Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*

Mario Pérez-Grajales[1], Tabita Queren Pérez-Reyes[1], Oscar Cruz-Álvarez[2], Rogelio Castro-Brindis[1] y María Teresa Martínez-Damián[1,*]

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Carretera México-Texcoco, km 38,5, C.P. 56230, Texcoco, Estado de México, México

[2] Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Avenida Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, C.P. 31350, Chihuahua, México

Resumen

En este estudio se evaluó la compatibilidad del chile serrano criollo de Morelos CM-334 como portainjerto, así como su efecto sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de chile manzano (*Capsicum pubescens*). El estudio se realizó durante los años 2017 y 2018 en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Los híbridos 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' presentaron un nivel de compatibilidad del 92 %, 98 % y 96 %, respectivamente; donde el diámetro del tallo de las plantas injertadas fue significativamente mayor. Con excepción del grosor de la peridermis y el número de semillas, los valores de rendimiento y morfología del fruto se mantuvieron sin variación estadística. El uso del injerto permitió la cosecha de frutos más firmes (15,27 Newtons, 15,54 Newtons y 16,95 Newtons) y con menor pérdida de peso, aunque esta última variable soló fue sobresaliente para 'Jhos' y 'Dali'. Por otro lado, el contenido de capsacinoides fue estadísticamente similar entre los híbridos injertados y sin injertar con CM-334. El uso del cultivar CM-334 como portainjerto puede ser considerado como una alternativa en la producción de chile manzano, con la ventaja adicional de poder incluir su uso en el manejo integrado de *Phytophtora capsici*, principal limitante en la producción de chile.

Palabras clave: *C. annuum* L., componentes de rendimiento, morfología de fruto, manejo agronómico, resistencia a oomicetos, Scoville Heat Units.

Compatibility of the rootstock CM-334 and its response on the yield, physicochemical quality and content of capsaicinoids in *Capsicum pubescens*

Abstract

In this study the compatibility of the serrano pepper type Criollo of Morelos 334 as a rootstock, as well as its response at the yield, physicochemical quality and content of capsaicinoids in rocoto (*Capsicum pubescens*) was evaluated. The study was carried out during the years 2017 and 2018 in the Department

* Autor para correspondencia: teremd13@gmail.com

Cita del artículo: Pérez-Grajales M, Pérez-Reyes TQ, Cruz-Álvarez O, Castro-Brindis R, Martínez-Damián MT (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens.* ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(4): 332-346. https://doi.org/10.12706/itea.2021.003

of Plant Science of Universidad Autonoma Chapingo, Mexico. The hybrids 'Maruca', 'Jhos' and 'Dali' had a compatibility level of 92 %, 98 %, and 96 %, respectively; where the stem diameter of the grafted plants was significantly larger in relation to the non-grafted control. With exception of the thickness of the peridermis and the number of seeds, the yield and morphology values of the fruit remained without statistical variation. The use of grafting allowed the harvest of firmer fruits (15.27 Newtons, 15.54 Newtons and 16.95 Newtons) and less weight loss, although this last variable was only outstanding for 'Jhos' and 'Dali'. On the other hand, the capsacinoids content was statistically similar between the grafted and ungrafted hybrids with CM-334. The use of the cultivar CM-334 as rootstock can be considered as an alternative in the production of chili pepper, with the additional advantage of being able to include its use in the integrated management of *Phytophtora capsici*, the main limitation in the chili production.

Keywords: *Capsicum annuum* L., yield components, fruit morphology, agronomic management, oomycetes resistance, Scoville Heat Units.

Introducción

Entre las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial se encuentra el chile (*Capsicum* spp.), un cultivo cuya diversidad morfológica y genética se encuentra integrada en alrededor de 30 especies, no obstante, solo cinco son domesticadas y de importancia económica: *C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. y *C. pubescens* Ruiz & Pav. (Ibiza *et al*., 2012; Naegele *et al*., 2016; Ayala-Arias *et al*., 2017). En conjunto con el maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) constituyen la base de la alimentación diaria de los países de América Latina (Edelstein *et al.,* 2017; Martínez-Damián *et al*., 2019).

C. pubescens Ruiz & Pav. es una especie originaria de la región de los Andes en Sudamérica (Bolivia, Ecuador y Perú), donde la altura de las áreas de adaptación y domesticación es entre 1500-3000 m s.n.m., cuyo clima es templado y con vegetación predominante de pino y encino (Cruz-Pérez *et al*., 2007). Esto contrasta con lo indicado para otras especies de chile que se desarrollan en zonas con menor altitud y en condiciones climáticas de tipo tropical y subtropical (Ibiza *et al.,* 2012). El fruto de *C. pubescens* posee un color amarillo intenso y características morfológicas que se asemejan a la manzana, razón por la que en México es llamado como chile manzano (Pérez-Grajales *et al.,* 2019). Esta especie de chile ha mostrado un incremento significativo en cuanto al área y el volumen de producción (Ayala-Arias *et al*., 2017), como consecuencia de los elevados precios que puede alcanzar como producto para consumo en fresco y del uso de invernaderos que permiten controlar de manera eficiente los factores edafoclimáticos adversos (Chang *et al.,* 2012).

La producción de chile, no solo de *C. pubescens,* se encuentra amenazada por el ataque de patógenos radiculares. Entre estos, el marchitamiento bacteriano (*Ralstonia solanacearum*) (Chang *et al.,* 2012), la pudrición de la raíz (*Phytophtora capsici)* (García-Rodríguez *et al.,* 2010; Sánchez-Chávez *et al*., 2017) y la marchitez del chile (*Fusarium* sp.) (Gisbert *et al.,* 2010), cuyos niveles de afectación pueden fluctuar entre 10 % y 80 % de la superficie plantada (Osuna-Ávila *et al.,* 2012; Sánchez-Chávez *et al.,* 2015). Sin embargo, *P. capsici* se presenta con mayor frecuencia, debido al amplio margen de condiciones medioambientales en las que se puede desarrollar (Flores-Córdova *et al.,* 2018). Además, la aplicación de fungicidas químicos ha provocado la resistencia del patógeno, contaminación ambiental y dificultad para un control eficiente de los síntomas (Louws *et al.,* 2010).

En los últimos años, una de las estrategias de manejo integrado más eficientes para el control de *P. capsici* sobre todo en *C. annuum* (especie más cultivada), es el uso de portainjertos resistentes, tal como los describen Osuna-Ávila *et al.* (2012) para chiles de tipo 'Cayene', 'Jalapeño' y 'Chilaca' (Flores-Córdova *et al*., 2018), 'pimiento morrón' (García-Rodríguez *et al.,* 2010) y 'chile ancho', entre otros (Abebe *et al.,* 2016). Lo anterior se asocia con la presencia de genes que coadyuvan a la expresión de resistencia, característica tan deseada en los portainjertos (Leal-Fernández *et al.,* 2013; Naegele *et al.,* 2016), donde se busca disminuir el efecto negativo provocado por problemas de humedad (sequia o exceso), suelos sobreexplotados y con deficiencias nutrimentales, contaminantes orgánicos, entre otros (Chang *et al.,* 2012; Sánchez-Chávez *et al.,* 2015).

Entre la gran diversidad de portainjertos disponibles en el mercado a nivel mundial, el cultivar de chile serrano criollo de Morelos CM-334 (Leal-Fernández *et al.,* 2013), es una de las principales fuentes de resistencia a *P. capsici* empleadas para el desarrollo de nuevas variedades comerciales en este cultivo (Osuna-Ávila *et al.,* 2012; Naegele *et al.,* 2016). En diversas investigaciones, se ha descrito que su uso incide en el comportamiento del rendimiento, vigor, área foliar, acumulación de biomasa y la calidad fisicoquímica de los frutos cosechados (Flores *et al.,* 2010; García-Rodríguez *et al.,* 2010; Hernández-González *et al*., 2014; Flores-Córdova *et al.,* 2018). Estos efectos pueden estar relacionados con una incompatibilidad vegetativa, es decir, una alteración en el transporte de metabolitos a través de floema y una modificación de procesos fisiológicos vía la síntesis hormonal (Leal-Fernández *et al.,* 2013; García-Bañuelos *et al.,* 2017), por lo que es necesario estudiar el comportamiento de diferentes variedades sobre cada portainjerto.

Los resultados obtenidos en muchas especies, incluido el chile, presentan alta variabilidad en el desempeño de la asociación portainjerto-injerto, debido a las condiciones edafoclimáticas, genotipo y condiciones de manejo (Rouphael *et al.,* 2010; Chávez-Mendoza *et al.,* 2015; Fallik e Ilic, 2015). Es por ello, que en este estudio se eligieron tres híbridos intervarietales registrados de *C. pubescens* ('Maruca', 'Jhos' y 'Dali'), considerados de alto rendimiento y buena calidad de fruto (SNICS, 2017). El objetivo de este trabajo fue de evaluar la compatibilidad de dichos híbridos con el cultivar de chile serrano criollo de Morelos CM-334 empleada como portainjerto, así como su efecto sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*.

Material y métodos

Material vegetal, ubicación del experimento y manejo del cultivo

La técnica de injerto involucró el uso de los híbridos 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali', obtenidos del programa de mejoramiento genético en chile manzano (establecido en 1994) de la Universidad Autónoma Chapingo y registradas en el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) con los números 1351, 1298 y 1299, respectivamente. Como portainjerto se empleó el cultivar de chile serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334) (*C. annuum* L.). El cultivo se realizó en condiciones de invernadero (tipo doble cenital y 50 % de sombra), ubicado en el Campo Agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh), Estado de México, México (19° 29′ 23″ N, 98° 52′ 24″ O), 2,269 m s.n.m. y temperatura media anual de 15,9 °C.

El portainjerto e híbridos fueron sembrados en charolas de poliestireno con 200 cavidades, rellenas con turba negra y cubiertas con ver-

miculita en una proporción 2:1 (v:v). Con el propósito de homogeneizar el diámetro de los tallos, la siembra de CM-334 (crecimiento anual) se realizó el 20 de abril de 2017, quince días previos a la siembra de los híbridos (5 de mayo de 2017) (crecimiento perenne). Además, para facilitar el proceso de injertado manual, 30 días después de la siembra, las plántulas de CM-334 fueron trasplantadas en charolas con 60 cavidades. El injerto utilizado fue de tipo empalme (García-Bañuelos *et al.,* 2017) y se realizó a los 77 días después de la siembra. Para mejorar la cohesión y desdiferenciación celular, se hizo coincidir el cambium de los tallos del portainjerto y de los híbridos. Dicho proceso fue llevado a cabo en una cámara de crecimiento provista con un sistema de microaspersores, donde la temperatura se mantuvo a 24 °C y humedad relativa inicial de 90 % con una disminución gradual a 50 % (10 días después del injerto (ddi)).

El día 4 de octubre de 2017 (90 ddi), las plantas de 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' injertadas sobre CM-334, así como también las plantas sin injertar (control), fueron trasplantadas en bolsas de plástico calibre 600 con capacidad de 60 l rellenas con tezontle rojo (roca de origen volcánico tipo ígnea) como sustrato y en condiciones de invernadero, con distancias de 0,8 m entre éstas y 1,6 m entre hileras. Se empleó un sistema de nebulización y tutoreo. El suministro de nutrientes se implementó mediante la aplicación de una solución nutritiva adaptada de Pérez y Castro (2012) a través de un sistema de riego por goteo, con un gasto medio de 3 l h^{-1} distribuidos en tres riegos durante el día. Las condiciones prevalecientes al interior del invernadero fueron: temperatura diurna de 18,3 °C, humedad relativa 70 %, radiación fotosintéticamente activa de 525 μmoles m^{-2} s^{-1} y 80 % de humedad del sustrato. La determinación de variables se realizó en el laboratorio de fisiología de frutales, así como en el de anatomía de frutales del Departamento de Fitotecnia (UACh).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones, donde se seleccionó como unidad experimental una planta de cada híbrido evaluado (injertado y sin injertar). Se colectaron 2 frutos por planta evaluada en cuatro repeticiones y sobre dichos frutos se determinó la acidez titulable (AT), color, vitamina C (VC), sólidos solubles totales (SST), carotenoides totales y (CT). En el caso de capsaicinoides totales (CiT) el número de repeticiones y tamaño de muestra fue similar, no obstante, su cosecha se realizó por separado. Por otro lado, para la determinación de firmeza y pérdida de peso, se emplearon 10 repeticiones con 1 fruto por planta evaluada. Los frutos seleccionados para el análisis de laboratorio presentaron un peso promedio de 80 ± 2 g, color amarillo intenso y uniforme (madurez de consumo), donde se inspeccionaron de manera visual la ausencia de daños mecánicos y/o el causado por factores bióticos (plagas y enfermedades).

Parámetros evaluados

Anatomía de la zona de injerto

La evaluación de la anatomía de los tejidos vasculares en la zona del injerto se realizó de acuerdo con lo descrito por Lee *et al.* (2010), sufriendo ligeras modificaciones. Para ello, se llevaron a cabo 4 muestreos (5 ddi, 10 ddi, 15 ddi y 20 ddi), donde se tomó una porción de 5 mm del sitio de unión del injerto de cada híbrido evaluado. El material vegetal fue sumergido en fijador FAA (solución con 50 % etanol al 96 % + 5 % ácido acético glacial + 10 % formaldehído con 40 % de pureza + 35 % agua destilada) durante una semana, y posteriormente transferido al fijador GAA (solución de 25 % de glicerol + 50 % etanol al 100 % + 25 % agua destilada + 0,0002 de fast green). Los procesos de deshidratación, aclaramiento e inclusión en parafina de las

muestras se efectuaron mediante el empleo de un procesador automático de tejidos modelo 2000 (Histokinette Leica®, Alemania). Se realizaron cortes transversales y longitudinales de 12 µm de espesor con micrótomo rotatorio modelo Hyrax 25 (Zeiss®, Alemania). Para eliminar el exceso de parafina y realizar la tinción del tejido, se montaron en portaobjetos y se aplicó la combinación safranina-fast green, respectivamente. La captura de fotografías se llevó a cabo con cámara digital (Canon®, USA) montada en microscopio óptico estéreo Discovery v.20 (Zeiss®, Alemania).

Compatibilidad del injerto (unión variedad-patrón)

Se midió el diámetro del tallo en el sitio de unión (mm) con un calibre digital (Truper®, México) durante un año cada tres meses. Las evaluaciones se realizaron en la posición de 1 cm por debajo y por encima del sitio de unión.

Rendimiento

La cosecha se inició el 6 de marzo de 2018 y se realizó en periodos de ocho días hasta completar 10 cosechas (cosechas parciales). En cada cosecha se determinó el número de frutos por planta (NFP), peso de fruto por planta (PFP) y rendimiento en t ha^{-1} (R). Los valores de NFP y PFP fueron obtenidos con la suma de las cosechas parciales, mientras que el R se obtuvo como producto del PF y la densidad de plantación del cultivo (0,694 plantas m^{-2}).

Calidad fisicoquímica del fruto

Se seleccionaron frutos de las plantas escogidas como unidades experimentales, en la que se evaluó el volumen promedio de fruto (VPF), el peso promedio de fruto (PPF), el número de lóculos por fruto (NLF), el grosor de pericarpio (GP), el número de semillas (NS) y el peso de semillas (PS). El VPF se obtuvo de la cantidad de agua desplazada en ml por un fruto colocado en una probeta graduada de 1 l, y la suma de todos los volúmenes se dividió entre el número de frutos cosechados por planta de cada cosecha para obtener el valor medio. El PPF se obtuvo como producto del cociente del PFP y NFP de cada cosecha. La cuantificación del NLF se realizó mediante un corte trasversal en la parte media de cada fruto, que de manera simultánea se midió el GP (mm) con un calibre digital (Truper®, México). Se contabilizó el número de semillas (NS) y peso de semillas (PS) utilizando la balanza electrónica portátil Scout Pro SP202® (Ohaus, USA) con sensibilidad de 0,01 g.

La firmeza se determinó en la zona ecuatorial del fruto, mediante un texturómetro digital Compact Gauge® (Mecmesin CE, USA) fijado en una mesa con puntal en forma de cono con diámetro de 0,6 mm y altura de 9 mm, registrándose la lectura en Newtons (N), que es la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal. Se determinó la pérdida de peso de los frutos por 12 días con una frecuencia de 72 horas y su calculó se realizó con la expresión:

$$\text{pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{peso inicial-peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

El color se evaluó sobre la parte ecuatorial del fruto con un colorímetro ColorTec-PCM™ (Cole Palmer, USA) con escala Hunter Lab y con los valores de a* y b* se calculó el matiz (°h) y pureza del color (croma) (C*). Los parámetros de AT y TSS fueron determinados mediante la homogeneización de 10 g de fruto para obtener jugo. Para la evaluación del porcentaje de ácido cítrico (AT) se tomaron 5 ml de jugo que fueron neutralizados con NaOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína al 1 % como indicador. Los SST se cuantificaron con un refractómetro digital manual portátil PAL-1® (ATAGO, USA). El contenido de ácido ascórbico (VC) fue determinado de acuerdo con el método de Tillman (AOAC, 1990) conocido como DFI-2,6 diclorofenol-in-

dofenol. Los resultados se expresaron en µg·100 g. Así mismo, se cuantificó la concentración de CT de acuerdo con la técnica propuesta por Lichtenhaler (1987), la cual consiste en homogeneizar 5 g de fruto en acetona al 80 % (v:v), se filtró con papel tipo Watmann poro 40 y aforo a 50 ml. Se obtuvieron los valores de absorbancia a 476 nm, 646 nm y 663 nm con un espectrofotómetro Genesys™ 10S UV VIS (Thermo Scientific, USA). Los resultados se expresaron µg·100 g.

Contenido de capsaicinoides

Para la extracción y cuantificación de capsaicinoides, los frutos se colocaron en bolsas de polietileno de baja densidad Ziploc® (Dow Chemical Company, USA) con dimensiones de 27 cm x 28 cm, las cuales fueron transportadas a laboratorio, donde fueron liofilizados durante 4 días y posteriormente homogenizados con una licuadora Oster® (Oster, USA). La extracción de los compuestos se realizó de acuerdo con el método descrito por Cruz-Pérez *et al.* (2007), para ello se tomó 1 g de muestra liofilizada, agregando 10 ml de acetonitrilo; la mezcla se colocó en un baño por 5 horas a 60 °C, se tomó una alícuota de 3 ml la cual se filtró mediante una membrana de nylon con poro de 45 µm y 25 mm de diámetro. La cuantificación se realizó a través de la inyección de 20 µl del extracto al cromatógrafo HP-1100 (Agilent®, USA), equipado con detector de UV y columna Supelcosil LC-18 (25 cm x 4,6 mm, 5 µm), cuya fase móvil consistió en acetonitrilo: agua (45:55), 1,5 ml de flujo, 23 ± 3 °C y longitud de onda de 280nm. Se usaron norhidrocapsaicina, capsaicina, y dihidrocapsaicina (Sigma®, USA) como estándares. La cuantificación se determinó mediante el método 995.03 (AOAC, 1995) con la aplicación de las expresiones:

$$N = \left[\left(\frac{Pn}{Ps}\right) x \left(\frac{Cs}{Wt}\right) x \left(\frac{10}{0.98}\right)\right] x\ 9300\ ;$$

$$C = \left[\left(\frac{Pc}{Ps}\right) x \left(\frac{Cs}{Wt}\right) x \left(\frac{10}{0.89}\right)\right] x\ 16100\ \text{ y}$$

$$D = \left[\left(\frac{Pd}{Ps}\right) x \left(\frac{Cs}{Wt}\right) x \left(\frac{10}{0.93}\right)\right] x\ 16100\ ;$$

donde N = nordihidrocapsaicina; C = capsaicina; D = dihidrocapsaicina; Pn, Pc, Pd corresponden al área del pico para N, C y D; Ps es el área del pico del estándar correspondiente; Cs es la concentración de la solución del estándar (mg ml^{-1}) y Wt es el peso de la muestra (g). Los resultados son Scoville Heat Unit (SHU) y de acuerdo con Collins *et al*. (1995) 1 µg de capsaicinoides g^{-1} es equivalente con 15 SHU.

Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal y Rohlf, 1995). De forma subsecuente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación múltiple de medias mediante la prueba de "t" de Student ($P \leq 0,05$) para dos poblaciones (plantas injertadas y sin injertar). En todos los procedimientos, se empleó el programa de análisis estadístico SAS 9.1.3.

Resultados y discusión

Anatomía de la zona de injerto

El prendimiento final de 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' fue de 92 %, 98 % y 96 %, respectivamente (Fig. 1. G y H). Resultados similares han sido descritos por Osuna-Ávila *et al.* (2012) en chile 'Cayene', 'Jalapeño' y 'Chilaca' (*C. annuum* L.) injertados sobre CM-334. Lee *et al.* (2010) señalan que las plantas de *Capsicum*

son compatibles con especies del mismo género, lo cual se manifiesta con crecimiento y desarrollo normal del vástago, sin embargo, pueden presentarse casos de compatibilidad parcial, dado que CM-334 modifica la absorción de nutrientes, reguladores del crecimiento y agua (García-Rodríguez *et al.,* 2010), donde a nivel comercial, valores superiores al 90 % de prendimiento se consideran aceptables (Osuna-Ávila *et al.,* 2012). Además, no se presentaron síntomas de rechazo (abertura del patrón y la posterior necrosis de los tejidos), tal como lo señalan Abebe *et al.* (2016). Por otro lado, un incremento del prendimiento puede asociarse con la mejora en el control de la humedad relativa, humedad del sustrato y temperatura ambiental (Schwarz *et al.,* 2010), donde de manera adicional se tendría que considerar el tipo de injerto empleado, el genotipo, la técnica y la habilidad del injertador (Jeffre y Yeoman, 1983), así como la aplicación externa de ácido ascórbico para coadyuvar a disminuir el estrés generado por el corte y la posterior formación de callo (Johkan *et al.,* 2008).

Con respecto a la evolución en el desarrollo del sitio de unión portainjerto-injerto (Figura 1), en los primeros 5 ddi, se logró apreciar un conjunto de células muertas que forman una línea oscura y el nivel de cohesión entre las zonas del cambium vascular fue mayor en 'Maruca' con 20 % respecto a 'Jhos' y 'Dali'. Hartmann *et al.* (2011) indican que diámetros similares de tallo entre el portainjerto-injerto al momento de realizar su unión, facilita una mayor área de contacto del cambium vascular y se mejora la cicatrización, con lo que se evita el riesgo de muerte por obstrucción de los haces vasculares. Moore (1984) afirma que el desarrollo de un injerto compatible comprende tres fases principales: cohesión del injerto y portainjerto, proliferación de células de callo en la interfase del injerto y rediferenciación vascular a través de la interfase. Al respecto, Parkinson *et al.* (1987) encontraron en tomate (*S. lycopersicum* L.) que la cohesión inicia con la secreción de sustancias pécticas en el sitio de unión. Dicha fase tiene el objetivo de proporcionar un soporte mecánico inicial en el punto de unión, sin ser elementos que garanticen el éxito del injerto, debido a que estos procesos no requieren de reconocimiento celular. Así mismo, en este periodo de tiempo también se inicia con el entrelazamiento de las nuevas células del callo entre portainjerto-injerto, así como el inicio de la absorción de la línea de corte (Martínez-Ballesta *et al.,* 2010).

El proceso de unión, es decir, el restablecimiento de haces vasculares en 'Maruca' y 'Jhos', ya puede ser observado a los 10 ddi (Figura 1. C y D), y en 'Dali' no fue tan visible, siendo atribuido a una menor área de contacto entre los cambiums en el momento de realizar el injerto. En este período de tiempo, el sitio de unión se encuentra conformado por células muertas, las cuales en una proporción aproximada al 50 % fue eliminada y sustituida por células del parénquima, con excepción de la parte central, la cual se aprecia un espacio poroso (Figura 1. D). En este sentido, Hartmann y Kester (1984) mencionan que los espacios vacíos entre el portainjerto y el injerto se van rellenando con células de parénquima para la formación de tejido de callo.

En el tercer período de evaluación, ningún híbrido presentó espacios porosos y se observó un incremento del entrelazamiento de células de parénquima que visualmente se pudo constatar con 70 % de cicatrización, así como la capacidad de las plántulas de continuar con su desarrollo fuera de la cámara de crecimiento. Jeffree y Yeoman (1983) afirman que conforme se va desarrollando el tejido de callo, la capa necrótica es absorbida, debido al aumento del tamaño de las nuevas células, lo que confiere resistencia mecánica en el punto de unión. En el caso particular de 'Dali', la línea de unión fue más visible con respecto a 'Maruca' y 'Jhos', no obstante, en

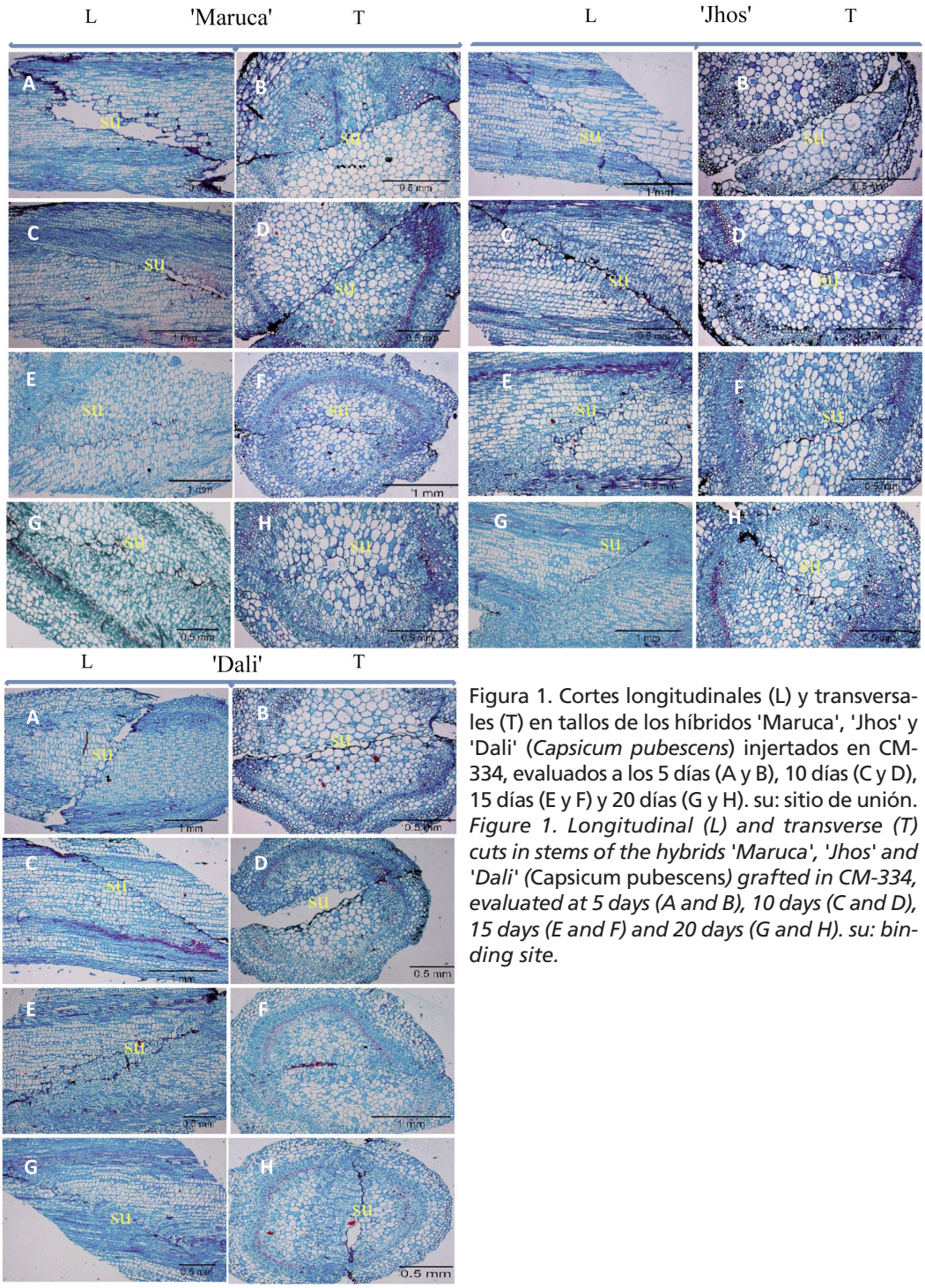


Figura 1. Cortes longitudinales (L) y transversales (T) en tallos de los híbridos 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' (*Capsicum pubescens*) injertados en CM-334, evaluados a los 5 días (A y B), 10 días (C y D), 15 días (E y F) y 20 días (G y H). su: sitio de unión.
Figure 1. Longitudinal (L) and transverse (T) cuts in stems of the hybrids 'Maruca', 'Jhos' and 'Dali' (Capsicum pubescens*) grafted in CM-334, evaluated at 5 days (A and B), 10 days (C and D), 15 days (E and F) and 20 days (G and H). su: binding site.*

estas últimas también se observó la rediferenciación del sistema vascular, dado el establecimiento continuo de los elementos del xilema. Es importante señalar que desde el día 5 ddi, los cortes longitudinales permitieron observar en 'Jhos' y 'Dali' una curvatura en los haces vasculares, sin embargo, este comportamiento fue más notorio a los 15 ddi. Fallik e Ilic (2015) indican la existencia de un sistema de reconocimiento celular que impide a los haces vasculares unirse con las células de la médula o de la corteza, sino que se curvan a conveniencia para buscar su contraparte correspondiente. Hartmann *et al.* (2011) señalan la importancia que tiene durante el injerto la presencia de tallos con diámetros similares, debido a que se facilita el hacer coincidir las partes cortadas, de tal manera que una porción considerable de las regiones cambiales de portainjerto-injerto queden en contacto y de esta manera disminuye el tiempo para la rediferenciación celular.

El último período de evaluación se caracterizó por la formación de la cicatriz en la línea de unión con 90 % de absorción del tejido y la unión vascular completa. En este período también se observó una ligera curvatura de los haces vasculares en 'Maruca' y 'Dali' (Figura 1. G y H), sin embargo, dicha curvatura no afectó la rediferenciación del sistema de haces vasculares, y un proceso característico de esta etapa es la conclusión del proceso de lignificación del xilema y del sitio de unión (Leal-Fernández *et al.,* 2013), lo cual coincide con la alta compatibilidad con el portainjerto. Johkan *et al*. (2008) afirman que las conexiones del xilema pueden diferenciarse desde el primer día, después de realizar el injerto en zonas muy pequeñas (<1 %), pero para que la unión del injerto se considere exitosa se necesita que varias conexiones de xilema y floema atraviesen la interface del injerto.

Compatibilidad del injerto (union portainjerto-injerto)

Una característica importante que se asocia con la compatibilidad portainjerto-injerto es el desarrollo continuo y sincronico de los tejidos conectivos y de soporte (Sánchez-Chávez *et al.,* 2015). Las evaluaciones trimestrales permitieron observar diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre plantas injertadas y sin injertar con respecto al diámetro del tallo de los híbridos con valores mínimos (3 meses) y máximos (12 meses) de 13,03 mm y 30,09 mm en 'Maruca' y 'Dali', respectivamente, donde la mayor fluctuación se presentó en las plantas sin injertar de 'Dali' con una variación de 24,80 % (Tabla 1). Un mayor diámetro de tallo puede asociarse con una mayor acumulación de biomasa y de área foliar (Martínez-Ballesta *et al.,* 2010; Turhan *et al.,* 2011), los cuales son aspectos muy apreciados por los productores (Juárez-Rosete *et al.,* 2019). De igual manera, valores altos de diámetro de

Tabla 1. Diámetro de tallo (mm) en híbridos de chile manzano injertados en CM-334 y cultivados en condiciones de invernadero.
Table 1. Stem diameter (mm) in manzano hot pepper hybrids grafted in CM-334 and grown in greenhouse conditions.

Híbrido	Meses			
	3	6	9	12
Maruca[i]	13,03*	23,95*	26,72*	27,29*
Maruca	10,85	21,04	22,82	23,39
Jhos[i]	13,38*	25,26*	27,25*	29,68*
Jhos	11,02	19,99	20,82	22,64
Dali[i]	13,42*	25,59*	28,49*	30,09*
Dali	10,66	20,68	22,23	22,63

[i]: injertado. Los datos mostrados son medias (n = 10). *Significativo de acuerdo con la prueba "t" de Student ($p \leq 0,05$).

tallo en plantas injertadas sugieren la formación de células indiferenciadas conocidas como tejido de callo, las cuales son producidas para proporcionar soporte mecánico a la unión del portainjerto-injerto (Hernández-González *et al.,* 2014; Edelstein *et al.,* 2017). No obstante, la acumulación de este tipo de células fue de 2 mm a 7 mm, con relación a los 30 mm de diámetro de tallo observados durante el período de evaluación.

Rendimiento

Como se puede observar en la Tabla 2, el empleo de CM-334 como portainjerto no implicó variabilidad significativa con respecto al comportamiento del rendimiento, ni sobre el NFP, PFP y PPF entre las plantas injertadas. Es por ello que el uso de CM-334 podría limitarse a reducir el efecto negativo de la presencia de *P. capsici*. en el área de la rizosfera

Tabla 2. Rendimiento y caracteres morfológicos en híbridos de chile manzano injertados en CM-334 y cultivados en condiciones de invernadero.
Table 2. Yield and morphological characters in manzano hot pepper hybrids grafted in CM-334 and grown under greenhouse conditions.

Híbrido	R (t ha^{-1})	NFP	PFP (kg)	VPF (ml)	PPF (g)
Maruca[i]	62,93^{ns}	114,44^{ns}	9,06^{ns}	91,67^{ns}	81,03^{ns}
Maruca	71,06	125,63	10,04	90,28	79,80
Jhos[i]	65,27^{ns}	121,33^{ns}	9,40^{ns}	88,61^{ns}	78,01^{ns}
Jhos	71,05	129,56	10,23	87,22	80,84
Dali[i]	62,23^{ns}	118,11^{ns}	8,96^{ns}	86,94^{ns}	77,35^{ns}
Dali	68,72	126,67	9,90	83,33	78,68

Híbrido	NLF	GP (mm)	NS	PS (g)
Maruca[i]	3,58^{ns}	5,90^{ns}	121,33^{ns}	2,36*
Maruca	3,57	5,87	109,56	1,86
Jhos[i]	3,55^{ns}	5,90*	115,56^{ns}	2,23^{ns}
Jhos	3,95	6,55	107,89	1,97
Dali[i]	3,89^{ns}	5,88^{ns}	119,67^{ns}	2,17^{ns}
Dali	3,78	6,08	106,78	2,01

[i]: injertado. NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta. VPF: Volumen promedio de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; NLF: Número de lóculos por fruto; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. Los datos mostrados son medias (n = 10). ^{ns}: No significativo. *significativo de acuerdo con la prueba "t" de Student ($P \leq 0,05$).

del cultivo, ya que se ha demostrado su resistencia al ataque de este oomiceto (García-Rodríguez *et al.,* 2010; Louws *et al.,* 2010). Las diferencias en la tasa de crecimiento y desarrollo del sistema radical entre portainjerto y el vástago no fueron un factor significativo para modificar la eficiencia de absorción de agua, nutrimentos, así como la biosíntesis y

suministro hormonal (citocininas y auxinas) que pudiesen incidir en el rendimiento tal como lo indican Lee (1994) y García-Bañuelos *et al*. (2017). Resultados similares han sido descritos por Flores *et al*. (2010) en tomate ('Kyndia'/'UC82B') con diferentes hábitos de crecimiento e incluso reportan una disminución de rendimiento. En contraste, Flores-Córdova *et al*. (2018) reportan que el uso del portainjerto comercial 'Terrano' (*C. annuum* L.) mostró un efecto significativo sobre la acumulación de nitrógeno y proteína en los tejidos de hoja en chile pimiento (*C. annuum* L.) 'Janette', condición que se observó en el vigor y coloración de la planta. Así mismo, incrementos de 53,47 % y 49,40 % son referidos por Sánchez-Chávez *et al*. (2015) en plantas de chile pimiento 'Fascinato'/Terrano y 'Janette'/Terrano, respectivamente. El contraste de resultados podría vincularse con las características intrínsecas del portainjerto, así como con su capacidad para modificar el comportamiento fisiológico del injerto (Schwarz *et al.,* 2010), entre estos, la eficiencia del aprovechamiento de los factores que inciden en el rendimiento (luz difusa, nutrimentos, concentración de CO_2, entre otros) (Turhan *et al.,* 2011; Hernández-González *et al*., 2014).

De forma similar a lo observado con el rendimiento y sus compontes (NFP, PFP y PPF), tampoco se observó efecto significativo de CM-334 sobre los caracteres de VPF, NLF y NS, al mostrar datos estadísticamente similares entre los frutos cosechados de los híbridos evaluados. Sin embargo, 'Jhos' y 'Maruca' presentaron valores de GP y PS de 5,9 mm y 2,36 g, respectivamente, los cuales superaron a lo observado en las pni (Tabla 3) ($P \leq 0,05$). En este sentido, se ha encontrado en chile manzano que caracteres como el NS y GP muestran una correlación positiva y significativa con el rendimiento (Ayala-Arias *et al*., 2017). No obstante, en nuestro caso, este último parámetro no mostró variación entre los materiales analizados. El uso de portainjetos en *C. annuum* ('Almuden'/'Charlot', 'Almuden'/'Foc', 'Coyote'/Charlot' y 'Coyote'/Foc'), no afectó al grosor del pericarpio y número de lóculos por efecto de injerto. Gisbert *et al.* (2010), no obstante, si describen una reducción del 50 % en el NS para 'Almuden'/'Foc'. En otras especies como tomate (*Solanum licopersicum* Mill) 'Yeni Talya'/Beaufort', 'Yeni Talya'/Arnold', 'Swanson'/ 'Beaufort', 'Swanson'/'Arnold', 'Beril'/'Beaufort' y 'Beril'/'Arnold', el comportamiento de algunos parámetros como el diámetro y longitud del fruto son modificados por efecto del injerto (Turhan *et al.,* 2011).

Los datos de color, acidez titulable, SST, AA, CT y CiT de los frutos provenientes de las plantas injertadas fueron estadísticamente similares. Sin embargo, no ocurrió lo mismo para la firmeza y pérdida de peso, donde esta última sólo fue significativa para 'Jhos' y 'Dali' con valores de 11,48 % y 12,92 %, respectivamente (Tabla 3). El uso de CM-334 como portainjerto permite mejorar el manejo poscosecha mediante la producción de frutos con mayor firmeza y menor pérdida de peso. Además, no interfiere con la síntesis y acumulación de compuestos relacionados con el sabor (acidez titulable, SST y capsaicinoides), nutrición (vitamina C) y color de los frutos. Estos resultados contrastan con lo reportado en otros estudios, como el realizado por Chávez-Mendoza *et al.* (2015) en chiles pimientos ('Jeanette', 'Sweet', 'Fascinato' y 'Orangela') (*Capsicum annuum* L.) con epidermis de diferente tonalidad e injertados en los portainjertos 'Terrano' y 'Robusto', donde la combinación portainjerto-variedad y la fecha de recolección de datos fueron factores importantes para poder encontrar variación significativa en la concentración de β-carotenos, vitamina C, licopeno y fenoles totales.

Por otro lado, Flores *et al.* (2010) en seis líneas endogámicas recombinantes de tomate (L21, L64, L164, L214, L299 y L36) sobre *S. cheesmaniae,* exponen un incremento significativo en los valores de AT y SST, lo que a conside-

Tabla 3. Calidad fisicoquímica de frutos cosechados en híbridos de chile manzano injertados en CM-334 y cultivados en condiciones de invernadero.
Table 3. Physicochemical quality of fruits harvested in manzano hot pepper hybrids grafted in CM-334 and grown under greenhouse conditions.

Híbrido	F	PP	Color			AT
			L*	C*	°h (h*)	
Maruca[i]	15,27*	12,98^{ns}	51,83^{ns}	39,57^{ns}	48,61^{ns}	3,48^{ns}
Maruca	11,59	11,46	46,93	40,09	44,90	2,57
Jhos[i]	15,54*	11,48*	52,75^{ns}	51,16^{ns}	42,76^{ns}	2,22^{ns}
Jhos	12,53	20,66	53,79	49,52	44,59	2,21
Dali[i]	16,95*	12,92*	47,04^{ns}	50,39^{ns}	45,11^{ns}	3,37^{ns}
Dali	11,57	24,95	50,69	53,93	44,87	2,72

Híbrido	SST	VC	CT	CiT		
				Nhc	Ci	Dhc
Maruca[i]	5,34^{ns}	625,50^{ns}	651,5^{ns}	53433^{ns}	75290^{ns}	131420^{ns}
Maruca	5,59	768,69	659,5	52945	73240	126954
Jhos[i]	6,06^{ns}	768,69^{ns}	655,4^{ns}	60985^{ns}	80322^{ns}	145987^{ns}
Jhos	6,37	740,05	684,5	62220	84200	139490
Dali[i]	5,80^{ns}	595,15^{ns}	612,8^{ns}	21516^{ns}	37800^{ns}	37500^{ns}
Dali	6,28	638,33	641,2	27345	35420	40853

[i]: injertado. F: Firmeza (Newtons); PP: Pérdida de peso (%); AT: Acidez titulable (% ácido cítrico); SST: Sólidos Solubles Totales (°Brix); VC: Vitamina C (µg·100 g); CiT: Capsaicinoides totales (Nhc: Norhidrocapsaicina; Ci: Capsaicina; Dhc: Dihidrocapsaicina). La concentración de capsaicionoides es expresada en SHU (Scoville Heat Units). ^{ns}: No significativo de acuerdo con la prueba "t" de Student ($P \leq 0,05$) *significativo de acuerdo con la prueba "t" de Student ($P \leq 0,05$).

ración de Fallik e Ilic (2015) puede estar asociado con las características propias de cada portainjerto y las condiciones en las que se desarrolla (estrés hídrico o condiciones de salinidad). La ausencia de modificaciones en el comportamiento del rendimiento y calidad de fruto, son indicativo de que CM-334 puede ser un buen portainjerto en chile manzano (Gisbert *et al.*, 2010; Sánchez-Chávez *et al.,* 2017).

Conclusiones

El uso de CM-334 como portainjerto en los híbridos de chile manzano evaluados en este estudio superó el 90 % de prendimiento, sin afectar el rendimiento y la mayoría de caracteres morfológicos del fruto. Sin embargo, 'Jhos' y 'Maruca' presentaron mayor grosor de pericarpio y peso de semillas con valores

de 5,90 mm y 2,36 g, respectivamente. Por otro lado, los frutos cosechados de los híbridos injertados fueron más firmes (15,27-16,95 N) con respecto a los provenientes de los testigos sin injertar (11,57-12,57 N). Adicionalmente, la menor pérdida de peso se presentó en 'Jhos' y 'Dali', manteniendo sin cambios los parámetros asociados con color, sabor y contenido de capsaicinoides. Los resultados indican que CM-334 puede ser considerado como portainjerto en la producción de chile manzano, dado que no afectó el rendimiento, morfología, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicionoides de los frutos cosechados en los híbridos estudiados, con la ventaja adicional de poder incluir su uso dentro del manejo integrado de *P. capsici,* principal limitante en la producción de chile.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) y a la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) por los apoyos técnico y administrativo otorgados para la realización de esta investigación.

Referencias bibliográficas

Abebe AA, Wai KPP, Siddique MI, Mo HS, Yoo HJ, Jegal Y, Byeon SE, Jang KS, Jeon SG, Hwang JE, Kim BS (2016). Evaluation of *Phytophthora* root rot- and bacterial wilt-resistant inbred lines and their crosses for use as rootstocks in pepper (*Capsicum annuum* L.). Horticulture, Environment, and Biotechnology 57: 598-605. https://doi.org/10.1007/s13580-016-0050-8.

AOAC (1990). Official Methods of Analysis. 15th. Ed. AOAC International, MD, EE. UU. 770 pp.

AOAC (1995). Association of Official Analytical Chemists. Official Method 995.03. Capsaicinoids in capsicums and their extractives liquid chromatographic method.

Ayala-Arias B, Mejía-Carranzal J, Martínez-Estrada I, Rubi-Arriaga M, Vázquez-García L (2017). Morphological characterization of manzano pepper hybrids. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8: 825-836. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.10.

Chang YC, Chen S, Chiu YC, Lin LH, Chang YS (2012). Growth and union acclimation process of sweet pepper grafted by a tubing-grafting robotic system. Horticulture, Environment, and Biotechnology 53: 93-101. https://doi.org/10.1007/s13580-012-0085-4.

Chávez-Mendoza C, Sánchez E, Muñoz-Márquez E, Sida-Arreola JP, Flores-Córdova MA (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. Antioxidants 4: 427-446. https://doi.org/10.3390/antiox4020427.

Collins DM, Mayer WL, Bosland WP (1995). Improved method for quantifying capsaicinoids in *Capsicum* using high-performance liquid chromatography. HortScience 30: 137-139. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.1.137.

Cruz-Pérez AB, González-Hernández VA, Soto-Hernández RM, Gutiérrez-Espinosa MA, Gardea-Béjar AA, Pérez-Grajales M (2007). Capsaicinoids, vitamin C and heterosis during fruit development of manzano hot pepper. Agrociencia 41: 627-635.

Edelstein M, Cohen R, Gur A, Elkabetz M, Pivonia S, Grosch R, Forster P, Schwarz D (2017). Performance of interspecific *Cucurbita* rootstocks compared to their parental lines. Scientia Horticulturae 216: 45-50. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.031.

Fallik E, Ilic Z (2015). Grafted vegetables – the influence of rootstock and scion on postharvest quality. Folia Horticulturae 26: 79-90. https://doi.org/10.2478/fhort-2014-0008.

Flores FB, Sánchez-Bel P, Estañ MT, Martínez-Rodríguez MM, Moyano E, Morales B, Campos JF, García-Abellan JO, Egea MI, Fernández-García N, Romojaro F, Bolarin MC (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. Scientia Horticulturae 126: 211-217. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026.

Flores-Córdova MA, Sánchez-Chávez E, Soto-Parra J (2018). Influence of rootstock "Terrano" on the accumulation of organic elements and the quality of bell pepper. Agronomía Mesoamericana 29: 403-413. https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29178.

García-Bañuelos M, Sánchez E, Gardea-Béjar A, Muñoz-Márquez E, Soto-Parra J, Ojeda-Barrios D (2017). Nitrogen use efficiency and yield in response graft bell pepper cultivars. Emirates Journal of Food and Agriculture 29: 420-428. https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-09-1182.

García-Rodríguez MA, Chiquito-Almanza E, Loeza-Lara PD, Godoy-Hernández H, Villordo-Pineda E, Pons-Hernández JL, González-Chavira MM, Anaya-López JL (2010). Production of ancho chili graft on criollo de Morelos 334 for the control of *Phytophthora capsici*. Agrociencia 44: 701-709.

Gisbert C, Sánchez-Torres P, Raigón MD, Nuez F (2010). *Phytophthora capsici* resistance evaluation in pepper hybrids: Agronomic performance and fruit quality of pepper grafted plants. Journal of Food, Agriculture & Environment 8: 116-121.

Hartmann HT, Kester DE (1984). Propagación de plantas. 2ª ed. Continental, S.A., México.

Hartmann HT, Kester DE, Davies FT, Geneve RL (2011). Propagation: principles and practice. 8th ed. Prentice Hall, USA.

Hernández-González Z, Sahagún-Castellanos J, Espinosa-Robles P, Colinas-León MT, Rodríguez-Pérez J (2014). Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. Revista Fitotecnia Mexicana 37: 41-47.

Ibiza VP, Blanca J, Cañizares J, Nuez F (2012). Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. Genetic Resources and Crop Evolution 59: 1077-1088. https://doi.org/10.1007/s10722-011-9744-z.

Jeffree CE, Yeoman MM (1983). Development of intercellular connections between opposing cells in a graft union. New Phytologist 93: 491-509. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb02701.x.

Johkan M, Oda M, Mori G (2008). Ascorbic acid promotes graft-take in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae 116: 343-347. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.004.

Juárez-Rosete CR, Aguilar-Castillo JA, Aburto-González CA, Alejo-Santiago G (2019). Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. Revista Chapingo Serie Horticultura 25: 17-28. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006.

Leal-Fernández C, Godoy-Hernández H, Núñez-Colín CA, Anaya-López JL, Villalobos-Reyes S, Castellanos JZ (2013). Morphological response and fruit yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grafted onto different commercial rootstocks. Biological Agriculture & Horticulture 29(1): 1-11. https://doi.org/10.1080/01448765.2012.746063.

Lee JM (1994). Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. HortScience 29: 235-239. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.4.235.

Lee JM, Kubota C, Tsao SJ, Bie Z, Hoyos-Echevarría P, Morra L, Oda M (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. Scientia Horticulturae 127: 93-105. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003.

Lichtenhaler KH (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.

Louws FJ, Rivard CL, Kubota RC (2010). Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. Scientia Horticulturae 127: 127-146. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.023.

Martínez-Ballesta MC, Alcaraz-López C, Muries B, Mota-Cadenas C, Carvajal M (2010). Physiological aspects of rootstock-scion interactions. Scientia Horticulturae 127: 112-118. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.002.

Martínez-Damián M, Cruz-Álvarez O, Moreno-Pérez E, Valle-Guadarrama S (2019). Intensity of color and bioactive compounds in collections of guajillo chili from Northern Mexico. Revista

Mexicana de Ciencias Agrícolas 10(1): 35-49. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.465.

Moore R (1984). A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants. American Journal of Botany 71: 752-758. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1984.tb14182.x.

Naegele RP, Mitchell J, Hausbeck MK (2016). Genetic diversity, population structure, and heritability of fruit traits in *Capsicum annuum*. PLoS ONE 11: e0156969. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156969.

Osuna-Avila P, Aguilar-Solis J, Fernandez-Pavia S, Godoy-Hernandez H, Corral-Diaz B, Flores-Margez JP, Borrego Ponce A, Olivas E (2012). Grafting in Cayenne, jalapeno and chilaca chili peppers in northwestern Chihuahua, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 739-750. https://doi.org/10.29312/remexca.v3i4.1427.

Parkinson M, Jeffre CE, Yeoman MM (1987). Incompatibility in cultured explant-grafts between members of the solanaceae. New Phytologist 107: 489-498. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb02919.x.

Pérez GM, Castro BR (1998). Guía técnica para la producción intensiva de chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.

Pérez-Grajales M, Martínez-Damián MT, Cruz-Alvarez O, Potrero-Andrade SM, Peña-Lomelí A, González-Hernández VA, Villegas-Monter A (2019). Content of capsaicinoids and physicochemical characteristics of manzano hot pepper grown in greenhouse. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 47: 119-127. https://doi.org/10.15835/nbha47111241.

Rouphael Y, Schwarz D, Krumbein A, Colla G (2010). Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. Scientia Horticulturae 127: 172-179. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.001.

Sánchez-Chávez E, Torres-González A, Flores-Córdova MA, Preciado-Rangel P, Márquez-Quiroz C (2015). Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. Nova Scientia 7: 227-244. https://doi.org/10.21640/ns.v7i15.302.

Sánchez-Chávez E, Silva-Rojas HV, Leyva-Mir G, Villarreal-Guerrero F, Jiménez-Castro JA, Molina-Gayosso E, Gardea-Béjar A, Ávila-Quezada GD (2017). An effective strategy to reduce the incidence of *Phytophthora* root and crown rot in bell pepper. Interciencia 42: 229-235.

Schwarz D, Rouphael Y, Colla G, Venema JH (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. Scientia Horticulturae 127: 162-171. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016.

SNICS (2017). Guía técnica para la descripción varietal de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Social, Pesca y Alimentación. Servicio nacional de inspección y certificación de semillas. 21 pp.

Sokal RR, Rohlf FJ (1995). Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3rd ed. New York W.H. Freeman.

Turhan A, Ozmen N, Serbeci MS, Seniz V (2011). Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. Horticultural Sciences (Prague) 38: 142-149. https://doi.org/10.17221/51/2011-HORTSCI.

(Aceptado para publicación el 25 de enero de 2021)