

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS**

**EFFECTO DEL INJERTO INTERESPECÍFICO EN LOS CULTIVOS
DE CHILE DULCE (*Capsicum annuum* L.) Y TOMATE (*Solanum
lycopersicum* L.) A CAMPO ABIERTO Y EN CULTIVO PROTEGIDO EN
SANTA CLARA DE SAN CARLOS**

Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Agronomía como requisito parcial
para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería
en Agronomía

**GERMÁN JOSÉ CHAVES MÉNDEZ
LUIS FERNANDO LACAYO VINDAS**

Santa Clara, San Carlos, Alajuela, Costa Rica

2020

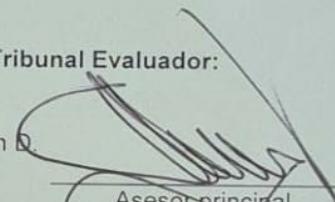


EFFECTO DEL INJERTO INTERESPECÍFICO EN LOS
CULTIVOS DE CHILE DULCE (*Capsicum annuum* L.) Y TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) A CAMPO ABIERTO Y EN CULTIVO
PROTEGIDO EN SANTA CLARA DE SAN CARLOS

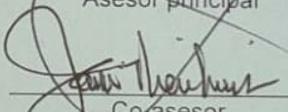
GERMÁN JOSÉ CHAVES MÉNDEZ
LUIS FERNANDO LACAYO VINDAS

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

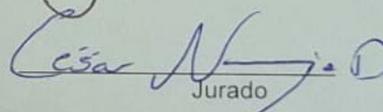
Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas, Ph D.


Asesor principal

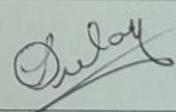
Dr. James Nienhuis, Ph D.


Co-asesor

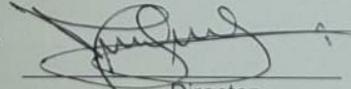
Ing. Agr. César Naranjo Díaz, M. Sc.


Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.


Coordinadora
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Milton Villareal Castro, Ph D.


Director
Escuela de Agronomía

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico principalmente a Dios Todopoderoso por ser mi fortaleza. A la familia Lacayo Vindas, en especial a Flor y Daniel por ser inagotable fuente de apoyo, esperanza y valentía; a mis hermanos José Daniel y Federico por creer en mí y recordármelo continuamente. Por último, a mi abuela Ana y a mis tías Alba, Marlene y Aurora quienes siempre han sido como un faro en mi vida.

Al Creador Todopoderoso, guía en toda mi vida. A la familia Chaves Méndez, mis padres, Xinia y German por motivarme a perseguir mis sueños y estar siempre a mi lado con palabras de apoyo; a Ka a Edu y a Liz, mi complemento como parte de esta familia, los amo.

A quienes trabajan la tierra.

AGRADECIMIENTOS

“Step by step, there lies waiting, quite perfect, what is needed for that step” (Indian wisdom).

A Dios por guiarnos en todo el camino.

A los Verduleros del Norte, el profesor Dr. Carlos Ramírez, el profesor Dr. Jaime Nienhuis y el colega MSc. Andrey Vega, que juntos nos apoyaron en toda la elaboración, revisión y presentación del proyecto.

A nuestra compañera y compañeros Alondra Venegas, Ignacio Gómez, Juan Murillo y Daniel Obando por su colaboración en el trabajo de campo.

A todo el personal académico y administrativo del TEC San Carlos, que, sin duda, su trabajo también se ve reflejado en la culminación de este proyecto.

A nuestros familiares y amigos por sus gestos y palabras de apoyo en esta etapa académica.

A todos quienes oportunamente ofrecieron su ayuda para facilitar la conclusión de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	ii
TABLA DE CONTENIDO.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivo general.....	4
1.3 Objetivos específicos.....	4
1.4 Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Cultivo de tomate y chile dulce.....	5
2.2 Problemas fitosanitarios asociados a los cultivos de tomate y chile dulce.....	6
2.3 Técnica del injerto.....	11
2.4 Injerto en solanáceas.....	13
2.5 Compatibilidad púa/patrón.....	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Descripción del lugar y periodo de estudio.....	16
3.2 Período de estudio.....	16
3.3 Descripción general de la investigación.....	17
3.4 Descripción general de las parcelas de estudio.....	18
3.4.1 Cultivo protegido.....	18
3.4.2 Parcela a campo abierto.....	19
3.5 Material experimental.....	20

3.6 Descripción de los tratamientos.....	20
3.7 Manejo agronómico de los cultivos.....	21
3.7.1 Limpieza previa de la estructura y los contenedores para el trasplante en cultivo protegido	21
3.7.2 Preparación del terreno a campo abierto.....	21
3.7.3 Trasplante, podas, tutorado y manejo fitosanitario	22
3.7.4 Sistema de riego	24
3.7.5 Preparación de la solución nutritiva.....	25
3.8 Diseño experimental.....	27
3.9 Modelo estadístico y análisis de datos	28
3.10 Variables evaluadas	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1 Ensayos en el cultivo de tomate	31
4.1.1 Ensayo en campo abierto.....	31
4.1.2 Ensayos de cultivo protegido.....	37
4.2 Ensayos en el cultivo de chile dulce	41
4.2.1 Ensayo en campo abierto.....	41
4.2.2 Ensayo en cultivo protegido	43
5. CONCLUSIONES	46
6. RECOMENDACIONES	48
7. BIBLIOGRAFÍA	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Nombre común y el agente causal de las principales enfermedades reportadas en los cultivos de tomate y chile dulce en Costa Rica.	7
2	Identificación de los tratamientos, púa, patrón y el tipo de injerto a evaluar en los cultivos y chile dulce. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	20
3	Relación mutua entre aniones y relación mutua entre cationes con base en el porcentaje respecto al total de mol de aniones o de cationes.	¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 26
4	Cuadro de doble entrada para la preparación de la solución nutritiva con una conductividad eléctrica de 2mS/cm a partir de la intersección entre los equivalentes de los cationes y aniones.	26
5	Cantidad de sales fertilizantes necesarias para preparar un volumen de 1.000 litros de la solución nutritiva a una concentración de $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.	27
6	Fuente de variación y grados de libertad para los experimentos a evaluar el efecto del injerto en los cultivos de tomate y chile dulce a campo abierto y en cultivo protegido, en un Diseño Completamente al azar en el Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2019.	28
7	Variable, categoría, frecuencia de medición y método para evaluar las variables en los injertos de tomate y chile dulce en campo abierto y cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	30
8	Significancia para la sobrevivencia a diferentes edades del trasplante en el ensayo de tomate en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	31
9	Media y error estándar de porcentaje de sobrevivencia en los tratamientos de tomate	31

injertado y no injertado en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

- | | | |
|-----------|---|----|
| 10 | Significancia para las variables altura y cantidad de hojas a los 68 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el ensayo de tomate en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019. | 31 |
| 11 | Media y error estándar de las variables altura y cantidad de hojas a los 68 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en los tratamientos de tomate en el ambiente campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019. | 32 |
| 12 | Significancia para las variables evaluadas en el ensayo de tomate injertado en cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019. | 37 |
| 13 | Media y error estándar de las variables evaluadas en el cultivo de tomate injertado en cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019. | 37 |
| 14 | Significancia para las variables de altura y cantidad de hojas a los 33 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el ensayo de chile dulce en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019. | 41 |
| 15 | Media y error estándar de la altura y cantidad de hojas a los 33 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el cultivo de chile dulce en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019. | 41 |
| 16 | Significancia para las variables altura y cantidad de hojas a los 55 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el ensayo de chile dulce en cultivo protegido. San Carlos, Costa Rica. 2019. | 43 |
| 17 | Media y error estándar de las variables altura y cantidad de hojas a los 55 ddt, días a floración, | 43 |

días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el cultivo de chile dulce injertado en cultivo protegido. San Carlos, Costa Rica. 2019.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Localización geográfica del lugar de estudio donde se evaluó el efecto del injerto sobre el comportamiento agro productivo de dos híbridos injertados de tomate y dos de chile dulce cultivados a campo abierto y bajo cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica.	16
2	Plantas de tomate en suelo de la parcela para realizar la prueba de patogenicidad. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	18
3	Parcela de campo abierto que muestra el establecimiento de los cultivos de (A) tomate y (B) chile dulce. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	19
4	Establecimiento del ensayo del ambiente bajo cultivo protegido de tomate y chile duce. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	22
5	Corte de raíces adventicias generadas por la técnica del injerto en plántulas de tomate. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	24
6	Cultivos de tomate y chile duce injertados en el ensayo de campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	24
7	Sistema de riego utilizado en el ensayo del ambiente bajo cultivo protegido de tomate y chile dulce injertados. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.	25
8	Porcentaje de sobrevivencia en los tratamientos del cultivo de tomate en ambiente campo abierto a	33

diferentes edades después de trasplante. Tecnológico
de Costa Rica, San Carlos. 2019.

RESUMEN

Se evaluó el efecto del injerto interespecífico en dos cultivares híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y dos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en dos ambientes, campo abierto (CA) y cultivo protegido (CP) en las instalaciones del Tecnológico de Costa Rica, Campus Tecnológico Local San Carlos ubicado en la provincia de Alajuela, entre los meses de mayo y noviembre de 2019. El desplazamiento de la frontera agrícola a zonas no tradicionales para la producción de hortalizas en Costa Rica como lo es la Región Huétar Norte (RHN) demanda la evaluación del comportamiento agronómico de plantas injertadas como estrategia productiva ante condiciones de estrés biótico y abiótico presentes en el trópico húmedo. Cada cultivo se analizó de manera independiente según el ambiente donde se desarrolló por lo que se ejecutaron cuatro experimentos mediante un diseño completamente al azar donde se evaluaron variables de sobrevivencia (sólo en CA para tomate), crecimiento, rendimiento y calidad (sólo en CP para tomate). Para cada uno de los experimentos se establecieron ocho tratamientos: cuatro tratamientos con injerto interespecífico entre dos patrones tolerantes a patógenos de suelo y dos cultivares híbridos como púas, dos tratamientos autoinjertados de los cultivares híbridos y dos tratamientos sin injertar de los cultivares híbridos. En el tomate los patrones fueron “BB” y “Armada” (*Solanum habrochaites*) y los cultivares híbridos utilizados como púas fueron “JR” y “El Cinco” (*S. lycopersicum*); en el chile los patrones fueron chile “Habanero” (*Capsicum chinense* Jacq.) y “Baccatum” (*Capsicum baccatum* L.) y los cultivares híbridos utilizados como púas fueron “Natalie” y “4212” (*C. annuum*). En el experimento de tomate en CA la variable sobrevivencia presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) a partir de 22 ddt hasta el final de la evaluación a 68 ddt; los tratamientos El Cinco/ BB y JR/ BB presentaron ambos el valor más alto con un 33% de sobrevivencia a 68 ddt; ninguno de los tratamientos sin injertar o autoinjertado del cultivar JR presentó sobrevivencia después de 36 ddt. El rendimiento de JR y El Cinco fue mayor al ser injertados sobre el patrón BB al comparar con otros tratamientos, este comportamiento fue atribuido a una mayor cantidad de frutos y no a diferencias entre el peso de

frutos. El cultivo de tomate en CP no presentó diferencias significativas en cuanto a rendimiento, sin embargo, los valores menores se obtuvieron de plantas no injertadas. No se encontraron diferencias significativas para pH y sólidos solubles totales (°Brix) para tomate en CP. El rendimiento del chile dulce CA no presentó diferencias significativas, pero los tratamientos 4212/ Chinense y Natalie/ Chinense obtuvieron valores mayores a los demás tratamientos; este comportamiento fue atribuido a un mayor peso de fruto, para la cual sí se encontraron diferencias significativas. El chile en CP no mostró diferencias de rendimiento, no obstante, los valores mayores fueron tratamientos con injertos interespecíficos. El presente estudio muestra como la selección del patrón podría mejorar el rendimiento de una púa específica en condiciones de cultivo distintas.

ABSTRACT

The effect of interspecific grafting was evaluated in two hybrid cultivars of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and two of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in two environments, open field (CA) and under protected culture (CP) at Tecnológico de Costa Rica, Campus Tecnológico Local San Carlos, located in Alajuela province, from May to November 2019. Population pressure on available resources and the consequent displacement of the agricultural border to non-traditional areas for vegetable production in Costa Rica such as Región Huetar Norte (RHN), demands the evaluation of the agronomic behavior of grafted plants as a productive strategy to confront biotic and abiotic stress conditions present in the humid tropics. Each crop was analyzed independently according to the environment where it was developed. Consequently, four experiments were carried out using a completely randomized design where variables related to survival rate (only tomato CA), growth, development and quality (only tomato PC) were evaluated. Eight treatments were established for each experiment: four treatments with interspecific grafting between two rootstocks and two hybrid cultivars as scions, two selfgrafted treatments and two ungrafted from the hybrid cultivars. In tomato, the rootstocks were "BB" and "Armada" (*S. habrochaites*) and the scions used were "JR" and "El Cinco" (*S. lycopersicum*); in pepper the rootstocks were "Habanero" (*Capsicum chinense* Jacq.) and "Baccatum" (*Capsicum baccatum* L.), the scions were "Natalie" and "4212" (*C. Annuum*). In tomato CA experiment, the survival variable showed significant statistical differences between treatments ($p < 0,05$) from 22 dat (days after transplant) on to the end of the evaluation at 68 dat; both El Cinco/ BB and JR/ BB treatments presented the highest value with 33% survival rate at 68 dat; non of the ungrafted or selfgrafted treatments from JR cultivar survived after 36 dat. Yield for both JR and El Cinco was higher when grafted onto BB when compared to other treatments, this behavior was attributed to a greater quantity of fruits and not to higher fruit weight. Tomato yield under CP showed no significant statistical differences, however the lowest values were obtained from ungrafted plants. For pH and

total soluble solids (°Brix) in tomato CP, significant differences were not found either. For yield in sweet pepper CA, significant differences were not found but 4212/ Chinense and Natalie/ Chinense obtained higher values than other treatments, this behavior was attributed to a higher fruit weight, in which significant statistical differences were found. Significant differences were not found in variables related to yield in pepper CP, however, treatments with interspecific grafting obtained the highest values. This study shows how each rootstock could improve yield for a specific scion on different crop conditions.

1. INTRODUCCIÓN

La producción hortícola en el trópico húmedo es limitada por la alta presencia de plagas y enfermedades que imperan bajo estas condiciones ambientales. Los productores están expuestos a sufrir pérdidas parciales o totales por el daño causado por estos organismos, por lo tanto, su control demanda el uso de insumos que eleva los costos de producción (Ramírez y Nienhuis 2012). Una de las mayores amenazas fitosanitarias está dada por patógenos del suelo.

Los patógenos del suelo resultan altamente destructivos en cultivos hortícolas en la familia de las solanáceas, algunos de estos microorganismos invaden el sistema vascular de la planta interfiriendo con el transporte de agua, minerales y fotosintatos. Además de causar pérdidas financieras, estas enfermedades causan disminuciones de rendimiento y calidad, por lo que, históricamente su manejo convencional se ha basado en el uso de sustancias fumigantes presiembra; entre ellos el bromuro de metilo y la cloropicrina. Debido al impacto negativo que presentan estos productos en el equilibrio de poblaciones microbiales en la rizosfera de las plantas, se busca implementar un manejo integral que permita la sostenibilidad del sistema (Agrios 2005; Bogoescu *et al.* 2011; Hongwei *et al.* 2015).

Algunos de los patógenos del suelo de mayor interés en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en el trópico son los hongos *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae*, *Sclerotium rolfsii*; los oomycetes *Pythium spp.*, *Phytophthora infestans* y *Phytophthora capsici*, la bacteria *Ralstonia solanacearum* y nematodos como *Meloidogyne spp.*; estos organismos son en su mayoría saprófitos facultativos, por lo que en ausencia de hospederos susceptibles logran mantenerse en residuos de la planta o el suelo, es decir, su población disminuye muy lentamente y genera la necesidad de utilizar cultivares resistentes (Koike *et al.* 2003; Agrios 2005; Reddy 2016; Gaion *et al.* 2018). Actualmente, el difícil acceso al mercado de importación de semillas que cuenten con resistencia a estos patógenos obstaculiza su utilización en Costa Rica.

Para el establecimiento de una enfermedad infecciosa, se requiere la convergencia de tres componentes: un hospedero susceptible, el agente causal virulento y las condiciones ambientales propicias para la infección; por lo tanto,

la modificación de alguno de estos tres impediría su desarrollo (Trigiano *et al.* 2007). La dificultad que representa cambiar las condiciones ambientales o disminuir la presión de inóculo del agente causal, ha orientado las estrategias de control hacia la selección de hospederos resistentes a patógenos de suelo.

La técnica del injerto en hortalizas de fruto es utilizada en las familias Solanaceae y Cucurbitaceae principalmente, ésta surgió con el objetivo de conferir resistencia a los patógenos del suelo. Dicha técnica consiste en crear un híbrido físico a partir de dos plantas con distintos genotipos y que pueden pertenecer o no, a otro cultivar, especie o género de la misma familia botánica; la púa provee el vástago y el patrón el sistema radical, combinando los atributos deseados de ambos y teniendo como finalidad evitar el contacto de la planta susceptible con el patógeno; de esta manera, se mantiene el sistema radical sano y posibilita la ejecución de las funciones normales de absorción de agua y nutrientes del suelo (Sirtoli *et al.* 2011; Melnyk 2017; Gaion *et al.* 2018)

A pesar del relativo alto costo de utilizar almácigos injertados, dicha práctica cultural permite disminuir el uso de pesticidas, aumentar la eficiencia en el uso de recursos y mejorar el rendimiento; incrementando la viabilidad económica en la producción sostenible de hortalizas. Según Roskopf *et al.* (2017), la selección del patrón puede estar orientada a mejorar la productividad en condiciones de estrés abiótico, sin embargo, se debe considerar que este puede afectar características de valor agronómico como la forma del fruto, el color y la textura de la cáscara o de la pulpa, y el contenido de sólidos solubles.

1.1 Justificación

En Costa Rica, históricamente la producción de hortalizas como tomate y chile dulce se ha centrado principalmente en la zona del Valle Central, sin embargo, el crecimiento urbanístico ha ocasionado el desplazamiento de la frontera agrícola a zonas no tradicionales como la Región Huetar Norte (RHN). Las condiciones ambientales que caracterizan la zona favorecen la incidencia de enfermedades de suelo que impiden su producción (Ramírez *et al.* 2012; Ramírez y Nienhuis 2012). Por lo tanto, la utilización de injertos de púas de interés comercial en patrones resistentes a estas enfermedades es una estrategia prometedora para evaluar el comportamiento agronómico de estas especies en la RHN.

En el año 2018, como parte del curso Sistemas de Producción Hortícola de la Carrera de Ingeniería en Agronomía del Tecnológico de San Carlos, Costa Rica; se realizaron pruebas preliminares de plantas injertadas de tomate y chile dulce con cultivares resistentes a patógenos de suelo; obteniendo resultados alentadores para la validación de dicha técnica.

En respuesta a los principales factores limitantes de producción hortícola en la región centroamericana, el proyecto “Semillas de Esperanza”, con el investigador principal, Ph.D James Nienhuis de la Universidad de Wisconsin-Madison, se ha encargado de poner a disposición de los horticultores de la región centroamericana, plántulas de diferentes especies que se caracterizan por ser materiales de alta calidad y resistentes a las enfermedades del suelo de mayor afectación en la zona. Inicialmente el proyecto se orienta a probar líneas de tomate y chile dulce resistentes al virus transmitido por mosca blanca (*Bemisia tabaci*), sin embargo, el impacto que causa la marchitez bacterial producida por *R. solanacearum* sobre la producción de estas hortalizas genera la necesidad de buscar alternativas sostenibles para su control; específicamente la práctica del injerto.

Además de la resistencia a las enfermedades, el uso de patrones apropiados aporta vigor y rusticidad, lo cual puede inducir ganancias en productividad inclusive en condiciones donde no haya estrés ambiental y una baja presión de plagas y enfermedades, como es el caso de los ambientes protegidos; asimismo, el uso de estas plantas híbridas puede mejorar la calidad del fruto y propiciar una cosecha más temprana (Morra y Bilotto 2006; Doñas-Ucles *et al.* 2014; Velasco-Alvarado *et al.* 2016).

Este trabajo tiene como propósito evaluar la respuesta de plantas injertadas de chile dulce respecto al crecimiento, desarrollo y producción, y la respuesta de plantas injertadas de tomate ante enfermedades de suelo, crecimiento, producción y calidad en las condiciones propias de la RHN.

1.2 Objetivo general

- Evaluar el efecto del injerto interespecífico en tomate y chile dulce de dos cultivares híbridos cultivados a campo abierto y en cultivo protegido en Santa Clara de San Carlos, Costa Rica.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar el crecimiento, desarrollo y producción en dos cultivares híbridos de tomate y dos de chile dulce injertados a campo abierto y en cultivo protegido en Santa Clara de San Carlos, Costa Rica.
- Determinar la sobrevivencia en dos cultivares híbridos de tomate injertados ante la presencia de patógenos de suelo a campo abierto en Santa Clara de San Carlos, Costa Rica.
- Determinar atributos de calidad del fruto en dos cultivares híbridos de tomate injertados bajo ambiente protegido en Santa Clara de San Carlos, Costa Rica.

1.4 Hipótesis

- Injertar cultivares de *S. lycopersicum* L. sobre patrones de *S. habrochaites* L. disminuye la incidencia de patógenos de suelo en comparación a plantas no injertadas.
- Existen diferencias en el crecimiento, desarrollo y producción de plantas con injerto interespecífico en comparación a plantas no injertadas.
- Existen diferencias en la calidad de los frutos de plantas de tomate con injerto interespecífico en comparación a plantas no injertadas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivo de tomate y chile dulce

El tomate y el chile dulce son dos de las hortalizas más consumidas en el mundo, su popularidad radica en el hecho de que pueden ser consumidas de manera fresca o en múltiples formas procesadas (Heuvelink 2005).

Para un desarrollo óptimo del cultivo de tomate la temperatura debe oscilar entre 20 °C y 30 °C durante el día, y entre 10 °C y 17 °C durante la noche, la humedad relativa óptima se ubica entre 60% y 80%, esto para un desarrollo normal de la polinización y una buena producción; dentro de estos rangos es menor el impacto por desórdenes fisiológicos y presencia de enfermedades (Díaz 2007). En el caso del chile, según el CATIE (1993) el ámbito de temperatura anual que permite su cultivo va de los 13 °C a los 24 °C, con temperaturas óptimas para la fructificación de 18 °C y 27 °C durante el día y 12 °C a 16 °C durante la noche, variaciones dentro de este rango influyen sobre los grados día necesarios para el crecimiento y la floración de las plantas.

En Costa Rica, para el año 2015 el tomate representaba el primer lugar (12,9%) con base en el volumen de hortalizas consumidas en los hogares costarricenses; para un consumo promedio de 18,78 kg·hab⁻¹·año⁻¹ (PIMA 2016). Para suplir esta demanda, datos del VI Censo Nacional Agropecuario reportan un total de 1759 fincas productoras de tomate, para un área sembrada de 1250,9 ha (INEC 2015). El consumo de chile dulce, por su lado, fue de 3,16 kg·hab⁻¹·año⁻¹, lo que lo ubicó en el noveno lugar con una representación del 4,2% con respecto a otras hortalizas (PIMA 2016). Para suplir su demanda, en el año 2014, se sembraron 1085,6 ha de este cultivo, de las cuales se cosecharon 978,5 ha, esto en un total de 2365 fincas (INEC 2015).

En Costa Rica el 90% de la producción de tomate se realiza a campo abierto (estación seca) o semiprotegido (estación lluviosa), en tanto que el 10% restante se realiza bajo ambiente protegido (invernadero) (López 2017). A campo abierto, con densidades de siembra entre 12.000 a 16.000 plantas por hectárea, el rendimiento promedio es de 50 toneladas métricas por hectárea (t/ha). Bajo invernadero y con densidades de siembra entre 20.000 a 22.000 plantas por hectárea, se alcanza un rendimiento promedio de 150 t/ha; bajo ambiente protegido se produce aproximadamente un 25% del total de toneladas

métricas de fruta fresca cultivadas en el país (López 2012). En el caso del chile dulce, se cultiva principalmente a campo abierto, aunque se registra un incremento del cultivo en invernadero en los últimos años. La producción del chile dulce presenta rendimientos en campo abierto de hasta $42,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y hasta $150 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ bajo invernadero. El chile dulce ocupó para el 2003, en conjunto con el tomate un 28% del área de agricultura protegida del país, siendo de las principales hortalizas que se cultivan bajo esta modalidad (Elizondo-Icabaceta y Monge-Pérez 2017).

Las regiones de producción de estos cultivos en Costa Rica son Central Occidental, Central Oriental, Central Sur, Brunca, Chorotega, Pacífico Central y Huetar Norte; en las dos primeras regiones se ubica el 80% de la producción de estos dos cultivos (INEC 2014; López 2017).

2.2 Problemas fitosanitarios asociados a los cultivos de tomate y chile dulce

En la interacción de plantas cultivadas con su medio ambiente, surgen relaciones que pueden alterar negativamente la fisiología o morfología del organismo. De esta manera, la interacción negativa puede ser causada por la acción continuada de un agente extraño o por la carencia prolongada de algún factor ambiental esencial para el funcionamiento adecuado de las plantas.

Una planta enferma muestra una serie de síntomas resultantes de la interacción entre los mecanismos de ataque del patógeno y los mecanismos de defensa del hospedante; en enfermedades de tipo abiótico el resultado son desórdenes fisiológicos. En ambos casos la manifestación visible de la enfermedad puede ser de forma parcial, afectando uno o varios de sus órganos, o total, causando su muerte antes de ser cosechadas o consumidas (Agrios 2005).

En la naturaleza existen distintos niveles de parasitismo, aunque la gran mayoría pueden crecer y multiplicarse en ausencia del hospedante y por lo tanto son parásitos no obligados (Arauz 2011). Los llamados saprófitos facultativos tienen la capacidad de crecer saprofiticamente pero no son buenos competidores en presencia de saprófitos verdaderos. Aquí se agrupan la mayoría de los hongos y bacterias foliares y vasculares. Las enfermedades vasculares afectan muchos cultivos de las zonas tropicales mediante el bloqueo del sistema

vascular, impidiendo la movilización de agua y nutrientes dentro de la planta y por lo tanto mostrando un síntoma de marchitez. La elección del método para combatirlos se dificulta debido a que enfermedades diversas pueden presentar síntomas similares (Koike 2016). Especies de hongos, bacterias y nematodos patógenos son capaces de establecer sus nichos ecológicos y persistir en un ambiente hostil ante un número de competidores saprofitos y depredadores. El patógeno cuenta con una ventaja, su capacidad especializada de infectar a un hospedero susceptible y por tanto escapar al estrés competitivo al entrar a tejido vivo de la planta. Sin embargo, antes de la infección y posteriormente a la muerte de la planta hospedero, el patógeno es vulnerable a las fuerzas supresivas de antagonismo por otros organismos (Curl y Old 1988). Por ello, el manejo integrado de los sistemas de producción debe contar no solamente con la utilización de cultivares resistentes, pero también un apropiado manejo del sistema de cultivos que pretenda alterar el microambiente idóneo para la sobrevivencia del patógeno e influir sobre la incidencia de la enfermedad (Adebayo *et al.* 2009).

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los nombres comunes y los agentes causales respectivos de las principales enfermedades que afectan los cultivos de chile dulce y tomate de Costa Rica. La mayoría de estos son organismos patógenos que se encuentran en el suelo y pueden afectar su hospedero en etapas prematuras como semilla o plántula, cuando sus tejidos son suaves e inmaduros y causando una muerte prematura, o pueden causar daño en etapas más avanzadas, donde la planta sufre de volcamiento y colapso, llamada muerte posemergente.

Cuadro 1. Nombre común y el agente causal de las principales enfermedades reportadas en los cultivos de tomate y chile dulce en Costa Rica.

Nombre de la enfermedad	Agente causal
Marchitez bacteriana	<i>Ralstonia solanacearum</i>
Tizón tardío	<i>Phytophthora</i> spp.
Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>
Marchitez fungosa	<i>Sclerotium rolfsii</i>
Peca bacteriana	<i>Pseudomonas syringae</i>
Mancha bacteriana	<i>Xanthomonas vesicatoria</i>
Mildiú polvoso	<i>Leveillula taurica</i>

Esclerosis	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Mal del talluelo	<i>Pythium spp., Rhizoctonia solani</i>
Pudrición bacteriana	<i>Erwinia carotovora</i>

Fuente: Ramírez *et al.* 2012

Los procariontes son organismos que no poseen membrana nuclear alrededor de su material genético, dentro del grupo de procariontes fitopatógenos se incluyen bacterias que poseen pared celular. Lebeau *et al.* (2011) observaron diferencias entre los mecanismos de control de enfermedades causadas por bacterias en los cultivos de tomate y chile. En el primero, las plantas presentaron marchitez una vez que las poblaciones de la bacteria se establecieron en las plantas; no así en chile donde hubo restricción de la colonización bacteriana a la parte bajera del tallo, es decir marchitez limitada. Aunque la resistencia del hospedero es la más viable económicamente, resulta difícil encontrar cultivares que cuenten con una resistencia estable a lo largo de condiciones de alta humedad y temperatura en los trópicos; y cuando está presente en la planta, se encuentra el problema de frutos pequeños de bajo interés comercial. En muchos casos asociados a la resistencia (Rivard *et al.* 2012).

Tradicionalmente, la razón principal por la cual se injertan el tomate y el chile dulce ha sido para proveer resistencia ante patógenos del suelo, como *Fusarium spp.*, *Verticillium spp.*, *Meloidogyne spp.* y *R. solanacearum*. La bacteria cuenta con una amplia distribución a nivel global y un amplio rango de hospederos, más de 200 especies en 50 familias. Esto es particularmente cierto para la raza 1, la cual es especialmente virulenta en solanáceas. La sobrevivencia de este patógeno es favorecida en condiciones de alta humedad (Arauz. 2011).

Los síntomas típicos de *R. solanacearum* en tomate son la marchitez de las hojas apicales durante los periodos más calientes del día; aunque cuando las temperaturas son más frescas las plantas infectadas se pueden recuperar temporalmente, las plantas se marchitarán pocos días después. En la parte bajera del tallo se puede observar una decoloración color café de los tejidos vasculares en plantas enfermas. La base fisiológica de la enfermedad es multifactorial, estudios bioquímicos y genéticos indican que las secreciones de enzimas específicas degradan la pared celular del hospedero y son necesarias para una virulencia completa y extensiva colonización de los haces vasculares,

necrosis y lisis de las células vegetales (Bertolla *et al.* 1999). Cambios en la pared celular son comúnmente observados durante la invasión de bacterias; las paredes celulares se lignifican, lo cual ayuda a prevenir la multiplicación de bacterias y la posterior infección por hongos. Las tílides son células de parénquima que forman protuberancias dentro de los vasos del xilema, comúnmente se forman como respuesta a enfermedades que causan marchitez vascular y contribuyen a los síntomas de la enfermedad al bloquear el xilema. El rápido desarrollo de tílides seguido de la infección por patógenos de marchitez vascular puede bloquear el patógeno efectivamente y por tanto servir como mecanismo de resistencia.

La resistencia del tomate ante la bacteria *R. solanacearum* se conoce que está bajo control poligénico (Sang-Gyu *et al.* 2016). Dos mecanismos de defensa de las plantas son conocidos: la resistencia basada en la limitación de la colonización bacterial en los haces vasculares (resistencia verdadera) y la resistencia basada en la capacidad de la planta de sobrevivir a pesar de la presencia de la bacteria en los vasos (infección latente).

El uso de patrones resistentes a la marchitez bacteriana en tomate es una estrategia de manejo efectiva para *R. solanacearum*. Los parientes silvestres del tomate, como *S. habrochaites*, son recursos genéticos valiosos para el desarrollo de patrones (Venema *et al.* 2008). Con distribución geográfica en el centro de Ecuador y Perú y adaptado a un amplio rango de altitudes (entre 200 y 3300 m.s.n.m) (Velasco-Alvarado *et al.* 2019), se ha reportado que el uso de *S. habrochaites* como patrón puede incrementar el crecimiento de las plantas, incluso bajo condiciones desfavorables, al comparar con plantas no injertadas (Venema *et al.* 2008) también puede proveer resistencia a patógenos del suelo (Miranda *et al.* 2010; Zeist *et al.* 2017). Según McAvoy *et al.* (2012), investigaciones previas han indicado que la resistencia a la marchitez bacteriana en tomate no previene que el patógeno ingrese al sistema radical del hospedero, pero reduce la infección en el sistema vascular de la planta. Arauz (2011) señala que la presencia de bacterias fitopatógenas sobre la superficie del hospedante no significa que se vaya a desarrollar la infección y destaca la necesidad de que la población alcance cierto valor crítico para que esta ocurra. Además del grado de susceptibilidad del hospedero y la virulencia del biovar, factores ambientales como una alta humedad relativa y temperaturas de 30-35°C favorecen el ciclo de

vida de la bacteria gram negativa *R. solanacearum* (Ignatius 2018). Sin embargo, es importante considerar que *R. solanacearum* cuenta con una extraordinaria diversidad genética y fenotípica que dificulta el manejo sostenible de esta enfermedad (Lebeau *et al.* 2011).

En referencia al chile dulce y la afectación de *R. solanacearum*, Lebeau *et al.* (2011) describieron dos mecanismos de defensa ante la marchitez bacteriana: la resistencia basada en la limitación de la colonización bacteriana en elementos vasculares a la cual le llamaron resistencia verdadera y la resistencia basada en la capacidad de sobrevivir a pesar de la presencia de la bacteria en los vasos, infección latente. En su experimento clasificaron plantas de tomate, berenjena y chile dulce inoculadas con diferentes cepas de *R. solanacearum* en: (i) plantas muertas, (ii) plantas asintomáticas pero colonizadas por la bacteria (infección latente) y (iii) plantas asintomáticas sin infección latente (sanas); estos investigadores encontraron en el chile dulce una mayor cantidad de plantas afectadas tipo ii.

Debido a la gran diversidad del género *Capsicum* y a su variabilidad en su respuesta ante patógenos de suelo, las especies silvestres *C. baccatum* y *C. chinense* son recolectadas para evaluar su comportamiento ante la incidencia de la bacteria *R. solanacearum*. En el género *Capsicum* se ha encontrado que la resistencia o tolerancia hacia esta bacteria no está asociado a la especie sino más bien a la variedad del tipo de chile, pues al probar la afectación de marchitez bacteriana en diferentes genotipos de diferentes especies de *Capsicum*, entre ellas, *C. chinense*, *C. baccatum*, *C. frutescens* y *C. annum*, al menos un genotipo de cada especie se agrupó con un control comprobado resistente (Rossato *et al.* 2018). Soares *et al.* (2019) encontraron un efecto significativo similar al evaluar incidencia y severidad de tres aislados distintos de *R. pseudosolanacearum* entre una selección de líneas de *C. chinense*; en su experimento observaron diferentes niveles de resistencia de los diferentes genotipos de esta especie con relación al aislado de la bacteria. Según do Rego *et al.* (2012), hay dos factores que explican la diversidad genotípica que se encuentra en el género *Capsicum*: las capacidades reproductivas mixtas (alógamas y autógamias) con altas tasas de alogamia (2%-90%) debido a los insectos polinizadores, y la selección involuntaria o intencional de los productores que extraen la semilla de sus plantas para la renovación de su

cultivo. Por este motivo es importante identificar y caracterizar genotipos que presenten resistencia o tolerancia a la marchitez bacteriana y posteriormente evaluar su comportamiento ante la variabilidad fenotípica, genética y ecológica de la bacteria.

La técnica del injerto sigue siendo en la actualidad uno de los métodos más comunes y esenciales en la hibridación de plantas para una gran variedad de propósitos y especies, esta promueve la sostenibilidad por medio del aumento en la productividad y de la disminución de aplicación de pesticidas por medio de la utilización de patrones tolerantes a enfermedades en diversos cultivos de importancia económica (Mudge *et al.* 2009).

2.3 Técnica del injerto

El injerto es una técnica que normalmente es utilizada en cultivos hortícolas para mejorar la producción, consiste en la creación de un híbrido físico donde se usa una planta vigorosa para reemplazar el sistema radical de un cultivar de interés económico pero que es susceptible a uno o más factores de estrés. El nuevo sistema radical es llamado patrón y la parte aérea o cultivar de interés es la púa. El éxito del injerto en hortalizas ha generado programas de reproducción de patrones de especies resistentes a enfermedades específicas las cuales anteriormente no se cultivaban (Mudge *et al.* 2009).

Uno de los primeros injertos interespecíficos en hortalizas herbáceas se realizó en Japón en 1920 en Cucurbitaceae para el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai), mientras que para Solanaceae demoró hasta la década de los 1960 para escalar a nivel comercial (Maurya *et al.* 2019). A pesar de los beneficios obtenidos al utilizar plántulas injertadas, no todas las especies de hortalizas son capaces de ser injertadas, esto porque el éxito del proceso está influenciado por antecedentes genéticos, características de crecimiento, anatomía y factores fisiológicos y bioquímicos (Riga *et al.* 2016). Dentro de las especies hortícolas de la familia Solanaceae que comúnmente son injertadas por su interés económico se pueden encontrar: tomate (*Solanum lycopersicum* M.), chile dulce (*Capsicum annuum* L.); berenjena (*S. molongena* L.); mientras que, en el caso de la familia Cucurbitaceae: sandía (*Citrullus lanatus* L.), melón (*Cucumis melo* L.) y pepino (*C. sativus* L.) (Riga *et al.* 2016).

Actualmente la técnica es utilizada principalmente con el objetivo de prevenir estrés biótico causado por nematodos y enfermedades del suelo (Yin *et al.* 2015; Cohen *et al.* 2007), además, el injerto puede ser una importante práctica para afrontar factores de estrés abiótico como sequía (Albacete *et al.* 2015), bajas y altas temperaturas (Li *et al.* 2015; Venema *et al.* 2008), alta toxicidad por metales (Kumar *et al.* 2015), salinidad (Albacete *et al.* 2015) y deficiencia o toxicidad de macro y microelementos (Gao *et al.* 2015).

Cuando se realiza un injerto y la planta detecta la herida se activan una serie de respuestas mecánicas y hormonales donde participan sustancias como auxinas, citoquininas, enzimas de regeneración, pectinas, agua y azúcar, las cuales inducen el proceso de regeneración celular. Después de hacer el corte para realizar el injerto y posteriormente unir los tejidos, en el lugar de la herida se da expansión, división y desdiferenciación celular, lo que provoca la formación de callo; estas células rápidamente se vuelven a diferenciar tomando otra identidad y produciendo tejido vascular principalmente, el cual, es indispensable para el éxito del injerto debido a que un fallo en la formación de las conexiones vasculares de una planta puede tener daños irreparables (Melnyk 2017).

Al describir el proceso del injerto en tomate con respecto al tiempo, Melnyk (2017), detalla que dentro de los primeros dos días después de realizado el injerto (1) ocurre la adhesión de la púa y el patrón; sustancias de la pared celular incluyendo pectinas son secretadas, (2) se forma una capa necrótica de células muertas, (3) inicia la división celular en el cambium, endodermis, córtex y células que rodean el floema y el xilema en ambos la púa y el patrón; empieza a formarse el callo, (4) un incremento muy lento en la fuerza del peso de quiebre (el peso necesario para quebrar o romper el injerto). Posteriormente, varios días hasta la semana después de realizado el injerto, (5) la capa necrótica empieza a fragmentarse, (6) el callo empieza a tener contacto con la púa y el patrón, (7) una pared celular común entre la púa y el patrón empieza a formarse con material recién depositado de la pared celular, incluyendo pectinas, (8) la pared celular común se reduce en grosor y plasmodesmos se forman entre la púa y el patrón, (9) un incremento sustancial (típicamente lineal) ocurre en la fuerza del peso de quiebre. A la semana o más después de injertar, (10) el callo continúa su proliferación y ocurre la diferenciación a cambium, después xilema y floema se diferencian, (11) las células que rodean el corte también se diferencian en tejido

vascular, (12) las conexiones vasculares son restablecidas, (13) la capa necrótica ya no es visible, (14) la fuerza del peso de quiebre se regula proveyendo fuerza en el punto de unión del injerto similar a tejido no injertado.

2.4 Injerto en solanáceas

La utilización del injerto en cultivos como el tomate y el chile dulce podría ser una alternativa para alcanzar utilidades en este tipo de sistemas productivos en el trópico húmedo. Investigaciones previas manejan han reportado en estos cultivos variaciones en el crecimiento y precocidad de las plantas, así como en variables asociadas al fruto, tales como el rendimiento total por planta, cantidad de frutos por planta, tamaño y peso del fruto (Santos y Goto 2004; Morra y Bilotto 2006; Madeira *et al.* 2011; Giotis *et al.* 2012; Doñas-Ucles *et al.* 2014; Duan *et al.* 2017; Kwame-Aidoo *et al.* 2017; Ros *et al.* 2018). En estos estudios se ha encontrado que los tratamientos con plantas injertadas han igualado e inclusive superado a plantas sin injertar o autoinjertadas en las diferentes variables relacionadas a rendimiento y características de fruto, infiriendo que los patrones sirven como fuente para mejorar el crecimiento, desarrollo y productividad en diferentes condiciones.

Uno de los principales problemas que presenta la producción de hortalizas se encuentran asociados a la siembra continua de los cultivos, lo cual puede producir una alta presencia de plagas y patógenos de suelo que presionan a los productores a utilizar plaguicidas químicos, afectando la sostenibilidad del sistema productivo (Ramírez y Nienhuis 2012). Los patrones seleccionados en la familia de las solanáceas tienen sistemas radiculares más vigorosos que presentan mejor absorción de agua y nutrientes, asimismo, disminuyen la afectación de las enfermedades por medio de mecanismos de defensa para que en conjunto con la púa se obtenga una planta que en condiciones adversas produzca frutos de características deseables. La selección y utilización de patrones tolerantes para disminuir la afectación de patógenos de suelo como *F. solani*, *P. capsici*, *V. dhaliae*, *Meloidogyne spp.* ha sido ampliamente documentada (Santos y Goto 2004; Morra y Bilotto 2006; Duan *et al.* 2017; Ros *et al.* 2018). Estos investigadores han demostrado tasas de sobrevivencias variables en diferentes ambientes realizando combinaciones de patrones resistentes y púas productivas.

En el cultivo de tomate, se utilizan patrones normalmente híbridos interespecíficos (i.e., *Solanum lycopersicum* x *S. habrochaites*) que pueden inducir aumentos en productividad aun en ausencia de condiciones de estrés, además, el uso de híbridos interespecíficos puede incrementar la calidad del fruto, con mayor contenido de micro y macronutrientes, compuestos fenólicos, Vitamina C, licopeno y acumulación de flavonoides en el fruto de plantas injertadas (Riga *et al.* 2016). En el caso del chile dulce, se han utilizado patrones como *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* L. y *C. annuum*. en injertos inter e intraespecíficos, encontrando diferencias en características de raíz, tasa de sobrevivencia, rendimiento y calidad del fruto; Duan *et al.* 2017; Vega 2017), además, ha descrito a las especies *C. chinense* Jacq. y *C. baccatum* L como tolerantes a patógenos de suelo en diferentes zonas de la RHN.

2.5 Compatibilidad púa/patrón

Los aspectos fisiológicos de las interacciones púa/patrón afectan los mecanismos que participan en la compatibilidad del injerto. Según Martínez-Ballesta *et al.* (2010) la absorción de nutrientes y agua, la asimilación y traslocación de solutos y la influencia del patrón en los principales procesos de la púa deben ser evaluados para alcanzar el propósito de hibridación, resistencia al estrés. Las plantas injertadas en busca de una resistencia a condiciones de estrés incrementan la absorción de agua y minerales. A su vez, los mismos autores insisten en la importancia de garantizar condiciones para una buena unión del injerto para alcanzar la comunicación púa-patrón. En particular las discontinuidades del tejido vascular en el punto de unión del injerto pueden llevar a inhibir el crecimiento e inclusive causar la marchitez de la planta (Davis *et al.* 2008). Aunque la incompatibilidad suele ocurrir en etapas tempranas, podría manifestarse también durante la fructificación cuando hay mayor demanda de nutrientes y agua.

La variabilidad fenotípica de cultivos arables normalmente involucra la interacción genotipo-ambiente. En plantas injertadas el fenotipo es más complejo ya que combina dos genotipos distintos causando la interacción púa/patrón/ambiente, la cual es conducida por el grado de comunicación entre la púa y el patrón. Adicionalmente el efecto del injerto en sí, media parcialmente en la interacción púa/patrón. Estas interacciones determinan la influencia positiva o

negativa del patrón sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de la púa. En tomate, por ejemplo, Asins *et al.* (2010) estudiaron cómo la expresión génica de la raíz puede influenciar la fisiología de la púa.

La comunicación entre la púa y el patrón es bidireccional a través del xilema y el floema e incluye agua, nutrientes, hormonas, metabolitos, péptidos, moléculas orgánicas de pequeño tamaño y ácidos nucleicos. El estudio de las interacciones y la comunicación entre la púa y el patrón permitirá el uso de nuevo germoplasma hasta entonces subvalorado y de nuevas aplicaciones de valor agronómico, especialmente en cultivos hortícolas (Albacete *et al.* 2015).

Se han reportado problemas asociados a la calidad del fruto en vegetales injertados. Según Kyriacou *et al.* (2017), los efectos positivos de un patrón interespecífico en el rendimiento de la púa son comúnmente reflejados en el tamaño del fruto. Por su lado, la forma del fruto es una cualidad gobernada por el fenotipo de la púa. Los mismos autores señalan que la variación en el color de la epidermis y de la pulpa, determinado por cambios en las concentraciones de pigmentos, puede ser influenciado por el injerto directamente. La textura de la fruta también puede ser afectada, por lo que una pérdida en firmeza puede reflejar una incompatibilidad latente púa-patrón. En cuanto a una de las variables sensoriales más importantes, la dulzura, algunos patrones pueden afectar negativamente la cantidad de azúcares, aunque en general no representa un cambio crítico para garantizar la calidad y comerciabilidad (Riga 2015; Maynard *et al.* 2002).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del lugar y periodo de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Campus Tecnológico Local San Carlos del Tecnológico de Costa Rica (TEC-SC), ubicado en la comunidad de Santa Clara, distrito de Florencia del cantón de San Carlos, perteneciente a la provincia de Alajuela (Figura 1).



Figura 1. Localización geográfica del lugar de estudio donde se evaluó el efecto del injerto sobre el comportamiento agroproductivo de dos híbridos injertados de tomate y dos de chile dulce cultivados a campo abierto y bajo cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica.

Dicha localidad se encuentra a 165 msnm aproximadamente, en las coordenadas 10°21'43" Norte y 84°30'36" Oeste. El lugar de estudio está ubicado en la región Huetar Norte del país y según el sistema de zonas de vida existentes en Costa Rica propuesto por Holdridge, la zona presenta condiciones climáticas características del Bosque húmedo tropical. Según valores registrados (2000-2013) en la estación meteorológica ubicada en la finca "La Esmeralda" del TEC-SC, inscrita ante el Instituto Meteorológico Nacional (IMN); la precipitación promedio anual es de 3.400 mm, temperatura media de 25,4°C (temperatura mínima promedio de 20,8°C y máxima promedio de 30°C) y humedad relativa (HR) media de 87% (HR mínima promedio de 80% y máxima promedio de 93%).

3.2 Período de estudio

Las evaluaciones correspondientes a cada cultivo se iniciaron en momentos distintos debido a la disponibilidad de las plántulas injertadas. El

tomate se trasplantó el 10 de mayo de 2019 y se realizaron mediciones hasta el 15 de agosto para el caso del ensayo a campo abierto y el 27 de setiembre para el ensayo en cultivo protegido. El chile se trasplantó el 10 de junio de 2019 y se realizaron mediciones hasta el 30 de octubre a campo abierto y hasta el 18 de noviembre en cultivo protegido.

3.3 Descripción general de la investigación

Se sembraron dos ensayos para cada cultivo, uno a campo abierto (CA) y otro bajo cultivo protegido (CP). Para cada cultivo se seleccionaron dos patrones y dos púas de cultivares o híbridos comerciales de alta producción para formar las plantas injertadas. Tales plántulas fueron injertadas en el vivero especializado Almácigos Rincón de Paz, ubicado en Sarchí y fueron transportadas a la localidad de Santa Clara para la ejecución de los ensayos. Durante el período de evaluación, se midieron variables relacionadas al comportamiento agronómico como: incidencia de plantas marchitas, crecimiento de la planta, desarrollo, producción y calidad.

El proceso del injerto demoró en promedio 35 días. A las tres semanas de edad después de la siembra se realizó el injerto. Se tomaron plantas utilizadas como patrón y se cortaron por debajo de los cotiledones con el uso de un bisturí esterilizado a un ángulo aproximadamente de 75°, seguidamente, se colocó un clip de silicón para posteriormente alinear las plantas que utilizadas como púas en un mismo ángulo. Inmediatamente después se introdujeron a una cámara de recuperación 7 días, con la intención de mantener condiciones ambientales que redujeran el estrés de las plantas. La cámara permitió conservar las plantas en oscuridad con una alta humedad relativa entre 85 y 95% y la temperatura entre 24 °C y 28 °C. Posteriormente se transfirieron a pleno sol por periodo de una semana para estar listas para el trasplante.

Específicamente para el caso del ensayo de CA, se realizó una prueba de patogenicidad en el Laboratorio de Fitopatología de la Escuela de Agronomía del TEC, San Carlos para comprobar la presencia de *R. solanacearum* en la parcela de estudio. Para ello se tomaron muestras representativas de suelo de la parcela asignada para la ejecución del ensayo. Con un palín se tomaron 10 muestras de suelo de aproximadamente 500 g cada una, considerando 30 cm de profundidad aproximadamente y se mezclaron para posteriormente llenar

macetas plásticas donde se sembraron plantas de tomate que no contaran con resistencia reportada al patógeno en cuestión (Figura 2). Se tutoraron y se mantuvieron con riego manual en uno de los invernaderos del campus hasta que visualmente se empezaron a reconocer síntomas asociados a la enfermedad; posteriormente se llevaron al laboratorio mencionado para su respectivo diagnóstico. En la prueba de CP no fue necesario realizar la prueba pues se considera en sí, un ambiente libre de este tipo de enfermedades al realizar la esterilización de las macetas y el sustrato.



Figura 2. Plantas de tomate en suelo de la parcela para realizar la prueba de patogenicidad. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Fuente: Autores.

3.4 Descripción general de las parcelas de estudio

3.4.1 Cultivo protegido

El invernadero cuenta con un área de 120 m² y presenta 12 m de longitud, 10 m de ancho, 3 m de altura de la pared, 5 m de altura de la cumbre y 0,8 m de ventana cenital. El techo está constituido por una cobertura plástica de polietileno de baja densidad con filtro UV, las paredes de malla antiáfidos con una densidad de 1.024 mesh y como piso se utilizó una lámina plástica de

polietileno transparente sobre la cual se empleó una cubierta blanca conocida como *Ground Cover*, con el fin de producir un mayor efecto envolvente de la luz.

3.4.2 Parcela a campo abierto

La parcela quedó establecida de manera tal que las camas de cultivo contaran con 25 m de largo y 0,8 m de ancho. Se asignaron cuatro hileras para cada cultivo, entre los cuales se dejó una hilera sin sembrar. Se estableció un sistema de riego por goteo, toda el área de cultivo contó con un acolchado de plástico plata/negro y mediante postes de caña de bambú distanciados cada 3 m se construyó un sistema de tutorado con alambre galvanizado para amarrar cada una de las plantas conforme fueran creciendo. La Figura 3 muestra el ensayo a CA en el establecimiento del cultivo de tomate (A) y chile dulce (B).



Figura 3. Parcela de campo abierto que muestra el establecimiento de los cultivos de (A) tomate y (B) chile dulce. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Fuente: Autores.

3.5 Material experimental

En el caso del tomate se utilizaron los cultivares “BB” (Takii Seed, Japón) y “Armada F1” (Takii Seed, Japón) de la especie *S. habrochaites* L. como patrones, y se utilizaron púas de los híbridos utilizados a nivel comercial “El Cinco” (Wisdom Seeds Ltd., Israel) y “JR” (BHN Seeds, E.E.U.U.). Para el caso del chile dulce, se utilizaron cultivares de las especies *C. chinense* y *C. baccatum* como patrones recolectadas por el Proyecto Semillas de Esperanza entre productores de la RHN de Costa Rica y con atributos observados de resistencia a patógenos del suelo; mientras que los genotipos de las púas fueron de los híbridos “Natalie” (Syngenta Seeds, EE.UU.), “4212” (Seminis Seeds, E.E.U.U.).

3.6 Descripción de los tratamientos

En el Cuadro 2 se presentan los ocho tratamientos propuestos para cada cultivo en los dos ambientes de estudio. A saber, dos tratamientos de las púas de alta producción sin injertar, dos tratamientos de las púas que serán autoinjertadas y finalmente, cuatro tratamientos que combinan las dos púas con dos patrones.

Cuadro 2. Identificación de los tratamientos, púa, patrón y el tipo de injerto a evaluar en los cultivos y chile dulce. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Cultivo	Tratamiento	Tipo de Injerto	
Tomate	El Cinco	Armada	<i>S. lycopersicum</i> L. - <i>S. habrochaites</i> L.
		BB	
		Autoinjertado	Autoinjerto
		Sin injertar	Sin injertar
	JR	Armada	<i>S. lycopersicum</i> L. - <i>S. habrochaites</i> L.
		BB	
Autoinjertado		Autoinjerto	
Sin injertar		Sin injertar	
Chile	4212	Baccatum	<i>C. annuum</i> L. - <i>C. baccatum</i>
		Chinense	<i>C. annuum</i> L. - <i>C. chinense</i> Jacq
		Autoinjertado	Autoinjerto
		Sin injertar	Sin injertar
	Natalie	Baccatum	<i>C. annuum</i> L. - <i>C. baccatum</i>
		Chinense	<i>C. annuum</i> L. - <i>C. chinense</i> Jacq
		Autoinjertado	Autoinjerto
		Sin injertar	Sin injertar

3.7 Manejo agronómico de los cultivos

3.7.1 Limpieza previa de la estructura y los contenedores para el trasplante en cultivo protegido

Previo al trasplante se limpió el interior del invernadero, se realizaron reparaciones a la malla antiáfidos y se controló la vegetación del área aledaña a los 5 m circundantes de la estructura colindantes con la finca lechera de la universidad. Con el fin de lavar las paredes, se realizó una aplicación de un bactericida-fungicida a base de semillas de cítricos Biocto 6 84.68 SL (Productos Biogénicos S.A.), utilizando una bomba de espalda de 18 L marca Carpi. Se dejó actuar el producto por lapso de 15 minutos y se lavó la malla con el uso de una hidrolavadora modelo. Además de las paredes, se lavaron con jabón los contenedores plásticos y se desinfectó el sustrato con una solución en agua al 0,3% del producto yodado Vanodine 18 (Evans Vanodine International, Gran Bretaña). Los contenedores plásticos utilizados para el cultivo de tomate fueron de 20 L y para el caso del chile dulce de 10 L. El sustrato en ambos cultivos fue fibra de coco; un material orgánico fibroso, con una alta porosidad, liviano y con alta retención de humedad. Por encima del piso del invernadero el cual contaba con un relleno de piedra roja volcánica se estableció una lámina de plástico transparente y sobre ella el *Ground Cover*. Además, se instaló un sistema de cables acerados sobre cada hilera de contenedores para soportar el peso de las plantas amarradas de chile dulce y tomate.

3.7.2 Preparación del terreno a campo abierto

En cuanto a la parcela de CA, se realizó un pase de rastra mecanizado para facilitar la conformación de los lomillos. Posteriormente se homogenizaron manualmente con el uso de azadones y palas para luego fijar las cintas de riego en cada uno de los lomillos a utilizar. Por último, previo al trasplante, se procedió a instalar un acolchado plástico negro/plata de polietileno con espesor de 0,03-0,05 mm, de 1,2 m de ancho. Esta labor se realizó con el fin primordial de reducir las labores del cultivo, en especial el control de malezas, aunque es conocido también su efecto en reducir la evaporación del agua del suelo, aumentar la transferencia y conservación de calor al suelo y modificar el intercambio de aire con el suelo.

3.7.3 Trasplante, podas, tutorado y manejo fitosanitario

En el ensayo de CP el sustrato fue debidamente hidratado un día antes de trasplantar. Las poblaciones fueron de 48 plantas de tomate y 48 plantas de chile dulce, sembradas a 1,5 m entre hileras y 0,4 m entre plantas para una densidad de siembra de 16 666 plantas por hectárea. El cultivo de tomate estuvo constituido por 4 hileras de 12 plantas cada una, mientras que el chile dulce por su parte se sembró en dos hileras de 24 plantas cada una (Figura 4).



Figura 4. Establecimiento del ensayo del ambiente bajo cultivo protegido de tomate y chile dulce. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Fuente: Autores.

A las plantas injertadas de ambos cultivos se les removió el clip plástico dos días después del trasplante. A las plántulas del cultivo de tomate se les removió, con la ayuda de un bisturí las raíces adventicias que se generan al realizar el injerto (Figura 5), además, se trabajó con dos tallos ortotrópicos (guías) por planta y se podaron semanalmente los brotes vegetativos que actúan como sumidero. Por otra parte, las plantas de chile contaron con los tres tallos de la primera ramificación y no se realizó poda de brotes semanalmente; solamente una poda de hojas por debajo de la primera ramificación así como la poda del primer botón floral. Para ambos cultivos la poda de hojas bajas buscó mejorar el microclima basal y eliminar posibles fuentes de inóculo.



Figura 5. Corte de raíces adventicias generadas por la técnica del injerto en plántulas de tomate. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Fuente: Autores.

Para el ensayo de CA, las plantas de ambos cultivos se sembraron a una distancia de 1,5 m entre surcos y 0,3 m entre plantas para una densidad de siembra de 22 222 plantas por hectárea (Figura 6). Al realizar el trasplante se ubicó una estaca de bambú de 0,4 m como tutor a cada una de las plantas y se dejó el clip de los injertos hasta asegurar el arraigo de las plantas. La poda realizada para ambos cultivos fue la misma al ensayo de CP, con la única diferencia de dejar un solo tallo principal para las plantas de tomate. Esto se realizó debido a que el acolchado plástico utilizado aumentaba la densidad de siembra por lo que se trabajó con un solo tallo para disminuir la competencia por recursos entre plantas.



Figura 6. Cultivos de tomate y chile dulce injertados en el ensayo de campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Fuente: Autores.

El manejo fitosanitario de los cultivos tuvo como base un manejo integrado de plagas donde se realizaron aplicaciones de control biológico y químico cuando fue necesario, sin embargo, se restringió el uso de productos químicos dirigidos al suelo que pudieran interferir con el efecto de resistencia del patrón. Se evaluó constantemente el estado fitosanitario de las plantas y se hicieron aplicaciones preventivas durante las etapas fenológicas de floración y desarrollo del fruto para minimizar el impacto de plagas y enfermedades sobre el rendimiento. Se consideró el periodo de retiro de los productos químicos utilizados con el fin de que las aplicaciones no perjudicaran el consumo de los frutos.

3.7.4 Sistema de riego

En ambos ambientes se instalaron tanquetas de 1000 L que contenían la solución nutritiva utilizada en ambos ensayos; en cada caso, impulsadas por una bomba centrífuga de 0,5 hp/110 (PM60) (Foras, Italia). Entre la bomba centrífuga y las llaves de paso de la tubería principal, se instaló un filtro de discos. El ensayo en CP contó con una tubería principal de polietileno de 25 mm (1 pulgada) de diámetro y a ésta se conectaron mangueras de 12 mm (1/2 pulgada), distanciadas 1,5 m entre hileras, que a su vez contaban con sus respectivos distribuidores de cuatro salidas con microtubo, distanciados 0,3 m, y utilizando goteros tipo estaca, con un caudal de 1,7 l/h, se asignaron dos para cada planta

(Figura 7). Asimismo, se conectó la bomba a un programador de riegos Vyr-6045 (VYRSA, España), y un contactor LC1D12 (Schneider Electric, Francia); se programó para suplir las necesidades hídricas de los cultivos.

Por su parte, el ensayo en CA contó con una tubería principal de 25 mm y a ésta se acoplaron las llaves de paso que contaban con las cintas de riego con goteros cada 0,2 m con un caudal de 1,5 l por hora.



Figura 7. Sistema de riego utilizado en el ensayo del ambiente bajo cultivo protegido de tomate y chile dulce injertados. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Fuente: Autores.

3.7.5 Preparación de la solución nutritiva

La elaboración de la solución nutritiva (SN) consistió en agua y los nutrientes esenciales en forma iónica. Se tuvieron presente los siguientes factores de la solución nutritiva que más influyen en el desarrollo de los cultivos: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrientes (representada por la conductividad eléctrica), el pH y la temperatura de la SN.

La solución nutritiva utilizada en ambos ensayos consideró la relación mutua entre aniones y la relación mutua entre cationes con base en el porcentaje respecto al total de mol de aniones o cationes de acuerdo con Graves (1983) y Steiner (1984), citado por Lara (2000). De esta manera, considerando la

preparación de soluciones nutritivas según Steiner (1961) se determinó una relación porcentual relativa a cada grupo de iones expresada en mol / m³ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Relación mutua entre aniones y relación mutua entre cationes con base en el porcentaje respecto al total de mol de aniones o de cationes.

Nitrato (NO ₃ ⁻)	Fosfato (H ₂ PO ₄ ⁻)	Sulfato (SO ₄ ⁻²)	Potasio (K ⁺)	Calcio (Ca ⁺²)	Magnesio (Mg ⁺²)
Relación porcentual en moles · m ⁻³					
Aniones			Cationes		
75	10	15	35	50	15

Mediante un cuadro de doble entrada (Cuadro 4) se buscaron los equivalentes químicos que representan las sales fertilizantes disponibles para preparar la solución de 1000 L. En primer lugar, se completa la casilla correspondiente a la sumatoria de cada grupo iónico la cual equivale a la conductividad eléctrica multiplicada por diez. A partir de este valor y utilizando las relaciones porcentuales relativas de cada grupo iónico del Cuadro 3 se completan los valores totales para cada ión presente en la solución. Finalmente, se generan valores en la intersección entre los cationes y los aniones que dan como resultado los equivalentes químicos de cada sal fertilizante para una solución de 1000 L.

Cuadro 4. Cuadro de doble entrada para la preparación de la solución nutritiva con una conductividad eléctrica de 2mS/cm a partir de la intersección entre los equivalentes de los cationes y aniones.

Catión/ Anión	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Σ
K⁺	10	5		15
Ca⁺²		2		2
Mg⁺²			3	3
Σ	10	7	3	20

Fuente: Autores.

La cantidad de cada sal fertilizante a utilizar se calculó al multiplicar los equivalentes respectivos por su peso molar y se dividió entre la valencia química de la sal, obteniendo en gramos las cantidades necesarias de fertilizantes para preparar 1000 l de SN (Cuadro 5). La conductividad eléctrica durante todo el experimento fue de $2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y se monitoreó el pH de la solución al momento de su preparación con el fin de corroborar un valor óptimo entre 5,0 y 6,0. Los requerimientos de microelementos fueron suplidos con 16 g del multimineral Microplex ®.

Cuadro 5. Cantidad de sales fertilizantes necesarias para preparar un volumen de 1.000 litros de la solución nutritiva a una concentración de $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Sal mineral	Equivalentes (eq)	Peso Molar (g/mol)	Valencia química (eq/mol)	Peso Equivalente (g/eq)	Cantidad (g)
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	10	236,38	2	118,19	1181,9
KNO_3	5	101,1	1	101,1	505,5
KH_2PO_4	2	136,1	1	136,1	272,2
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	3	246,5	2	123,25	369,75

Fuente: Autores.

3.8 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) en ambos ensayos. En este experimento, que estudia el efecto que produce un solo factor en la variable respuesta, la asignación de las unidades experimentales a los distintos niveles del factor se debe realizar de forma completamente al azar. En CP, ambos cultivos contaron con ocho tratamientos con tres repeticiones de dos plantas por unidad experimental; para un total de 48 plantas en cada cultivo. En cuanto a CA, en el cultivo de tomate se establecieron ocho tratamientos con seis repeticiones de cinco plantas por unidad experimental; para un total de 240 plantas. El caso del chile dulce, todos los tratamientos contaban constaban de seis repeticiones de cinco plantas cada una excepto los tratamientos que tenían *C. chinense* de patrón, los cuales contaban de cinco repeticiones de tres plantas por unidad experimental; para un total de 210 plantas.

Los grados de libertad son los valores de un conjunto de datos que tienen la posibilidad de variar después de haber puesto alguna restricción a los mismos.

Para los tratamientos se definen $(T-1)$ g.l. y para el error $T(r-1)$ g.l.; donde $T =$ número de tratamientos y $r =$ número de repeticiones, tal y como se observa en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Fuente de variación y grados de libertad para los experimentos a evaluar el efecto del injerto en los cultivos de tomate y chile dulce a campo abierto y en cultivo protegido, en un Diseño Completamente al azar en el Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2019.

Fuente de variación	Cultivo Protegido Grados de libertad	Campo abierto Grados de libertad
Tratamientos	7	7
Error experimental	16	40
Total	23	47

3.9 Modelo estadístico y análisis de datos

El modelo estadístico utilizado es Análisis de Varianza de un Factor o una Vía, bajo efectos fijos; para aplicar dicho modelo adecuadamente las unidades experimentales deben ser lo más homogéneas posible y es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}; i = 1, \dots, t; j = 1, \dots, r$$

donde;

Y_{ij} es la observación de la j -ésima u.e. del i -ésimo tratamiento, μ es la media global, T_i es el efecto del i -ésimo tratamiento y ε_{ij} es el error experimental de la unidad ij . Se definió que hay t tratamientos y r repeticiones en cada uno.

Al ser el objetivo evaluar el efecto de los tratamientos y contrastar la hipótesis de que todos los niveles del factor producen el mismo efecto, frente a la alternativa de que al menos dos difieren significativamente entre sí. Para ello, se parte de la suposición que los errores experimentales son variables aleatorias independientes con distribución normal, con media cero y varianza constante σ^2

La hipótesis nula plantea la igualdad de medias entre tratamientos:

$$H_0 : T_1 = T_2 = \dots = T_i = 0$$

frente a la alternativa, al menos uno es diferente:

$$H_1 : T_i \neq 0$$

3.10 Variables evaluadas

Las variables evaluadas están relacionadas a incidencia de marchitez, crecimiento, desarrollo, producción y calidad de fruto de los cultivos a partir del momento del trasplante. En el Cuadro 7 se indican las variables evaluadas, en el caso de la incidencia de la enfermedad, al igual que las variables de crecimiento, se estableció una evaluación equidistante en el tiempo desde el principio del experimento, mientras que, en el caso de las variables relacionadas a desarrollo, producción y calidad se inició una vez que su indicador fuera cuantificable en el ciclo. Para la medición del pH y °Brix se tomaron al menos dos frutos de cada planta, los cuales fueron cosechados en un nivel de madurez determinado por una escala de color determinado por Cerdas y Montero (2002) y mostrado por INTA (2017), seguidamente, fueron licuados y almacenados en bolsas plásticas en un congelador a -52 °C hasta el momento de su respectiva medición. La variable de sobrevivencia se evaluó solamente en el cultivo de tomate en CA, y las variables de- calidad para el cultivo de tomate bajo CP.

Cuadro 7. Variable, categoría, frecuencia de medición y método para evaluar las variables en los injertos de tomate y chile dulce en campo abierto y cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Variable (unidades)	Abreviatura	Categoría	Frecuencia de medición	Método
Porcentaje de sobrevivencia (%)*	Sobr.	Sanitaria	Semanal	Se contaron la cantidad de plantas afectadas por marchitez entre las plantas totales del ensayo multiplicadas por 100
Altura de planta (cm)	Alt.	Crecimiento	Semanal	Con una cinta métrica, se midió la altura de la planta desde la base hasta el meristemo apical
Cantidad de hojas por planta (#)	No. hojas			Se contabilizó el número total de hojas en cada planta
Días a floración (#)	Dflor		Una vez en el ciclo	Se contabilizaron los días desde el trasplante hasta la floración
Días a fructificación (#)	Dfru	Desarrollo y producción		Se contabilizaron los días desde el trasplante hasta la fructificación
Cantidad de frutos por planta (#)	Cfru		Durante el estado productivo	Se contabilizaron el número total de frutos cosechados en cada planta
Peso de frutos (g.)	Pfru			Se promedió el peso de todos los frutos
Rendimiento	Rend.			Se contabilizó el peso total producido por planta
Grados Brix (°Bx)**	Brix	Calidad		Con un refractómetro, se midió al líquido de al menos dos frutos por planta la concentración de azúcares
pH**	pH			Se utilizó un medidor de pH para medir una muestra de al menos dos frutos por planta

*Aplica para las plantas de tomate en el experimento en campo abierto

**Aplica para las plantas de tomate en el experimento bajo cultivo protegido

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ensayos en el cultivo de tomate

4.1.1 Ensayo en campo abierto

El Cuadro 8 muestra la significancia en la sobrevivencia del ensayo realizado en el cultivo de tomate CA para cada uno de los muestreos realizados.

Cuadro 8. Significancia para la sobrevivencia a diferentes edades del trasplante en el ensayo de tomate en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

DDT				
8	22	36	56	68
NS	*	*	*	*

*Indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los resultados obtenidos en la variable de sobrevivencia para los diferentes tratamientos evaluados en el cultivo de tomate CA se observan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Media y error estándar de porcentaje de sobrevivencia en los tratamientos de tomate injertado y no injertado en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

		DDT				
Tratamiento		8	22	36	56	68
El Cinco	Armada			43 ± 13		
		100 ± 0 A	70 ± 14 A	ABC	20 ± 7 ABC	17 ± 8 ABC
	BB	100 ± 0 A	70 ± 15 A	63 ± 15 A	33 ± 10 A	33 ± 10 A
	Autoinjerto	100 ± 0 A	23 ± 16 C	13 ± 13 CD	7 ± 7 BC	7 ± 7 BC
	Sin injertar	100 ± 0 A	27 ± 17 BC	20 ± 14 CD	10 ± 10 BC	10 ± 10 BC
JR	Armada	100 ± 0 A	60 ± 5 AB	30 ± 7 BCD	23 ± 8 AB	23 ± 8 AB
	BB	100 ± 0 A	70 ± 14 A	53 ± 12 AB	37 ± 12 A	33 ± 10 A
	Autoinjerto	100 ± 0 A	7 ± 4 C	0 ± 0 D	0 ± 0 C	0 ± 0 C
	Sin injertar	100 ± 0 A	10 ± 7 C	0 ± 0 D	0 ± 0 C	0 ± 0 C

Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

En el Cuadro 10 se observa la significancia para las variables altura y cantidad de hojas a los 68 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el cultivo de tomate CA.

Cuadro 10. Significancia para las variables altura y cantidad de hojas a los 68 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y

rendimiento en el ensayo de tomate en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Alt. (cm) 68 ddt	No. hojas 68 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g/planta)
*	*	*	NS	*	NS	*

*Indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Seguidamente, en el Cuadro 11 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las variables:

Cuadro 11. Media y error estándar de las variables altura y cantidad de hojas a los 68 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en los tratamientos de tomate en el ambiente campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Tratamiento	Alt. 68 ddt (cm)	No. hojas 68 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g/planta)	
El Cinco	Armada	140,5 ± 11,7 AB	10,5 ± 1,9 AB	27,05 ± 0,8 A	33,9 ± 0,7	5,5 ± 2,7 AB	64,1 ± 8,8	374,8 ± 204 B
	BB	171,9 ± 16,6 A	16,3 ± 2,3 A	25,6 ± 0,3 AB	33,1 ± 0,6	12 ± 3,5 A	130,2 ± 18,0	1546,2 ± 464,9 A
	Autoinjertado	184,1 ± 0 A	18,5 ± 0 A	23,4 ± 0 ABC	33 ± 0	2,7 ± 2,7 B	137,3 ± 0	366,1 ± 366,1 B
	Sin injertar	151,6 ± 0 AB	15,7 ± 0 AB	21,5 ± 0,2 C	34 ± 0	3 ± 3 B	127,9 ± 0	383,8 ± 383,8 B
JR	Armada	107,02 ± 6,7 B	9,3 ± 1,1 B	21,7 ± 0,6 C	32,9 ± 1,0	6,5 ± 3,0 AB	108,5 ± 19,3	814,6 ± 435,0 AB
	BB	159,7 ± 13,8 A	16,9 ± 0,6 A	23,4 ± 1,3 BC	34,3 ± 1	12,8 ± 3,6 A	137 ± 7,1	1756,5 ± 523,0 A
	Autoinjertado	-	-	-	-	- B	-	- B
	Sin injertar	-	-	19 ± 0 C	-	- B	-	- B

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

En la Figura 8 se observa el comportamiento de la sobrevivencia de los tratamientos en cultivo de tomate CA en los muestreos efectuados.

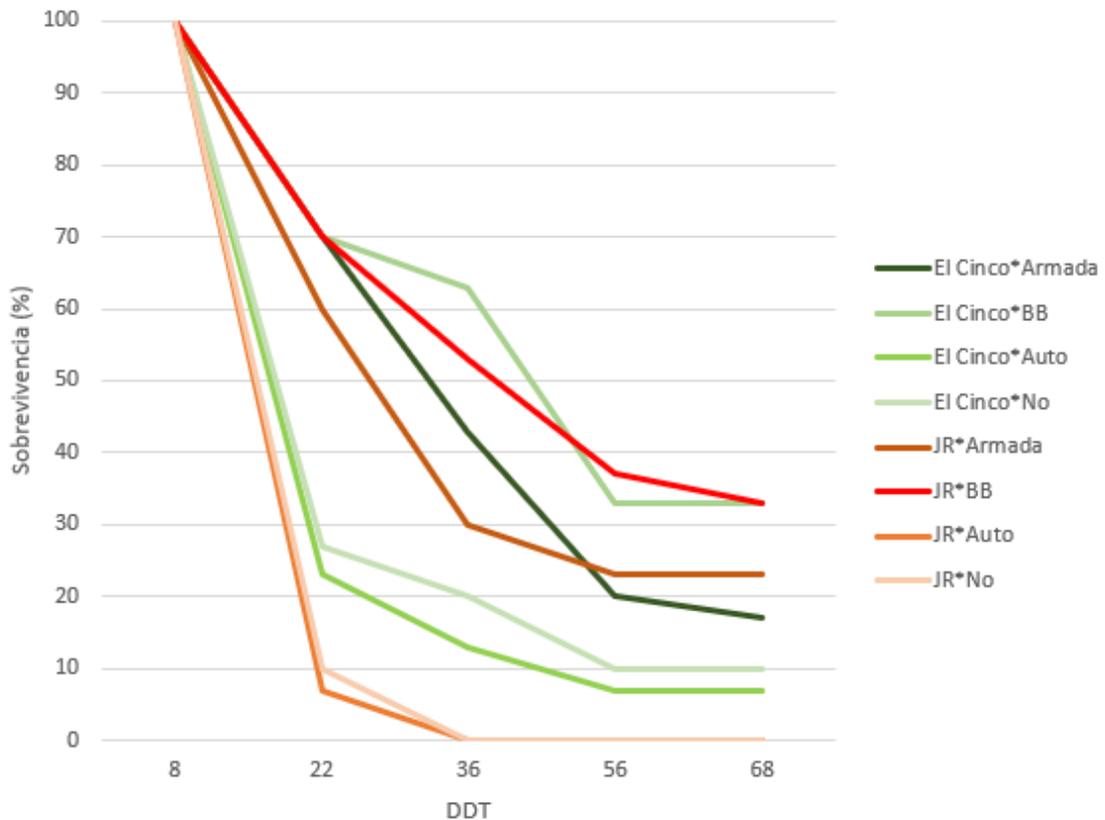


Figura 8. Porcentaje de sobrevivencia en los tratamientos del cultivo de tomate en ambiente campo abierto a diferentes edades después de trasplante. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

En el ensayo de tomate CA los tratamientos evaluados presentaron un efecto significativo ($p < 0,05$) en la variable sobrevivencia. Todas las plantas de los tratamientos JR/Sin injertar y JR/Autoinjertado presentaron síntomas de marchitez tempranamente hasta el punto de no contar con plantas vivas a los 36 ddt (Figura 9). El tratamiento El Cinco/Sin injertar presentó un 10% de sobrevivencia a los 68 ddt y mientras que el tratamiento El Cinco/Autoinjertado sobrevivió en un 7% al final de la evaluación, sugiriendo que dicho cultivar cuenta con mecanismos de resistencia que parecen no estar presentes en el cultivar JR. Los tratamientos JR/BB y El Cinco/BB fueron los que mostraron mayor sobrevivencia, aunque no fueron estadísticamente distintas a las injertadas sobre Armada. Los tratamientos interespecíficos JR/BB y El Cinco/BB mantuvieron el mayor porcentaje de sobrevivencia hasta el final de la evaluación a los 68 ddt, con un valor promedio de 33%. Los tratamientos JR/Armada y El Cinco/Armada le siguieron en porcentaje de sobrevivencia con un valor promedio de 20%. Los resultados obtenidos sugieren una alta presión de inóculo favorecida por las condiciones ambientales del trópico húmedo, dificultando el cultivo de tomate a CA como actividad económica en la zona de estudio y

evidencian que el uso del injerto para el manejo de dichas condiciones es una estrategia promisoría siempre y cuando sea integrado a un conjunto de prácticas que conlleven a controlar las poblaciones del patógeno. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por McAvoy *et al.* (2012) quienes evaluaron patrones híbridos para el manejo de marchitez bacteriana en producción de tomate a CA; la menor incidencia de la enfermedad siempre fue observada en alguno de los tratamientos injertados. De igual manera reportan Suchoff *et al.* (2019), encontrando un efecto significativo en porcentaje de sobrevivencia con respecto a un control no injertado en tres patrones resistentes a la marchitez bacteriana. Louws *et al.* (2010) mencionan que uno de los principales retos de injertar para el manejo de enfermedades del suelo es la selección del patrón, la cual debería de ser específica para el lugar según presencia, estructura y dinámica de población del patógeno, así como factores edáficos, ambientales y antropogénicos. Rivard *et al.* (2012) evaluaron el uso de un patrón en tomate como alternativa para el manejo de *R. solanacearum* en tres localidades distintas y observaron una incidencia de la enfermedad entre 0 y 13 ± 3 % en dos localidades, pero 50 ± 3 % en la tercera. Por lo tanto, la resistencia parcial a la marchitez bacteriana puede complementar otras estrategias de control integrado para reducir la incidencia de *R. solanacearum* en el cultivo de tomate ante suelos altamente infectados.

El cultivo de tomate CA presentó diferencias significativas en cuanto a la altura. El tratamiento El Cinco/Autoinjertado presentó plantas más altas a los 68 ddt, seguido por los tratamientos interespecíficos El Cinco/BB y JR/BB, todos los anteriores estadísticamente distintos al tratamiento JR/Armada con los valores más bajos al momento del último muestreo. Estos resultados concuerdan con Khah *et al.* (2002) e Ioannou *et al.* (2002) quienes encontraron ciertas combinaciones púa/patrón más altas y vigorosas que el control sin injertar. A los 68 ddt la evaluación de altura mostró valores menores en los tratamientos interespecíficos con Armada que sobre BB, con diferencias significativas ($p < 0,05$) para el tratamiento JR/Armada con respecto a JR/BB. La alta tasa de crecimiento registrada en el tratamiento de El Cinco/Autoinjertado concuerda con Khah *et al.* (2002) quienes evaluaron el efecto en crecimiento y producción de tomate a CA y bajo invernadero al injertar una púa comercial híbrida sobre sí misma (autoinjerto) y sobre dos patrones con respecto a un control no injertado, también reportaron en algunos muestreos de altura a CA

diferencias significativas con una mayor altura en plantas autoinjertadas con respecto a no injertadas. Aloni *et al.* (2010) reportaron incrementos significativos en peso fresco en plantas autoinjertadas de melón “Arava” con respecto a plantas no injertadas cuando cultivadas en ambientes salinos o no salinos (control). Las discusiones científicas sobre la superioridad hortícola de plantas autoinjertadas es escasa; Melnyk (2017) menciona que la combinación de señales hormonales y mecánicas (la herida del injerto) es importante para activar la formación de órganos, por ejemplo, la división de células del periciclo que origina raíces laterales, lo cual podría otorgar mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes a plantas autoinjertadas. El tratamiento El Cinco/Sin injertar mostró una mayor altura en promedio a 68 ddt que los tratamientos sobre el patrón Armada, con diferencias significativas con respecto al tratamiento JR/Armada. Este comportamiento sugiere que el hecho de autoinjertar estimula el crecimiento sobre la púa El Cinco y a su vez, que la elección del patrón puede influir en el crecimiento de la púa, pues para ambas púas los tratamientos con el patrón BB fueron más altos en comparación a los tratamientos con el patrón Armada.

Para cantidad de hojas hubo efecto significativo entre tratamientos. El comportamiento fue similar a la altura pues las plantas más altas tendieron a presentar mayor cantidad de hojas. Al final de las evaluaciones a los 68 ddt los tratamientos El Cinco/BB y JR/BB presentaron valores mayores con respecto a los tratamientos con el patrón Armada, con diferencias significativas en el caso de JR. El tratamiento El Cinco/Armada mostró valores menores que el tratamiento El Cinco/No, aunque con diferencias no significativas. Este resultado coincide con Khah *et al.* (2002) quienes encontraron un tratamiento injertado con menor cantidad de hojas con diferencias no significativas en comparación al tratamiento control (sin injertar). Los tratamientos El Cinco/BB y El Cinco/Armada alcanzaron en promedio una cantidad de hojas similar a las plantas del tratamiento El Cinco/Sin injertar de manera que el estrés causado por el injerto no restringió la capacidad de formar hojas de este cultivar. Los resultados obtenidos de los injertos interespecíficos de JR coinciden con lo reportado por Pulgar *et al.* (1998) citado por Khah *et al.* (2002) quienes observaron un incremento en la producción de hojas en combinaciones específicas púa/patrón como resultado de una mayor absorción de agua y nutrientes al comparar con plantas no injertadas.

Los días a floración presentaron diferencias estadísticas significativas. El tratamiento El Cinco/Sin injertar fue más precoz que los demás tratamientos con este cultivar. El Cinco/Armada presentó la mayor cantidad de días a primera floración con 27 días, mientras que JR/Armada demoró en promedio 21 días a primera floración, en promedio, el mismo valor que El Cinco/No. La diferencia de días a primera floración entre distintos patrones, así como diferencia entre plantas injertadas comparadas a no injertadas también fue observada por Ahmad *et al.* (2019) quienes encontraron diferencias significativas en ambos casos. Ibrahim (1996) señala que el tiempo normal de las etapas de crecimiento tanto vegetativo como reproductivo se encuentran bajo estrés de la herida del injerto hasta que la unión de este sea exitosa y el flujo de agua y nutrientes reinicie procesos fisiológicos por lo que se retrasa el tiempo a primera floración comparado a plantas no injertadas.

Los datos analizados muestran una diferencia significativa entre tratamientos para la variable de rendimiento. Dicho efecto es atribuido a las diferencias significativas entre tratamientos en la variable cantidad de frutos, pues no hubo diferencias significativas entre tratamientos en el peso de los frutos. Ambos cultivares híbridos, JR y El Cinco respondieron mejor al ser injertadas sobre el patrón BB al comparar con los otros tratamientos, JR/BB presentó un rendimiento total mayor de 12% en comparación a El Cinco/BB sin ser significativamente diferentes. En el caso de la púa El Cinco, el valor más alto obtenido para rendimiento ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$) fue el tratamiento El Cinco/BB, que fue significativamente distinta a los otros tratamientos de este cultivar. Al comparar el rendimiento de El Cinco/BB con el rendimiento de El Cinco/Armada, el primero presentó un 75 % más de rendimiento total; atribuido a un 58% más de cantidad de frutos y a un 50% más de peso de fruto. El cultivar JR solamente contó con tratamientos interespecíficos que llegaron a etapa productiva, el tratamiento JR/BB mostró un 50% más de frutos y un 21% mayor peso de frutos que JR/Armada, lo que representó una diferencia en rendimiento total de 46% más para el tratamiento JR/BB, a pesar de no presentar diferencias significativas.

Particularmente para tomate se ha reportado un incremento de rendimiento, disminución de enfermedades del suelo y tolerancia condiciones de salinidad y estrés por altas temperaturas (Rivero *et al.* 2003; Leonardi y Giuffrida. 2006; Martinez-Rodriguez *et al.* 2008; Venema *et al.* 2008; Mohammed *et al.*

2009; Flores *et al.* 2010). Los resultados obtenidos permiten comparar el rendimiento total de El Cinco/Sin injertar con respecto a El Cinco/BB y observar una diferencia de 75% más para el injerto interespecífico. Similarmente, Mohamed *et al.* (2012) encontraron una mejoría en la producción de tomate “cherry” al utilizar la técnica del injerto con una combinación específica púa/patrón. Khah *et al.* (2002) afirman que el injerto de tomate sobre patrones adecuados tiene efectos positivos sobre el desempeño de manera que el uso de genotipos silvestres es promisorio como herramienta para el mejoramiento genético en la búsqueda de mejores rendimientos bajo una variedad de condiciones climáticas, edáficas y antropológicas.

4.1.2 Ensayos de cultivo protegido

La información correspondiente al análisis estadístico que muestra la significancia para cada una de las variables evaluadas en el ensayo de tomate CP se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Significancia para las variables evaluadas en el ensayo de tomate injertado en cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Alt. 92 ddt (cm)	No. hojas 92 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g/planta)	pH	Brix
*	*	**	**	NS	*	NS	NS	NS

*Indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

** Indican diferencias altamente significativas ($p < 0,05$)

En el Cuadro 13 se observan los valores medios y el error estándar de cada uno de los tratamientos para cada una de las variables evaluadas en el cultivo de tomate en CP.

Cuadro 13. Media y error estándar de las variables evaluadas en el cultivo de tomate injertado en cultivo protegido. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Tratamiento	Alt. 92 ddt (cm)	No. hojas 92 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g/planta)	pH	Brix	
El Cinco	Armada	45,8	20,83					5,0	4,4	
		368,6 ± 7,0 A	± 2,4 AB	± 1,9 B	29,7 ± 1,3 B	60,67 ± 6,2	125,1 ± 6,9 AB	7525,0 ± 514,0	± 0,0	± 0,0
	BB	352,2	23,3	33,5				5,0	4,2	
		± 21,9 A	41,0 ± 1,0 C	± 0,3 AB	± 1,3 A	50,33 ± 7,5	136,4 ± 3,1 A	6908,4 ± 1166,1	± 0,0	± 0,3
	Autoinjerto	374	42,3	25,67	33,3			5,0	4,1	
	± 8,8 A	± 4,6 BC	± 1,4 A	± 0,7 A	56,33 ± 6,1	138,3 ± 3,9 A	7760,5 ± 762,3	± 0,0	± 0,1	
Sin injertar	381,9	49,0	24,5	33,2	40	134,5	5345,4	5,0	4,3	
	± 17,0 A	± 1,7 A	± 0,3 A	± 1,1 A	± 6,4	± 10,7 A	± 909,9	± 0,1	± 0,2	

JR	Armada	314,0 ± 3,8 B	46,8 ± 1,3 AB	16,67 ± 1,7 C	26,3 ± 1,5 C	66 ± 17,2	112,9 ± 6,0 B	7402,7 ± 1982,6	5,0 ±0,1	3,9 ±0,1
	BB	302,4 ± 8,4 B	46,7 ± 2,5 AB	16,3 ± 0,3 C	26,17 ± 0,6 CD	58,7 ± 14,7	113,6 ± 5,3 B	6546,2 ± 1511,9	5,1 ±0,0	3,6 ±0,1
	Autoinjerto	308,0 ± 11,8 B	48,3 ± 0,6 AB	15,83 ± 0,2 C	23,17 ± 0,7 D	61,3 ± 17,8	123,5 ± 2,9 AB	7471,9 ± 2048,4	5,1 ±0,0	3,9 ±0,2
	Sin injertar	302,3 ± 2,5 B	46,3 ± 0,7 AB	16,67 ± 0,2 C	27,83 ± 0,9 BC	49,67 ± 5,8	124,4 ± 2,3 AB	6180,4 ± 759,6	5,1 ±0,1	3,9 ±0,5

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

La respuesta de los tratamientos para la variable altura muestra valores más altos significativamente para los tratamientos de la púa El Cinco, en comparación a los tratamientos con JR. Entre tratamientos de la púa El Cinco, la mayor altura se presentó en plantas no injertadas y la menor en el tratamiento El Cinco/BB. El efecto temprano negativo de la herida causada por el injerto fue reportado por Tsouvaltzis *et al.* (2004) y el tiempo que requiere la reconexión del tejido vascular, la cual depende en medida por el nivel de compatibilidad entre genotipos de la púa y el patrón, le da cierta ventaja en términos de crecimiento a plantas no injertadas. Las diferencias de altura para la púa JR fueron menores y no significativas entre tratamientos, donde la mayor altura fue en el tratamiento JR/Armada y la menor para los tratamientos JR/BB y JR/No, ambos con una diferencia de 3 % con respecto al valor máximo alcanzado. Ahmad *et al.* (2019) observaron plantas más altas y vigorosas en plantas injertadas con respecto a plantas no injertadas y asociaron dicho comportamiento a la disminución de auxina, presente en tejidos meristemáticos y responsable de la altura de la planta y el desarrollo de raíces, en el patrón. De esta manera la concentración de auxina aumenta en el meristemo apical causando un incremento en altura en comparación a plantas no injertadas. Los resultados obtenidos indican una tendencia a mostrar diferencias según la púa y no el patrón utilizado. Estos resultados coinciden con Khah *et al.* (2002) quienes no encontraron diferencias significativas en altura al evaluar el efecto del injerto en crecimiento y rendimiento en CP y a CA. La ventaja que alcanzó el tratamiento El Cinco/Sin injertar en altura coincidió con una mayor producción de hojas con respecto al resto de tratamientos y presentó diferencias significativas con respecto al tratamiento El Cinco/BB. Sin embargo, los tratamientos de la púa JR mostraron un comportamiento uniforme sin diferencias significativas entre ellos. La variable días a floración presentó un efecto significativo donde la púa JR mostró valores

que le confieren cierta precocidad en CP en comparación a los valores de la púa El Cinco. El efecto reportado por Khah *et al.* (2002) donde la floración se vio retrasada en plantas injertadas por efecto del injerto no se observó y cabe señalar que el tratamiento El Cinco/Armada fue más precoz significativamente en comparación a los otros tratamientos de la púa El Cinco. Estos resultados coinciden con Ahmad *et al.* (2019) quienes reportaron diferencias significativas en combinaciones púa/patrón específicas al evaluar dos cultivares como púas sobre tres patrones distintos. El efecto del tratamiento para días a fructificación fue significativo en el ensayo CP. Al comparar los tratamientos de la púa El Cinco, el tratamiento El Cinco/Armada presentó los valores más bajos (mayor precocidad) y fue significativamente diferente a los otros tres tratamientos de la púa El Cinco, los cuales mostraron igualdad de días a fructificación y con los valores más altos, 33 ddt. Los tratamientos de la púa JR tuvieron valores menores a los de la púa El Cinco, destacando el tratamiento de JR/Autoinjertado con la menor cantidad de días a fructificación de todo el ensayo de tomate CP con un promedio de 23 días a fructificación y estadísticamente diferente a todos los tratamientos de la púa El Cinco. Dicho efecto coincide con Aloni *et al.* (2010) al reportar plantas autoinjertadas con mayor longitud de raíz y peso fresco de la púa en comparación a plantas no injertadas, otorgándole una mayor capacidad de traslocar fotoasimilados para la producción de flores. Por su parte, la respuesta a la variable rendimiento no mostró diferencias significativas, aunque para ambas púas los valores más bajos se obtuvieron en plantas no injertadas. Los tratamientos JR/Autoinjertado y El Cinco/Autoinjertado mostraron los valores más altos al comparar con cada una de las púas no injertadas, de manera que El Cinco/Autoinjertado superó en un 31 % las plantas de El Cinco/Sin injertar mientras que JR/Autoinjertado superó en un 17 % a JR/No. En cuanto a los injertos interespecíficos, para ambas púas los tratamientos JR/Armada y El Cinco/Armada presentaron una mayor producción total. El incremento en rendimiento del tratamiento El Cinco/Armada con respecto a El Cinco/Sin injertar se debe a una mayor producción no significativa de frutos y no a un incremento en el peso promedio de los frutos. Lo mismo ocurrió para el tratamiento JR/Armada al producir en promedio 17 frutos más que las plantas JR/Sin injertar sin ser significativamente diferentes. Mohamed *et al.* (2012) señalan que el incremento en rendimiento al utilizar plantas injertadas es posiblemente dependiente de ambos, el genotipo de la púa y el genotipo del patrón; Flores *et*

al. (2010) observaron que según la selección del patrón el rendimiento de plantas injertadas puede inclusive disminuir en comparación a plantas autoinjertadas. Los resultados obtenidos sin embargo muestran una tendencia en ambas púas evaluadas a presentar un mayor rendimiento no significativo al utilizar el patrón Armada en comparación al patrón BB. *Khah et al.* (2002) también encontraron incrementos en rendimiento de plantas injertadas al comparar con un control no injertado y reportaron plantas autoinjertadas con valores de rendimiento similares al control. Según *Kyriacou et al.* (2017) los efectos positivos de utilizar patrones interespecíficos sobre la producción de ciertas púas se ven reflejado en el tamaño del fruto; los resultados obtenidos mostraron uniformidad en el peso del fruto entre tratamientos de la misma púa. Aunque el proceso de autoinjerto no mejora la conectividad vascular o la función del xilema y el floema en comparación a plantas no injertadas, los resultados obtenidos coinciden con *Aloni et al.* (2010) quienes reportaron mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes con respecto a plantas no injertadas. El efecto del injerto sobre el desempeño agronómico del cultivo de tomate puede ser positivo según la elección del genotipo del patrón y podría representar un incremento en el rendimiento bajo una variedad de condiciones ambientales.

Con respecto a las evaluaciones de calidad realizadas al cultivo de tomate bajo CP no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para pH y sólidos solubles totales (°Brix). *Ahmad et al.* (2019) encontraron características cualitativas afectadas por el injerto; la cantidad de sólidos solubles totales fue encontrada máxima cuando combinaciones específicas púa/patrón se evaluaron. *Leoni et al.* (1990) también reportaron diferencias significativas en pH del fruto, sólidos solubles totales, concentración de licopeno y firmeza al evaluar combinaciones específicas en plantas de tomate injertadas. Entre otros problemas asociados a la calidad del fruto que han sido reportados en la práctica del injerto, *Kyriacou et al.* (2017) indican que la textura puede ser altamente afectada y que esta condición puede reflejar una incompatibilidad púa/patrón latente. El efecto del patrón sobre una disminución de azúcares ha sido reportado, aunque en general sin afectar críticamente la calidad en general (*Riga 2015*). El hecho de que atributos cualitativos puedan ser afectados por el genotipo de ambos, púa y patrón, requiere de una óptima selección en la combinación de plantas injertadas.

4.2 Ensayos en el cultivo de chile dulce

4.2.1 Ensayo en campo abierto

A continuación, en el Cuadro 14, se presenta la tabla de significancia para las variables en el cultivo de chile dulce CA.

Cuadro 14. Significancia para las variables de altura y cantidad de hojas a los 33 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el ensayo de chile dulce en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Alt. (cm) 33 ddt	No. hojas 33 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g·planta ⁻¹)
*	NS	NS	NS	NS	*	NS

*Indican diferencias significativas (p<0,05)

Los resultados de las variables evaluadas en los tratamientos del chile dulce CA se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Media y error estándar de la altura y cantidad de hojas a los 33 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el cultivo de chile dulce en campo abierto. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2019.

Tratamiento	Alt. 33 ddt (cm)	No. hojas 33 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g·planta ⁻¹)	
4212	Baccatum	50,6 ± 0,6 CD	57,3 ± 4,6	35,96 ± 0,1	38,4 ± 0,4	22,3 ± 4,8	87,9 ± 4,5 BC	445,8 ± 85,7
	Chinense	48,4 ± 2,2 D	49,9 ± 2,6	35,6 ± 0,3	378,0 ± 0,4	20 ± 4,0	100,7 ± 2,5 A	707,4 ± 124,3
	Autonjertado	53,1 ± 1 BC	46,9 ± 2,2	35,2 ± 0,4	37,7 ± 0,3	31 ± 4,4	98,1 ± 4,2 AB	615,1 ± 73,5
	Sin injertar	51,6 ± 0,8 CD	50,1 ± 4,8	4,2 ± 0,4	39,0 ± 0,5	19,7 ± 2,5	79,3 ± 3,2 C	404,7 ± 66,3
Natalie	Baccatum	57,1 ± 1,6 AB	55,3 ± 3,8	35,8 ± 0,4	38,6 ± 0,3	31,2 ± 5,1	82,3 ± 1,9 C	584,9 ± 81,2
	Chinense	53,7 ± 2,2 BC	45,3 ± 2,7	35,8 ± 0,5	38 ± 0,5	21,8 ± 5,1	98,0 ± 5,9 AB	776,3 ± 134,2
	Autonjertado	53,7 ± 1,2 BC	45,6 ± 1,2	35,8 ± 0,4	38,6 ± 0,3	28,7 ± 2,2	85,4 ± 3,8 C	480,3 ± 42,4
	Sin injertar	58,8 ± 2,2 A	52,5 ± 4	36,5 ± 0,4	38,9 ± 0,4	30,0 ± 4,2	89,8 ± 6,1	593,1 ± 89,3

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas (p<0,05)

La cantidad de hojas no fue afectada por los diferentes tratamientos en este cultivo bajo las condiciones que se presentaron, sin embargo, la altura al 33 ddt sí mostró diferencias significativas. Los valores mayores se observaron en los tratamientos de la púa Natalie y los más bajos con la púa 4212. En el caso de los tratamientos con la púa 4212, el tratamiento 4212/Autoinjertado fue mayor

al injerto 4212/Chinense. Por su lado, en los tratamientos con la púa Natalie, el injerto interespecífico Natalie/Chinense deprimió la altura significativamente en comparación al tratamiento Natalie/No. En referencia, Santos y Goto (2004) encontraron variaciones significativas en la altura de las plantas al realizar injerto intraespecífico con *C. annuum* en un ambiente con presencia de *Phytophthora capsici*; en su estudio, una púa de un híbrido de interés productivo injertada sobre dos patrones diferentes confirió mayor altura a las plantas, mientras que la otra púa injertada en ambos patrones varió la tendencia, mostrando valores muy altos con un patrón y muy bajos con otro. Estos autores mencionan que la disminución de la altura en plantas de chile dulce se puede deber al fenotipo de los progenitores del patrón o a alguna exigencia del manejo nutricional del patrón no conocida. Si bien los injertos en estos ensayos fueron interespecíficos o autoinjertos, los resultados muestran que las diferentes combinaciones realizadas varían el comportamiento del crecimiento comparados a las plantas no injertadas a los 33 ddt en las condiciones de CA.

En cuanto las variables de producción, el peso promedio de frutos mostró diferencias significativas, mientras que la cantidad de frutos y el rendimiento por planta no. El peso promedio del fruto y el rendimiento presentan valores más altos cuando *C. Chinense* fue el patrón de las dos púas. En cuanto al rendimiento, el tratamiento 4212/Chinense mostró un 43, 37 y 13% más que los tratamientos 4212/No, 4212/Baccatum y 4212/Autoinjertado respectivamente, mientras que en el caso de Natalie/Chinense, un 39, 25 y 24% más gramos por planta que los tratamientos Natalie/Autoinjertado, Natalie/Sin injertar y Natalie/Baccatum. Oka *et al* (2004), encontraron variaciones en el rendimiento de patrones resistentes injertados con púas altamente productivas en condiciones donde el sustrato estaba altamente inoculado con nematodos; algunas combinaciones púa/patrón dieron mejores rendimientos que el cultivar sin injertar; también mencionan que en otras combinaciones púa/patrón el rendimiento fue menor, por tal razón, los investigadores concluyen que no siempre el rendimiento se va a mejorar al realizar el injerto y se deben buscar compatibilidades púa/patrón que den mejores resultados, no solo aumentando el rendimiento sino disminuyendo el gasto de los productores en pesticidas para el control de patógenos de suelo.

4.2.2 Ensayo en cultivo protegido

En el Cuadro 16, se observa la significancia de las variables altura y cantidad de hojas a los 55 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso de frutos y rendimiento, para el cultivo de chile dulce CP.

Cuadro 16. Significancia para las variables altura y cantidad de hojas a los 55 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el ensayo de chile dulce en cultivo protegido. San Carlos, Costa Rica. 2019.

Alt. 55 ddt (cm)	No. hojas 55 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g/planta)
*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*Indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

En el Cuadro 17, se observa el comportamiento de las variables altura y cantidad de hojas a los 55 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso de frutos y rendimiento evaluadas en el cultivo de chile dulce CP:

Cuadro 17. Media y error estándar de las variables altura y cantidad de hojas a los 55 ddt, días a floración, días a fructificación, cantidad de frutos, peso promedio de fruto y rendimiento en el cultivo de chile dulce injertado en cultivo protegido. San Carlos, Costa Rica. 2019.

Tratamiento	Alt. 55 ddt (cm)	No. hojas 55 ddt	Dflor	Dfru	Cfru	Pfru (g)	Rend. (g/planta)	
4212	Baccatum	94,8 ± 3,2	151,7 ± 21,7	28,2 ± 0,7	31,2 ± 0,4	58,7 ± 4,5	73,5 ± 1,7	2157,3 ± 174
	Chinense	100,4 ± 2,6	144,7 ± 14,4	29,5 ± 1,3	31,2 ± 0,2	52,3 ± 3,2	76,5 ± 2	2004,2 ± 155,1
	Autonjertado	96,5 ± 3,1	152,7 ± 7,9	30,7 ± 0,3	31,5 ± 0,5	45,7 ± 7,4	80,8 ± 1,1	1852,4 ± 316,5
	Sin injertar	98,7 ± 2,5 BC	143,7 ± 19,6	30 ± 0,8	32,2 ± 0,6	51 ± 3,1	79,6 ± 1,2	2025,9 ± 96,8
	Baccatum	104,6 ± 4,1 ABC	128,3 ± 26,3	29,2 ± 0,6	32,7 ± 0,3	54 ± 6,9	79,7 ± 7,2	2102,1 ± 106,4
	Chinense	101,3 ± 3,2 BC	135,3 ± 17,3	30 ± 0,8	32,7 ± 0,4	57 ± 3,6	80,2 ± 2,8	2278,6 ± 96,5
	Autonjertado	105,9 ± 6,5 AB	145,7 ± 11	31,2 ± 0,4	31,8 ± 0,3	49 ± 2,1	85,6 ± 3,6	2093 ± 69,1
	Sin injertar	113,8 ± 2,8 A	124 ± 5	31,2 ± 0,2	32,7 ± 0,7	46,3 ± 2,9	82,7 ± 5,4	1900,9 ± 17,6

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

En la altura del chile dulce CP se observa una leve tendencia de valores más altos en los tratamientos con la púa Natalie que en los tratamientos con la púa 4212. Los tratamientos del tratamiento 4212/Sin injertar mostraron diferencia entre ellos mientras que en la púa Natalie, al igual que en CA, el injerto Natalie/Chinense disminuyó significativamente la altura en comparación con Natalie/No. La cantidad de hojas no mostró diferencias significativas. Camposeco-Montejo *et al.* (2018) comparó plantas no injertadas con plantas injertadas con patrones vigorosos en sistema radical, esto en condiciones de invernadero y utilizando dos tipos de sustrato (fibra de coco y suelo previamente usado para la producción agrícola), en su estudio encontraron plantas injertadas con alturas mayores, así como con alturas iguales a las plantas no injertadas. Estos investigadores mencionan que, aunque algunos patrones pueden mejorar características de la púa, cada patrón presenta variaciones genéticas según el lugar donde se desarrolle; demostrando que cada combinación patrón/púa utilizada puede influir en el comportamiento del crecimiento en las plantas de chile dulce según el lugar donde se desarrolle, entre otras variables analizadas por los investigadores como forma de la hoja y el rendimiento.

Entre los injertos del chile dulce que presentaban la púa 4212, el tratamiento 4212/Baccatum fue el más alto en rendimiento ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$), con un 7% (136,4 g) y 14% (304,9 g) más que 4212/Sin injertar y 4212/Autoinjertado respectivamente. El más productivo entre los tratamientos que presentaban la púa Natalie fue el Natalie/Chinense, mostrando un 17% (377,7 g) y un 8% (185,6g) más que los tratamientos Natalie/Sin injertar y Natalie/Autoinjertado respectivamente. En cuanto a la cantidad de frutos, el injerto 4212/Baccatum produjo 7,7 frutos más que 4212/No, y el injerto de Natalie/Chinense 10,7 frutos más que Natalie/Sin injertar; estas variables presentan diferencias estadísticas no significativas ($p>0,05$), al igual que el peso promedio de fruto, días a floración y días a fructificación. En condiciones de invernadero, Camposeco-Montejo *et al.* (2018) encontraron diferencias significativas ($p=0,05$) en rendimiento y número de frutos, 30 y 19,5% más respectivamente en uno de los patrones en comparación a las plantas no injertadas, también hubo patrones que no presentaron diferencias estadísticas con respecto a las plantas sin injertar. De manera similar, Oka *et al.* (2004) encontraron que un mismo patrón tienen un efecto diferente según la púa con la que se interaccione en condiciones de invernadero con un sustrato libre de enfermedades; en ese estudio el patrón AR-

96023 disminuyó el rendimiento del híbrido Parker sin injertar, mientras que cuando este patrón se injertó con el híbrido Celica, no presentó diferencias con el híbrido sin injertar. Si bien se encuentran resultados ambiguos en cuanto al efecto en el rendimiento de plantas injertadas bajo condiciones de invernadero, estos estudios se deben realizar con el objetivo de encontrar la combinación púa/patrón capaz de satisfacer los volúmenes de demanda del mercado y que, a la vez, no deprima su crecimiento y las características del fruto.

5. CONCLUSIONES

- Las condiciones de alta presión de patógenos del suelo del lugar de estudio limitan la producción de tomate en CA, sin embargo, el injerto interespecífico de este cultivo disminuye la afectación de dichas enfermedades con valores estadísticamente significativos al injertar los cultivares JR y El Cinco sobre el patrón BB en comparación a no injertar o autoinjertar.
- El injerto interespecífico en el cultivo de tomate en condiciones de CA del estudio puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cada patrón puede afectar distintamente la altura, cantidad de hojas y días a fructificación de la púa con que se injerta.
- El efecto positivo que puede tener un patrón sobre el rendimiento del tomate en CA puede ser dependiente de ambos genotipos, el patrón y la púa, haciendo la selección de patrones una tarea difícil.
- El crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate en CP en las condiciones del estudio puede ser influenciado por el genotipo de la púa principalmente. Autoinjertar las plantas puede promover mayor crecimiento que plantas sin injertar y/o plantas injertadas interespecíficamente.
- Aunque no hubo un efecto significativo en el rendimiento del tomate en CP, parece haber una influencia del genotipo de la púa sobre el peso del fruto. Tanto los injertos interespecíficos como los autoinjertos tuvieron valores mayores en la cantidad de frutos y en el rendimiento por planta que plantas no injertadas.
- El genotipo de la púa puede afectar el crecimiento del chile dulce en CA, el patrón *C. chinense* puede disminuir la altura de los cultivares elegidos como púas.
- El injerto interespecífico de chile dulce en CA puede afectar el peso del fruto y por ende el rendimiento de la planta. El patrón *C. chinense* en combinación con las dos púas presentó valores mayores de estas dos variables en las condiciones del estudio.
- Las diferencias en altura de chile dulce en CP se pueden atribuir al genotipo de la púa principalmente.
- Sin haber diferencias estadísticas significativas, cada patrón puede mejorar el rendimiento de una púa específica en condiciones de CP. Los injertos interespecíficos de Natalie/Chinense y 4212/Baccatum presentaron mayores

rendimientos en comparación con los tratamientos no injertados y autoinjertados.

6. RECOMENDACIONES

Por las condiciones climáticas características de la RHN, se recomienda trabajar con macrotúneles que protejan al cultivo de la lluvia y contar con mayor control de la humedad, la cual influye directamente sobre la incidencia de enfermedades aéreas y por ende en el rendimiento de los cultivos.

Debido a la variabilidad genética que puede presentar *R. solanacearum* bajo diferentes condiciones edáficas, agroclimáticas y de manejo, se recomienda replicar el ensayo utilizando las mismas combinaciones púa/patrón para evaluar su comportamiento agroproductivo en diferentes zonas de la RHN.

La evaluación de la resistencia de patrones para la producción de chile dulce a marchitez bacteriana es necesaria y debe ser orientada a definir el tipo de resistencia: verdadera o latente.

Al realizar los experimentos bajo CP es recomendable evaluar el comportamiento agronómico en las dos estaciones de la RHN, seca y lluviosa, pues factores medio ambientales como la cantidad de luminosidad influyen en procesos de floración, fecundación y desarrollo de las plantas.

Desarrollar estudios que evalúen la absorción y el transporte de nutrientes en los patrones seleccionados, debido a la complejidad en los procesos de nutrición mineral y a la alteración que puede generar el injerto sobre el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Adebayo, O; Kintomo, A; Fadamiro, H. 2009. Control of bacterial wilt disease of tomato through integrated crop management strategies (en línea). International Journal of Vegetable Science. Vol.15 (2): 96-105. Consultado 15 ene. 2019. Disponible en <https://doi.org/10.1080/19315260802508283>
- Agrios, G.2005. Plant Pathology 5th eds. Department of Plant Pathology. University of Florida. USA. 845 p.
- Ahmad, I; Izharullah; Ullah, I; Basit, A; Khan, R; Alam, M; Bibi, F; Javed, S; Habib, I; Wasila, H. 2019. Performance of different rootstocks and cultivars on growth and quality components of grafted tomato (en línea). Bioscience Research 16 (3): 3241- 3250. Consultado 15 ene. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/336315281_Performance_of_different_rootstocks_and_cultivars_on_growth_and_quality_components_of_grafted_Tomato
- Albacete, A; Andújar, C; Pérez-Alfocea, F; Lozano, J; Asins, M. 2015. Rootstock-mediated variation in tomato vegetative growth under low potassium or phosphorus supplies (en línea). Acta Hort. 1086: 147-152. Consultado 25 ene. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282921086_Rootstock-mediated_variation_in_tomato_vegetative_growth_under_low_potassium_or_phosphorous_supplies
- Aloni, R; Cohen, R; Karni, L; Aktas, H; Edelstein, M. 2010. Hormonal signaling in rootstock-scion interactions (en línea). Scientia Horticulturae 127:119-126. Consultado 12 set. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/235921379_Hormonal_signaling_in_rootstock-scion_interactions
- Arauz, L. 2011. Fitopatología: un enfoque agroecológico. 2da ed. Edit.UCR. San José, Costa Rica. 514 p
- Asins, MJ; Bolarín, MC; Pérez-Alfocea, F; Estañ, MT; Martínez-Andújar, C; Albacete, A; Villalta, I; Bernet, GP; Dodd, IC; Carbonell, EA. 2010. Genetic analysis of physiological components of salt tolerance conferred by Solanum rootstocks (en línea). What is the rootstock doing for the scion? Theoretical and Applied

- Genetics 121:105–115. Consultado 18 nov. 2019. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-010-1294-9>
- Bertolla, F; Frostegard, A; Brito, F; Nesme, X; Simonet, P. 1999. During infection of its host, the plant pathogen *Ralstonia solanacearum* naturally develops a state of competence and exchanges genetic material (en línea). Molecular Plant-Microbe Interactions. Vol 12 (5): 467-472. Consultado 25 nov. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI.1999.12.5.467>
- Bertsch, F. 2006. El recurso tierra en Costa Rica. Agronomía Costarricense. 30(1): 133-156
- Bogoescu, M; Doltu, M; Iordache, B; Vintila, M; Sora, D; Mohora, A. 2011. The Grafting Tomatoes Crop: An alternative for vegetables growers. Bulletin UASVM Horticulture, 68 (1)
- Camposeco-Montejo, N; Robledo-Torres, V; Rampirez-Godina, F; Mendoza-Villarreal, R; Pérez-Rodríguez, M.A; Cabrera-de la Fuente; M. 2018. Response of bell pepper to rootstock and greenhouse cultivation in coconut fiber soil (en línea). Agronomy. Consultado 15 dic. 2019. Disponible en <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/7/1111>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1993. Guía Para El Manejo integrado de Plagas del Cultivo de chile dulce. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 168p.
- Cerdas, MM; Montero, M. 2002. Manual del manejo poscosecha de tomate. Convenio Poscosecha CNP-UCR-MAG. San José, Costa Rica, 95 p. Consultado 19 de febrero 2019. Disponible en http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-poscosecha-tomate-introd.pdf
- Cohen, R., Y. Burger, C. Horev, A. Koren, and M. Edelstein. 2007. Introducing grafted cucurbits to modern agriculture: the Israeli experience (en línea). Plant Dis. 91:916–923. Consultado 10 mar. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1094/pdis-91-8-0916>
- Curl, E; Old, K. 1988. The role of soil microfauna in plant disease suppression. Critical reviews in plant sciences (en línea). Vol.7 (3): 175-196. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/226938908_Principles_and_Management_of_Soil_Biological_Factors_for_Sustainable_Rainfed_Farming_Systems

- Davis, AR, Perkins-Veazie, P, Sakata, Y, López-Galarza, S, Maroto, JV, Lee, SG, Huh, YC, Sun, Z, Miguel, A, King, SR, Cohen, R, Lee, JM, 2008. Cucurbit grafting (en línea). Crit. Rev. Plant Sci. 27, 50–74. Consultado 13 ene. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/43270902_Cucurbit_Grafting
- Díaz, C. 2007. Caracterización Agrocadena de Tomate. Dirección Regional Occidental. MAG. Grecia, Costa Rica. 46p.
- Do Rego, E; Nascimento, M; Do Nascimento, N,F; Dos Santos, R,M; Fortunato, F,L; Do Rego, M. 2012. Testing methods for producing self-pollinated fruits in ornamental peppers (en línea). Horticultura Brasileira 30:669-672. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en DOI: 10.1590/S0102-05362012000400017
- Doñas-Uclés, F; Jiménez-Luna, M; Góngora-Corral, J.A.; Pérez-Madrid, D; Verde-Fernández, D; Camacho-Ferre, F. 2014. Influence of three rootstocks on yield and commercial quality of “italian sweet” pepper (en línea). Ciencia e Agrotecnología 38 (6): 538-545. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/274703452_Influence_of_three_rootstocks_on_yield_and_commercial_quality_of_Italian_Sweet_pepper
- Duan, X; Bi, H.G; Li, T; Wu, G.X; Li, Q.M; Ai, X.Z. 2017. Root characteristics of grafted peppers and their resistance to *Fusarium solani* (en línea). Biología Plantarum 61(3): 579-586. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en DOI: 10.1007/s10535-016-0677-4
- Elizondo-Icabalceta; E; Monge-Pérez, J. 2017. Evaluación de calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica (en línea). Tecnología en marcha 30 (2): 36-47. Consultado 7 ene. 2019. Disponible en http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3194
- Flores, F; Sanchez-Bel, P; Estañ, M; Martinez-Rodriguez, M; Moyano, E; Morales, B; Campos, J; Garcia-Abellán, J; Egea, M; Fernández-García, N; Romojaro, F; Bolarín, M. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality (en línea). Scientia Horticulturae 125: 211-217. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/u.osu.edu/dist/9/24091/files/2016/01/Flores_F.B_0-1ksbdde.pdf

- Gaion, L; Trevisan, L; Falleiros, R. 2018. Grafting in vegetable crops: a great technique for agriculture (en línea). International Journal of Vegetable Science. 24 (1): 85-102. Consultado 5 jun. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319286586_Grafting_in_Vegetable_Crops_A_Great_Technique_for_Agriculture
- Gao, P., W.W. Xing, S.H. Li, S. Shu, H. Li, N. Li, Q.S. Shao, and S.R. Guo. 2015. Effect of pumpkin rootstock on antioxidant enzyme activities and photosynthetic fluorescence characteristics of cucumber under Ca(NO₃)₂ stress (en línea). Acta Hort. 1086:177–188. Consultado 23 oct. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282428422_Effect_of_pumpkin_rootstock_on_antioxidant_enzyme_activities_and_photosynthetic_fluorescence_characteristics_of_cucumber_under_CANO32_stress
- Giotis, C; Theodoropoulou, A; Cooper, J; Shotton, P. 2012. Effect of variety choice, resistant rootstocks and chitin soil amendments on soil-borne diseases in soil-based, protected tomato production systems (en línea). European Journal of Plant Pathology. 134: 605-617. Consultado 3 dic. 2019. Disponible en DOI: 10.1007/s10658-012-0041-2
- Heuvelink, E. 2005. Tomatoes. CABI. United Kingdom. 352p.
- Hongwei, X; Dongdong, Y; Liangang, M; Qiuxia, W; Yuan, L; Canbin, O; Meixia, G; Aocheng, C. 2015. Evaluation of Methyl Bromide Alternatives Efficacy against Soil-Borne Pathogens, Nematodes and Soil Microbial Community (en línea). PLoS One. 10(2). Consultado 10 ene. 2019. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0117980>
- Ibrahim, A.K.M. 1996. Potentiality of wild Solanum as rootstock of tomato. Tesis M.Sc , Salna, Gazipur, Bangladesh.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. Consultado 27 dic. 2018. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10581.pdf>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2017. Manual Técnico del Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*)/Ligia López Marín. San José, Costa Rica.126p.
- Ioannou, N; Ioannou, M; Hadjiparaskevas, K. 2002. Evaluation of watermelon rootstocks for off-season production in heated greenhouses (en línea). Acta Horticulturae,

- 579: 501-506. Consultado 17 abr. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/283932546_Evaluation_of_watermelon_rootstocks_for_off-season_production_in_heated_greenhouses
- Khah, E; Kakava, E; Mavromatis, A; Chachalis, D; Goulas, D. 2002. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open field (en línea). *Journal of Applied Horticulture* 8(1): 3-7. Consultado 19 dic. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/228626460_Effect_of_grafting_on_growth_and_yield_of_tomato_Lycopersicon_esculentum_Mill_in_greenhouse_and_open-field#:~:text=Plants%20grafted%20onto%20'Heman'%20and,yield%20in%20both%20cultivation%20conditions.
- Koike, S.T; Subbarao, K.V; Davis, R.M; Turini, T.A. Vegetable Diseases Caused by Soilborne Pathogens (en línea). 2003. UCANR Publications. California, USA. Consultado 23 ene. 2019. Disponible en <https://escholarship.org/uc/item/0t40d8zs>
- Koike, S.T. Soilborne diseases of vegetables crops (en línea, base de datos). 2016. *Crops & Soil magazine*. Wisconsin, USA, ACSESS DL. Consultado 14 ene. 2019.
- Kumar, P., L. Lucini, Y. Roupael, M. Cardarelli, R.M. Kalunke, and G. Colla. 2015. Insight into the role of grafting and arbuscular mycorrhiza on cadmium stress tolerance in tomato (en línea). *Front. Plant Sci.* 6:1–16. Consultado 11 nov. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00477>
- Kwame-Aidoo, M; Sherman, T; Ephrath, A; Rachmilevitch, S; Lazarovitch, N. 2017. Grafting as a method to increase the tolerance response of bell pepper to extreme temperatures (en línea). *Vadose Zone J.* Consultado 15 set. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.2136/vzj2017.01.0006>
- Kyriacou, M; Roupael, Y; Colla, G; Zrenner, R; Schwarz, D. 2010. Vegetable grafting: the implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality and nutritive value (en línea). *Front Plant Sci.* 8: 741. Consultado 7 dic. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00741>
- Lara, A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía (en línea). *Terra Latinoamericana* 17 (3): 221-229. Consultado ene 18. 2019. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317306.pdf>

- Lebeau, A; Daunay, M.C; Frary, A; Palloix, A; Wang, J.F; Dintinger, J; Chiroleu, F; Wicker, E; Prior, P. 2011. Bacterial wilt resistance in tomato, pepper, and eggplant: genetic resources respond to diverse strains in the *Ralstonia solanacearum* species complex (en línea). *Phytopathology*. 101(1):154-65. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-10-0048>
- Leonardi, C.; Giuffrida, F. Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplants on three different rootstocks (en línea). *Eur. J. Hort. Sci.* 71: 97–101. Consultado 4 dic. 2019. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/235799269_Variation_of_plant_growth_and_macronutrient_uptake_in_grafted_tomatoes_and_eggplants_on_three_differnt_rootstocks](https://www.researchgate.net/publication/235799269_Variation_of_plant_growth_and_macronutrient_uptake_in_grafted_tomatoes_and_eggplants_on_three_different_rootstocks)
- Leoni, S; Grudina, R; Cadinu, M; Madeddu, B; Garletti M.C. 1990. The influence of four rootstocks on some melon hybrids and a cultivar in greenhouse (en línea). *Acta Horticulturae*, 287: 127-134. Consultado 27 nov. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1991.287.12>
- Li, X.E., F.Y. Liu, Y. Huang, Q.S. Kong, Z.J. Wan, X. Li, and Z.L. Bie. 2015. Growth and physiology of grafted watermelon seedlings as affected by different light sources (en línea). *Acta Hort.* 1086:59–64. Consultado 13 oct. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282429911_Growth_and_physiology_of_grafted_watermelon_seedlings_as_affected_by_different_light_sources
- López, L. 2012. Memoria. Congreso Nacional del Cultivo de Tomate (2, 2012, Pérez Zeledón, Costa Rica). San José, Costa Rica, 41p.
- López, L. 2017. Memoria. Congreso Nacional del Cultivo de Tomate (4, 2017, San José, Costa Rica). Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológico de Costa Rica. 40p.
- Louws, F; Rivard, C; Kubota, C. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds (en línea). *Scientia Horticulturae* 127 (2): 127-146. Consultado 10 feb. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.023>
- Madeira, N.R; Amaro, G.B; Souza, R.F; Mendoca, J.L; Reifshneider, F. 2011. Compatibilidade de porta-enxertos de *Capsicum baccatum* com pimentao no Distrito Federal (en línea). *Horticultura brasileira* 34. Consultado 5 feb. 2020. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620160404>

- Martínez-Ballesta M.C, Alcaraz-Lopez, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M. 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions (en línea). *Scientia Horticulturae* 127: 112–118. Consultado 21 nov. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.002>
- Martínez-Rodríguez, M; Estañ, M; Moyano, E; Garcia-Abellan, J. 2007. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an “excluder” genotype is used as scion (en línea). *Environmental and Experimental Botany* 63 (1): 392-401. Consultado 30 nov. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.007>
- Maurya, D; Pandey, A; Kumar, V; Dubey, S; Prakash, V. 2019. Grafting techniques in vegetable crops: a review (en línea). *International Journal of Chemical Studies* 7 (2): 1664-1672. Consultado 11 ene. 2019. Disponible en: [http://plantarchives.org/PDF%2019-1/49-51%20\(4756\).pdf](http://plantarchives.org/PDF%2019-1/49-51%20(4756).pdf)
- Maynard, DN; Dunlap, AM; Sidoti, BJ. 2002. Sweetness in diploid and triploid watermelon fruit (en línea). *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 25: 32–35. Consultado 5 dic. 2019. Disponible en https://pdfs.semanticscholar.org/71c5/ed51958f5009943c3a4d2cd6520a28c1eb29.pdf?_ga=2.138999089.36794080.1592957828-1677220856.1592957828
- McAvoy, T., Freeman, J., Rideout, S., Olson, S., Paret, M. 2012. Evaluation of grafting using hybrid rootstocks for management of bacterial wilt in field tomato production (en línea). *HortScience* 47 (5): 621-625. Consultado 21 dic. 2019. Disponible en <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/47/5/article-p621.xml>
- Melnyk, C. 2017. Plant grafting: insights into tissue regeneration (en línea). *Regeneration*. 4 (1): 1-35. Consultado 14 nov. 2019. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5350079/>
- Miranda, B.E., Boiteux L.S., Cruz E.M., Reis, A. 2010. Fontes de resistência em acessos de *Solanum* (seção *Lycopersicon*) a *Verticillium dahliae* raças 1 e 2 (en línea). *Horticultura Brasileira* 28: 458-465. Consultado 27 oct. 2019. Disponible en https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-05362010000400014&script=sci_arttext
- Mohamed, F.H; Elwan, M.W.M; Abd El-Hamed, Menna-Alla, N. 2012. Comparative growth, yield and fruit quality of grafted and non-grafted cherry tomato plants under protected cultivation (en línea). *Agricultural Research Journal* 12 (2): 21-

29. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/281492707_Comparative_Growth_Yield_and_Fruit_Quality_of_Grafted_and_Non-Grafted_Cherry_Tomato_Plants_under_Protected_Cultivation
- Mohammed, S.M.T, Humidan, M; Boras, M; Abdalla, O.A. 2009. Effect of Grafting Tomato on Different Rootstocks on Growth and Productivity under Glasshouse Conditions (en línea). Asian Journal of Agricultural Research 3: 47-54. Consultado 25 feb. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/250303478_Effect_of_Grafting_Tomato_on_Different_Rootstocks_on_Growth_and_Productivity_under_Glasshouse_Conditions
- Morra, L; Bilotto, M. 2006. Evaluation of new rootstocks for resistance to soil-borne pathogens and productive behavior of pepper (*Capsicum annum* L.) (en línea, base de datos). Journal of Horticultural Science Biotechnology. 81:518-524. Consultado 23 ene. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512097>
- Mudge, K; Janick, J; Scofield, S; Goldschmidt, E. E. 2009. A History of Grafting *In Horticultural reviews* (en línea, base de datos). Wiley Online Library. 437-496p. Disponible en: <https://ezproxy.itcr.ac.cr:2891/doi/10.1002/9780470593776.ch9>
- Oka, Y; Offenbach, R; Pivonia, S. 2004. Pepper rootstock graft compatibility and response to *Meloidogyne javanica* and *M.incognita* (en línea). Journal of Nematology 36 (2): 137-141. Consultado 15 dic. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/24178704_Pepper_Rootstock_Graft_Compatibility_and_Response_to_Meloidogyne_javanica_and_M_incognita?enrichId=rgreq-6c5bb4bd5ba6a06d8f867565496f0702-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI0MTc4NzA0O0FTOjEYnZQ1NDg0NDgyMTUwOEAxNDA3Mzk5MDExODYw&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf
- PIMA (Programa Integral de Mercadeo Agropecuario, Costa Rica). 2016. Análisis de consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses. Consultado 27 dic. 2018. Disponible en <http://www.pima.go.cr/wp-content/uploads/2017/07/Analisis-Consumo.pdf>
- Ramírez, C; Carrasquilla, A; Córdoba, O. 2012. Horticultura protegida en tres zonas agroecológicas de Costa Rica (en línea). San Carlos, Costa Rica, Instituto

- Tecnológico de Costa Rica. 119p. Consultado 3 ene. 2019. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2943>
- Ramírez, C; Nienhuis, J. 2012. Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica (en línea). Tecnología en Marcha 25 (2):10-20. Consultado 3 de ene. 2019. Disponible en http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/303
- Reddy, P.P. 2016. Grafted Vegetables for Management of Soilborne Pathogens in Sustainable Crop Protection under Protected Cultivation (en línea, base de datos). Springer Science+Business Media Singapore. Singapore. 83-97p.
- Riga, P. 2015. Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions (en línea). Hortic. Environ. Biotechnol. 56: 626–638. Consultado 19 nov. 2019. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s13580-015-0042-0>
- Riga, P; L. Benedicto, L. García-Flores, D. Villaño, S. Medina, and A. Gil-Izquierdo. 2016. Rootstock effect on serotonin and nutritional quality of tomatoes produced under low temperature and light conditions (en línea). J. Food Comp. Anal. 46:50–59. Consultado 19 dic. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.11.003>
- Rivard, C.L; O’Connell, S; Peet, M.M; Welker, R.M; Louws, F.J. 2012. Grafting tomato to manage bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* in the southeastern United States (en línea). Plant Disease. Vol.96: 973-978. Consultado 11 oct. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1094/pdis-12-10-0877>
- Rivero, R; Ruiz, J; Romero, L. 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress condition (en línea). Journal of Food Agriculture and Environment 1 (1): 70-74. Consultado 24 mar. 2019. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/236211274_Role_of_grafting_in_horticultural_plants_under_stress_condition#:~:text=As%20the%20use%20of%20this,saline%20stress%3B%20\(5\)%20to](https://www.researchgate.net/publication/236211274_Role_of_grafting_in_horticultural_plants_under_stress_condition#:~:text=As%20the%20use%20of%20this,saline%20stress%3B%20(5)%20to)
- Rodríguez, A. 2017. La bioeconomía: oportunidades y desafíos para el desarrollo rural, agrícola y agroindustrial en América Latina y el Caribe (en línea). Boletín CEPAL FAO IICA. Consultado 5 ene. 2020. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/42724>
- Ros, C; Martínez, V; Sánchez-Solana, F; López-Marín, J; Lacasa, C; Guerrero, M; Lacasa, A. 2018. Combination of biosolarization and grafting to control

- Meloidogyne incógnita* in greenhouse pepper crops (en línea). Crop Protection 113 : 33-39. Consultado 15 ene 2020. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.07.007>
- Rossato, M; Santiago, T.R; Lopes, C.A. 2018. Reaction of Capsicum peppers commercialized in the Federal District to bacterial wilt (en línea). Horticultura brasileira 36:173-177. Consultado 15 ene. 2020. Disponible en DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620180204>
- Roskopf, E; Pisani, C; Di Gioia, F. 2017. Grafting Manual: How to produce grafted vegetable plants. Chapter 3.1: Crop specific grafting methods, rootstock and scheduling: Tomato (en línea, sitio web). Consultado 7 dic. 2018. Disponible en <http://www.vegetablegrafting.org/resources/grafting-manual/>
- Santos, H; Goto, R. 2004. Enxertia em plantas de pimentao no controle da murcha de fitoftora em ambiente protegido (en línea). Horticultura brasileira. 22 (1): 45-49. Consultado 15 set. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000100009>
- Sang-Gyu, K; On-Sook, H; Na-Young, R; Ho-Cheol, K; Ju-Hee, R; Jung-Sook, S; Kyoung-Yul, R; Sok-Young, L; Hjung-Jin; B. 2016. Evaluation of resistance to *Ralstonia solanacearum* in tomato genetic resources at seedling stage (en línea). The Plant Pathology Journal. 32 (1): 58-64. Consultado 12 oct. 2019. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4755676/>
- Sirtoli, L.F; Cerqueira, R.C; Rodrigues, J.D; Goto, R; Braga, C.L. 2011. Enxertia no desenvolvimento e qualidade de frutos de tomateiro sob diferentes porta-enxertos em cultivo protegido (en línea). Scientia Agraria Paranaensis. 10(3):15-22. Consultado 7 ene. 2020. Disponible en <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/140380/ISSN1677-4310-2011-10-03-15-22.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Soares, R; Ribeiro,C; Ragassi, C; Lopes, C; Carvalho, Sabrina; Reis, A; Braz, L; Reifschneider, F. 2019. Reaction of advanced inbred lines of Habanero pepper to *Ralstonia pseudosolanacearum* and *Phytophthora capsici* (en línea). Horticultura brasileira. 37: 395-401. Consultado 15 dic. 2019. Disponible en DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190406>
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15 (2)

- Suchoff, D; Louws, F; Gunter, C. 2019. Yield and disease resistance for three bacterial wilt resistant tomato rootstocks (en línea). Hort Technology 29 (3): 330-337. Consultado 2 dic. 2019. Disponible en <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/29/3/article-p330.xml>
- Trigiano, R; Windham, M; Windham, A. 2007. Plant Pathology. 2nd new edition. Taylor & Francis Inc. 576p.
- Tsouvaltzis, P.I; Siomos A.S; Dogras K.C. 2004. The effect of the two tomatoes grafting on the performance, earliness and fruit quality. Proc. 21st Pan-Hellenic Congress of the Greek Society for Horticultural Science. Ioannina, Greece, 8-10 October 2003. Vol. 11: 51-55.
- Vega, A. 2017. Uso del injerto en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* L) sobre patrones de chile picante (*C. chinense* Jacq y *C. baccatum* L). Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 69 p.
- Velasco-Alvarado, M.D.J., R. Castro-Brindis, A.M. Castillo-González, E. Avitia-García, J. Sahagún-Castellanos, and J.S.R.Lobato-Ortiz. 2016. Mineral composition, biomass and fruit yield in grafted Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) (en línea). Interciencia 41:703–708. Consultado 9 dic. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/310440339_Mineral_composition_biomass_and_fruit_yield_in_grafted_tomato_Solanum_Lycopersicum_L
- Velasco-Alvarado, M.D.J., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J.J., Castro-Brindis, R., Cruz-Izquierdo, S., Corona-Torres, T. 2019. Injertos interespecíficos entre *Solanum lycopersicum* L. Y *S. habrochaites* Knapp & Spooner como alternativa para incrementar el rendimiento de fruto (en línea). Agrociencia 53: 1029-1042. Consultado 22 mar. 2019. Disponible en <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2019/oct-nov/art-7.pdf>
- Venema, J.H; BE. Dijk, J.M; Bax, P.R. van Hasselt; Elzenga M. 2008. Grafting Tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance (en línea). Environ. Expt. Bot. 63:359–367. Consultado 16 dic. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.015>
- Yin, L.K., W.C. Zhao, C. Shu, X.M. Li, J.W. Fan, and S.H. Wang. 2015. Role of protective enzymes in tomato rootstocks to resist root knot nematodes (en línea). Acta Hort.

1086: 213-218. Consultado 11 feb.2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282436235_Role_of_protective_enzymes_in_tomato_rootstocks_to_resist_root_knot_nematodes

Zeist, A.R., Vilela, T., Giacobbo, C., Duarte, C., Munhoz, D. 2017. Graft takes of tomato on other solanaceous plants (en línea). Rev. Caatinga vol.30 no.2. Consultado 6 feb. 2019. Disponible en https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000200513

