

**PORTAINJERTOS NATIVOS DE *Solanum lycopersicum* L. Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y TOLERANCIA A *Meloidogyne incognita***

Sergio Inés-Vásquez, Teodulfo Aquino-Bolaños, Angélica Bautista-Cruz, Isidro Morales y Gabino A. Martínez-Gutiérrez

*Resumen*

Los nematodos formadores de agallas del género *Meloidogyne* son un problema fitosanitario de difícil manejo en el cultivo de tomate. Se han utilizado diferentes métodos para su control, como el uso de nematicidas sintéticos, enmiendas orgánicas y control biológico, los cuales han mostrado diferentes niveles de control. Se sabe poco del uso de portainjertos nativos, pudiendo ser una buena alternativa en la producción de tomate. El objetivo de la investigación fue evaluar tres portainjertos nativos (genotipos Manzana, Ciruelo y Arriñonado) de *S. Lycopersicum* sobre un híbrido comercial (Cid FI®) de tomate tipo saladette de crecimiento indeterminado, para determinar las mejores combinaciones portainjerto-híbrido, su respuesta ante la presencia del nematodo *M. Incognita* y su productividad en invernadero. Las variables evaluadas fueron: población de nematodos en suelo, índice

de agallamiento de raíces, rendimiento del cultivo, y parámetros del fruto: peso, diámetros polar y ecuatorial, pH, conductividad eléctrica, sólidos solubles totales y firmeza. El portainjerto Cid FI-portainjerto Manzana redujo significativamente el índice de agallas en las raíces respecto al testigo, mostrando resistencia moderada y bajas poblaciones de juveniles de segundo estadio de *M. Incognita* (J2) en suelo. Los tres portainjertos incrementaron su rendimiento en 125,90; 97,06 y 77,5% para los portainjertos Manzana, Ciruelo y Arriñonado, respectivamente, en relación al testigo. Los mayores diámetros de frutos se registraron cuando el Híbrido Cid FI® injertó sobre el portainjerto Manzana. El uso de portainjertos nativos-híbrido son una alternativa viable, pues incrementó el rendimiento y calidad de los frutos en sistemas de agricultura protegida en el cultivo de tomate.

**Introducción**

El tomate *S. lycopersicum* L. es uno de los cultivos vegetales más consumidos en el mundo. Es un alimento nutricionalmente equilibrado; por lo tanto,

juega un papel importante para garantizar la seguridad alimentaria y la nutrición (Brasero *et al.*, 2019). En México, la superficie de producción de tomate en agricultura protegida creció a una tasa promedio anual de

22,7% durante el período 2007-2017, pasando de 1,973 a 15,198ha sembradas. Por ende, la producción obtenida aumentó a una tasa de 23,4% (SIAP, 2019). Sin embargo, la práctica del monocultivo y la

contaminación por el uso de agroquímicos han afectado negativamente en la diversidad de microorganismos de los agroecosistemas, ocasionando un desequilibrio e inestabilidad de los mismos, lo cual se refleja,

**PALABRAS CLAVE / Calidad de Frutos / *Meloidogyne incognita* / Portainjertos / Tomates Nativos /**

Recibido:12/06/2020. Modificado: 19/05/2021. Aceptado: 21/05/2021.

**Sergio Inés-Vásquez.** M.C. en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales. Instituto Politécnico Nacional, México. Estudiante de Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca),

Instituto Politécnico Nacional, México.  
**Teodulfo Aquino-Bolaños** (Autor de correspondencia). Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad de Ciego de Avila, Cuba. Profesor-Investigador, Instituto Politécnico Nacional. Dirección: CIIDIR Oaxaca, Hornos 1003. Santa Cruz Xoxocotlán. C. P. 71230. Oaxaca, México. e-mail: taquino@ipn.mx.

**Angélica Bautista-Cruz.** Doctora en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma Metropolitana, México. Profesora Investigadora, CIIDIR-Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, México. e-mail: mbautistac@ipn.mx.  
**Isidro Morales.** Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad de Almería, España. Profesor-Investigador, CIIDIR-Oaxaca,

Instituto Politécnico Nacional, México. e-mail: imoralesg@ipn.mx.  
**Gabino A. Martínez-Gutiérrez.** Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad de Almería, España. Profesor Investigador, CIIDIR-Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, México.

## NATIVE ROOTSTOCKS OF *Solanum lycopersicum* L. AND ITS EFFECT ON YIELD AND TOLERANCE TO *Meloidogyne incognita*

Sergio Inés-Vásquez, Teodulfo Aquino-Bolaños, Angélica Bautista-Cruz, Isidro Morales and Gabino A. Martínez-Gutiérrez

### SUMMARY

Gall-forming nematodes of the genus *Meloidogyne* are a phytosanitary problem difficult to control in tomato crops. Different methods have been used for their management: synthetic nematicides, organic amendments and biological control. These methods have had different levels of success. Little is known of the use of native rootstock, which could be a good alternative for tomato production. The objective of this study was to evaluate three native *S. lycopersicum* rootstocks (genotypes: Manzana, Ciruelo and Arriñonado) with a commercial saladette-type hybrid (Cid F1®) of indeterminate growth to determine the best combinations of rootstock and hybrid, their response in the presence of the nematode *M. incognita*, and their productivity under greenhouse conditions. The variables evaluated were soil

nematode population, root gall index, crop yield, and fruit parameters: weight, polar and equatorial diameters, pH, electric conductivity, total soluble solids, and firmness. The combination Cid F1-Manzana genotype significantly reduced the root gall index, relative to the control, showing moderate resistance and low juvenile second-stage *M. incognita* (J2) nematode populations in the soil. The three rootstocks, Manzana, Ciruelo and Arriñonado, increased yield by 125.90, 97.06 and 77.5%, respectively, relative to the control. The largest diameters of the fruits were recorded when the Hybrid Cid F1® was grafted onto Manzana. The use of native rootstock with the hybrid is a viable alternative that can increase yield and fruit quality of tomatoes in systems of protected agriculture.

## PORTA-ENXERTOS NATIVOS de *Solanum lycopersicum* L. E SEU EFEITO NO RENDIMENTO E NA TOLERÂNCIA A *Meloidogyne incognita*

Sergio Inés-Vásquez, Teodulfo Aquino-Bolaños, Angélica Bautista-Cruz, Isidro Morales e Gabino A. Martínez-Gutiérrez

### RESUMO

Os nemátodos formadores de galhas do gênero *Meloidogyne* constituem um problema fitossanitário de difícil manejo na cultura do tomateiro. Diferentes métodos têm sido utilizados para seu manejo, como o uso de nematicidas sintéticos, corretivos orgânicos e controle biológico, que apresentam diferentes níveis de controle. Pouco se sabe sobre a utilização de porta-enxertos nativos, podendo ser uma boa alternativa na produção de tomate. O objetivo desta pesquisa foi avaliar três porta-enxertos nativos (genótipos: Manzana, Ciruelo e Arriñonado) de *S. lycopersicum* sobre um híbrido comercial (Cid F1®) de tomate tipo saladette de crescimento indeterminado, para determinar as melhores combinações de porta-enxerto-híbrido, sua resposta à presença do nematóide *M. incognita* e sua produtividade em casa de vegetação. As variáveis avaliadas foram: população de nematóides no solo, índice de galhas

radiculares, produtividade da cultura e parâmetros do fruto: peso, diâmetros polar e equatorial, pH, condutividade elétrica, sólidos solúveis totais e firmeza. O porta-enxerto do genótipo Cid F1-Manzana reduziu significativamente o índice de galha da raiz em relação ao controle, apresentando resistência moderada e baixa população de nematóides juvenis de segundo estágio de *M. incognita* (J2) no solo. Os três porta-enxertos aumentaram a produtividade em 125,90; 97,06 e 77,5% para os porta-enxertos de maçã, ciruela e rim, respectivamente, em relação à testemunha. Os maiores diâmetros dos frutos foram registrados quando o Híbrido Cid F1® enxertou no porta-enxerto de maçã. A utilização de porta-enxertos híbridos nativos são uma alternativa viável, pois aumentam a produtividade e a qualidade dos frutos em sistemas de agricultura protegida na cultura do tomate.

entre otros efectos nocivos, en mayor incidencia y severidad de plagas de los suelos en los cultivos de tomate (Báez-Valdez *et al.*, 2010).

Los nematodos del género *Meloidogyne*, formadores de agallas en las raíces, se han catalogado por causar afectaciones económicas (Salazar-Antón y Guzmán-Hernández, 2013). En México es el género más patogénico que ataca las raíces de la planta del cultivo de tomate, causando altos porcentajes de pérdida en los rendimientos de 50 a 100%

(Leyva-Mir *et al.*, 2013). La principal técnica de control de los nematodos es mediante fumigantes y nematicidas de síntesis química con efectos negativos en el ambiente y la salud humana, por lo que hay necesidad de fomentar métodos alternativos para el manejo de esta plaga (Khalil *et al.*, 2012), tales como el uso de portainjertos para proporcionar resistencia a determinados patógenos como son los nematodos o combinar cualidades deseables como las condiciones fisiológicas, ambos en una sola planta (Verdejo y

Talavera, 2015; Tatu y Amissah, 2019), debido a que las plantas poseen genes para responder a la agresión ocasionada por patógenos, además de una red de señales hormonales que controlan la respuesta de la planta frente al ataque de patógenos (Rangel *et al.*, 2010).

Cervantes-Moreno *et al.* (2014) evaluaron 26 colectas nativas de México y solo tres presentaron tolerancia al índice de agallas y menor presencia de huevos en las raíces. El injerto de cultivares susceptibles sobre portainjertos resistentes ha sido utilizado

exitosamente para el control de patógenos del suelo en invernaderos en muchos países (Cortada *et al.*, 2009). Algunos estudios han reportado el comportamiento de cultivares injertados de tomate contra nematodos agalladores de raíz, con reducciones de 81% del daño en las raíces con el uso de porta injertos híbridos de *S. lycopersicum* Multifort y Survivor (Owusu *et al.*, 2016).

La diversidad de especies nativas de *S. lycopersicum* ha permitido encontrar genes de resistencia a factores causantes de estrés biótico y abiótico, y

otros atributos de interés agrónomico (Bergougnoux, 2014). Se ha demostrado que portainjertos nativos de *Solanum* y otras plantas que comparten la misma familia como *S. torvum*, *S. aethiopicum*, *S. macrocarpon*, *S. sisymbriifolium*, *S. hirtum*, *Physalis peruviana* y *Nicotiana glauca* han tenido tolerancia a los nematodos (Dhivya *et al.*, 2014; Navarrete *et al.*, 2018). Por lo anterior, surge el interés por el uso de tecnologías de agricultura protegida para el manejo de nematodos con el uso de genotipos nativos que no se han estudiado para este propósito, con la finalidad de conocer su potencial. El objetivo de la presente investigación fue evaluar tres portainjertos nativos de *S. lycopersicum* y un híbrido comercial de tomate tipo saladette de crecimiento indeterminado (Cid F1®), para determinar las mejores combinaciones portainjerto-híbrido, su respuesta ante la presencia del nematodo *M. incognita* y su productividad bajo condiciones de invernadero.

## Material y métodos

### Condiciones experimentales

El experimento se realizó en un invernadero ubicado en Oaxaca, México (17°01'30,3" N y 96°43'11,0"O; a 1530 msnm), temperatura media de 28,69°C y humedad relativa de 49,18%.

### Material vegetal

Se colectaron semillas de tres portainjertos nativos de tomate (*S. lycopersicum* L.), conocidos como Manzana, Ciruela y Arriñonado, que se cultivan y reproducen de forma alógama, en los sitios Tataltepec de Valdés (97°33'46"O, 16°18'23"N, a 680msnm) y Santiago Ixtayutla (97°39'00"O, 16°34'00"N, a 680 y 370msnm) en el estado de Oaxaca, México. Los portainjertos nativos se seleccionaron por sus características de adaptación y resistencia a plagas y condiciones ambientales de la zona, se utilizó el híbrido comercial Cid-F1® (Harris Moran)

de crecimiento indeterminado con resistencia a *Fusarium oxysporum*, *Verticilium*, Mosaico de tomate y a nematodos.

La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades de 25ml, utilizando como sustrato Peat Moss y Perlita en proporción 3:1 v/v. Se aplicó riego por aspersión en forma manual dos veces por día, manteniendo húmedo el sustrato. El injerto se realizó a los 25 días después de la germinación de la semilla mediante injerto de empalme (se corta un cotiledón del pie en un ángulo de 45°, se corta la variedad en un ángulo de 45° bajo los cotiledones, se unen amabas con un clip y se llevan a la cámara de prendimiento). Transcurridos 20 días se realizó el trasplante a suelo en camas de 0,60m de ancho y 1,25m de separación entre cada una a doble hilera de plantas; la distancia entre cada planta e hilera fue 0,4m y la densidad de plantación fue de 2 plantas/m<sup>2</sup>.

### Preparación y aplicación del inóculo

El inóculo de nematodos juveniles de segundo estado (J2) se obtuvo de raíces de plantas de tomate cultivado en invernadero con síntomas de presencia de nematodos. Las raíces se homogenizaron y la extracción de J2 se hizo por la técnica de centrifugación y flotación con azúcar propuesta por Zuckerman *et al.* (1987). La identificación de la especie *M. incognita* se realizó por sus caracteres morfológicos y la revisión respectiva del patrón perineal de las hembras maduras (Taylor y Sasser, 1978). La inculación de J2 se hizo por medio de una micropipeta de 100µl de capacidad, en agujeros de 4cm de profundidad alrededor de la rizósfera vegetal, donde se aplicaron 3,000 nematodos J2/planta.

### Tratamientos y diseño experimental

Como testigo se evaluó el híbrido comercial (Cid-F1®) y tres portainjertos de tomate

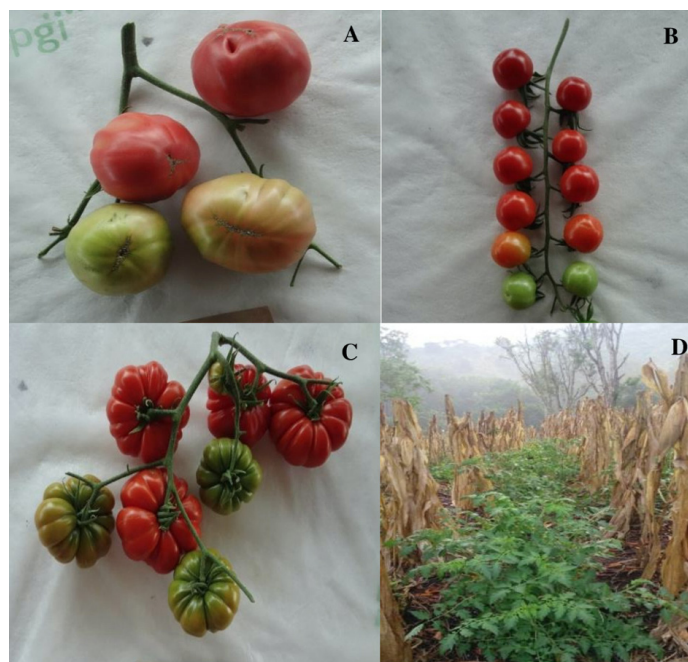


Figura 1. Tomates nativos utilizados. a: portainjerto Manzana, b: portainjerto Ciruelo, c: genotipo Arriñonado, d: forma de cultivo tradicional de genotipos colectados.

nativos sin injertar (GM: genotipo Manzana. GC: genotipo Ciruela, y GA: genotipo Arriñonado), y Cid-F1® injertado sobre los genotipos: Manzana (Cid-F1®-GM), Ciruela (Cid-F1®-GC) y Arriñonado (Cid-F1®-GA). Se trabajó con un diseño experimental completamente al azar con siete tratamientos; cada unidad experimental es una planta de tomate y cada repetición estuvo constituida por 14 plantas.

### Manejo del cultivo

Se utilizó solución nutritiva universal de (Steiner, 1984), mediante un sistema de riego por goteo de acuerdo a la humedad del suelo, la que fue registrada por tensiómetros Irrrometer ISR-300 (Irrrometer Company, Riverside, CA, EEUU). Además, se registró la temperatura y humedad relativa con sensores HOBOS PRO V2 (ONSET, Bourne, MA, EEUU). Las plantas de tomate fueron guiadas a un solo tallo sujetándolas con hilo de rafia hacia la parte superior. La polinización se realizó diariamente a partir de la floración hasta el amarre

de frutos y la cosecha de frutos se realizó hasta el octavo racimo.

### Variables evaluadas

**Poblaciones de nematodos e índice de agallamiento en raíces.** A los 120 días después del trasplante (ddt) se tomaron 300g de suelo de la zona de rizosfera. En el laboratorio los nematodos activos en estado juvenil J2 de *M. incognita* fueron extraídos por el método de gravedad de Cobb (1918) y el conteo se realizó por la técnica de Kaya y Stock (1997). El índice de agallamiento de la raíz se trabajó con la propuesta por Bridge y Page (1980).

**Parámetros de frutos de tomate evaluados.** La cosecha de los frutos se realizó de acuerdo a la Norma oficial Mexicana NMX-FF-031-1997 (NOM, 1997). Para cada repetición se tomaron cuatro frutos, cuyos pesos se obtuvieron con una balanza digital Ohaus Adventurer®. Se les registró la firmeza utilizando un texturómetro marca Sommer & Ruge KG Berlín-Frideman, tomando tres lecturas de forma opuesta

en la región ecuatorial y la distancia de penetración en pulpa se registró en mm. Además, se obtuvo una mezcla del jugo para medir el pH y la conductividad eléctrica (CE) con un potenciómetro marca Hanna Instruments® modelo HI 98129; mientras que los sólidos solubles totales fueron registrados con un refractómetro marca Hand Refractometer ATAGO N1®, donde se colocaron dos gotas de jugo del fruto en el prisma del equipo y se tomó la lectura por triplicado.

#### Análisis estadístico

El tipo de prueba estadística aplicada para la comparación de tratamientos en cada variable dependió del cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianzas, que fue evaluada por las pruebas de Levene (Montgomery, 1991), así como el ajuste de datos a una distribución normal que fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilks modificada por Mahibbur y Govindarajulu (1997). Ambas pruebas se indican en la Tabla I y fueron realizadas mediante el programa Infost V. 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

El tipo de análisis elegido dependió de las pruebas de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) y Shapiro Wilks modificada para evaluar la normalidad de los datos, donde valores de  $P > 0,05$  aceptan la  $H_0$ : los datos tienen homogeneidad en sus varianzas o

proviene de una distribución normal. Una vez encontradas diferencias significativas en al menos un tratamiento, se realizaron pruebas *post-hoc* de comparación múltiple de medias con el método LSD Fisher (Williams y Abdi, 2010) para los casos en los que se aplicó el ANOVA. Así mismo, se utilizaron comparaciones pareadas para las comparaciones resultantes de la prueba Kruskal Wallis.

#### Resultados y Discusión

##### Poblaciones de nematodos e índice de agallamiento en raíces

Las diferencias en las poblaciones de nematodos en el suelo fueron significativas ( $H_{487,74}$ ;  $P < 0,0001$ ). Los portainjertos de tomate nativos GA ( $\bar{X} = 2187,50$ ) y GM ( $\bar{X} = 6528,50$ ) fueron los dos únicos tratamientos que mostraron valores estadísticamente superiores que el testigo híbrido comercial Cid-F1® ( $\bar{X} = 4837,50$ ). Es importante resaltar que en los tres injertos evaluados no hubo aumento de las poblaciones de J2 de *M. incognita* a los 120 ddt, mientras que el híbrido comercial Cid F1® presentó un incremento de 1500 nematodos/planta. Respecto al portainjerto nativo GC, injerto Cid F1®-GC y Cid F1®-GM, estos mostraron una reducción entre el 50 y 75% de las poblaciones de nematodos J2 en el suelo (Figura 2). La resistencia de cultivares de

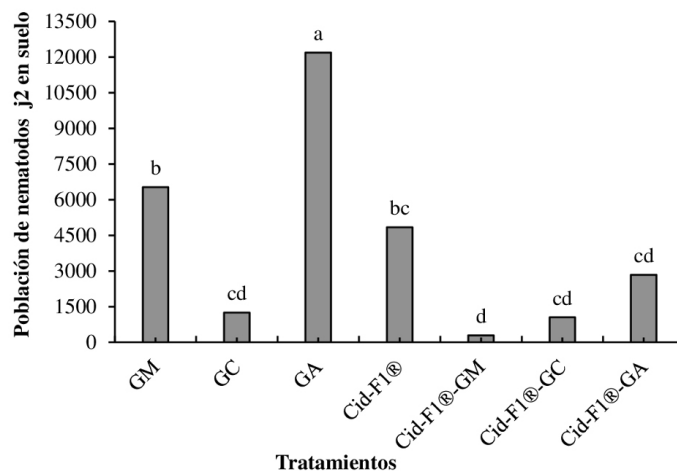


Figura 2. Efecto de tratamientos sobre la población de nematodos juveniles J2 en 100g de suelo a 120 ddt. GM: portainjerto Manzano, GC: portainjerto Ciruela, GA: portainjerto Arriñonado, Cid-F1®: testigo injerto sobre los portainjertos: Manzano Cid-F1®-GM, Ciruela Cid-F1®-GC, y Arriñonado Cid-F1®-GA.

tomate a diferentes niveles de inóculo de *M. incognita* fueron confirmadas por Nask y Qadir (2018), quienes encontraron que con el aumento en el nivel de inóculo hubo disminuciones significativas en los parámetros morfológicos de las plantas y en el índice de agallamiento de raíces y masas de huevos. Los genotipos evaluados en el presente trabajo mostraron tolerancia a nematodos y a la formación de agallas en raíces, como fuera reportado por Cervantes-Moreno *et al.* (2014) al evaluar 26 colectas de tomates nativos de México con variaciones en respuesta a la tolerancia al nematodo *M. incognita*. Además, la formación de agallas en las

raíces está determinada por la respuesta del cultivo ante la presencia e invasión, por el tipo y cantidad de nematodos presentes y sus características biológicas de alimentación y reproducción (Navarro-Barthelemy *et al.*, 2009).

En el índice de agallamiento se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos ( $H = 12,44$ ;  $P = 0,464$ ). El testigo híbrido comercial Cid-F1® mostró los valores más altos de este índice ( $\bar{X} = 7,67$ ) y los tratamientos restantes fluctuaron entre los valores de  $\bar{X} = 5,67$  (Cid-F1®-GM) a  $\bar{X} = 7,63$  (GM). Se observó un comportamiento similar a la presencia de nematodos, en el cual los injertos Cid F1®-GM ( $\bar{X} = 5,67$ ) y Cid F1®-GA ( $\bar{X} = 6,18$ ) mostraron el menor número de agallas en las raíces, con diferencia estadística respecto al testigo Cid F1®, y a los tratamientos (GM, GC, GA), aunque se destacó que el injerto Cid F1®-GM mostró menor sensibilidad a la infección por *M. incognita* (Figura 3). De acuerdo al objetivo de la presente investigación, este es un resultado interesante que debe seguirse explorando con otras variantes (altura de la planta, peso fresco y seco de la raíz), asociado al potencial que mostró en cuanto a rendimiento y calidad de

TABLA I  
TIPOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICAS APLICADAS PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE CADA VARIABLE DE ESTUDIO

Variables	Valor de P, prueba de Levene (homocedasticidad)	Valor de P, prueba de Shapiro Wilks (normalidad)	Tipo de análisis empleado
Población de nematodos en suelo	$P > 0,999$	$P < 0,0001$	Kruskal Wallis
Índice de agallamiento de raíces.	$P > 0,999$	$P = 0,01$	Kruskal Wallis
Peso de frutos cosechados	$P > 0,999$	$P < 0,0001$	Kruskal Wallis
Diámetro ecuatorial	$P > 0,999$	$P < 0,0001$	Kruskal Wallis
Diámetro polar	$P > 0,999$	$P < 0,0001$	Kruskal Wallis
pH	$P > 0,999$	0,1761	ANOVA
Conductividad eléctrica (CE)	$P > 0,999$	$P = 0,9370$	ANOVA
Sólidos solubles totales (°Brix)	$P > 0,999$	$P = 0,0026$	Kruskal Wallis
Firmeza de frutos	$P > 0,999$	$P = 0,002$	Kruskal Wallis

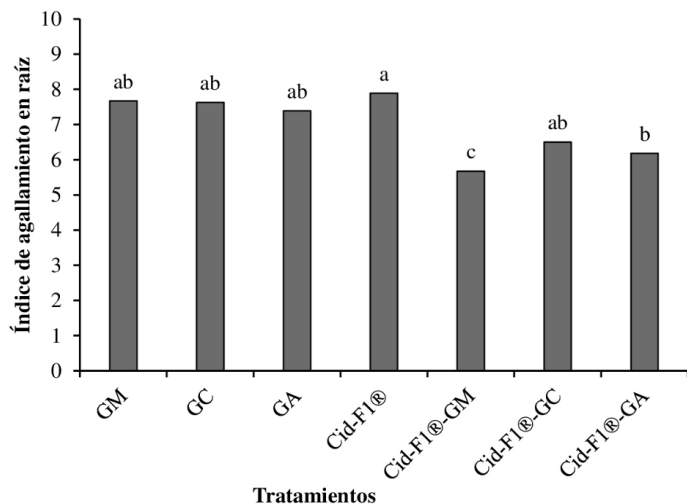


Figura 3. Efecto de tratamientos sobre el índice de agallamiento de raíces por *M. incognita* a 120 ddt. GM: portainjerto Manzano, GC: portainjerto Ciruela, GA :genotipo Arriñonado, Cid-F1®: testigo injerto sobre los genotipos: Manzano Cid-F1®-GM, Ciruela Cid-F1®-GC, y Arriñonado Cid-F1®-GA.

frutos (Tabla II y III). Se ha encontrado que los patrones de tomate aumentan la producción de la de la variedad injertada en suelos infestados con *Meloidogyne* y disminuyen la severidad de la enfermedad causada por agallas en raíces (Verdejo-Lucas y Talavera, 2015); además, estos autores señalan que los patrones parcialmente resistentes pueden dar lugar a la acumulación progresiva de inóculo en el suelo.

La resistencia natural de las plantas a patógenos se basa en una combinación de cambios físicos, bioquímicos y moleculares, como la lignificación o la inducción de varias proteínas relacionadas con la patogénesis y que predisponen a la planta a resistir infecciones adicionales, aunque el éxito de los portainjertos de tomates resistentes en suelos infestados con nematodos podría variar según las poblaciones locales de *Meloidogyne*, y limitar su utilidad como alternativa al control químico si no hay un manejo adecuado del cultivo (Cortada *et al.*, 2008; Rangel *et al.*, 2010).

La resistencia a nematodos formadores de agallas en raíces también puede atribuirse a la presencia del gen Mi-1, como lo reportaron Verdejo-Lucas *et*

*al.* (2013) al identificar que los portainjertos Brigeor, Morgan, King-Kong, Unifort y

Emperador exhibieron altos niveles de resistencia, mientras que Multifort y Maxifort mostraron resistencia intermedia frente a una población inicial de 6,000 huevos de *M. arenaria* y *M. javanica*. La familia Solanaceae abarca especies silvestres que han sido reportadas como resistentes al ataque de agentes patógenos del suelo y a *M. incognita*, por lo que su uso como portainjertos ha sido recomendado (Navarrete *et al.*, 2018; Vargas *et al.*, 2018).

#### Parámetros de frutos de tomate evaluados

**Peso y rendimiento de frutos.** Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para el peso de los frutos ( $H= 1539,32$ ;  $P<0,0001$ ), el peso promedio de los frutos de los portainjertos nativos Manzana ( $\bar{X}= 95,27g$ ) y Cid-F1® ( $\bar{X}= 80,27g$ ) presentaron los mayores valores con respecto al testigo ( $\bar{X}= 52,84$ ),

con diferencias de más de 42,43g y 27,4g respectivamente. El rendimiento del injerto de Cid F1® sobre el portainjerto Manzana fue superior al todos los tratamientos y se encontró una diferencia estadística significativa con el resto de los tratamientos. Es de resaltar que este mismo tratamiento presentó el menor número de nematodos y agallas, y su respuesta con los valores altos en el rendimiento de frutos. En general, las plantas con injerto incrementaron su rendimiento en 125,90; 97,06 y 77,5% para el portainjerto Manzana, Ciruelo y Arriñonado, respecto al testigo. Consecuentemente, los pesos promedios de frutos reflejaron positivamente en el rendimiento final (Tabla II). Los portainjertos evaluados se reflejan en los resultados de rendimiento obtenidos en este trabajo, como lo mencionan Krumbein y Schwarz (2013), al obtener frutos de mayor tamaño con Maxifort y Beaufort.

Tabla II  
PARÁMETROS DE FRUTOS DE TOMATE CID F1® INJERTADOS SOBRE PORTAINJERTOS NATIVOS DE TOMATE Y SIN INJERTAR

Tratamiento	Peso promedio de fruto (g)	Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )	Diámetro del fruto (mm)	
			Ecuatorial	Polar
Genotipo Manzana	95,27 a	7,41 c	60,84 a	47,79 d
Genotipo Ciruela	19,78 e	4,13 e	32,17 e	28,51 f
Genotipo Arriñonado	79,05 b	5,56 d	59,64 a	35,48 e
Cid F1®	52,84 d	5,79 d	40,76 d	51,70 c
Cid F1® - sobre genotipo Manzana	80,27 b	13,08 a	46,82 b	59,63 a
Cid F1® - sobre genotipo Ciruela	70,14 c	11,41 b	45,18 c	56,7 b
Cid F1® - sobre genotipo Arriñonado	72,81 c	10,28 b	45,33 c	57,63 b

Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (LSD Fisher para comparaciones paramétricas y comparación de pares para no paramétricas,  $P\leq 0,05$ ).

Tabla III  
CALIDAD DE FRUTOS DE TOMATE CID F1® INJERTADOS SOBRE PORTAINJERTOS NATIVOS DE TOMATE Y SIN INJERTAR

Tratamiento	pH del fruto	CE (dS·m <sup>-1</sup> )	Sólidos solubles totales (°Brix)	Firmeza (mm)
Genotipo Manzana	4.11 ab	4.60 ab	4.96 c	6.32 a
Genotipo Ciruela	3.96 b	4.73 a	5.40 b	6.40 a
Genotipo Arriñonado	4.11 ab	4.64 ab	4.90 c	6.72 a
Cid F1®	4.14 ab	3.76 c	5.39 b	6.96 a
Cid F1® - sobre genotipo Manzana	4.36 a	3.95 bc	5.43 b	7.05 a
Cid F1® - sobre genotipo Ciruela	4.19 ab	3.90 c	5.81 ab	6.96 a
Cid F1® - sobre genotipo Arriñonado	4.28 a	4.26 abc	6.19 a	6.98 a

Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (LSD Fisher para comparaciones paramétricas y comparación de pares para no paramétricas,  $P\leq 0,05$ ).

Las características de calidad de frutos de tomate por efecto de los injertos están fuertemente influenciadas por la combinación portainjerto-vástago, que pueden influir en las cantidades de hormonas producidas en la planta con un efecto en la relación entre órganos consumidores y órganos productores (*sink/source*) y por ende en la mejora en la calidad de frutos producidos (Kyriacou *et al.*, 2017; Abuglion, *et al.*, 2019). Además, el efecto de la combinación de injerto interactúa con otros factores como clima, prácticas culturales, duración e intensidad del estrés biótico o abiótico, disposición de agua y nutrientes (Riga, 2015).

**Diámetros de frutos.** Por las características intrínsecas de los genotipos nativos, hubo diferencias entre los diámetros ecuatoriales ( $H= 1606,19$ ;  $P<0,0001$ ) y diámetros polares ( $H= 1943,05$ ;  $P<0,0001$ ) en los frutos de los tratamientos de injertos nativos. Sin embargo, cuando estos fueron utilizados como portainjertos del híbrido comercial Cid F1®, los valores de diámetro ecuatorial y diámetro polar superaron al testigo en los tres genotipos (Tabla II). De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-031-1997 de clasificación de tamaño del fruto de tomate por su diámetro ecuatorial, los frutos cosechados en las plantas injertadas correspondieron a la categoría chica (38-52mm), igual que los obtenidos en el tratamiento testigo. No obstante, como se señaló, los tomates nativos poseen características de tamaño de fruto particulares; por lo tanto, los portainjertos nativos Manzana y Arriñonado correspondieron a la categoría de tamaño grande (59-71mm) y el portainjerto Ciruela a tamaño chico (38-52 mm).

#### Parámetros de calidad de frutos

**pH y conductividad eléctrica.** Los valores de pH en el jugo de los frutos cosechados fueron mayores en los frutos de

las plantas injertadas sobre el portainjerto Manzana y Arriñonado y únicamente diferente al portainjerto Ciruela sin injertar (Tabla III). Sin embargo, no existieron diferencias estadísticamente significativas ( $F= 1,87$ ;  $P=0,1035$ ). Djidonou *et al.* (2016) registraron valores de pH similares, en un rango de 4,40-4,50 cuando evaluaron el efecto de injerto del tomate Florida 47 con portainjertos interespecíficos Beaufort y Multifort, además de 3,58-4,24 en contenido de °Brix. Por otro lado, Ruiz (2008) encontró que pueden existir diversos factores que modifiquen o afecten el pH, como los niveles de fertilización a base de potasio.

La conductividad eléctrica fue mayor en el portainjerto Ciruela sin injertar ( $4,73\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), mientras que fue menor para Cid F1® y Cid F1® injertado sobre el portainjerto Ciruela ( $3,76$  y  $3,9073\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  respectivamente) (Tabla II). Las pocas variaciones obtenidas en el pH y la CE pueden atribuirse al tipo de solución nutritiva estándar utilizada en la nutrición en los tratamientos del ensayo.

**Sólidos solubles totales y firmeza de frutos.** Se encontraron diferencias significativas en los °Brix de los tratamientos ( $H= 37,61$ ;  $P<0,0001$ ). El contenido de sólidos solubles totales en los portainjertos nativos Manzana y Arriñonado sin injertar fueron de  $4,96$  y  $4,90^\circ\text{Brix}$ , respectivamente (Tabla III). Estos resultados son similares a los reportados por Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) al evaluar tomates nativos de Puebla y Oaxaca y obtener un contenido promedio de sólidos solubles totales de  $4,44^\circ\text{Brix}$ , quienes además sugieren que es posible hacer selección de individuos para aumentar su contenido. En tanto que en los injertos Cid F1® sobre los portainjertos Manzana y Arriñonado, incrementaron su contenido de °Brix en  $9,4\%$  y  $26,3\%$  en referencia a no injertados, lo cual los hace más atractivos al consumo en fresco, indicando el grado de maduración óptima de cosecha de

los frutos y la calidad de los nutrientes. En todos los tratamientos evaluados se superaron los valores de referencia ( $3,5$  a  $5,5$ ) para los °Brix de tomate para el consumo en fresco, como lo enfatizan Preciado *et al.* (2011).

Debido que los frutos se cosecharon con las mismas características de maduración considerando su color, no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos respecto a la firmeza ( $H= 4,72$ ;  $P=0,5797$ ; Tabla III), la que es considerada como uno de los parámetros o factores más importantes para determinar la calidad de los frutos de tomate, como lo menciona Batu (2004), debido a que representa un estado de fruto óptimo para su comercialización y consumo en fresco, libre de magulladuras o daños internos (Ramos *et al.*, 2010).

La sincronización entre la firmeza y el color de los frutos al momento de cosechar podría ayudar al productor a adaptar sus condiciones de cultivo y producir frutos con una relación predefinida de ambas características. De esta manera es posible obtener calidad y aceptabilidad del producto cosechado (Schouten *et al.*, 2007).

#### Conclusiones

El portainjerto nativo tipo Manzana como portainjerto del híbrido comercial Cid F1® mostró tolerancia moderada al nematodo *M. incognita* presente en suelo. Además, mejoró el rendimiento en más del 100%, constituyendo una alternativa para en el manejo de nematodos en el cultivo de tomate en agricultura protegida, pero que se debe combinar con otras técnicas de control, tales como el uso de hongos entomopatógenos, solos o formulados en aceites vegetales

El uso de los tres portainjertos nativos como portainjertos del híbrido Cid F1® incrementó los rendimientos, el tamaño y la calidad de fruto, obteniéndose valores aceptables de acuerdo a las normas de calidad para frutos frescos.

Esta investigación es el primer antecedente de la respuesta de los tres portainjertos nativos (injerto y no injerto) bajo condiciones de invernadero. Sin embargo, se debe seguir explorando otras alternativas para el manejo de nematodos del suelo a fin de aumentar los rendimientos del cultivo de tomate.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SIP del Instituto Politécnico Nacional, México, por el financiamiento para llevar a cabo la presente investigación, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo de estudios de posgrado al primer autor, y a Carlos Alberto Masés García por el diseño experimental y la revisión estadística.

#### REFERENCIAS

- Abu GH, Alkalai-Tuvia S, Zaaroor-Presman M, Chalupowicz D, Zanbar M, Amichai M, Cohen S, Shemer T, Sarig S, Fallik E (2019) Effects of rootstock/scion combination and two irrigation water qualities on cherry tomato yield and postharvest fruit quality. *Hort. 5*: 1-10.
- Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW (2008) *Manual del Usuario*. Brujas. Córdoba, Argentina.
- Báez-Valdez EP, Carrillo-Fasio JA, Báez-Sañudo MA, García-Estrada RS, Valdez-Torres JB, Contreras-Martínez R (2010) Resistant rootstocks utilization for *Fusarium* control (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen race 3) in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under shade conditions. *Rev. Mex. Fitopatol.* 28: 111-123.
- Batu A (2004) Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *J. Food Eng.* 61: 471-475.
- Bergougnoux V (2014) The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnol. Adv.* 32: 170-189.
- Bonilla-Barrientos O, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Cruz-Izquierdo S, Reyes-López D, Hernández-Leal E, Hernández-Bautista A (2014) Agronomic and morphological diversity of local kidney and bell

- pepper-shaped tomatoes from Puebla and Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 37: 129-139.
- Brasesco F, Asgedom D, Casari G (2019) *Strategic Analysis and Intervention Plan for Fresh and Industrial Tomato in the Agro-Commodities Procurement Zone of the Pilot Integrated Agro-Industrial Park in Central-Eastern Oromia, Ethiopia*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Addis Ababa, Etiopía.
- Bridge J, Page SLJ (1980) Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Trop. Pest Manag.* 26: 296-298.
- Cervantes-Moreno R, Rodríguez-Pérez JE, Carrillo FC, Sahagún-Castellanos J, Rodríguez-Guzmán E (2014) Tolerance of 26 native tomato collections from México to nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 20: 5-18.
- Cobb NA (1918) *Estimating the Nematode Population of Soil*. Agricultural Technology Circular I. United States Department of Agriculture. 48 pp.
- Cortada L, Sorribas FJ, Ornat C, Kaloshian I, Verdejo-Lucas S (2008) Variability in infection and reproduction of *Meloidogyne javanica* on tomato rootstocks with the *Mi* resistance gene. *Plant Pathol.* 57: 1125-1135.
- Cortada L, Sorribas FJ, Ornat C, Andrés MF, Verdejo-Lucas S (2009) Response of tomato rootstocks carrying the *Mi*-resistance gene to populations of *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* and *M. javanica*. *Eur. J. Plant Pathol.* 124: 337-343.
- Dhivya R, Sadasakthi, A, Sivakumar M (2014) Response of wild solanum rootstocks to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* Kofoid and White). *Int. J. Plant. Sci.* 9: 117-122.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW (2018) *InfoStat, versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Djidonou D, Simonne AH, Koch KE, Brecht JK, Zhao X (2016) Nutritional Quality of Field-grown Tomato Fruit as Affected by Grafting with Interspecific Hybrid Rootstocks. *HortSci.* 48: 485-492.
- Kaya HK, Stock P (1997) Techniques in insects nematology. En Lacey L (Ed.) *Manual of Techniques in Insect's Pathology*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. pp. 281-324
- Khalil MS, Kenawy A, Gohrab MA, Mohammed EE (2012) Impact of microbial agents on *Meloidogyne incognita* management and morphogenesis of tomato. *J. Biopest.* 5: 28-35.
- Krumbein A, Schwarz D (2013) Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants? *Sci. Hortic.* 149: 97-107.
- Kyriacou MC, Roupheal Y, Colla G, Zrenner R, Schwarz D (2017) Vegetable grafting: The implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality and nutritive value. *Front. Plant. Sci.* 8: 1-23.
- Leyva-Mir SG, González-Solano CM, Rodríguez-Pérez JE, Montalvo-Hernández D (2013) Behavior of advanced lines of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to phytopathogens at Chapingo, Mexico. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 19: 301-313.
- Mahibbur RM, Govindarajulu Z (1997) A modification of the test of Shapiro and Wilks for normality. *J. Appl. Stat.* 24: 219-235.
- Montgomery DC (1991) *Diseño y Análisis de Experimentos*. Iberoamérica. México. 189 pp.
- Nask MF, Qadir RA (2018) Evaluation of four tomato genotypes resistance to root-knot nematode. *Kurd. J. Appl. Res.* 3: 53-57
- Navarrete X, Ron L, Viteri P, Viera W (2018) Parasitism of the root knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood in five wild Solanaceae species. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 71: 8367-8373.
- Navarro-Barthelemy L, Gómez L, Enrique R, González FM, Rodríguez MG (2009) Response of tomato genotypes (*Solanum lycopersicum* L.) to the parasitism of *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Rev. Protecc. Veg.* 24: 54-56.
- NOM (1997) *NMX-FF-031-SCFI-1997. Productos Alimenticios no Industrializados para Consumo Humano - Hortalizas Frescas - Tomate (Lycopersicon esculentum Mill) - Especificaciones*. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-031-1998>. PDF (Cons. 20/06/2019).
- Owusu SB, Kwoseh CK, Starr JL, Davies FT (2016) Grafting for management of root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita*, in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Nematropica* 46: 14-21.
- Preciado RP, Fortis HM, García-Hernández JL, Rueda PE, Esparza RJ, Lara HA, Segura CM, Orozco VJ (2011) Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36: 689-693.
- Ramos-García ML, Bautista-Baños S, Barrera-Necha LL, Bosquez-Molina E, Alía-Tejagal I, Estrada-Carrillo M (2010) Antimicrobial compounds added in edible coatings for use in horticultural products. *Rev. Mex. Fitopatol.* 28: 44-57.
- Rangel SG, Castro ME, Beltrán PE, Reyes CH, García PE (2010) El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Biológicas* 12: 90-95.
- Riga P (2015) Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 56: 626-638.
- Ruiz-Sánchez CA (2008) Effect of the potassium fertilizer on the chemical quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits stored less than two temperatures. *Rev. Fac. Agron.* 25: 286-302.
- Salazar-Antón W, Guzmán-Hernández TJ (2013) Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agron. Mesoamer.* 24: 419-426.
- Schouten RE, Huijben TPM, Tijskens LMM, Kooten O (2007) Modelling quality attributes of truss tomatoes: Linking colour and firmness maturity. *Postharv. Biol. Tec.* 45: 298-306.
- SIAP (2019) *Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. En *Proc. 6th Int. Congr. on Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture. Wageningen, Holanda. pp: 633-650
- Tatu NS, Amissah N (2019) Grafting: An effective strategy for nematode management in tomato genotypes. En *Recent Advances in Tomato Breeding and Production*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.82774
- Taylor AL, Sasser JN (1978) *Biology, Identification and Control of Root-knot Nematodes*. *Meloidogyne Species*. International *Meloidogyne* Project. Raleigh, NC, EEUU. 111 pp.
- Vargas Y, Nicolalde J, Alcívar W, Moncayo L, Caicedo C, Pico J, Ron L, Viera W (2018) Response of wild solanaceae to *Meloidogyne incognita* inoculation and its graft compatibility with tree tomato (*Solanum beta-ceum*). *Nematropica* 48: 126-135.
- Verdejo-Lucas S, Talavera RM (2015) *Patrones de Tomate para la Gestión de Nematodos Agalladores (Meloidogyne spp.)*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Sevilla, España. 31 pp.
- Verdejo-Lucas S, Blanco M, Cortada L, Sorribas FJ (2013) Resistance of tomato rootstocks to *Meloidogyne arenaria* and *Meloidogyne javanica* under intermittent elevated soil temperatures above 28°C. *Crop Protect.* 46: 57-62.
- Williams LJ, Abdi H (2010) Fisher's least significant difference (LSD) test. En *Encyclopedia of Research Design*, 218: 840-853.
- Zuckerman BM, Mai WF, Harrison MB (1987) *Fitonematología. Manual de Laboratorio*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 248 pp.