiva como anual. En invernadero se utilizan variedades de crecimiento indeterminado, ya que permite aumentar el ciclo de producción (Jones, 1999).

4.4.1. Raíz

El sistema radical presenta una raíz principal que crece unos tres cm por día hasta que alcanza 60 cm de profundidad, presenta raíces adventicias y ramificaciones que forman una masa densa de gran volumen. Puede ser modificado por las prácticas culturales, ya que cuando la planta procede de un trasplante la raíz principal pivotante desaparece. Puede alcanzar 1.5 m de profundidad, se estima que 75 % se encuentra en los primeros 45 cm del suelo, la distribución de la raíz en el suelo está influenciada por las características físicas del mismo (Rodríguez *et al.*, 1997). Los portainjertos de tomate además de presentar resistencia a varias enfermedades y tolerancia a factores adversos, generalmente tienen un sistema radical más vigoroso que la variedad utilizada como injerto, característica que le permite tener mayor área de exploración en el suelo, mayor capacidad de absorción de agua y nutrimentos. También el sistema radical abundante se relaciona con la resistencia a nemátodos, ya que aumenta la probabilidad de tener

raíces funcionales sin ser atacadas (Louws *et al.*, 2010; Guan y Zhao, 2012; King *et al.*, 2008).

4.4.2. Tallo

El tallo de tomate es de 2 a 4 cm de diámetro en la base cuando la planta es adulta, está cubierto de pelos glandulares y no glandulares que secretan una sustancia olorosa que sirve como protección. Debajo de la epidermis se encuentra la corteza, cuyas células más externas tienen clorofila, las más internas son de tipo colenquimático y ayudan al soporte. Toda la estructura vascular y las células parenquimáticas que lo rodean se disponen en forma de tubo alrededor de un tejido medular (Nuez, 2001). La temperatura nocturna óptima para el crecimiento del tallo es 30 °C en plantas jóvenes, 13 a 18 °C en plantas adultas; disminuye la velocidad a medida que la noche se hace más larga. En las axilas de las hojas brotan tallos secundarios, llamados comúnmente “chupones” o “brotes”, que son eliminados para evitar que disminuya el vigor de la planta (Nuez, 2001). Cuando se desea obtener plantas con dos tallos, se pueden utilizar los brotes de las axilas de los cotiledones, o también los brotes en las dos primeras hojas.

El tallo en estado de plántula es importante para el proceso de injertación; se busca mantener similares los diámetros del portainjerto e injerto; por el vigor que presenta el portainjerto es común que las plántulas sean más gruesas y dificulte el prendimiento del injerto. Por eso es necesario desfasar la siembra, anticipando la del injerto y después las semillas del portainjerto; el tiempo de desfase depende del material vegetal, comúnmente va de 2 a 7 días (Godoy y Castellanos, 2009). Otro factor relacionado al tallo en el proceso de injertación es la elongación del hipocotilo, de tal manera que permita hacer el corte a una altura donde no exista el riesgo que el injerto emita raíces adventicias y se pierda el efecto del portainjerto, en ocasiones es necesario darle tratamiento a las plántulas, como disminuir la intensidad de la luz en semillero (Bausher, 2011; Chia y Kubota, 2010).

4.4.3. Hoja

El tomate presenta hojas pinnadas y compuestas. Tiene un folíolo terminal y hasta 8 folíolos laterales, que pueden a su vez ser compuestos. Son peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados. La hoja cuenta con un eje central llamado raquis, el pecíolo es el que se utiliza para el monitoreo nutrimental. Se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna, formando simpodios de tres hojas y un ramillete floral en variedades de crecimiento indeterminado, puede alcanzar hasta 50 cm de largo (Muños, 2009). Las hojas al igual que el tallo están provistas de glándulas secretoras de sustancias aromáticas (Fernández *et al.*, 2004). El tamaño de la hoja aumenta con el uso del portainjerto, por el vigor que le confiere a la planta, por lo tanto se incrementa el área foliar (Na *et al.*, 2012; Barrett and Zhao, 2012). El número de hojas puede aumentar en plantas injertadas, debido a la aclimatización de las plántulas recién injertadas y por el vigor que el portainjerto proporciona a la planta (Oda *et al.*, 2003).

4.4.4. Flor

La flor del tomate es perfecta, regular e hipógina, consta de cinco o más sépalos y pétalos dispuestos de forma helicoidal, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular. Se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso. Frecuentemente el eje principal se ramifica por debajo de la primera flor formada, dando lugar a una inflorescencia compuesta (Fernández *et al.*, 2004; Nuez, 2001). La primera flor se forma en la yema apical, las demás se desarrollan lateralmente por debajo de la primera, alrededor de un eje principal. La diferenciación floral puede ser afectada por la temperatura, iluminación, nutrición, estrés hídrico, la competencia con otros órganos de la planta y los tratamientos con reguladores del crecimiento. Las flores pueden abortar en condiciones de baja luminosidad, la mayor cantidad de flores ocurre aproximadamente a $1.0 \text{ megajoule} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}^{-1}$, la densidad de plantación también influye sobre el desarrollo y aborto de la flor, con $5 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ no disminuye el

número de flores, cuando se establecen 30 plantas·m⁻² se reduce en 90% (Jones, 1999).

El portainjerto tiene efecto sobre la floración, principalmente en la precocidad, la aparición de flores es menos precoz en plantas injertadas que en no injertadas. Puede disminuir el número de flores por exceso de crecimiento vegetativo, provocando desbalance entre parte vegetativa y reproductiva (Godoy y Castellanos, 2009). Por otro lado, por efecto de la aclimatización de las plántulas injertadas en la fase postinjerto, especialmente por la temperatura se pueden incrementar el número de flores (Oda *et al.*, 2003).

4.4.5. Fruto

El fruto de tomate es una baya bi o plurilocular, se desarrolla a partir de un ovario de 5 a 10 mg, alcanza un peso final en madurez entre 5 y 500 g, la forma y tamaño depende de la variedad y manejo. De acuerdo al número de lóculos se definen tres tipos de frutos: cherry y ciruela o tipo pera: presentan dos lóculos; frutos para comercialización en fresco contienen entre cuatro y seis lóculos; tipos 'Beefsteak' contienen más de seis lóculos (Jones, 1999). Una vez fecundada la flor para obtener el fruto tarda alrededor de 55 a 60 días, en función de la variedad, manejo y condiciones ambientales. El racimo de frutos está unido a la planta por un pedúnculo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión. La cosecha puede realizarse por la zona de abscisión o por la unión del pedúnculo con el eje central, en variedades para industria el pedúnculo es indeseable. Los frutos cortados en madurez comercial adquieren la coloración roja entre cuatro y siete días, según las temperaturas ambientales. El empleo de fitohormonas acorta el proceso (Nuez, 2001).

Las plantas injertadas pueden presentar frutos más grandes que las plantas no injertadas, debido a la mayor absorción del portainjerto. Este efecto se ha reportado en tomate, melón y sandía (Lee, 1994; Lee y Oda, 2003). La coloración del fruto puede alterarse en plantas injertadas, cambiando el color del epicarpio y

mesocarpio (Hirata, 1980); también la forma es en ocasiones modificada por la interacción del portainjerto (Yagishita y Hirata, 1987).

4.4.6. Medidor de Iones y Trabajos Relacionados

Los resultados del análisis nutrimental de la planta son usados para diagnosticar deficiencias o excesos de algún elemento mineral, para tomar decisiones sobre el programa de fertilización. Los métodos típicos de laboratorio para el análisis nutrimental tienen la desventaja de ser costosos y requieren mayor tiempo para obtener resultados. Una alternativa es el uso de medidores portátiles de iones, cuyo principio de análisis es el electrodo de ión específico (ISE: ion-selective-electrode). Estos equipos permiten tener datos inmediatamente y conocer el estado nutrimental de la planta en tiempo real, comparado con los métodos de laboratorio que pueden tardar como mínimo tres días (Kubota *et al.*, 1996). El ISE determina mediante la medición de un potencial eléctrico desarrollado a través de una capa fina de líquido inmisible en agua o iones en gel intercambiador que es selectivo para un determinado ión. La capa de intercambio de iones se lleva a cabo a través de una membrana porosa (Miller, 1998). Los principales elementos que son determinados por este método son el N (NO_3^-) y K^+ , aunque existen ionómetros para otros elementos como P y Ca. El N y K son elementos móviles en la planta y los más relacionados con limitaciones en el rendimiento y calidad de los cultivos (Marschner, 1986).

Los medidores de iones más populares son los cardys para NO_3^- y K^+ ; la parte de la planta comúnmente muestreada para el análisis es el pecíolo de la hoja recientemente madura, ésta generalmente se encuentra entre el racimo en floración y el racimo que está cuajando (Muños, 2009). Aunque varía de acuerdo con la especie, puede utilizarse incluso el tallo (Hochmuth *et al.*, 2007).

Existen varios trabajos que demuestran la utilidad de los medidores de iones en el diagnóstico nutrimental (Hochmuth, 1994; Thompson *et al.*, 1996; Di-Gioia *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 1996).

En el trabajo de Zhang *et al.* (1996), en papa (*Solanum tuberosum*), a través del monitoreo del nitrato en el pecíolo de la hoja, lograron establecer el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo aumentando el rendimiento; al mismo tiempo identificaron la necesidad de dividir las aplicaciones de nitrógeno durante la etapa de crecimiento del cultivo, para mantener los niveles de nitratos en el pecíolo. Además encontraron alta correlación ($r=0.924$) entre los datos obtenidos con el medidor de nitrato (Cardy) y el método convencional de laboratorio con materia seca.

En tomate se determinó el contenido de nitratos en el ECP y fruto; los resultados indicaron que en la primera etapa, al inicio de fructificación las concentraciones fueron altas (1300 mg L^{-1}), por arriba de las reportadas en trabajos anteriores, el comportamiento de la concentración fue de manera descendente hasta llegar a niveles de 0 mg L^{-1} en la última cosecha, el tratamiento con fertirriego presentó altas concentraciones. La concentración de nitratos en el fruto fue mayor en la etapa de maduración, a partir de la semana 15 comenzó a descender (Leyva *et al.*, 2005).

El trabajo de Kubota *et al.* (1996) en coliflor, muestra diferentes niveles de relación entre las concentraciones en el ECP y el análisis con materia seca de pecíolo en laboratorio en las diferentes etapas de crecimiento; por lo que difiere con Hartz *et al.* (1994), quienes obtuvieron una relación general a través de las etapas de crecimiento.

4.5. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en invernadero tipo túnel con ventila cenital y en sistema hidropónico. Este Capítulo es parte consecutiva del tema de injertos en tomate, por lo que en este apartado se omiten algunos aspectos aclarados en los capítulos anteriores.

4.5.1. Material Vegetal

El portainjerto utilizado fue el híbrido interespecífico Multifort, presenta sistema radical vigoroso y abundante, el cual confiere mayor vigor a la planta; de todo el complejo de resistencia se destaca por ser resistente a *Fusarium oxisporum* raza 3. La variedad utilizada como injerto fue el híbrido El Cid de crecimiento indeterminado y frutos de tipo saladette.

4.5.2. Mediciones de Crecimiento

Las mediciones se realizaron durante 6 muestreos con intervalos de 15 días (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después del trasplante), tanto en plantas dirigidas a un tallo como a dos. Las mediciones se realizaron seleccionando 3 plantas representativas, seleccionadas de manera aleatoria.

4.5.3. Variables de Crecimiento

Altura. Se determinó con cinta métrica metálica, consistió en medir de la base al ápice del tallo.

Díámetro de tallo. Se realizó con vernier digital (Mitutoyo®, In/mm profesional), el lugar de medición fue a la altura media de la planta.

Número de hojas. Se contaron las hojas totalmente desarrolladas; es decir, que la hoja no presentara ningún folíolo lateral sin extenderse.

Longitud de la hoja más recientemente madura (HMRM). Se midió con cinta métrica. Comúnmente es la cuarta hoja contando a partir de la hoja que se encuentra en desarrollo.

Longitud del ápice de la planta al racimo en floración. La medición se hizo con cinta métrica, se registró la longitud entre el ápice principal de la planta y el racimo en floración.

4.5.4. Análisis del Extracto Celular de Pecíolo (ECP)

Se utilizaron dos medidores de iones, medidor Cardy para K^+ (Figura 4.1) y medidor Cardy Twin de Horiba para NO_3^- (Figura 4.2). Ambos son equipos portátiles, que permiten mediciones de alta precisión.



Figura 4.1. Medidor Cardy para K^+ .



Figura 4.2. Medidor Cardy Twin para NO_3^- .

4.5.5. Procedimiento

Las mediciones se realizaron 45, 85, 130, 150 y 180 DDT.

1. La parte de la planta muestreada fue el pecíolo de la HMRM, las hojas se tomaron a las 10:00 am y fueron colocadas en hielera para evitar la deshidratación del tejido.
2. El ECP se obtuvo (2 a 3 ml) macerando el tejido en mortero de porcelana.
3. Previo a la toma de las lecturas se calibró el equipo de acuerdo al manual. El cardy para K^+ tiene dos soluciones estándar de calibración una de 20×100 ppm (2000 ppm) y 15×10 ppm (150 ppm). El cardy para NO_3^- cuenta con dos puntos de calibración el primero de 2000 ppm de NO_3^- (450 ppm de NO_3^- -N) y el segundo es de 150 ppm de NO_3^- (34 ppm de NO_3^- -N).
4. Se colocó el extracto celular en los sensores, tomando en cuenta la recomendación de cubrir ambos sensores del lector, como se ilustra en las Figura 4.7 y 4.8.



Figura 4.3. Cardy NO_3^- calibrado a 2000 ppm.



Figura 4.4. Cardy NO_3^- calibrado a 2000 ppm.

4.5.6. Tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos:

1. Plantas injertadas dirigidas a un tallo (1 tallos injertada).
2. Plantas sin injertar dirigidas a un tallo (1 tallo sin injertar).
3. Plantas injertadas dirigidas a dos tallos (2 tallos injertadas).
4. Plantas sin injertar dirigidas a dos tallos (2 tallos sin injertar).

4.5.7. Análisis Estadístico

Se empleó el modelo para el diseño experimental de bloques completos al azar. Utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) versión 9.0. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba LSD (Least Significant Difference), con un nivel de significancia de 0.05.

4.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Monitoreo de Crecimiento

Altura. En la primera evaluación (30 ddt), se presentan datos de plantas dirigidas a un tallo, debido al retraso en el crecimiento en plantas dirigidas a dos tallos por efecto del despunte. En plantas dirigidas a un tallo, las injertadas obtuvieron la media mas alta en todas las evaluaciones, no obstante, sólo a los 30 ddt se presentó diferencia significativa. Por lo contrario, en plantas conducidas a dos tallos, las injertadas presentaron significativamente mayor altura, excepto a los 90 ddt, aun cuando la diferencia fue de 7 cm (Cuadro 4.1). Las plantas injertadas conducidas a dos tallos incrementaron la altura en 15, 15, 10 y 3 %, para 45, 60, 75 y 105 ddt, respectivamente. Khah *et al.* (2006) reportaron datos similares, donde se incrementó en 27 % la altura en plantas injertadas, 30 ddt, respecto de plantas no injertadas, usando el portainjerto Primavera en condiciones de invernadero; en campo abierto las pantas injertadas sobre Heman alcanzaron significativamente mayor altura. En la última evaluación, 105 ddt, no se presentan datos de plantas a un tallo, debido al despunte realizado para la obtención de 8 racimos. La mayor altura en plantas injertadas se debe al efecto del portainjerto, el cual confiere a la planta mayor vigor, debido al aumento en absorción de nutrimentos y agua (Turkmen, *et al.*, Smith, 1985; 2010; Oda, 2002). En varios trabajos se reportó mayor altura en plantas injertadas; Leonardi y Giuffrida, 2006 reportaron con Beaufort un incremento de 15.8 %, comparado con plantas sin injertar. Na *et al.* (2012) reportaron un incremento significativo de 39 % en plantas injertadas, con respecto de plantas sin injertar. En contraste, Yilmaz *et al.* (2011) no reportaron diferencia significativa entre plantas injertadas y no injertadas.

Diámetro de tallo. En plantas dirigidas a un tallo, las injertadas superaron a plantas sin injertar a los 30, 75 y 90 ddt, con incrementos de 12, 8 y 18 %, respectivamente (Cuadro 4.1). En plantas dirigidas a dos tallos, las injertadas incrementaron el diámetro a los 45, 75, 90 y 105 ddt, con aumentos de 19.7, 9.5, 23 y 26 %, respectivamente. El efecto del portainjerto sobre la altura es mayor en plantas injertadas conducidas a dos tallos; en promedio las injertadas a dos tallos

incrementaron 20 % e injertadas a un tallo 12.5 %; debido a que el vigor de las plantas sin injertar se reduce con dos tallos. Resultados similares reportaron Na *et al.* (2012), mayor diámetro de tallo en plantas injertadas. Por otro lado, Leonardi y Giuffrida (2006) reportaron menor diámetro utilizando los portainjertos 'PG3' y 'Energy', sólo 'Beaufort' fue estadísticamente igual a plantas auto-injertadas.

Número de hojas. El número de hojas fue mayor en plantas injertadas dirigidas a un tallo a los 30, 45 y 90 ddt, respecto de plantas no injertadas a un tallo. El efecto del portainjerto en plantas a dos tallos se manifestó a partir de 60 ddt hasta 105 ddt, donde las plantas injertadas presentaron mayor número de hojas, respecto de plantas no injertadas (Cuadro 4.1). No se encontraron datos al respecto, pero mayor cantidad de hojas se relaciona con incremento en el área foliar, la cual mejora la intercepción de luz, que repercute en la fotosíntesis y aumenta la cantidad de biomasa acumulada (Heuvelink, 1999; Martínez-Ballesca *et al.*, 2010). De esta manera se encontró que plantas injertadas conducidas a dos tallos obtuvieron mayor número de hojas y biomasa acumulada.

Longitud de la hoja más recientemente madura (LHMRM). Las plantas injertadas conducidas a un tallo presentaron mayor longitud de hoja que las no injertadas a un tallo a los 30, 75 y 90 ddt, aunque el porcentaje de incremento es bajo; 4.5, 11.5 y 3 %, respectivamente, indica mayor crecimiento vegetativo en plantas injertadas, incluso a inicios de etapa de cosecha (90 ddt). De la misma manera las plantas injertadas dirigidas a dos tallos superaron a plantas sin injertar dirigidas a dos tallos a los 45, 60, 75 y 105 ddt, los incrementos fueron: 12, 16, 10 y 6 %, respectivamente. Los datos de esta variable indican la condición de crecimiento que presenta la planta; de tal manera que plantas con hojas de mayor longitud, indica una planta más vigorosa y puede estar en condición vegetativa; lo contrario, puede estar relacionado a una condición generativa (Muñoz, 2009).

Cuadro 4.1. Crecimiento en plantas injertadas y no injertadas de tomate conducidas a uno y dos tallos.

ETAPA	TRATAMIENTO	ALT (cm)	DT (cm)	NH	LHMRM (cm)	LARF (cm)
30 ddt	1 tallo injertada	45.5 a ^z	0.73 a	8.4 a	27.0 a	16.2 a
	1 tallo sin injertar	42.3 b	0.65 b	8.0 b	25.8 b	13.0 b
	2 tallos injertada	-	-	-	-	-
	2 tallos sin injertar	-	-	-	-	-
	CV %	3.9	8.4	4.7	6.7	20.6
	DMS	1.7	0.05	0.39	1.8	3.05
45 ddt	1 tallo injertada	102.2 a	1.04 a	13.6 a	31.6 b	22.6 a
	1 tallo sin injertar	99.7 a	1.00 a	12.8 b	32.0 b	20.5 b
	2 tallos injertada	55.0 b	0.97 a	6.5 c	34.5 a	15.8 b
	2 tallos sin injertar	47.8 c	0.81 b	6.2 c	30.8 b	11.2 c
	CV %	4.3	9.0	5.4	7.6	9.5
	DMS	3.18	0.08	0.51	2.37	1.62
60 ddt	1 tallo injertada	158.4 a	1.15 a	19.4 a	36.1 ab	29.5 a
	1 tallo sin injertar	156.8 a	1.12 a	19.6 a	37.7 a	26.6 a
	2 tallos injertada	122.2b	1.23 a	13.0 b	39.11 a	26.38 a
	2 tallos sin injertar	106.2 c	1.13 a	12.1 c	33.72 b	19.22 b
	CV %	4.48	11.18	4.39	10.50	17.50
	DMS	5.86	0.12	0.67	3.71	4.28
75 ddt	1 tallo injertada	204.3 a	1.03 a	24.5 a	38.4 a	20.8 a
	1 tallo sin injertar	201.1 a	0.95 ab	24.6 a	34.4 bc	14.5 b
	2 tallos injertada	157.6 b	0.91 ab	17.4 b	35.5 ab	14.7 b
	2 tallos sin injertar	142.8 c	0.83 b	16.3 c	32.2 c	13.1 b
	CV %	5.55	15.22	4.12	8.79	30.55
	DMS	9.43	0.13	0.82	2.97	4.65
90 ddt	1 tallo injertada	260.1 a	1.04 a	30.7 a	34.0 a	17.5 a
	1 tallo sin injertar	257.8 a	0.88 ab	29.7 b	32.0 b	13.4 b
	2 tallos injertada	207.0 b	0.95 a	23.0 c	36.2 ab	12.6 b
	2 tallos sin injertar	200.5 b	0.77 b	21.7 d	33.5 b	13.3 b
	CV %	4.97	17.64	3.25	7.97	28.72
	DMS	11.07	0.15	0.82	2.62	3.94
105 ddt	1 tallo injertada	-	-	-	-	-
	1 tallo sin injertar	-	-	-	-	-
	2 tallos injertada	247.8 a	1.02 a	31.05 a	35.00 a	12.27 a
	2 tallos sin injertar	240.5 b	0.81 b	30.33 b	33.05 b	10.83 a
	CV %	3.97	20.7	2.89	7.88	33.54
	DMS	6.59	0.12	0.6	1.82	2.63

^zletras diferentes en la misma columna significa valores con diferencia estadística con $\alpha=0.05$, usando la prueba LSD, CV%: coeficiente de variación. ALT: altura, DT: diámetro de tallo, NH: número de hojas, LHMRM: longitud de la hoja más recientemente madura, LARF: longitud del ápice al racimo en floración.

Las plantas injertadas conducidas a un tallo incrementaron 2.4 cm aproximadamente la longitud de hoja, comparado con plantas no injertadas conducidas a un tallo; a su vez, plantas injertadas dirigidas a dos tallos incrementaron 3.6 cm la longitud, en relación a las plantas no injertadas conducidas a dos tallos.

Longitud del ápice al racimo en floración (LARF). Al igual que la LHMRM, este parámetro proporciona información sobre el vigor de la planta. Es sabido que las plantas injertadas presentan mayor vigor que las no injertadas, por efecto de la mayor absorción de agua y nutrimentos por el portainjerto (Lee, 1994). En este parámetro plantas injertadas a un tallo fueron significativamente mayores a los 30, 45, 75 y 90 ddt, en relación a las plantas de los otros tres tratamientos, lo que representa mayor vigor en plantas injertadas al ser conducidas a un tallo, respecto de plantas no injertadas conducidas a un tallo, incrementaron en promedio 3.8 cm. En plantas conducidas a dos tallos, las injertadas presentaron significativamente mayor longitud en la etapa vegetativa de la planta, 45 y 60 ddt, ya que incrementaron 4.6 y 7.16 cm, respectivamente; en estas mismas, no hubo efecto del portainjerto en las otras evaluaciones de 75, 90 y 105 ddt; lo cual se debe a una disminución del vigor en plantas injertadas al ser conducidas a dos o más tallos, práctica empleada en plantaciones comerciales para evitar el exceso del crecimiento vegetativo de plantas injertadas (Godoy y Castellanos, 2009).

Extracto Celular de Pecíolo

Nitrato. En la primera fase (45 ddt), la concentración fue significativamente mayor en plantas dirigidas a dos tallos, no se presentó efecto del portainjerto en ninguna forma de conducción; esto se puede explicar a través de la mayor biomasa acumulada por las plantas injertadas, por tal, la concentración disminuye, junto con esto el potencial del portainjerto aún es limitado en esta etapa. Lo cual se comprueba en las concentraciones de las siguientes evaluaciones. En el caso de plantas conducidas a un tallo, sobresale la evaluación a los 85 y 130 ddt, inicio y

mediados de la etapa de cosecha, donde plantas injertadas incrementaron 15 y 50 %, respectivamente, en relación a plantas sin injertar a un tallo. No obstante, únicamente se obtuvo diferencia significativa a los 130 ddt (Figura 4.5). El comportamiento en plantas conducidas a dos tallos es similar, ya que plantas injertadas presentaron mayor concentración a los 85, 130 y 150 ddt; aunque la diferencia no es significativa a los 85 ddt por el coeficiente de variación alto; a los 130 y 150 ddt, se incrementó la concentración de nitrato en 46 y 50 %, respectivamente, con respecto de plantas no injertadas a dos tallos (Figura 4.9). Lo que explica el potencial de la raíz del portainjerto, prolongando por más tiempo la eficiencia en la absorción del nitrógeno. Hochmuth (1999) reportó concentraciones óptimas durante el amarre del segundo y quinto racimo de 3555 y 5333 ppm de NO_3^- , respectivamente. Los datos obtenidos en el presente trabajo a los 85 ddt se encontraron dentro del intervalo óptimo, al presentar concentraciones de 4200 ppm en plantas injertadas dirigidas a un tallo y 4666 ppm en injertadas a dos tallos. Contrariamente, plantas sin injertar dirigidas a dos tallos (3300 ppm) presentaron valores por debajo del óptimo; por su parte plantas sin injertar dirigidas a un tallo (3633 ppm), obtuvieron valores ligeramente dentro del rango. Este mismo autor reportó valores óptimos entre 3111 y 4000 ppm de NO_3^- , en etapa de cosecha; comparados con los datos obtenidos a los 130 ddt, las plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos se ubicaron dentro del intervalo óptimo; ambos tratamientos con 3566 ppm de NO_3^- . En el caso de plantas sin injertar conducidas a uno y dos tallos obtuvieron valores por debajo del óptimo con 2366 y 2433 ppm de NO_3^- , respectivamente. En la última evaluación, fin de etapa de cosecha, 180 ddt, no se obtuvo diferencia estadística. Por su parte, Leyva *et al.* (2005) reportaron como valor más alto 2090 ppm de NO_3^- , inferior a los obtenidos. Es necesario considerar que las concentraciones del ECP pueden variar de acuerdo con el tipo de sales utilizadas en la fertilización y a la frecuencia de riego (Di Gioia *et al.*, 2010).

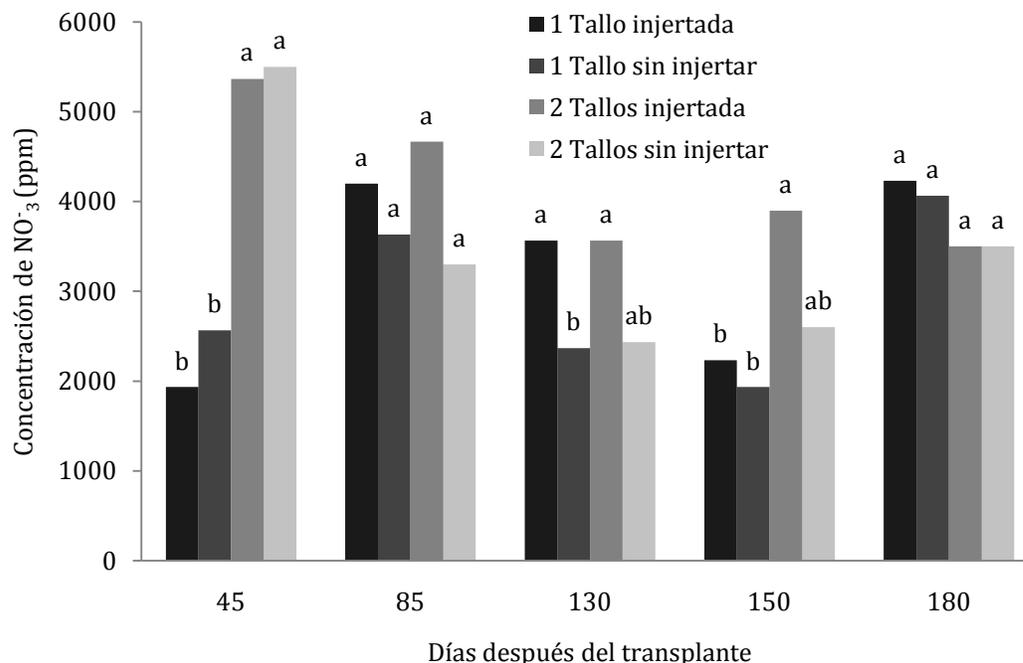


Figura 4.5. Concentración de NO₃⁻ del ECP en plantas injertadas y sin injertar en tomate. ^z: Letras diferentes indica diferencias significativas con $\alpha=0.05$, con prueba LSD.

Potasio. El efecto del portainjerto sobre la concentración de potasio varía de acuerdo a la etapa del cultivo. En plantas dirigidas a un tallo las injertadas obtuvieron significativamente mayor concentración a los 45 ddt, el incremento fue de 28 %. Sin embargo, a los 130 y 150 ddt, plantas injertadas a un tallo fueron superadas por plantas sin injertar a un tallo; lo cual se explica por la mayor biomasa acumulada, por tal reduce la concentración por efecto de la dilución; estos resultados no presentaron relación con el rendimiento, ya que plantas injertadas obtuvieron mayor rendimiento, respecto de plantas sin injertar a un tallo. En estas mismas evaluaciones (130 y 150 ddt), plantas injertadas dirigidas a dos tallos, incrementaron en 13.5 y 7 %, respectivamente, respecto de plantas sin injertar a dos tallos (Figura 4.6). En la última fase, 180 ddt, no se obtuvo diferencia significativa en ninguno de los tratamientos. Hochmuth (1999) reportó valores óptimos entre 4000 y 5000 ppm durante el amarre del segundo y quinto racimo, comparados con los datos obtenidos a los 45 y 85 ddt, todos los tratamientos estuvieron por debajo de dicho intervalo. El mismo autor reportó 3500 a 4000 ppm

en época de cosecha. A los 130 y 150 ddt las plantas injertadas dirigidas a dos tallos fueron únicamente las que presentaron valores dentro del intervalo; las plantas injertadas dirigidas a un tallo presentaron valores inferiores, posiblemente relacionado con el mayor rendimiento, lo cual se incrementa la demanda de este elemento por los frutos.

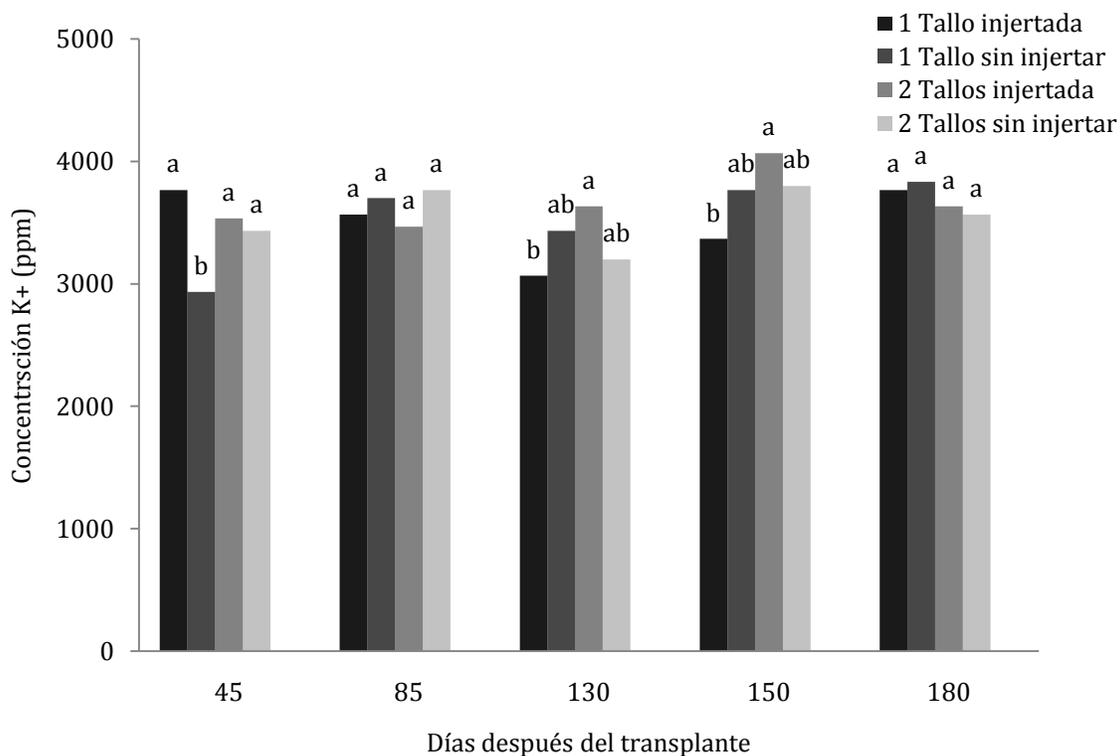


Figura 4.6. Concentración de K del ECP en plantas injertadas y sin injertar en tomate. ^Z Letras diferentes indica diferencias significativas con $\alpha=0.05$, con prueba LSD.

4.7. CONCLUSIONES

La combinación Multifort/El Cid incrementó el crecimiento vegetativo, aunque varía dependiendo la etapa de la planta; así mismo, el efecto fue mayor cuando las plantas se condujeron a dos tallos. Esto confirma mayor crecimiento vegetativo en plantas injertadas; lo cual indica que se requiere de manejo de poda para reducir dicho crecimiento y evitar problemas fitosanitarios y reducción del rendimiento.

En el ECP el mayor efecto se obtuvo sobre la concentración de NO_3^- , principalmente al inicio y mediados de la época de cosecha (85 y 130 ddt); a los 130 ddt el incremento fue de 32 y 48 % en plantas injertadas a uno y dos tallos, respectivamente, en relación a plantas no injertadas dirigidas a uno y dos tallos. No hubo una tendencia clara del efecto del portainjerto sobre la concentración de K^+ .

4.8. LITERATURA CITADA

Barrett C E, X Zhao (2012) Grafting for root-knot nematode control and yield improvement in organic heirloom tomato production. *HortScience* 47(5): 614-620.

Bausher M G (2011) Grafting technique to eliminate rootstock suckering of grafted tomatoes. *Hortscience* 46(4): 596-598.

Chia Po-Lung, Kubota C (2010) End-of-day far-red light quality and dose requirements for tomato rootstock hypocotyl elongation. *Hortscience* 45(10): 1501–1506

Di Gioia F, E H Simonne, M Gonnella, P Santamaría, A Gazula, Z Sheppard (2010) Assessment of ionic interferences to nitrate and potassium analyses with Ion-selective electrodes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41:1750–1768.

Fernández R E J, F F Camacho, S M Ricárdez (2004) El cultivo del tomate. *In: Tomates, Producción y Comercio. Compendio de Horticultura 15. A Namesny (ed). Ediciones de Horticultura, S.L. Barcelona, España. 253 p.*

Godoy H H, J Z Castellanos (2009) El injerto en tomate. *In: Manual de producción de tomate en invernadero. J Z Castellanos (ed). Intagri. Guanajuato, México. 458 p.*

Guan W, X Zhao (2012) Defense mechanisms involved in disease resistance of grafted vegetables. *Hortscience* 47(2):164–170.

Hartz T K, R F Smith, K F Schulbach, M LeStrange (1994) On-farm nitrogen tests improve fertilizer efficiency, protect groundwater. *Calif. Agr.* 48(4): 29–32.

Heuvelink E (1999) Evaluation of a dynamic simulation model tomato crop grow and development. *Annals of Botany* 83: 413-422.

Hirata Y (1980) Graft-induced changes in skin and flesh color in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) J. Japan Soc. Hort. Sci. 49(2): 211-216.

Hochmuth G J (1994) efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetables petiole sap quick test. HortTechnology 4(3): 218-222.

Hochmuth G J (1999) Plant petiole sap-testing for vegetables crops. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. Circular 1144. p.1-6.

Hochmuth R C, E H Simonne, L L L Davis, W L Laughlin (2007) Plant part selection and preliminary sufficiency ranges for sap testing interpretation of greenhouse herbs. Hort. Sci. Department, University of Florida. 4 p.

Jones Jr J B (1999) Tomato Plant Culture, in the Field, Greenhouse and Home Garden. CRC Press. Florida, USA. 199 p.

Khah E M, E Kakava, A Mavromatis, D Chachalis, C Goulas (2006) Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. J. of Appl. Horticulture 8(1): 3-7.

Kubota A, T L Thompson, T A Doerge, R E Godin (1996) A Petiole Sap Nitrate Test forCauliflower. Hortscience 31(6):934–937.

Kudo H, T Harada (2007) A Graft-transmissible RNA from tomato rootstock changes leaf morphology of potato scion. Hortscience 42(2): 225-226.

King S R, A R Davis, W Liu, A Levi (2008) Grafting for disease resistance. HortScience 43:1673–1676.

Lee J (1994) Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. HortScience. 29(4): 235-239.

Lee J M, M Oda (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *In*: Horticultural Reviews. John Wiley & Sons. Vol. 28. USA, New York. 478 p.

Leonardi C, F Giuffrida (2006) Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplant on three different rootstocks. *Europ.J.Hort.sci.* 71 (3).S.97-101.

Leyva R G, G P Sánchez, G G Alcántar, U G Valenzuela, R F Gavi, G A Martínez (2005) Contenido nitratos en extracto celular de pecíolo y frutos de tomate. *Fitotecnia Mexicana*, 28(002): 145-150.

Louws FJ, C L Rivard, C Kubota (2010) Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Sci. Hort.* 127:127–146.

Marschner H (1986) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press INC. San Diego, USA. 674 p.

Martínez-Ballesta C A, C López-Alcazar, B Muries, C Mota-Cadenas, M Carvajal (2010) Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Sci. Hort.* 127: 112-118.

Miller R O (1998) Extractable nitrate in plant tissue: ion-selective electrode method. *In: Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Soil and Plant Analysis.* Y P Kalra (ed). Council Inc. CRC Press, Boca Raton, USA. 285 p.

Muñoz R J J (2009) Manejo del cultivo de tomate en invernadero. *In: Manual de producción de tomate en invernadero.* J Z Castellanos (ed). Intagri. Guanajuato, México. 458 p.

Na L, B Z Li, H Jing, L Bo, Z W Min (2012) Biological characteristics of grafted eggplant on tomato rootstocks. *Afr. J. Agric. Res.*, 7(18): 2791-2799.

Nuez F V (2001) *El cultivo del tomate*. Edit. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 793 p.

Oda M (2002) Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. & Biol. Sci. Osaka Pref. Univ.* 54:49–72.

Oda M, M Islam, H Ikeda, H Furukawa (2003) Initiation and development of flower Trusses affected by acclimatizing temperature in grafted tomato plugs. *Environ. Control in Biol.* 41(2): 133-139.

Oda M, M Nagata, K Tsuji, H Sasaki (1996) Effects of scarlet eggplant rootstock on grown, yield and sugar content of grafted tomatoes fruits. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 65(3): 531-536.

Rodríguez R R, R J Tabares, S J Medina (1997) *Cultivo Moderno del Tomate.* Mundi-Prensa. 255 p.

Smith E F (1985) The Symbiosis of stock and graft. *The American Naturalist*, 29: 615-621.

Thompson T L, A Kubota, T A Doerge, R E Godin, T W McCreary (1996) Petiole Sap Nitrate Tests for Determining Nitrogen Status of Broccoli and Cauliflower. College of Agriculture, University of Arizona. *Vegetable Report* p.217-225.

Turkmen O, M Seymen, A Dursun (2010) Effects of Different Rootstocks and Cultivars on Yield and Some Yield Components of Grafted Tomato. *Bulletin UASVM Horticulture* 67(1): 284-291.

Vargas T P, J L Ojodeagua, Z J Arévalo, J Z Castellanos (2009) El uso de medidores de iones, pH y CE. *In: Manual de producción de tomate en invernadero.* J Z Castellanos (ed). Intagri. Guanajuato, México. 458 p.

Yaguishita N, Y Hirata (1987) Graft-induced change in fruit shape in *Capsicum annuum* L. I. genetic analysis by crossing. *Euphytica* 36: 809-814.

Yilmaz S, I Celik, S Zengin (2011) Combining effects of soil solarization and grafting on plant yield and soil-borne pathogens in cucumber. *Inter. J. of Plant. Produc.* 5(1): 95-104.

Zhang H, D Smeal, R N Arnold, E J Gregory (1996) Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level. *J. of Plant Nutrition*, 19(10 y 11): 1405-1412.

5. CALIDAD DE FRUTO EN PLANTAS INJERTADAS DE TOMATE

5.1. INTRODUCCIÓN

La técnica de injerto es una alternativa importante en la producción de tomate, reduce el riesgo de infección de enfermedades y nemátodos en la raíz, así como tolerancia a temperaturas altas y bajas, y al estrés por salinidad (Lee y Oda, 2003). El tomate es la hortaliza que más se injerta a nivel mundial, le siguen melón, sandía, berenjena y pimiento (Pogonyi *et al.*, 2005). Sin embargo, el uso de portainjertos vigorosos además de influir sobre el rendimiento, puede afectar positiva o negativamente la calidad del fruto de la variedad injertada. Por ejemplo se sabe que se reduce la parte comestible del fruto de melón y sandía, además puede provocar cambios en la forma del fruto al injertar las plantas sobre *Cucurbita* spp. (Oda, 2002); también se han reportado cambios en la forma del fruto en injertos de *Capsicum annuum* (Yagishita y Hirata, 1987).

La calidad del fruto de tomate es un aspecto importante que se procura en la agricultura protegida y depende de diversos factores como ambientales, genéticos, manejo del cultivo, sistema de producción, nutrición, entre los más importantes (Davies *et al.*, 1981; Dorais *et al.*, 2001). La calidad para consumo en fresco está determinado por la apariencia; es decir, el color, tamaño, forma, libre de desordenes fisiológicos y frescura; también la firmeza, textura, materia seca, propiedades organolépticas (sabor) y nutraceuticas (Dorais *et al.*, 2001). La calidad del fruto de tomate injertado se reduce mínimamente comparado con frutos de plantas sin injertar; sin embargo, depende del portainjerto (Oda, 2002). En injertos con *solanum integrifolium* como portainjerto se reportó incremento del contenido de azúcares (Oda *et al.*, 1996). Dentro de las características afectadas se encuentran: forma del fruto, color y textura del pericarpio, concentración de sólidos solubles, acidez titulable, pH, licopeno, tamaño y peso promedio de fruto (Turhan *et al.*, 2011; Flores *et al.*, 2010; Khah, *et al.*, 2006; Pogonyi *et al.*, 2005).

Los portainjertos del tipo KNVF y otros híbridos interespecíficos son vigorosos y provocan excesivo crecimiento vegetativo, este exceso resulta en reducción de la calidad como: malformaciones en el fruto, llenado deficiente del mismo y maduración desuniforme. El manejo del vigor de la planta, el suministro de agua y nutrimentos son aspectos que pueden contrarrestar el efecto del portainjerto sobre la calidad; sin embargo, la selección previa de la combinación portainjerto/injerto es la mejor solución al problema (Yamakawa, 1982). El efecto puede comenzar desde la etapa de floración, ya que la aparición del primer racimo floral suele ser a mayor altura comparado con las plantas convencionales, que da como resultado menor precocidad de la cosecha. El periodo postinjerto, que se caracteriza por las condiciones de baja luminosidad, alta humedad relativa y temperatura, afectan la iniciación y desarrollo de la primera inflorescencia (Oda *et al.*, 2003). Por lo mencionado anteriormente, es importante el estudio de las combinaciones portainjerto/injerto, para determinar los efectos sobre la calidad del producto.

5.2. OBJETIVO

Identificar el efecto del portainjerto sobre la calidad de fruto de jitomate injertado, con plantas conducidas a uno y dos tallos; mediante medición de firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable, pH y clasificación por calibres; además de analizar la pérdida de peso en frutos cosechados en estado de madurez comercial.

5.3. HIPÓTESIS

El uso de portainjertos aumenta la absorción de agua y nutrimentos, esto puede provocar cambios en el fruto de la variedad injertada; por lo que se prevé que los frutos de plantas injertadas sean afectados en algunos de los parámetros de calidad y aumente el tamaño de los mismo.

5.4. REVISIÓN DE LITERATURA

5.4.1. Calidad

El concepto de calidad es diferente en relación al campo de interés, por ejemplo los fitomejoradores definen calidad en referencia a características físicas, rendimiento y resistencia a enfermedades; desde el punto de vista humano se relaciona con características químicas del producto, tales como vitaminas, proteínas, carbohidratos y elementos minerales; por lo tanto se busca mejorar todos estos factores para su aceptación (Watada, 1980). La palabra “calidad” proviene del latín “qualitas”, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Hoy en día es un término muy frecuente en el mercado de los alimentos, con el significado de grado de excelencia. Se puede decir que un producto es de mejor calidad cuando es superior en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente (Kader *et al.*, 1986; FAO, 2012). Estos atributos relacionados a la calidad del tomate son el color, textura, tamaño de fruto, sabor, firmeza, sanidad, contenido nutricional y de licopeno (Kader, 1986; Jones, 1999); pero también puede estar en función del mercado, en cada región varía las preferencias por el color y tamaño del fruto; por ejemplo, en Japón y Canadá se comercializan los de color rosado, incluso se han obtenido cultivares con frutos de este color (Dorais *et al.*, 2001). Las características nutricionales del tomate son de gran interés para el consumidor, al que se relaciona con cuidados a la salud; en 100 g de fruto maduro predominan los carbohidratos (4.3 g), proteínas (0.9 g) y fibra (0.8 g), considerando que el 94 % del fruto es agua (Jones, 1999).

5.4.2. Forma y Tamaño de Fruto

Estas características son determinadas principalmente por la variedad, pueden variar dependiendo de las condiciones ambientales y del manejo cultural. El tamaño es acorde al mercado de venta, existen desde extra pequeños (48-54 mm) hasta extra grandes (73-88 mm). El número de frutos por planta, tamaño del

racimo, posición del racimo en la planta, posición del fruto en el racimo, cantidad de semillas, densidad de plantas, así como la temperatura e intensidad luminosa determinan la forma, tamaño y acumulación de biomasa del fruto. Baja luminosidad y regímenes de temperatura inapropiados puede reducir en 45 % la calidad de fruto (Dorais *et al.*, 2001; Jones, 1999).

5.4.3. Color

El color es un factor que impacta fuertemente al consumidor, asociado a la calidad organoléptica; es importante un color y tono uniforme en todo el fruto. Los colores más comunes en tomate son rojo, naranja, rosa y amarillo. El color depende de la concentración de carotenoides contenidos en pequeños glóbulos suspendidos en la pulpa del fruto; durante la maduración la concentración se incrementa 12 veces y 460 veces el contenido de licopeno; esto depende del cultivar y las condiciones de crecimiento; por ejemplo, la concentración de carotenoides en invierno es más baja que en verano. Así como los factores ambientales, las prácticas culturales y condiciones postcosecha afectan el color del fruto (Dorais *et al.*, 2001; Kader, 1986). Para la comercialización la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-031-1997-SCFI los clasifica como: verdes (significa que la piel del tomate está completamente verde, puede variar de verde claro a oscuro), quebrado o verde-rosa (significa que hay una interrupción distinta en el color de verde hasta amarillo, rosado o rojo en no más del 10 % de la piel), rayado (significa que entre 10 y 30 % de la superficie del tomate muestra un cambio definido del color verde hasta amarillo, rosado o rojo, o una mezcla de éstos), rosa (significa que entre 30 y 60 % de la superficie del tomate, muestra un color rosado o rojo). Rojo claro (significa que entre 60 y el 90 % de la superficie tiene color rosado/rojo o rojo) y rojo (significa que más de 90 % de la superficie del tomate muestra color rojo).

5.4.3. Firmeza

Es un factor importante tanto en cultivares para la industria como para comercialización en fresco, sobre todo cuando el mercado está a grandes distancias. La firmeza esta asociada al grado de maduración del fruto y la habilidad de transporte, es controlada en conjunto por el tejido de la pared celular, la elasticidad del tejido del pericarpio y la actividad enzimática durante el proceso de maduración. En estas últimas se incluyen poligalacturonasas, pectinasas, pectinmetilesterasas y carboximetilcelulasas. La progresiva pérdida de dureza es resultado de la solubilización gradual de la protopectina de las paredes celulares para formar pectinas y otros productos, la enzima más relacionada es la poligalacturonasa, la cual se activa y se expresa el gen *PG* uno o dos días antes de la producción autocatalítica de etileno que desencadena la maduración (Chamarro, 2001). Los compuestos pécticos insolubles de la lámina media actúan como cemento intercelular y son en gran medida, responsables de la firmeza y plasticidad de los frutos jóvenes (Chamarro, 2001). La firmeza del pericarpio es un rasgo cuantitativo, controlado por genes del núcleo. El Ca es un elemento asociado a la firmeza del fruto. Muchas de las investigaciones están encaminadas en prolongar la firmeza después de la cosecha (Dorais *et al.*, 2001; Saltveit, 2005).

5.4.4. Sólidos Solubles Totales (SST) y Acidez Titulable (AT)

Los sólidos solubles totales y acidez titulable son componentes importantes en el sabor del fruto. Alto contenido de azúcares y ácidos proporciona un sabor excelente. Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles en variedades comerciales, valores entre 1.5 y 4.5 % del peso fresco equivale aproximadamente 65 % de los SST. Los azúcares más abundantes son glucosa y fructosa, presentan entre 7 y 4.5 %, respectivamente; la sacarosa que es la principal forma de transporte de fotoasimilados de las hojas representa 0.1 % del peso fresco. El contenido de azúcares aumenta cuando el fruto alcanza un color

amarillento y se incrementa con la maduración, de tal manera que la recolección prematura de frutos afecta negativamente el contenido en azúcares, así como el exceso de fertilización nitrogenada y eliminación de hojas (Saltveit, 2005; Jones, 1999.).

5.4.5. Ácidos Orgánicos

Son importantes en el sabor del fruto, el ácido predominante en frutos maduros es el cítrico, seguido del málico, otros minoritarios son el fórmico, acético y transaconítico. La acidez se concentra en la cavidad locular y es bajo en el mesocarpo interno, es máxima durante la maduración y coincide con la aparición del color rosado; la acidez y la relación entre málico y cítrico dependen de la variedad. El potasio juega un papel importante en la acidez, ya que el jugo de tomate se comporta como un tampón constituido por ácidos débiles y bases fuerte (fundamentalmente potasio). La fertilización nitrogenada, sobretodo en forma de nitrato, aumenta la acidez (Chamarro, 2001).

Hay una gran variación del pH y acidez titulable entre los genotipos de tomate. Un tomate maduro es ácido y sus valores de pH oscilan de 4.1 a 4.8. Durante el almacenamiento y manipulación se debe mantener el pH de la fruta madura (color rojo) por debajo de 4.7 para evitar el crecimiento de microorganismos como *Clostridium botulínica*. El almacenamiento a temperaturas elevadas facilita el metabolismo de los ácidos orgánicos, con aumento del pH. El ataque de hongos por ejemplo, *Fusarium solani*, también aumentan el pH del tejido infectado y adyacentes (Saltveit, 2005).

5.4.6. Concentración Mineral

El contenido mineral del fruto es aproximadamente 8 % de la materia seca, los más abundantes son K, Ca, Mg y P. El K es el elemento en mayor cantidad y con influencia sobre la calidad del fruto, junto con nitratos y fosfatos, constituyen 93 %

de las sustancias minerales del tomate. El calcio debe estar por encima de 0.12 % para evitar la pudrición apical, 70 % de este elemento es retenido en las hojas, los frutos contienen solamente 5 %; a diferencia del K, una vez asimilado por las hojas, su translocación al fruto es muy escasa (Chamarro, 2001).

5.4.7. Licopeno

El licopeno es conocido por su propiedad antioxidante, puede prevenir varios tipos de cáncer en el ser humano; el fruto de tomate es el de mayor contenido de licopeno, aunque la sandía y las uvas son importantes fuentes; le proporcionan al fruto el color rojo característico. Los mejoradores de tomate buscan obtener variedades con mayor contenido de licopeno para consumo en fresco y también para la extracción y preparación de suplementos. La síntesis de este compuesto se inhibe cuando la temperatura es menor de 10 °C y por arriba de 29.4 °C (Jones, 1999; Saltveit, 2005).

5.4.8. Calidad de Fruto en Plantas Injertadas

Las plantas injertadas aumentan el tamaño y rendimiento de fruto de la variedad injertada, pero el portainjerto puede afectar drásticamente la calidad. Existen reportes donde la calidad se mejora en plantas injertadas y otros donde se reduce; atribuido a los diferentes ambientes en los que se lleva a cabo las investigaciones, la combinación portainjerto/injerto utilizada y época de cosecha (Davis *et al.*, 2008). En melón se ha reportado disminución en la cantidad de sólidos solubles, firmeza, sabor, pulpa fibrosa y color desuniforme (Lee y Oda, 2003; Yamasaki *et al.*, 1994). Sin embargo, en otros trabajos se reportó lo contrario, se incrementó °Brix, firmeza y licopeno (Davis y Perkins-Veazie, 2005). De la misma manera en tomate, se han reportado efectos positivos y negativos en °Brix, firmeza, licopeno y acidez titulable (Pogonyi *et al.*, 2005; Flores *et al.*, 2010).

5.5. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de frutos se realizó en el laboratorio de anatomía de frutales del Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. La producción se realizó en invernadero tipo túnel con ventila cenital y en sistema hidropónico en el campo Experimental de la misma universidad.

5.5.1. Material Vegetal

Se utilizó como portainjerto el híbrido interespecífico Multifort, conocido por su sistema radical vigoroso y abundante, además tiene resistencia a *Fusarium oxysporum* raza 3. El material utilizado como injerto fue el híbrido El Cid, cultivar de fruto tipo saladette de crecimiento indeterminado.

5.5.1. Muestreos

Se tomaron 5 frutos en cada repetición, se realizaron seis muestreos en total, cada uno correspondió a evaluar los frutos por racimo; es decir, la evaluación se realizó hasta los primeros seis racimos. Los frutos se seleccionaron por tamaño y color, de manera visual; considerado el mismo tamaño para todos los tratamientos y grado seis de maduración, “rojo”, donde 90% del fruto estuviera de este color (Figura 5.1). El primer muestreo para las plantas dirigidas a un tallo se realizó a los 90 días después del transplante (ddt), en plantas dirigidas a dos tallos a los 100 ddt.



Figura 5.1. Frutos seleccionados para medición de calidad.

5.5.2. Variables

Firmeza. Se midió con penetrómetro marca QA-supplies® (modelo DT 101), el dato fue tomado en la parte media dorsal del fruto utilizando el puntal o vástago de 2.9 mm, el dato se obtuvo en libras y posteriormente transformado en $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$.

Sólidos solubles totales (SST). Se midió con refractómetro tipo Pocket marca Atago® (modelo Pal-1). El fruto se partió a la mitad del cual se extrajo el jugo y se colocó sobre el sensor de lectura del equipo, las unidades fueron obtenidas en °Brix.

Acidez titulable y pH. Se tomaron 10 g de cada fruto, se colocaron en frascos de vidrio para agregar 50 ml de agua destilada, posteriormente se molió en licuadora, la solución obtenida fue colocada en probetas de 100 ml para medir el volumen, tomado el dato se filtró la solución en un colador de malla fina; Se midió el pH con el conductímetro marca conductronic PC45, para continuar con el proceso de acidez titulable se extrajeron 10 ml por cada repetición y se agregaron dos gotas de fenolftaleína a cada frasco, el reactivo utilizado en la titulación fue hidróxido de sodio 0.1 N (NaOH), para esto se utilizó una bureta de 25 ml y el soporte con pinzas para las mismas. El volumen de hidróxido de sodio gastado se midió al momento del cambio de coloración en la solución. El porcentaje de acidez titulable se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de ácido} = \frac{\text{ml gastados de NaOH} \times \text{N} \times \text{Meq ácido} \times \text{V} \times 100}{\text{peso de la muestra} \times \text{alícuota}}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH.

Meq. Ácido = Miliequivalente del ácido en mayor proporción (ácido cítrico).

V = Volumen total después de moler en la licuadora.

Calibre de fruto. Se tomaron datos de peso por fruto con balanza electrónica marca Ohaus® (modelo scout-pro). Se midió el diámetro ecuatorial por fruto con vernier digital (Mitutoyo®, In/mm profesional). Se clasificó de acuerdo al criterio de la empresa comercializadora del híbrido El Cid, utilizado como injerto. Rezaga (< 89 g), Mediano (90 a 119 g), grande (120 a 139 g), extra grande (140 a 159 g) y jumbo (mayor a 160 g).

Pérdida de peso. Se seleccionaron 10 frutos de manera aleatoria, se enumeraron del 1 al 10 y se tomó el peso inicial; se colocaron en bandejas de plástico tipo rejilla para permitir la aireación y se ubicaron dentro del laboratorio a temperatura ambiente (Figura 5.2). Posteriormente se tomó el peso cada 48 horas con balanza electrónica marca Ohaus® (modelo scout-pro). Junto con ello se registraron los datos de temperatura mínima, máxima y media (Cuadro 5.2).



Figura 5.2. Frutos en bandejas para evaluación de pérdida de peso.

Cuadro 5.1. Temperaturas mínimas, máximas y media para pérdida de peso fruto.

Día	°T mín.	°T máx.	°T media
1	9	24	16.5
2	9	23	16
3	9	23	16
4	8	24	16
5	8	24	16
6	8	24	16
7	8	25	16.5
8	9	25	17
9	9	24	16.5
10	8	24	16
11	8	24	16
12	9	24	16.5
Promedio	8.5	24	16

5.5.4. Tratamientos

Se evaluaron cuatro tratamientos:

1. Plantas injertadas dirigidas a un tallo.
2. Plantas sin injertar dirigidas a un tallo.
3. Plantas injertadas dirigidas a dos tallos.
4. Plantas sin injertar dirigidas a dos tallos.

5.5.5. Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados con el programa Statistical Analysis Systems versión 9.0 (SAS), de acuerdo con el diseño de bloques completos al azar. Se hizo el análisis de varianza (ANOVA) para cada variable, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de LSD (Least Significant Difference), con nivel de significancia de 0.05.

5.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Firmeza. No se presentó comportamiento uniforme en los datos de firmeza en los seis racimos; plantas injertadas dirigidas a un tallo presentaron significativamente menor firmeza en el tercero y quinto racimo, con reducción de 12 y 11.5 %, respectivamente (Cuadro 5.3). En general se observó que la firmeza de fruto en plantas injertadas dirigidas a un tallo a partir del segundo racimo disminuyó, en relación a plantas no injertadas dirigidas a un tallo. El mismo comportamiento se observó en plantas injertadas conducidas a dos tallos, sin bien en ningún racimo se presentó diferencia significativa, fueron superadas por plantas sin injertar dirigidas a dos tallos. Al respecto, Khah *et al.* (2006), no reportaron diferencia significativa en firmeza entre frutos de plantas injertadas y no injertadas, utilizando dos portainjertos (Heman y Primavera) y como injerto Big Red. El efecto del portainjerto en la firmeza, como en la mayoría de los parámetros de calidad, depende de la combinación de los materiales vegetales (Flores *et al.*, 2010), en la combinación de este trabajo el efecto fue mínimo. Entre plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos se presentó diferencia significativa en el racimo uno, dos y seis, siendo mayor la firmeza en plantas con dos tallos, lo que puede indicar que se mejoró la firmeza en plantas injertadas al ser conducidas a dos tallos.

Sólidos solubles totales (SST). Nuevamente, el comportamiento no es consistente en los seis racimos. Plantas no injertadas dirigidas a un tallo presentaron significativamente mayor cantidad de SST, que plantas injertadas dirigidas a un tallo en los racimos cuatro y cinco, con 8 y 6 % de disminución, respectivamente (Cuadro 5.3). Este resultado se relaciona con el incremento en el rendimiento, ya que existe correlación negativa entre el rendimiento y calidad de fruto, específicamente se reducen los SST a medida que aumenta el rendimiento (Coliman *et al.*, 2008). Entre plantas conducidas a dos tallos, únicamente en el primer racimo las plantas sin injertar obtuvieron mayor contenido de SST (5.5 °Brix), respecto a plantas injertadas; éste es el primer indicador de que plantas injertadas dirigidas a dos tallos mejoran la cantidad de los SST comparadas con

plantas injertadas a un tallo. Se comprueba que las plantas injertadas dirigidas a dos tallos fueron significativamente mayor en los primeros cuatro racimos (14, 11, 7 y 9 %, respectivamente), respecto de plantas injertadas a un tallo (Cuadro 5.3); de tal manera que si el uso de plantas injertadas implica la disminución de los SST, la técnica de conducir las plantas a dos tallos mejora este parámetro. El uso de portainjertos puede tener efectos positivos como negativos en la acumulación de SST. Pogonyi *et al.*, (2005) y Turhan *et al.*, (2011) reportaron incremento de los SST en plantas no injertadas, respecto de plantas injertadas. Oda *et al.* (1996) reportaron mayor acumulación de SST en plantas injertadas de tomate sobre el portainjerto Escarlata de berenjena. En contraste, Khah *et al.* (2006), Roupheal *et al.* (2008) y Turkmen *et al.* (2010) no reportaron diferencia estadística entre plantas injertadas y no injertadas. En el cultivo de melón, San Bautista *et al.* (2011) reportaron menor contenido de SST en plantas no injertadas, respecto a plantas injertadas con el método de injerto simple y doble. Contrariamente, Alexopoulos *et al.* (2007) reportan en sandía, que plantas no injertadas obtuvieron mayor cantidad de SST.

pH. Es un parámetro poco afectado por la técnica de injerto; en plantas conducidas a un tallo, únicamente en el racimo cinco las plantas sin injertar presentaron estadísticamente mayor pH que plantas injertadas. En relación a plantas dirigidas a dos tallos, las no injertadas presentaron estadísticamente mayor pH en los primeros dos racimos, respecto a las plantas injertadas; efecto poco consistente, ya que en el tercer racimo plantas injertadas obtuvieron significativamente mayor pH (Cuadro 5.3). Los resultados coinciden con los reportados por Khah *et al.* (2006), Turhan *et al.* (2011), Turkmen *et al.* (2010) y Gebologlu *et al.* (2011) quienes no reportaron diferencia significativa entre plantas injertadas y no injertadas.

Cuadro 5.2. Variables de calidad de fruto en plantas injertadas y no injertadas de tomate conducidas a uno y dos tallos, en los primeros seis racimos.

	RACIMO 1				RACIMO 4			
	F (Kg/cm ²)	SST (°Brix)	pH	AT (%)	F (Kg/cm ²)	SST (°Brix)	pH	AT (%)
1 tallo injertada	1.02 b	4.58 c	3.44 c	0.34 b	1.24 ab	4.78 b	3.78 a	0.29 c
1 tallo sin injertar	1.02 b	4.64 c	3.42 c	0.35 b	1.34 a	5.21 a	3.77 a	0.32 b
2 tallos injertada	1.21 a	5.24 b	3.54 b	0.36 b	1.17 b	5.22 a	3.65 b	0.36 a
2 tallos sin injertar	1.26 a	5.55 a	3.66 a	0.38 a	1.19 b	5.32 a	3.68 b	0.34 ab
CV %	13.9	5.9	2.2	8.8	11.99	8.84	2.09	10.23
DMS	0.11	0.21	0.05	0.02	0.1	0.33	0.05	0.02
	RACIMO 2				RACIMO 5			
	F (Kg/cm ²)	SST (°Brix)	pH	AT (%)	F (Kg/cm ²)	SST (°Brix)	pH	AT (%)
1 tallo injertada	1.05 b	4.51 b	3.62 bc	0.33 bc	1.08 b	4.86 b	3.68 b	0.26 c
1 tallo sin injertar	1.10 b	4.70 b	3.52 c	0.32 c	1.21 a	5.17 a	3.38 c	0.32 b
2 tallos injertada	1.28 a	5.03 a	3.65 b	0.37 a	1.19 ab	5.14 ab	3.77 a	0.37 a
2 tallos sin injertar	1.31 a	5.19 a	3.82 a	0.36 ab	1.22 a	5.07 ab	3.84 a	0.35 a
CV %	11.39	8.55	4.6	11.35	13.76	7.94	2.86	7.81
DMS	0.09	0.3	0.12	0.02	0.11	0.29	0.07	0.02
	RACIMO 3				RACIMO 6			
	F (Kg/cm ²)	SST (°Brix)	pH	AT (%)	F (Kg/cm ²)	SST (°Brix)	pH	AT (%)
1 tallo injertada	1.06 b	4.90 b	3.41 c	0.33 ab	1.07 b	4.70 a	3.70 a	0.30 b
1 tallo sin injertar	1.20 a	4.94 b	3.45 c	0.31 b	1.13 b	4.98 a	3.75 a	0.33 a
2 tallos injertada	1.06 b	5.24 a	3.65 a	0.35 a	1.29 a	4.86 a	3.54 b	0.34 a
2 tallos sin injertar	1.15 ab	5.16 ab	3.53 b	0.31 b	1.39 a	5.02 a	3.49 b	0.33 a
CV %	12.31	7.22	2.14	9.22	15.21	10.82	2.74	11.36
DMS	0.1	0.26	0.05	0.02	0.13	0.38	0.07	0.02

^Z Letras diferentes en la misma columna significa valores con diferencia estadística con $\alpha=0.05$, usando la prueba LSD, CV%: coeficiente de variación. F: firmeza, SST: sólidos solubles totales, AT: acidez titulable.

Acidez Titulable (% AT): La AT junto con los SST son los componentes más importantes del sabor de fruto (Saltveit, 2005). Los datos indicaron que la AT en plantas injertadas dirigidas a un tallo fue menor, respecto de plantas no injertadas dirigidas a un tallo del racimo cuatro al seis, pero en los tres primeros racimos no hubo diferencia estadística (Cuadro 5.3). En plantas dirigidas a dos tallos, no existe clara diferencia entre injertadas y no injertadas, ya que en el primer racimo las plantas sin injertar superaron a las plantas injertadas; sin embargo, en los racimos dos, tres y cuatro, las plantas injertadas superaron a las no injertadas. Los resultados coinciden con los trabajos de Pogonyi *et al.*, (2005), Khah *et al.*, (2006), Martorana *et al.*, (2007) y Gebologlu *et al.*, (2011) quienes no reportaron diferencia significativa entre plantas injertadas y no injertadas. En contraste, Turhan *et al.* (2011) reportó mayor AT en plantas injertadas comparado con no injertadas. Sin embargo, en el presente trabajo plantas injertadas dirigidas a dos tallos obtuvieron significativamente mayor AT en los racimos dos, cuatro, cinco y seis, respecto de plantas injertadas dirigidas a un tallo. Con este manejo de conducción a dos tallos, las plantas injertadas pueden superar a plantas sin injertar dirigidas a un tallo, en los racimos dos, tres, cuatro y cinco (Cuadro 5.3).

Número de frutos y calibre. El portainjerto no presentó efecto en el número de frutos en plantas dirigidas a un tallo. Sin embargo, en plantas conducidas a dos tallos, las injertadas obtuvieron más frutos que las no injertadas (Figura 5.3); las condiciones ambientales en la fase postinjertación pueden aumentar el número de flores en los primeros racimos (Oda *et al.*, 2003). Al respecto, Kacjan y Osvald (2004) reportaron con la combinación Beaufort/Moroe incremento en 38 % el número de frutos, en relación a plantas no injertadas. El mayor número de frutos por planta en las dirigidas a dos tallos afectó el peso y diámetro promedio del fruto, ya que estas fueron significativamente menores en estos dos componentes, respecto de plantas dirigidas a un tallo (Figura 5.4 y 5.5). De manera similar, Turkmen *et al.* (2010) reportaron menor peso y diámetro de fruto en plantas injertadas al aumentar el número de frutos por planta. Las plantas injertadas dirigidas a un tallo mejoraron el peso y diámetro de fruto, en relación a plantas sin

injertar dirigidas a un tallo se incrementó significativamente en 9 % el peso y sólo 4 % el diámetro (Figura 5.4 y 5.5).

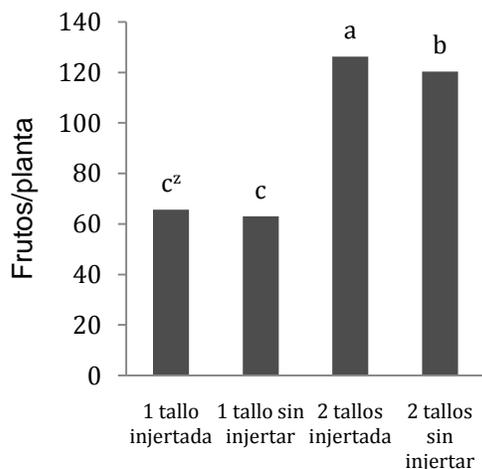


Figura 5.3. Total de frutos en plantas injertadas y no injertadas de tomate. ^z: Letras diferentes indica diferencias significativas $\alpha=0.05$, con prueba LSD.

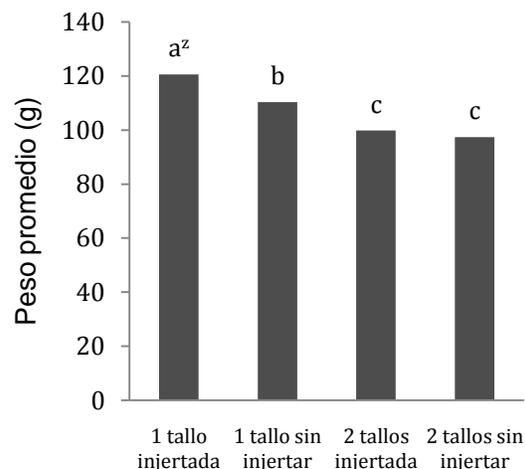


Figura 5.4. Peso promedio de fruto en plantas injertadas y no injertadas de tomate. ^z: Letras diferentes indica diferencias significativas $\alpha=0.05$, con prueba LSD.

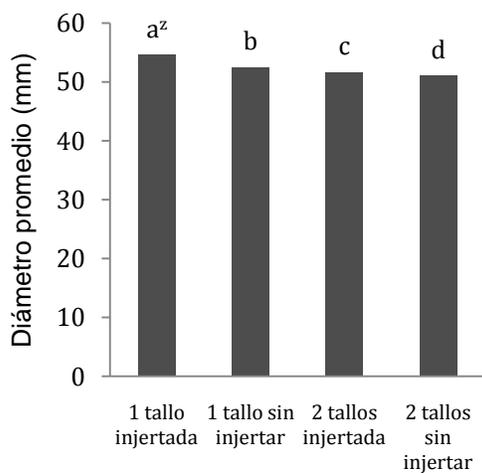


Figura 5.5. Diámetro de frutos de plantas injertadas y no injertadas de tomate. ^z: Letras diferentes indica diferencias significativas con $\alpha=0.05$, prueba LSD.

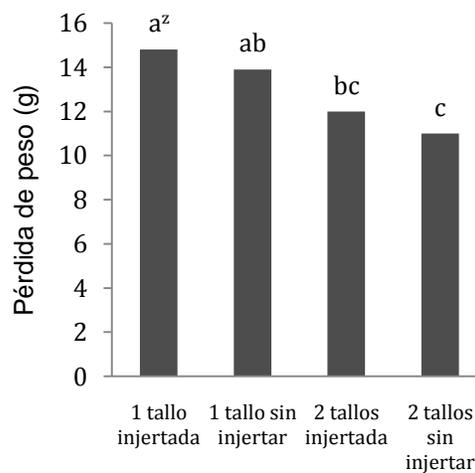


Figura 5.6. Pérdida de peso del fruto (12 días) de plantas injertadas y no injertadas de tomate. ^z: Letras diferentes indica diferencias significativas $\alpha=0.05$, con prueba LSD.

En relación al calibre del fruto, las plantas conducidas a dos tallos obtuvieron mayor porcentaje de frutos medianos y rezaga, respecto a plantas conducidas a un tallo, debido al mayor número de frutos por planta, en estas no se presentó diferencia significativa entre injertadas y no injertadas en ninguno de los calibres (Figura 5.3). Pero el efecto del portainjerto se manifestó en plantas conducidas a un tallo, ya que plantas injertadas obtuvieron significativamente menos fruto de rezaga (20 %) que plantas sin injertar; también fueron estadísticamente mayores en frutos grandes y se incrementó en 72 % el porcentaje de frutos clasificados como jumbos (Figura 5.7), coincidiendo con lo reportado por Turhan *et al.* (2011). El aumento del tamaño de fruto se atribuye a la mayor absorción de agua y nutrimentos del portainjerto, reportado en tomate, melón y sandía (Lee, 1994; Lee y Oda, 2003), pero también puede estar relacionado a la mayor cantidad de citocininas sintetizadas en el ápices de la raíz, la cual controla diversos procesos en el crecimiento y desarrollo de la planta, como la división celular y la transmisión de señales nutricionales (Davies, 2010; Sakakibara, 2010). El portainjerto no afectó la pérdida de peso del fruto después de 12 días de cosecha; ya que la diferencia entre frutos de plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos, respecto de plantas sin injertar a uno y dos tallos, fue únicamente de 1 g (Figura 5.6).

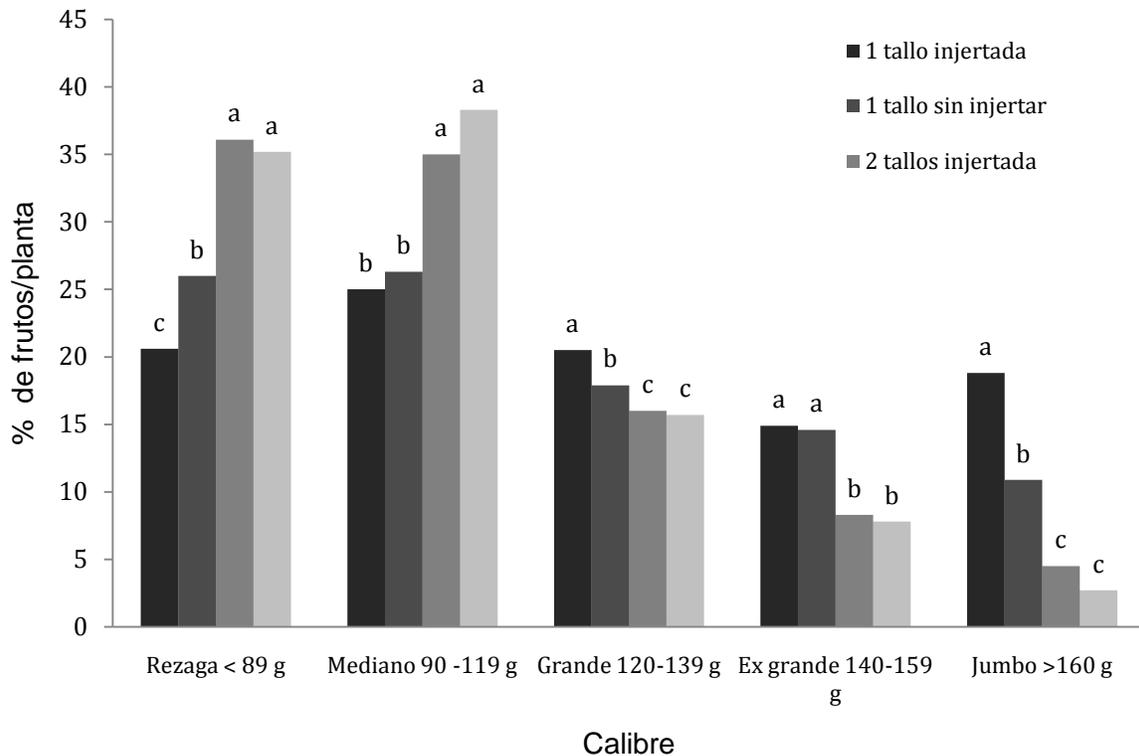


Figura 5.7. Calibre de frutos en plantas injertadas y sin injertar en tomate conducidas a uno y dos tallos. ^Z: Letras diferentes indica diferencias significativas con $\alpha=0.05$, con prueba LSD.

5.7. CONCLUSIONES

El portainjerto disminuyó la firmeza del fruto, la acidez titulable y el contenido de SST en plantas injertadas dirigidas a un tallo; sin embargo, varía de acuerdo al racimo. El portainjerto redujo el pH del fruto en los racimos uno y dos, en plantas injertadas dirigidas a dos tallos. La conducción a dos tallos en plantas injertadas, mejoró la firmeza, el contenido de SST y la acidez titulable, respecto de plantas dirigidas a un tallo; es una alternativa de manejo para mejorar la calidad de fruto en plantas injertadas. La combinación Multifort/El Cid incrementó el peso y diámetro promedio del fruto en plantas conducidas a un tallo. En las plantas dirigidas a dos tallos, las injertadas aumentaron el número y diámetro de fruto, aunque no así en peso promedio. El portainjerto incrementó el tamaño del fruto en plantas conducidas a un tallo y en plantas dirigidas a dos tallos no hubo efecto. No se afectó la pérdida de peso del fruto después de 12 días de cosecha.

5.8. LITERATURA CITADA

Alexopoulos A A, A Kondylis, C H Passam (2007) Fruit yield and quality of watermelon in relation to grafting. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 5(1): 178-179.

Chamarro J (2001) Anatomía y fisiología de la planta. *In: El cultivo del tomate*. F V Nuez (ed.). Mundi-Prensa. Barcelona, España. 793 p.

Coliman B F R, D J H da Silva, P C Stringheta , P C R Fontes, G R Moreira, A P Mattedi (2008) Relation between plant yield and fruit quality characteristics of tomato. *Biosci. J., Uberlândia*, 24(1): 46-52.

Davis A R, P Perkins-Veazie, R Hassel, A Levi, S R King, X Zhang (2008) Grafting effects on vegetables quality. *Hortscience* 43(6): 1670-1672.

Davies J N, G E Hobson (1981) The constituents of tomato fruit – the influence of environment, nutrition e genotype. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, Boca Raton, 15: 205-280.

Davis A R, P Perkins-Veazie (2005) Rootstock effects on plant vigor and watermelon fruit quality. *Cucurbit. Genet. Coop. Rpt.* 28:39–42.

Davies, P. J. 2010. The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. *En: Davies, P. J. plant hormones biosynthesis, signal transduction, action*. Springer Dordrecht Heidelberg. London, New York. 765 p.

Dorais M, A P Papadopoulos, A Gosselin (2001) Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Review*, New York, 26: 239-306.

FAO (2011) <http://www.fao.org>.

Flores B F, P Sanchez-Bel, M T Estan, M M Martinez-Rodriguez, E Moyano, B Morales, J F Campos, J O Garcia-Abellan, M I Egea, N Fernandez-Garcia, F

Romojaro, M C Bolarin (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 126: 211–217.

Gebologlu N, E Yilmaz, P Cakmak, M Aydin, Y Kasap (2011) Determining of the yield, quality and nutrient content of tomatoes grafted on different rootstocks in soilless culture. *Scientific Research and Essays* 6(10): 2147-2153.

Lee J (1994) Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience*. 29(4): 235-239.

Jones Jr J B (1999) *Tomato Plant Culture, in the Field, Greenhouse and Home Garden*. CRC Press. Florida, USA. 199 p.

Kacjan N M, Osvald J (2004) The influence of grafting on yield of two tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a plastic house. *Acta horticulturae slovenica*. 83(2): 243-249.

Kader A A (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*. 40(5): 99-104.

Khah E M, E Kakava, A Mavromatis, D Chachalis, C Goulas (2006) Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J. of Appl. Horticulture* 8(1): 3-7.

Lee J M, M Oda (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *In: Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons. Vol. 28. USA, New York. 478 p.

Martorana M, Giuffrid F, Leonardi, C, Kaya S (2007). Influence of rootstock on tomato response to salinity. *Acta Hortic.(ISHS)*. 747:555-561.

Norma Oficial Mexicana NMX-FF-031-1997-SCFI (1997) Productos Alimenticios no Industrializados para Consumo Humano - Hortalizas Frescas - tomate - (*lycopersicun esculentum mill.*) – especificaciones. <http://s3.esoft.com.mx>

Oda M (2002) Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. and Biol. Sci. Osaka Pref. Univ.* 54:49–72.

Oda M, M Islam, H Ikeda, H Furukawa (2003) Initiation and development of flower trusses affected by acclimatizing temperature in grafted tomato plug. *Environ. Control in Biol.*, 41(2): 133-139.

Oda M, M Nagata, K Tsuji, H Sasaki (1996) Effects of scarlet eggplant rootstock on growth, yield, and sugar content of grafted tomato fruits. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65(3) : 531-536.

Pogonyi A, Z Pék, L Helyes, A Lugasi (2005) Effect of grafting on the tomato's yield, quality and main fruit components in spring forcing. *Acta Alimentaria* 34(4): 453-462.

Rouphael Y, M Cardarelli, G Colla (2008) Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience* 43(3): 730-736.

Sakakibara, H. 2010. Cytokinin Biosynthesis and Metabolism. *En: Davies, P. J. Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action.* Springer Dordrecht Heidelberg. London, New York. 765 p.

Saltveit M E (2005) Fruit ripening and fruit quality. *In: Tomatoes.* E Huevelink (ed). CABI Publishing. Massachusetts, USA. 325 p.

San Bautista A, A Calatayud, S G Nebauer, B Pascual, J V Maroto, S López-Galarza (2011) Effects of simple and double grafting melon plants on mineral absorption, photosynthesis, biomass and yield. *Scientia Horticulturae* 130: 575-580.

Turham A, N Ozmen, M S Serbeci, V Seniz (2011) Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Hort. Sci.* 38(84): 142–149.

Turkmen O, M Seymen, A Dursun (2010) Effects of Different Rootstocks and Cultivars on Yield and Some Yield Components of Grafted Tomato. *Bulletin UASVM Horticulture* 67(1): 284-291.

Yaguishita N, Y Hirata (1987) Graft-induced change in fruit shape in *Capsicum annuum* L. I. genetic analysis by crossing. *Euphytica* 36: 809-814.

Yamakawa K (1982) Use of rootstocks in solanaceous fruit- vegetable production in Japan. *JARQ* 15(3): 175-179.

Yamasaki A, M Yamashita, S Furuya (1994) Mineral concentrations and cytokinin activity in the xylem exudate of grafted watermelons as affected by rootstocks and crop load. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62:817–826.

Watada A E (1980) Quality evaluation of horticultural crops- the problem. *Hortscience* 15(1): 47.

6. DISCUSIÓN GENERAL

Proceso de prendimiento. El éxito del uso de plantas injertadas en tomate depende de la combinación portainjerto e injerto (Ruíz *et al.*, 1997; Venema *et al.*, 2008 y Colla *et al.*, 2010), por lo que es necesario analizar su comportamiento antes de establecer el cultivo. Para la evaluación del tiempo de prendimiento del injerto, se utilizó la combinación Multifort/El cid, la unión tuvo éxito al prender el 100 % de las plántulas injertadas, la línea de demarcación formada por las células muertas durante el corte (Parkinson *et al.*, 1987; Jeffrey y Yoeman, 1983) inició 5 días después de la injertación (ddi), al mismo tiempo se observó el entrelazamiento de las células del portainjerto e injerto, producto del aumento en tamaño de las nuevas células del callo (Jeffrey y Yoeman, 1983). Al respecto, Parkinson *et al.*, (1987) indicaron que este proceso inicia después de la completa unión del injerto, semanas después es difícil identificar la línea de demarcación. La diferenciación vascular comenzó 5 ddi, a los 10 ddi se estableció la continuidad vascular de los elementos del xilema entre portainjerto e injerto, considerando las condiciones ambientales de la fases postinjerto; lo cual coincide con Fernández *et al.* (2004) quienes reportaron los inicios del nuevo tejido vascular entre 4 y 8 ddi, siendo totalmente funcional a los 15 ddi. De igual manera, Lindsay *et al.* (1974) obtuvieron el establecimiento de la continuidad vascular 7 ddi, tiempo en que observaron la diferenciación de las traqueidas.

Biomasa y área foliar. El efecto del portainjerto en la acumulación de biomasa fue mayor en plantas injertadas conducidas a dos tallos, en 36 % respecto a las plantas a dos tallos sin injertar. Las plantas injertadas conducidas a un tallo aún cuando acumularon mayor biomasa en los tres muestreos, únicamente presentaron significativamente mayor biomasa a los 45 y 90 días después del transplante (ddt), comparado con plantas sin injertar dirigidas a un tallo. Los resultados son similares con los obtenidos por Barrett y Zhao (2012), Rivero *et al.* (2003), Abdelmageed *et al.* (2004), Godoy *et al.* (2009), Colla *et al.* (2006) y San Bautista *et al.* (2011) quienes reportaron mayor acumulación de biomasa en plantas injertadas. El área foliar se incrementó 15.5 % en plantas conducidas a un

tallo y 35.5 % en conducidas a dos tallos, respecto de plantas sin injertar a uno y dos tallos, El aumento de área foliar implica mayor intercepción de luz, la cual incrementa la tasa fotosintética, relacionada con mayor acumulación de biomasa (Heuvelink y Buiskool, 1995); lo que explica que los tratamientos con mayor área foliar presentaron mayor biomasa.

Estado nutrimental. La concentración y extracción nutrimental está en relación a la cantidad de biomasa acumulada; la concentración de N, P, K, Ca y Mg no se afectó a los 45 ddt; pero el K y Ca aumentó en plantas injertadas dirigidas a dos tallos a los 90 ddt y 150 ddt. Sobre la concentración de estos dos elementos, Godoy *et al.* (2009) y Rouphael *et al.* (2008) reportaron significativamente incremento en plantas injertadas. El portainjerto afectó la extracción nutrimental en los tres muestreos, plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos extrajeron mayor cantidad de N, K, Ca y Mg, respecto a las plantas sin injertar a uno y dos tallos. Por ejemplo, la extracción final de plantas injertadas a dos tallos se incrementó 46 % en N, 59.4 % en K y 65.5 % en Ca, en relación a plantas sin injertar a dos tallos. De igual manera, Leonardi y Giuffrida (2006) y Godoy *et al.* (2009) reportaron aumento en la extracción de N, K, Ca y Mg. Este efecto se atribuye al abundante sistema radical del portainjerto, ya que presentan raíz abundante que permite mayor desarrollo lateral y vertical, promoviendo mayor área de exploración, por tal motivo existe mayor absorción de agua y nutrientes (Rivero *et al.*, 2003; Lee, 1994; Lee y Oda, 2003, Lee *et al.*, 1998). En el caso de Ca la correlación ($r=0.90$), entre la extracción de Ca y el área foliar ($P\leq 0.0001$), explica la mayor extracción de este elemento en plantas injertadas conducidas a dos tallos, $22.26 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$, al ser un elemento absorbido en el flujo de la transpiración, cuanto mayor es la transpiración mayor es la extracción de Ca (Dieleman y Heuvelink, 2005). La concentración de fósforo a los 45 y 90 ddt no presentó diferencia significativa. La tendencia fue que plantas sin injertar dirigidas a uno y dos tallos obtuvieron mayor valor, respecto de plantas injertadas; incluso en la última evaluación (150 ddt) las plantas sin injertar conducidas a un tallo presentaron significativamente mayor concentración, respecto de plantas injertadas a un tallo. Ninguno de los tratamientos presentó diferencia significativa en la extracción de fósforo. El efecto

del portainjerto sobre el fósforo parece estar influenciado fuertemente por la combinación portainjerto/injerto; Rouphael *et al.* (2008) no reportaron diferencia significativa; Yamasaki *et al.* (1994) reportaron diferencia en sandía únicamente durante la antesis, posteriormente no presentaron diferencias significativas en plantas con un fruto; Leonardi y Giuffrida (2006) reportaron reducción del 36 % la extracción con el portainjerto 'PG3', con 'Beaufort' la extracción se incrementó en 47 %. La concentración de magnesio no fue afectada por el portainjerto en ninguna de las evaluaciones; similar a lo reportado por Savvas *et al.* (2011), donde ninguno de los tres portainjertos ('Beaufort', 'He-man' y 'Registrar') superó las concentraciones de plantas auto-injertadas ($5.91 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$). Por su parte, Godoy *et al.* (2009) obtuvieron mayor concentración en plantas sin injertar, en hoja y tallo, comparado con plantas injertadas. En la extracción de magnesio, 45 ddt y 90 ddt, plantas injertadas a uno y dos tallos presentaron la mayor extracción, respectivamente; sin embargo, a los 150 ddt no se presentó diferencia significativa en ninguno de los tratamientos.

Crecimiento. Sobre altura de planta el efecto fue mayor en plantas dirigidas a dos tallos, ya que éstas presentaron mayor altura a los 45, 60, 75 y 105 ddt en relación a plantas sin injertar a dos tallos, el incremento fue de 15, 15, 10 y 3 %, respectivamente. Khah *et al.* (2006) y Na *et al.* (2012) reportaron el mismo efecto sobre la altura, plantas injertadas incrementaron 27 % y 39 %, respecto de plantas no injertadas. El diámetro del tallo se incrementó en plantas injertadas con uno y dos tallos, pero en plantas conducidas a dos tallos el efecto fue mayor, con un incremento de 25 %. Las plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos, obtuvieron significativamente mayor número de hojas; lo que indica mayor crecimiento vegetativo, respecto de plantas no injertadas. Esto también repercute sobre la interceptación de luz y fotosíntesis, lo cual resulta en mayor acumulación de biomasa (Heuvelink, 1999; Martínez-Ballesca *et al.*, 2010). La longitud de la hoja más recientemente madura (LHMRM) y la del ápice al racimo en floración (LARF), indican también el grado de crecimiento vegetativo; los datos obtenidos indicaron incremento de LHMRM en plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos, se

incrementaron aproximadamente 2.4 y 3.6 cm la longitud, respectivamente, en relación a plantas sin injertar dirigidas a uno y dos tallos.

Concentración de NO₃ y K en el Extracto Celular de Pecíolo (ECP). Las plantas injertadas incrementaron la concentración de NO₃⁻ a los 130 y 150 ddt. A los 130 ddt las plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos incrementaron 50 y 46 %, respecto de plantas no injertadas a uno y dos tallos. A los 150 ddt, las plantas injertadas conducidas a dos tallos obtuvieron 50 % más concentración, respecto de plantas sin injertar dirigidas a dos tallos. En etapa de cosecha, Hochmuth (1999), reportó valores óptimos entre 3 111 y 4 000 ppm de NO₃, comparados con los datos obtenidos, 130 ddt (época media de cosecha), las plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos se ubicaron dentro del rango óptimo, ambos con 3 566 ppm; en el caso de plantas sin injertar conducidas a uno y dos tallos obtuvieron valores por debajo del óptimo, 2 366 y 2 433 ppm, respectivamente. Sobre la concentración de potasio, se presentó diferencia significativa en plantas injertadas a un tallo a los 45 ddt, se incrementó en 28 %, respecto de plantas no injertadas a un tallo. En plantas conducidas a dos tallos, las injertadas superaron en 13.5 y 7 % a las no injertadas a los 130 y 150 ddt, respectivamente. Sin embargo, en estas mismas evaluaciones plantas injertadas a un tallo fueron superadas por plantas sin injertar a un tallo, lo cual puede estar asociado al incremento en rendimiento.

Calidad. El comportamiento en firmeza de fruto en los seis racimos fue variable, con la tendencia a disminuir en plantas injertadas dirigidas a un tallo, en el racimo tres y cinco la firmeza se redujo 12 y 11.5 %, en relación a plantas no injertadas dirigidas a un tallo. En plantas dirigidas a dos tallos, no se presentó diferencia significativa entre firmeza de frutos de plantas injertadas y no injertadas; sin embargo, en plantas injertadas dirigidas a dos tallos se mejoró, respecto a las injertadas a un tallo, ya que se obtuvo mayor firmeza en el racimo uno, dos y seis. Sobre firmeza, Khah *et al.* (2006) no reportaron diferencia significativa entre plantas injertadas y no injertadas. En sólidos solubles totales (SST) tampoco

fueron consistentes los resultados, en plantas injertadas dirigidas a un tallo disminuyeron 8 y 16 % en el racimo cuatro y cinco, respectivamente, en relación a plantas no injertadas dirigidas a un tallo. En plantas conducidas a dos tallos, únicamente en el primer racimo las plantas sin injertar presentaron mayor contenido de SST. Las plantas injertadas dirigidas a dos tallos fueron significativamente mayor en los primeros cuatro racimos (14, 11, 7 y 9 %), respecto a plantas injertadas a un tallo. Similar a lo reportado por Pogonyi *et al.* (2005) y Turhan *et al.* (2011), quienes indicaron mayor contenido de SST en plantas no injertadas. El pH del fruto es un parámetro poco afectado por la técnica de injerto; en plantas conducidas a un tallo, únicamente en el racimo cinco las plantas sin injertar presentaron estadísticamente mayor pH que plantas injertadas. Khah *et al.* (2006), Turhan *et al.* (2011) y Turkmen *et al.* (2010) no reportaron diferencia significativa entre plantas injertadas y no injertadas. La acidez titulable se redujo en plantas injertadas dirigidas a un tallo en los racimos cuatro, cinco y seis. En plantas dirigidas a dos tallos, en el primer racimo de las plantas sin injertar superaron a plantas injertadas; sin embargo, en los racimos dos, tres y cuatro de plantas injertadas superaron a las no injertadas. Lo cual coincide con Pogonyi *et al.* (2005), Khah *et al.* (2006), Martorana *et al.* (2007) y Gebologlu *et al.* (2011), quienes no reportaron diferencia significativa entre plantas injertadas y no injertadas.

Número de Frutos y Calibre. En plantas dirigidas a un tallo no se observó diferencia significativa en el número de frutos. Sin embargo, en plantas con dos tallos, las injertadas obtuvieron significativamente mayor número de frutos, que las no injertadas; este efecto puede ser provocado en los primeros racimos por condiciones ambientales en la fase postinjertación, principalmente la temperatura, ya que afecta la diferenciación floral (Oda *et al.*, 2003). Al respecto, Kacjan y Osvold (2004) reportaron incremento de 38 % en el número de frutos. Se observó diferencia estadística en peso y diámetro entre plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos, el aumento del número de frutos en estas últimas, redujeron estos dos parámetros; similar a lo reportado por Turkmen *et al.* (2010). En plantas injertadas

a un tallo se incrementó significativamente el peso y diámetro de fruto (9 y 4 %, respectivamente), en relación a plantas sin injertar dirigidas a un tallo. En plantas conducidas a dos tallos se obtuvo mayor número de frutos de rezaga y medianos, que en las conducidas a un tallo; éstas no presentaron diferencia significativa entre injertadas y no injertadas en ninguno de los calibres; sin embargo, en plantas injertadas conducidas a un tallo se obtuvo significativamente menos frutos de rezaga (20 %), mayor número de frutos grandes y 72 % más de frutos clasificados como jumbos, respecto de plantas sin injertar a un tallo; coincidiendo con lo reportado por Turhan *et al.* (2011). La pérdida de peso del fruto después de 12 días de cosecha no se afectó, únicamente 1 g fue la diferencia entre plantas injertadas dirigidas a uno y dos tallos y plantas sin injertar a uno y dos tallos, respectivamente.

Rendimiento total. Las plantas conducidas a un tallo presentaron menor rendimiento que las conducidas a dos tallos; por el número de racimos por tallo, 8 en plantas dirigidas a un tallo y 16 en plantas con dos tallos. El aumento del rendimiento fue mayor en plantas injertadas dirigidas a un tallo, ya que el rendimiento de plantas injertadas dirigidas a un tallo se incrementó 12.9 % (0.93 kg/planta), respecto de plantas sin injertar dirigidas a un tallo y el rendimiento en las plantas injertadas conducidas a dos tallos se incrementó significativamente en 6.6 % (0.79 kg.planta⁻¹), respecto de plantas sin injertar a dos tallos. Al respecto, Kubota *et al.* (2008) y Dieleman y Heuvelink (2005) indicaron que el aumento puede ser hasta del 15 %. El mayor rendimiento se debe a la eficiente absorción de agua y nutrimentos por la raíz abundante del portainjerto y a la sanidad de la raíz que le confiere el complejo de resistencia, junto con esto el ciclo de producción es más largo, además se conserva mejor calibre de fruto al final de la producción (Oda, 2002; Lee, 1994; Ruiz *et al.*, 1997 y Dieleman y Heuvelink, 2005). Pero también puede estar relacionado a la mayor cantidad de citocininas sintetizadas en los ápices de la raíz, la cual controla diversos procesos en el crecimiento y desarrollo de la planta, como la división celular y la transmisión de señales nutricionales (Davies, 2010; Sakakibara, 2010).

7. LITERATURA CITADA GENERAL

Abdelmageed A H A, N Gruda, B Geyer (2004) Effects of temperature and grafting on the growth and development of tomato plants under controlled conditions. Rural Poverty Reduction through Research for Development and Transformation. Berlin, Alemania.

Barrett C E, X Zhao (2012) Grafting for root-knot nematode control and yield improvement in organic heirloom tomato production. HortScience 47(5): 614-620.

Colla G, Y Roupshael, M Cardarelli (2006) Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. Hortscience 41(3): 622-627.

Colla G, Y Roupshael, C Leonardi, Z Bie (2010) Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. Scientia Horticulturae 127: 147-155.

Davies, P. J. 2010. The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. *En: Davies, P. J. plant hormones biosynthesis, signal transduction, action.* Springer Dordrecht Heidelberg. London, New York. 765 p.

Dieleman A, E Heuvelink (2005) Gebruik van onderstammen bij vruchtgroenten. Plant Res. Inter. September. Nota. 367.

Fernandez-García N, Carvajal M, E Olmos (2004) Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. Ann. Bot. 93: 50-60.

Gebologlu N, E Yilmaz, P Cakmak, M Aydin, Y Kasap (2011) Determining of the yield, quality and nutrient content of tomatoes grafted on different rootstocks in soilless culture. Scientific Research and Essays 6(10): 2147-2153.

Godoy H H, R J Z Castellanos, G G Alcántar, V M Sandoval, R J J Muños (2009) Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. Terra latinoamericana 27(1): 1-11.

Heuvelink E (1999) Evaluation of a dynamic simulation model tomato crop grow and development. *Annals of Botany* 83: 413-422.

Heuvelink E, R P M Buiskool (1995) Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. *Annual of Bot.* 75: 381-389.

Hochmuth G J (1999) Plant petiole sap-testing for vegetables crops. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. Circular 1144. p.1-6.

Jeffree C E, M M Yoeman (1983) Development of intercellular connections between apposing cells in a graft union. *New Phytol.* 93: 491-509.

Kacjan N M, Osvald J (2004) The influence of grafting on yield of two tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a plastic house. *Acta horticulturae slovenica.* 83(2): 243-249.

Khah E M, E Kakava, A Mavromatis, D Chachalis, C Goulas (2006) Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J. of Appl. Horticulture* 8(1): 3-7.

Kubota C M, N McClure, M G Kokalis-Burelle, E N Roskopf (2008) Vegetable grafting: history, use, and current technology status in North America. *HortScience.* 43(6):1664-1669.

Lee J (1994) Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience.* 29(4): 235-239.

Lee J M, M Oda (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *In: Horticultural Reviews.* John Wiley & Sons. Vol. 28. USA, New York. 478 p.

Lee Jung-Myung, Hae-Jeen Bang, Hyun-Sook Ham (1998) Grafting of vegetables. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 67(6): 1098-1104.

Leonardi C, F Giuffrida (2006) Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplant on three different rootstocks. *Europ.J.Hort.sci.* 71 (3): 97-101.

Lindsay D W, M M Yeoman, R Brown (1974) An analysis of the development of the graft union in *Lycopersicon esculentum*. *Annals of Botany*, 38, 639-646.

Martínez-Ballesta C A, C López-Alcazar, B Muries, C Mota-Cadenas, M Carvajal (2010) Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Sci. Hort.* 127: 112-118.

Na L, B Z Li, H Jing, L Bo, Z W Min (2012) Biological characteristics of grafted eggplant on tomato rootstocks. *Afr. J. Agric. Res.*, 7(18): 2791-2799.

Oda M (2002) Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. & Biol. Sci. Osaka Pref. Univ.* 54:49–72.

Oda M, M Islam, H Ikeda, H Furukawa (2003) Initiation and development of flower trusses affected by acclimatizing temperature in grafted tomato plug. *Environ. Control in Biol.*, 41(2): 133-139.

Parkinson M, C E Jeffree, M M Yoeman (1987) Incompatibility in cultured explant-grafts between members of the solanaceae. *New Phytol.* 107: 489-498.

Pogonyi A, Z Pék, L Helyes, A Lugasi (2005) Effect of grafting on the tomato's yield, quality and main fruit components in spring forcing. *Acta Alimentaria* 34(4): 453-462.

Rivero R M, J M Ruiz, L Romero (2003) Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food Agric. and Environ.* 1(1): 70-74.

Rouphael Y, M Cardarelli, G Colla (2008) Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience* 43(3): 730-736.

Ruiz J M, A Belakbir, I Lopez-Cantarero, L Romero (1997) Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scientia Horticulturae*. 71 (1997): 227-234.

San Bautista A, A Calatayud, S G Nebauer, B Pascual, J V Maroto, S López-Galarza (2011) Effects of simple and double grafting melon plants on mineral absorption, photosynthesis, biomass and yield. *Scientia Horticulturae* 130: 575-580.

Sakakibara, H. 2010. Cytokinin Biosynthesis and Metabolism. *En: Davies, P. J. Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action*. Springer Dordrecht Heidelberg. London, New York. 765 p.

Savvas D, A Savva, G Ntatsi, A Ropokis, L Karapanos, A Krumbein, C Olympos (2011) Effects of three commercial rootstocks on mineral nutrition, fruit yield, and quality of salinized tomato. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 174: 154-162.

Turham A, N Ozmen, M S Serbeci, V Seniz (2011) Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Hort. Sci.* 38(84): 142–149.

Turkmen O, M Seymen, A Dursun (2010) Effects of Different Rootstocks and Cultivars on Yield and Some Yield Components of Grafted Tomato. *Bulletin UASVM Horticulture* 67(1): 284-291.

Venema J. H, B E Dijk, J M Bax, P R van Hasselt, J T M Elzenga (2008) Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 63: 359–367.

Yamasaki A, M Yamashita, S Furuya (1994) Mineral concentration and cytokinin activity in the xylem exudates of grafted watermelons as affected by rootstock and crop load. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62 (4): 817-826.

8. CONCLUSIONES GENERALES

Después de 5 días de realizado el proceso de injertación se observó el inicio de la continuidad vascular, aún con funcionalidad limitada. La completa conexión del tejido vascular se obtuvo a los 10 ddi.

La acumulación de biomasa y área foliar se incrementó en plantas injertadas. El portainjerto afectó positivamente las concentraciones de N, K y Ca. En relación al P, el efecto fue negativo en plantas injertadas dirigidas a un tallo. No se presentó efecto sobre Mg. La extracción de N, K, Ca y Mg fue afectada positivamente por la combinación Multifort/El Cid. La concentración de NO_3^- del extracto celular de pecíolo se incrementó en plantas injertadas. No hubo efecto del portainjerto sobre la concentración de K^+ . El portainjerto afectó el crecimiento vegetativo, aunque varía dependiendo de la etapa de la planta.

Con la combinación Multifort/El cid el rendimiento se afectó positivamente, ya que las plantas injertadas conducidas a uno y dos tallos incrementaron el rendimiento en 12.9 y 6.6 %, respecto al de las plantas sin injertar conducidas a uno y dos tallos. En cuanto a la calidad de fruto; la firmeza y los SST del fruto de plantas injertadas a uno y dos tallos disminuyeron, en relación a frutos de plantas no injertadas a uno y dos tallos. Entre plantas injertadas, las dirigidas a dos tallos mejoraron la firmeza, sólidos solubles y acidez titulable. Se incrementó el peso y diámetro promedio en plantas conducidas a un tallo; en plantas injertadas a dos tallos aumentó el número y diámetro del fruto, respecto al de plantas no injertadas a dos tallos, aunque no así en peso promedio. En plantas conducidas a un tallo se mejoró el calibre de frutos, se disminuyó el porcentaje de frutos de rezaga, se incrementó el número de frutos grandes y jumbos. En plantas dirigidas a dos tallos no hubo efecto del portainjerto sobre el calibre.