

Esquejes enraizados, una alternativa para la producción de jitomate bajo invernadero en ciclos cortos

Francisca de los Ángeles Mejía-Betancourt¹

Felipe Sánchez Del Castillo²

Esaú del Carmen Moreno-Pérez^{2§}

Lucila González-Molina³

¹Universidad Nacional Agraria. Carretera Norte-Managua km 12.5, Managua, Nicaragua. CP. 453. Tel. 505 22331853, ext. 5225. (franciscabetancourt@hotmail.com). ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 59 9521500, ext. 6313. (fsanchezdelcastillo@yahoo.com.mx). ³Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56250. (gonzalez.lucila@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: esaump10@yahoo.com.mx.

Resumen

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero, manejado en altas densidades de población y ciclos cortos, permite obtener rendimientos de hasta 500 t ha⁻¹ año⁻¹; sin embargo, con esta forma de manejo, se ocupan altas cantidades de plántulas que provienen de semilla híbrida que es muy costosa. Una alternativa que se percibe como económicamente más viable, es la obtención de plántulas a partir de esquejes enraizados, por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y rendimiento de plantas de jitomate provenientes de esquejes y semillas. Se probaron seis edades de trasplante de esquejes [20, 25, 30, 35, 40 y 45 días después del inicio del enraizado (ddie)] y una de semilla [45 días después de la siembra (dds)] como testigo. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y diez plántulas por unidad experimental. Se realizó análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$). Las plántulas de esquejes trasplantados más temprano tuvieron mayor crecimiento vegetativo que las de semilla, pero en rendimiento no hubo diferencias. Con plantas de esqueje, el rendimiento promedio fue 14.5 kg m⁻² y se puede obtener en un periodo de 90 días desde trasplante a fin de cosecha, lo que posibilita la obtención de cuatro ciclos de cultivo por año. Se concluye que, las plántulas obtenidas de esquejes enraizados constituyen una opción viable para el manejo del cultivo en altas densidades de población.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., esquejes enraizados, semilla botánica.

Recibido: enero de 2023

Aceptado: marzo de 2023

Introducción

El tomate rojo o jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza de gran importancia a nivel nacional y mundial debido a su amplio consumo, área cosechada y valor económico, además del aporte social que tiene al generar una alta cantidad de empleos directos e indirectos por la abundante mano de obra que requiere su manejo, sobre todo bajo condiciones de invernadero (Contreras *et al.*, 2013; Sánchez y Moreno, 2017; SIAP, 2021). La demanda de sus frutos aumenta cada día, y con ello la necesidad de incrementar su productividad (Sosa y Ruíz, 2017).

En México, la producción de jitomate creció a una tasa promedio anual de 3.6% entre 2007 y 2017, con una producción máxima de 3.47 millones de toneladas. En ese periodo, la superficie cultivada en campo abierto se redujo de 64 663 a 35,175 ha, mientras que la establecida con invernaderos y casas-sombra pasó de 1 973 a 15 198 ha (FIRA, 2017).

El manejo del jitomate bajo invernadero que se practica por las grandes empresas en México y en otros países como Holanda y Canadá, consiste en establecer el cultivo a densidades de población de 2.5 a 3 plantas m⁻² de invernadero, utilizando variedades de hábito de crecimiento indeterminado (Sánchez *et al.*, 2012 a). Gracias al control de las condiciones ambientales que se pueden obtener con los invernaderos altamente tecnificados, se cosechan al menos 20 racimos por planta en un ciclo de cultivo que ocupa casi todo el año, con rendimientos que llegan a superar las 500 t ha⁻¹ año⁻¹ (Cheiri *et al.*, 2018; Heuvelink *et al.*, 2018), aunque con costos de producción muy elevados, ya que además utilizan sistemas hidropónicos sofisticados también de alto costo (Urrestarazu, 2004).

La mayoría de los productores de jitomate bajo invernadero en México, poseen menos de media hectárea y utilizan un menor nivel tecnológico, por lo que se tiene poco control de las condiciones microclimáticas, así como de las plagas y las enfermedades al manejarse ciclos de cultivo tan largos (hasta 11 meses de trasplante a fin de cosecha), los rendimientos difícilmente superan las 300 t ha⁻¹ año⁻¹ (Castellanos y Borbón, 2009; Sánchez y Moreno, 2017) y con ello baja rentabilidad económica.

En la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) se ha desarrollado un sistema alternativo de producción de jitomate en condiciones de invernadero e hidroponía, más propio para pequeños y medianos productores y que consiste en retrasar el trasplante hasta 45 días después de la siembra y despuntar el ápice de las plantas por encima de la tercera inflorescencia para acortar el ciclo de cultivo desde el trasplante al fin de la cosecha a aproximadamente 100-110 días al cosecharse solamente tres racimos de cada planta.

El sistema se complementa con el manejo de las plantas en altas densidades de población (8 plantas m⁻² de invernadero) para compensar el menor rendimiento por planta con relación al sistema convencional de un solo ciclo por año y densidades de 2.5 a 3 plantas m⁻² (Sánchez *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2012a; Sánchez *et al.*, 2014; Moreno *et al.*, 2021). La alta densidad de población establecida es posible porque cada planta produce una menor área foliar al ser despuntada dos hojas por arriba del tercer racimo. Al reducirse el ciclo de cultivo se disminuyen los problemas señalados y la cosecha se concentra en sólo unos 30 días, que permite programarla en ventanas de mejor precio para mayor beneficio económico al productor (Sánchez *et al.*, 2014).

Con el sistema alternativo de ciclos de cultivo cortos señalado, por el retraso del trasplante y el despunte temprano de las plantas, se pueden obtener tres ciclos de cultivo por año, alcanzando rendimientos cercanos a las 500 t ha⁻¹ año⁻¹ (Sánchez *et al.*, 2012a; Moreno *et al.*, 2021), con invernaderos sencillos y un nivel tecnológico al alcance de la mayoría de los productores en el país.

Como se trata de un sistema de producción muy intensivo y de alta densidad de población se requiere de una elevada cantidad de plántulas (aproximadamente 240 000 por hectárea al año cuando se establecen tres ciclos), normalmente formadas a partir de semilla híbrida importada que tiene un precio unitario muy elevado, lo que incrementa los costos de operación y aunque se obtienen rendimientos anuales más altos se limita la rentabilidad económica del productor (Sánchez *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2021).

Una sola semilla híbrida en 2022 costaba en promedio entre cuatro y seis pesos, lo que para el sistema de producción significa un costo anual de por lo menos un millón de pesos por hectárea al año, solamente por ese concepto. Una alternativa para obtener plántulas a bajo costo con calidad similar a las provenientes de semillas híbridas es el enraizamiento de brotes laterales o terminales (esquejes) que normalmente son desechados durante las prácticas de manejo del cultivo y que su enraizado resulta relativamente fácil y de bajo costo (Moreno *et al.*, 2016).

Sin embargo, para confirmar esta ventaja, es necesario evaluar si el rendimiento que se logra con plantas provenientes de esquejes no disminuye respecto al de las que provienen de semilla. Por otro lado, la productividad del sistema de producción de ciclos cortos y altas densidades de población depende del rendimiento que se logra por ciclo de cultivo y del número de ciclos de cultivo que se pueden obtener al año al prolongar la edad al trasplante tardíos y despuntar solamente al tercer racimo (Sánchez *et al.*, 2014; Sánchez *et al.*, 2017).

Por ello se busca incrementar a cuatro el número de ciclos por año manteniendo la misma productividad por ciclo (Sánchez *et al.*, 2010), lo cual puede ser posible mediante estrategias que permitan la disminución del tiempo del trasplante a fin de cosecha como el utilizar plántulas de mayor edad al momento del trasplante (Juárez *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2014; Sánchez *et al.*, 2021), aspecto que aún no se ha estudiado completamente. Por ello, para el manejo de plantas provenientes de esqueje despuntadas a tres racimos, en este trabajo se evalúa la posibilidad de acortar el tiempo de trasplante a fin de cosecha a 90 días alargando la edad al trasplante, a fin de posibilitar la obtención de cuatro ciclos al año en vez de los tres que se logran con dicho sistema a partir de plantas provenientes de semilla y así incrementar la productividad potencial anual en 25%.

Con base en lo anterior, en esta investigación se plantearon como objetivos principales los siguientes: comparar el crecimiento y rendimiento de plantas de jitomate provenientes de esquejes enraizados a distintas edades de trasplante entre sí y contra el de plantas provenientes de semilla. Definir hasta qué edad es posible retrasar el trasplante utilizando esquejes enraizados para acortar el periodo de trasplante a fin de cosecha, sin que se afecte negativamente el rendimiento final respecto al de plantas provenientes de semilla.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento y material vegetal

El estudio se llevó a cabo de julio a diciembre de 2019 en un invernadero de 300 m², ubicado en el campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México, con coordenadas geográficas de 19° 29' 35.03" latitud norte y 98° 52' 19.86" longitud oeste a 2 250 m de altitud. El híbrido de jitomate utilizado fue Pai pai de EnzaZaden, con características de fruto tipo saladette (roma) y hábito de crecimiento indeterminado.

Obtención y producción de los esquejes

Para obtener los esquejes, primero se hizo siembra de semillas en charolas de 200 cavidades, utilizándose como sustrato de siembra una mezcla de turba vegetal (marca peat-moss) y perlita en proporción 1:1 (v:v). Los primeros ocho días después de la siembra (dds), las plántulas fueron irrigadas con agua sola; posteriormente y hasta el momento del trasplante (30 dds) el riego se hizo con una solución nutritiva que contenía las siguientes concentraciones (mg L⁻¹): N= 100, P= 25, K= 125, Ca= 125, S= 75, Mg= 25, Fe= 1, Mn= 0.1, Cu= 0.1, B= 0.5 y Zn= 0.1. Como fuentes fertilizantes se utilizaron: nitrato de calcio, ácido fosfórico al 85%, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato ferroso, sulfato de manganeso, sulfato de cobre, ácido bórico y sulfato de zinc.

El trasplante se hizo en camas de cultivo las cuales estaban rellenas con una capa de 25 cm de espesor de tezontle rojo, cuyas partículas tenían un diámetro de 3 a 5 mm, colocándose un sistema de riego por goteo mediante cintillas con gotero integrado cada 20 cm y utilizándose una solución nutritiva con el doble de concentración (solución al 100%) de la utilizada en la etapa de plántula. Estas plantas (plantas madre) fueron establecidas solamente con la finalidad de disponer de brotes laterales que serían enraizados para la evaluación posterior.

Setenta días después del trasplante, se procedió a colectar los brotes laterales de aproximadamente 15 cm de longitud con dos o tres hojas bien formadas para su enraizamiento, haciendo un corte diagonal para una mayor superficie de enraizado. Días previos al corte y enraizado de esquejes, se construyó un túnel de 10 m de largo, 3 m de ancho y 2.5 m de altura, utilizándose estructura metálica (PTR), alambre galvanizado calibre 11 y tela de agribón como cubierta.

A lo largo del túnel fueron colocados nebulizadores de baja presión cada 1.3 m de distancia para mantener un ambiente de alta humedad relativa y evitar deshidratación de los brotes. El interior del túnel fue desinfectado con Quatz^{M®} que está elaborado a base de sales cuaternarias de amonio al 5%. Cincuenta cm por arriba de la tela de agribón, también se colocó una malla sombra (50%) para mantener una intensidad lumínica baja (500-1 000 pie-bujía) y temperaturas de 15-20 °C.

El enraizamiento de brotes se hizo en charolas de poliestireno de 60 cavidades usando solamente 30 cavidades (200 cm³ de volumen por cavidad) rellenas de una mezcla de turba vegetal y perlita en proporción 1:1 (v:v), todo esto a una densidad de 150 plántulas m⁻². Inmediatamente después se inició con los riegos usando microaspersión, suministrando un riego de un minuto cada hora. El

agua para la microaspersión contenía nutrimentos minerales (solución nutritiva) a la misma concentración con la que fueron irrigadas las plántulas para generar los esquejes. La siembra para la obtención de plántulas a partir de semilla (tratamiento testigo) también se hizo en charolas de poliestireno de 60 cavidades, rellenas con una mezcla de turba vegetal y perlita en igual proporción y a la misma densidad de población con que fueron establecidos los esquejes. Las semillas fueron depositadas a una profundidad de 1 cm, posteriormente las charolas con sustrato fueron irrigadas profusamente y apiladas durante tres días para una germinación más uniforme. Después de los tres días, las charolas fueron destendidas para evitar que la emergencia ocurriera sin luz, que provoca etiolación de la plántula.

Conducción del trasplante a la cosecha

El trasplante tanto de las plántulas provenientes de esquejes como las de semilla, se llevó a cabo en camas de cultivo de un metro de ancho por 20 m de largo rellenas con sustrato a base de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. El cultivo se estableció en tres hileras de plantas por cama con distancias de 30 cm entre hileras y 30 cm entre plantas (7 plantas m⁻² de invernadero) dejando pasillos de 50 cm de ancho entre camas contiguas. Los esquejes ya enraizados fueron trasplantados a los 20, 25, 30, 35, 40 y 45 días después de iniciado su enraizado (ddie) y las plántulas de semilla a los 45 días después de la siembra (dds).

Inmediatamente después del trasplante se hizo el tutorado de las plantas sujetándolas del tallo con un anillo de plástico que soportaban un hilo de rafia amarrado a alambres colocados a lo largo de las camas a 1.5 m de altura. El riego se hizo con solución nutritiva al 100% de concentración. Cuando las plantas habían formado dos hojas por arriba del tercer racimo, se hizo el despunte (eliminación del ápice principal de cada planta), para cosechar solamente tres racimos por planta.

También se hizo poda de hojas basales para provocar una mayor ventilación en la parte más baja del dosel de plantas, y poda de brotes laterales para conducir las plantas a un solo tallo. Los brotes fueron eliminados conforme aparecían y antes de que sobre pasaran 5 cm de longitud. La cosecha se hizo de forma manual en cinco cortes que se fueron sumando para obtener el número de frutos y rendimiento total. Mediante cierre y apertura de ventanas laterales y cenitales, se procuró mantener en el interior del invernadero, una temperatura entre 20 y 30 °C, y humedad relativa entre 60 y 80%. No hubo presencia importante de plagas o enfermedades, por lo que no se requirió de aplicaciones de agroquímicos durante el ciclo de producción.

Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con siete tratamientos que resultaron de seis diferentes edades al trasplante de las plantas provenientes de esquejes (20, 25, 30, 35, 40 y 45 ddie) y un testigo de plantas proveniente de semilla trasplantadas a los 45 dds. Se manejaron cuatro repeticiones con unidades experimentales de 10 plántulas. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa Statistical Analysis System for Windows 9.0 (SAS, 2002).

Variables evaluadas

Al inicio de la cosecha (100 días después de iniciado el enraizado de los esquejes), se midió las siguientes variables: altura de planta (cm), de la base del tallo al ápice de crecimiento, con el apoyo de un flexómetro. Diámetro de tallo (mm), entre la segunda y tercera hoja, con un vernier electrónico. Ancho de planta (cm), en la parte media de la planta sin extender las hojas. Índice de área foliar (m^2 de área foliar medida solamente por el lado del en vez/ m^2 de superficie cubierta), con un integrador de área foliar LI-3000A (LI-COR, Inc. Lincoln, NE).

Al final de la cosecha que se realizó, también se determinó el número de flores y frutos por planta, el peso medio por fruto (g), el rendimiento ($g\ planta^{-1}$) y el tiempo transcurrido de trasplante a fin de cosecha (d).

Resultados y discusión

Variables morfológicas

Los análisis de varianza (Cuadro 1) indican que estadísticamente hubo diferencias significativas para diámetro de tallo, ancho de las plantas e índice de área foliar, no así para la altura de las plantas.

Cuadro 1. Cuadrados medios de variables morfológicas y días a antesis evaluadas a los 100 días de iniciado el enraizamiento de esquejes o la siembra de semillas de jitomate variedad Pai pai.

FV	GL	Altura	Diámetro de tallo	Índice de área foliar	Ancho de planta
Bloque	3	8.14	1.11	0.42	15.39
Tratamiento	9	86.92 ns	9.44**	3.85**	29.94**
Error	27	47.08	0.83	0.52	6.26
CV (%)		7.14	7.30	21.65	6.92
Media		96 cm	12 mm	3.3 $m\ m^{-2}$	36 cm

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; **= altamente significativo a una $p \leq 0.05$. ns= no significativo.

Las comparaciones de medias entre tratamientos (Cuadro 2) muestran que a medida que se retrasó el trasplante hasta los 40 y 45 ddie, tres de las cuatro variables morfológicas estudiadas disminuyeron significativamente su expresión: el diámetro de tallo, el ancho (diámetro ocupado por cada planta) y el área foliar por planta reflejado en el índice de área foliar (IAF), con diferencias estadísticas entre los esquejes de 45 días respecto a los de 20 días. Aunque la altura de planta no mostró diferencias significativas, se observó una tendencia de mayor elongación en esas plantas donde más se retrasó el trasplante. Entre plantas provenientes de esquejes trasplantados a los 45 días después de enraizado y plantas formadas de semilla, en ninguna de las variables morfológicas estudiadas hubo diferencias significativas.

Cuadro 2. Comparación de medias de variables morfológicas evaluadas a los 100 días de iniciado el enraizamiento de esquejes o la siembra de semillas de jitomate variedad Pai pai.

Tratamiento (edad de plántulas al trasplante)	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m m ⁻²)	Ancho de la planta (cm)
Esqueje 20 días	96.9 a	15 a	4.6 a	39.4 a
Esqueje 25 días	95.3 a	13.5 ab	4.2 ab	36.8 ab
Esqueje 30 días	89.8 a	12.2 bc	3.4 ab	37.3 ab
Esqueje 35 días	90.6 a	13.1 ab	3.6 ab	39.2 a
Esqueje 40 días	101.7 a	11.7 bc	2.9 bc	34 ab
Esqueje 45 días	101.2 a	11.5 bc	2.5 bc	33.8 ab
Semilla 45 días	97 a	10.3 c	1.8 c	32.5 b
DMS	16	2.13	1.68	5.85

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

Las plantas trasplantadas a los 20 días estuvieron creciendo por un menor tiempo en las condiciones restrictivas que impone el semillero (poco volumen de contenedor para el crecimiento de la raíz y alta densidad de población) y por lo tanto, un mayor tiempo en las camas de cultivo en un ambiente con menos limitaciones tanto para la parte aérea (menor competencia por luz entre plantas) como de la raíz (mayor volumen de sustrato), lo que favoreció su crecimiento posterior, como ha sido reportado por otros autores (Hernández y Kubota, 2016; Sánchez *et al.*, 2021).

En cambio, las plantas trasplantadas más tardíamente estuvieron sometidas a una mayor competencia por luz y en un menor volumen para el crecimiento de la raíz y con ello con más limitaciones de agua, oxígeno y nutrientes, situación que se acentuó conforme el trasplante se hacía más tardío, ocasionándose mayor estrés al pasarlas a su lugar definitivo (Tadeo y Gómez, 2013; Moreno *et al.*, 2021; Sánchez *et al.*, 2021). Un comportamiento similar se observó en las plantas provenientes de semilla y que fueron trasplantadas a los 45 días, ya que sufrieron más estrés por efecto de competencia en espacio y luz al crecer en las charolas, pues sus valores de diámetro de tallo, índice de área foliar y ancho de planta fueron estadísticamente los más bajos (Cuadro 2).

Todos estos resultados se explican porque a mayor tiempo de permanencia en las charolas en el semillero, previo al trasplante, la competencia por luz entre las plántulas se va agudizando paulatinamente, afectando negativamente la producción de fotoasimilados y produciendo alteraciones morfogénicas que afectan directamente a las plántulas y al crecimiento posterior al trasplante (Wien, 1999; Taiz *et al.*, 2015). También, por lo limitado del volumen del contenedor donde se enraízan los esquejes, conforme va pasando el tiempo, la raíz encuentra más restricciones de espacio que limitan el suministro de oxígeno necesario para su expansión, afectando negativamente su crecimiento posterior (Sánchez *et al.*, 2021).

Aunque no hubo diferencias significativas entre variables morfológicas de plantas provenientes de semilla respecto a las conformadas a partir de esquejes, las pocas diferencias observadas probablemente se deban a que, con las plantas de esqueje, desde el momento de iniciar el enraizado, ya se tiene la ventaja de que hay material vegetal formado y por lo tanto un adelanto en crecimiento

respecto a las plántulas originadas de semilla (Sánchez *et al.*, 2012b; Moreno *et al.*, 2016). Estos resultados permiten señalar que, para un sistema de producción de jitomate a tres racimos por planta en alta densidad de población como el propuesto por Sánchez *et al.* (2012a), es posible utilizar esquejes enraizados en vez de semilla, sin que se afecte el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Rendimiento y sus componentes

Respecto al rendimiento por planta y sus componentes, tanto el análisis de varianza (Cuadro 3) como el de comparaciones de medias (Cuadro 4), indican que no hubo diferencias significativas entre plantas de esqueje por retrasar el trasplante hasta los 45 días o de cualquier tratamiento de enraizado de esquejes respecto al testigo de plantas provenientes de semilla trasplantadas a los 45 días, resultados que coinciden con lo reportado por Moreno *et al.* (2016).

Cuadro 3. Cuadrados medios de variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate cultivar Pai Pai.

FV	GL	Núm. de flores por planta	Núm. de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Bloque	3	5.4	4.7	13	52875.2	16.6
Tratamiento	9	3.4 ns	4.1 ns	114.9 ns	142994.9 ns	127.8**
Error	27	1.6	2	79.6	63203.2	4.9
CV (%)		6.1	7.3	7.9	11.4	2.2
Media		20.9	19.4	113.5	2205.4	98.9

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; **= altamente significativo a una $p \leq 0.01$; ns= no significativo.

Cuadro 4. Comparación de medias de tratamientos de variables del rendimiento y sus componentes evaluadas en plantas de jitomate variedad Pai Pai provenientes de esquejes con distintas edades al trasplante y de semilla.

Tratamiento (edad de plántulas al trasplante)	Núm. de flores por planta	Núm. de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Esqueje 20 días	20.5 a	20.3 a	125 a	2526.5 a	106 a
Esqueje 25 días	22.3 a	20.5 a	113.5 a	2324.5 a	104 ab
Esqueje 30 días	22.3 a	20.3 a	113.3 a	2244 a	101 b
Esqueje 35 días	20.5 a	19.3 a	112.5 a	2185.8 a	96 c
Esqueje 40 días	20.5 a	19.5 a	111.3 a	2168 a	95 c
Esqueje 45 días	20 a	18.5 a	110.5 a	2045 a	90 d
Semilla 45 días	20.5 a	17.8 a	108.5 a	1944.3 a	102 ab
DMS	2.9	3.3	20.8	587.4	4.2

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$; ddie= días después del inicio de enraizamiento; dds= días después de la siembra. DMS= diferencia mínima significativa. CV= coeficiente de variación.

Solamente en días de trasplante a fin de cosecha hubo diferencias significativas entre tratamientos, encontrándose que en las plantas provenientes de esquejes trasplantadas a los 45 ddie, la cosecha terminó doce días antes respecto a las plantas originadas de semilla trasplantadas a la misma edad, completando su ciclo de cultivo de trasplante al fin de la cosecha en 90 días, lo cual es posible porque con la propagación por esquejes normalmente se logra precocidad en el ciclo de cultivo (Hartmann *et al.*, 2014).

En promedio, las plantas provenientes de esquejes formaron 21 flores y 19.7 frutos por planta, con un peso medio de fruto de 114.4 g, que resultó en un rendimiento promedio de 2160 g planta⁻¹, correspondiente a 14.5 kg m⁻² de invernadero, de acuerdo con la densidad establecida (6.7 plantas m⁻²). Esto es equivalente a 145 t ha⁻¹ en un ciclo de cultivo por lo que, en un esquema de producción de tres ciclos por año, potencialmente se podrían lograr 435 t ha⁻¹ año⁻¹, rendimiento que es aproximadamente 50% mayor al a las 300 t ha⁻¹ año⁻¹ que logran alcanzar buenos productores de jitomate con el sistema convencional de un ciclo anual de cultivo bajo invernaderos de mediana tecnología en México (Castellanos y Borbón 2009; Sánchez *et al.*, 2012a; Moreno *et al.*, 2021). Las plantas originadas de semilla, aunque produjeron dos frutos menos por planta y una ligera disminución en el peso medio de fruto respecto a las provenientes de esqueje, el rendimiento por planta obtenido fue estadísticamente igual al de los esquejes.

Como se muestra en el Cuadro 2, el retraso en la edad de trasplante de los esquejes enraizados hasta los 45 ddie, sí provocó una disminución en el diámetro de tallo, área foliar y en índice de área foliar, pero no afectó de manera significativa ninguna de las variables de rendimiento o de alguno de sus componentes como se puede observar en el Cuadro 4. Por el contrario, el retraso en el trasplante permitió acortar el ciclo de cultivo a solamente 90 días, lo que potencialmente da la posibilidad de obtener hasta cuatro ciclos de cultivo por año en condiciones de invernadero, es decir, un ciclo más por año, que implica un posible incremento anual del rendimiento de 25% respecto al sistema de tres ciclos por año ya mencionado. Esto es hasta 580 t ha⁻¹ año⁻¹, equivalente a los rendimientos reportadas por Cheiri *et al.* (2018); Heuvelink *et al.* (2018) en invernaderos de alta tecnología y sistemas hidropónicos sofisticados.

Independientemente de lo anterior, el hecho de que las plantas se puedan mantener en el semillero desde los 20 hasta los 45 días de edad, le da al productor flexibilidad para un manejo más eficiente del invernadero en cuanto a los ciclos de cultivo a lo largo del año, pues le da margen para adelantar o retrasar sus trasplantes optimizando su producción.

Cabe destacar también que el hecho de que las plantas provenientes de esqueje rindan lo mismo que las de semilla, significa un gran ahorro en los costos de producción con el uso de esquejes enraizados. Por ejemplo, en el sistema de tres ciclos por año a una densidad de población de 7 plantas m⁻² se utilizarían unas 230 000 semillas por ha por año considerando 90% de germinación, con un costo superior a \$1 000 000.00 (más que el costo total de mano de obra requerida en todo el año).

Obteniendo dos de los tres ciclos de producción con esqueje se dejarían de comprar unas 150 000 semillas, lo que representa una reducción en los costos de producción de aproximadamente \$750 000.00 anuales ha⁻¹, incrementando de manera significativa la utilidad económica del productor.

Conclusiones

Cuando los trasplantes de esquejes enraizados se realizaron más temprano (20 a 30 días después de iniciar el enraizado), las plantas desarrollaron más ancho, más área foliar y mayor grosor en su tallo que el de las plantas procedentes de semilla. A medida que se retrasó la edad al trasplante de las plantas procedentes de esqueje, se disminuyó la expresión de variables morfológicas como grosor del tallo, área foliar y ancho de planta, pero no se afectó el rendimiento por planta.

El retraso del trasplante de plantas procedentes de esqueje hasta los 45 días después de iniciado el enraizado, permitió reducir el periodo de trasplante a fin de cosecha de 102 (testigo de semilla) a 90 días, lo que abre la posibilidad de obtener hasta cuatro ciclos de cultivo al año en vez de los tres que tiene como potencial el sistema a tres racimos por planta que utiliza semillas para la siembra. La obtención de plántulas de jitomate a partir de esquejes enraizados se muestra como una alternativa viable y económicamente redituable para el manejo del cultivo en altas densidades de población y despunte del ápice de las plantas para dejar solamente tres racimos.

Literatura citada

- Castellanos, J. Z. y Borbón, M. C. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. *In:* manual de producción de tomate en invernadero. Castellanos, J. Z. Ed. 1st. Intagri. México. 1-18 pp.
- Cheiri, K.; Gelder, A. and Peet, M. M. 2018. Greenhouse tomato production. *In:* tomatoes. Heuvelink, E. Ed. 2nd. CABI. 276-313 pp. Doi: 10.1079/9781780641935.0276.
- Contreras, M. E.; Arroyo, P. H.; Ayala, A. J.; Sánchez, D. C. F. y Moreno, P. E. C. 2013. Caracterización morfológica de la diferenciación floral en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19(4):59-70. Doi: 10.5154/r.rchsh.2012.02.010.
- FIRA. 2017. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Panorama agroalimentario. Tomate rojo. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310>.
- Hartmann, H. T.; Kester, D. E.; Davies, F. T. and Geneve, R. L. 2014. Principles of propagation by cuttings *In:* plant propagation principles and practices. Harman, H.T and Kester, D. Ed. 8th. Pearson. 295-360 pp.
- Hernández, R. and Kubota, C. 2016. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot.* 121:66-74. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2015.04.001.
- Heuvelink, E.; Li, T. and Dorais, M. 2018. Crop growth and yield. *In:* tomatoes. Heuvelink, E. Ed. 2nd. Cabi. 89-136 pp. Doi: 10.1079/9781780641935.0089.
- Juárez, L. G.; Sánchez, D. C. F. y Contreras, M. E. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 6(1):19-23. Doi: 10.5154/r.rchsh.1999.03.026.
- Moreno, P. E. C.; Sánchez, D. C. F.; Ruíz, D. M. and Contreras, M. E. 2021. Effect of population densities and paclobutrazol applications on seedling quality and yield in tomato. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 27(1):5-17. Doi: 10.5154/r.rchsh.2020.05.010.
- Moreno, P. E. C.; Sánchez, D. C. F.; Ruiz, D. M.; González, M. L.; Contreras, M. E. y Messina, F. R. U. 2016. Métodos de enraizamiento de esquejes para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico. *Rev. Agroproductividad.* 9(10):50-55.
- Sánchez, D. C. F. y Moreno, P. E. C. 2017. Diseño agronómico y manejo de invernaderos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 59-78 pp.

- Sánchez, D. C. F.; Bastida, C. O. A.; Moreno, P. E. C.; Contreras, M. E. y Sahagún, C. J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 20(3):239-251. Doi: 10.5154/r.rchsh.2013.10.037.
- Sánchez, D. C. F.; Moreno, P. E. C. and Contreras, M. E. 2012a. Development of alternative commercial production of vegetables in hydroponics systems I: tomato. *Acta Hortic.* 947:179-187. Doi: 10.17660/ActaHortic.2012.947.22.
- Sánchez, D. C. F.; Moreno, P. E. C. y Contreras, M. E. 2006. Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo, mediante trasplante tardío. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(2):87-90.
- Sánchez, D. C. F.; Moreno, P. E. C.; Coatzín, R. R.; Colinas- León, M. T. y Peña-Lomelí, A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(3):207-214.
- Sánchez, D. C. F.; Moreno, P. E. C.; Morales, M. A.; Peña, L. A. y Colinas L. M. T. 2012b. Densidad de población y volumen de sustrato en plántulas de jitomate (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.). *Agrociencia.* 46(3):255-266.
- Sánchez, D. C. F.; Moreno, P. E. C.; Pastor, Z. O. A. y Contreras, M. E. 2017. Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 40(3):333-340. Doi: 10.35196/rfm.2017.3.333-340.
- Sánchez, D. C. F.; Portillo, M. L.; Moreno, P. E. C.; Magdaleno, V. J. J. y Vázquez, R. J. C. 2021. Efectos del volumen de contenedor y densidad de plántula sobre trasplante tardío y número de flores en jitomate. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 27(2):71-84. Doi: 10.5154/r.rchsh.2020.06.015.
- SAS. Institute. 2002. Statistical Analysis System. SAS/STAT 9.1 user's guide. Cary, NC. USA.
- SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. SAGARPA. Ciudad de México, México. <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/ResumenProducto.do>.
- Sosa, B. A. y Ruíz, I. G. 2017. La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de Población.* 23(93):207-230. Doi: 10.22185/24487147.2017.93.027.
- Tadeo, R. F. y Gómez, C. A. 2013. Fisiología de las plantas y el estrés. *In: fundamentos de fisiología vegetal.* Azcón-Bieto, J. y Talón, M. Ed. 2nd. McGraw-Hill Interamericana. 577-598 pp.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M. and Murphy, A. 2015. *Plant physiology and development.* 6th. Sinauer associates, sunderland, Inc. Publisher. Suderland, Massachusetts, USA. 171-200 pp.
- Wien, H. C. 1999. Transplanting. *In: Wien, H. C. Ed. The physiology of vegetable crops.* CABI Publishing. Cambridge, UK. 37-67 pp.