

Effects of container volume and seedling density on late transplanting and number of flowers in tomato

Efectos del volumen de contenedor y densidad de plántula sobre trasplante tardío y número de flores en jitomate

Felipe Sánchez-del Castillo; Lázaro Portillo-Márquez; Esaú del Carmen Moreno-Pérez*; J. Jesús Magdaleno-Villar; José Cutberto Vázquez-Rodríguez

Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

*Corresponding author: esaump10@yahoo.com.mx, tel. 55 84 98 91 67.

Abstract

By managing tomato at a high population density, blunting to the third cluster and transplanting 40 days after sowing (das), the transplant to end-of-harvest cycle lasts four months, achieving three cycles per year and a potential yield of 500 t·ha⁻¹. This yield can be increased with one more annual production cycle through transplants at 60 das and the end of the growing cycle in 90 days, resulting in more flowers and fruits per inflorescence without affecting fruit weight. The aim was to evaluate the effect of container volume and population density on the quality of seedlings to be transplanted at 60 das, as well as the number of flowers and fruits per plant. The saladette-type 'Bullseye' hybrid was grown in a greenhouse. Two container volumes (25 and 250 mL) and four densities (1,000, 750, 500 and 250 seedlings·m⁻² for 25 mL, and 300, 200, 150 and 75 seedlings·m⁻² for 250 mL) were evaluated. A split-plot randomized complete block design with four replicates was used. Morphological variables, number of flowers and yield were recorded. Analysis of variance and comparison of means (Tukey, $P \leq 0.05$) were performed. Seedlings with morphological characteristics suitable for transplanting at 60 das were those grown in 250 mL cavities at densities of 75 and 150 seedlings·m⁻². Cavity volume and seedling density did not influence the number of flowers or fruits per plant.

Keywords:

Solanum lycopersicum L., greenhouse, hydroponics, population density.

Resumen

Con el manejo de jitomate en alta densidad de población, despunte al tercer racimo y trasplante a los 40 días después de la siembra (dds), el ciclo de trasplante a fin de cosecha dura cuatro meses, con lo cual se logran tres ciclos al año y un rendimiento potencial de 500 t·ha⁻¹. Es posible incrementar dicho rendimiento con un ciclo más de producción anual mediante trasplantes a los 60 dds y fin de ciclo de cultivo en 90 días, o bien, con más flores y frutos por inflorescencia sin afectar el peso del fruto. El objetivo fue evaluar el efecto del volumen de contenedor y la densidad de población sobre la calidad de plántulas para trasplante a los 60 dds, así como el número de flores y frutos por planta. Se cultivó el híbrido 'Bullseye', tipo saladette, bajo invernadero. Se evaluaron dos volúmenes de contenedor (25 y 250 mL) y cuatro densidades (1,000, 750, 500 y 250 plántulas·m⁻² para 25 mL, y 300, 200, 150 y 75 plántulas·m⁻² para 250 mL). El diseño fue bloques completos al azar en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Se midieron variables morfológicas, número de flores y rendimiento. Se realizó análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$). Las plántulas con características morfológicas adecuadas para el trasplante a los 60 dds fueron las desarrolladas en cavidades de 250 mL, a densidades de 75 y 150 plántulas·m⁻². El volumen de cavidad y la densidad de plántula no influyeron en el número de flores o frutos por planta.

Palabras clave:

Solanum lycopersicum L., invernadero, hidroponía, densidad de población.



Introduction

With the evolution of agriculture, technologies such as greenhouses and hydroponic systems have been created, which, when well managed, allow for increasing the productivity of almost any crop, and there are cases in which production exceeds ten times that of the same crop in the open field (Resh, 2013). However, due to the high installation and operating costs, the economic profitability of these systems must consider efficient space and time management to maximize the yield and quality of the products obtained (Sánchez-del Castillo & Moreno-Pérez, 2017).

In Mexico, tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production grew at an average annual rate of 3.6 % between 2007 and 2017. In that same period, the area cultivated in open fields decreased at an average annual rate of 5.9 %, from 64,663 to 35,175 ha, while with protected agriculture (shade nets and greenhouses) it went from 1,973 to 15,198 ha, corresponding to an average annual growth rate of 22.7 %. Thus, the production obtained with the use of these technologies went from 0.9 % in 2003, to 32.2 % in 2010, and to 63.3 % of the total volume in 2017 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018).

Conventional greenhouse tomato management consists of establishing only 3 plants·m⁻² and using indeterminate varieties that are allowed to grow more than 7 m in length to harvest 20 to 25 clusters per plant in a single growing cycle per year (Castellanos & Borbón, 2009). In general, the system is used in high-cost, medium to high-tech greenhouses, and requires strict technical management due to cultural practices such as lowering plants, maintaining a constant leaf area index and having the required phytosanitary control, all this derived from the long cycle that is managed (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, & Contreras-Magaña, 2012; Sánchez-del Castillo & Moreno-Pérez, 2017).

An alternative management system to the one mentioned above was developed at the *Universidad Autónoma Chapingo*. This system consists of the early blunting of the apex of the plants to leave only three clusters in each plant, and the transplanting of seedlings at 40 days after sowing (das), which shortens the cycle from transplanting to end of harvest to approximately four months, making it possible to obtain three growing cycles per year. The lower yield per plant is partially compensated by increasing the population density to 8 or 9 plants·m⁻². With this relatively simple technology, higher annual yields can be obtained than with the conventional system (Sánchez-del Castillo et al., 2014), by obtaining around 16 kg·m⁻² per growing cycle, with the potential for

Introducción

Con la evolución de la agricultura se han creado tecnologías como los invernaderos y los sistemas hidropónicos, que bien manejados permiten aumentar la productividad de casi cualquier cultivo, y existen casos en los que se supera más de diez veces la producción respecto al mismo cultivo en campo abierto (Resh, 2013). Sin embargo, debido a los altos costos de instalación y operación, la rentabilidad económica de estos sistemas debe considerar un manejo eficiente del espacio y tiempo para maximizar el rendimiento y la calidad de los productos obtenidos (Sánchez-del Castillo & Moreno-Pérez, 2017).

En México, la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) creció a una tasa promedio anual de 3.6 % entre 2007 y 2017. En ese mismo periodo, la superficie cultivada en campo abierto se redujo a una tasa promedio anual de 5.9 %, al pasar de 64,663 a 35,175 ha, mientras que con agricultura protegida (malla sombra e invernadero) pasó de 1,973 a 15,198 ha, que corresponde a una tasa de crecimiento promedio anual de 22.7 %. Así, la producción obtenida con el uso de estas tecnologías pasó de 0.9 % en 2003, 32.2 % en 2010, hasta 63.3 % del volumen total en 2017 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018).

El manejo convencional de jitomate bajo invernadero consiste en establecer solamente 3 plantas·m⁻² de variedades indeterminadas que se dejan crecer más de 7 m de longitud para cosechar de 20 a 25 racimos por planta en un solo ciclo de cultivo por año (Castellanos & Borbón, 2009). En general, el sistema ocupa invernaderos de mediana a alta tecnología de costo elevado, y exige un estricto manejo técnico debido a las prácticas culturales como el bajado de plantas, el mantenimiento de índice de área foliar constante y el control fitosanitario que se requiere; todo ello derivado del ciclo largo que se maneja (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, & Contreras-Magaña, 2012; Sánchez-del Castillo & Moreno-Pérez, 2017).

Un sistema de manejo alternativo al mencionado anteriormente fue desarrollado en la *Universidad Autónoma Chapingo*. Dicho sistema consiste en el despunte temprano del ápice de las plantas, para dejar sólo tres racimos en cada planta, y el trasplante de plántulas a los 40 días después de la siembra (dds), lo cual acorta el ciclo de trasplante a fin de cosecha a aproximadamente cuatro meses, esto posibilita obtener tres ciclos de cultivo al año. El menor rendimiento por planta se compensa, parcialmente, al aumentar la densidad de población hasta 8 o 9 plantas·m⁻². Con esta tecnología relativamente sencilla, se pueden obtener rendimientos anuales mayores que con el sistema convencional (Sánchez-del Castillo et al., 2014), al

almost 500 t·ha⁻¹·yr⁻¹ by establishing three cycles (Sánchez-del Castillo et al., 2012). Although this yield is high, it is possible to significantly increase it through two strategies: 1) make the transplant with older seedlings (50 to 60 days) and thereby shorten the time from transplant to end of harvest to less than 90 days, which would make it possible to achieve four cycles per year and a 25 % higher annual yield, and 2) promote a greater number of flowers and fruits in each inflorescence without reducing the average weight per fruit. Due to the high population density managed (8 plants·m⁻² in greenhouse), with one more fruit per cluster and four growing cycles per year, a potential increase in annual yield of 10 kg·m⁻² (100 t·ha⁻¹) could be obtained.

The technical feasibility of transplanting at 60 das has already been experimentally verified with 500 to 750 mL containers (pots) (López-Valencia, Sánchez-del Castillo, & Contreras-Magaña, 2002; Sánchez-del Castillo et al., 2012). However, at the commercial level, this size of container takes up a lot of space in the seedbed and the cost of labor for transplanting is high, due to handling high population densities and seedlings with very large root balls that make this work difficult and costly.

Regarding the formation of more flowers and fruits per inflorescence, Heuvelink, Li, and Dorais (2018) note that, although this trait has a genetic component, this increase can be promoted through temporary modifications of the environment or with the management of source-demand relationships, this by achieving a greater distribution of sugars towards the meristem at the time that floral differentiation is taking place. With greater spacing between seedlings (due to a lower population density), each seedling is expected to receive more photosynthetically active radiation and increase its rate of photosynthesis, which would leave more sugar available for the developing flower primordia and lead to more flowers per inflorescence (Heuvelink & Okello, 2018).

It should be noted that available space and use time in the seedbed are important factors in production efficiency, so the number of seedlings per unit area is normally increased by using trays with a greater number of cavities and therefore lower individual volume. However, the consequence is that seedlings established at a higher density, as they remain longer in the seedbed, compete more for the incident solar radiation and lose quality, since etiolated seedlings are formed (Wien, 1999) that are weak and susceptible to disease during or after transplantation (Kozai, 2016). On the contrary, using higher-volume trays increases the number of roots formed, which favors greater absorption of water and nutrients (Urrestarazu, 2015;

obtener alrededor de 16 kg·m⁻² por ciclo de cultivo, con potencial de casi 500 t·ha⁻¹·año⁻¹ al establecerse tres ciclos (Sánchez-del Castillo et al., 2012). Aunque este rendimiento es alto, es posible incrementarlo significativamente mediante dos estrategias: 1) hacer el trasplante con plántulas de mayor edad (50 a 60 días) y con ello acortar el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, lo que haría posible cuatro ciclos por año y un rendimiento anual 25 % mayor, y 2) promover un mayor número de flores y frutos en cada inflorescencia sin que disminuya el peso medio por fruto. Por la alta densidad de población que se maneja (8 plantas·m⁻² en invernadero), con un fruto más por racimo y cuatro ciclos de cultivo al año se podría obtener un incremento potencial en el rendimiento anual de 10 kg·m⁻² (100 t·ha⁻¹).

La factibilidad técnica de hacer el trasplante a los 60 dds ya ha sido comprobada experimentalmente con contenedores (macetas) de 500 a 750 mL (López-Valencia, Sánchez-del Castillo, & Contreras-Magaña, 2002; Sánchez-del Castillo et al., 2012). No obstante, a nivel comercial, este tamaño de contenedor ocupa mucho espacio en el semillero y el costo de mano de obra para el trasplante resulta elevado, esto debido a que se manejan altas densidades de población y plántulas con cepellones muy grandes que hacen difícil y costosa esta labor.

En cuanto a la formación de más flores y frutos por inflorescencia, Heuvelink, Li, y Dorais (2018) mencionan que, aunque este carácter tiene un componente genético, dicho incremento se puede promover mediante modificaciones temporales del ambiente o con el manejo de las relaciones fuente-demanda, esto al lograrse una mayor distribución de azúcares hacia el meristemo en el momento en que se está llevando a cabo la diferenciación floral. Con un mayor espaciamiento entre plántulas (por una menor densidad de población) se espera que cada plántula reciba más radiación fotosintéticamente activa e incremente su tasa de fotosíntesis, lo cual dejaría más azúcar disponible para los primordios de flor en desarrollo y daría lugar a más flores por inflorescencia (Heuvelink & Okello, 2018).

Cabe señalar que el espacio disponible y el tiempo de uso del semillero son factores importantes en la eficiencia de producción, por lo que normalmente se aumenta la cantidad de plántulas por unidad de superficie mediante el uso de bandejas (charolas) con mayor número de cavidades y, por lo tanto, de menor volumen individual. Sin embargo, la consecuencia es que las plántulas establecidas a mayor densidad, a medida que permanecen más tiempo en el semillero, compiten más por la radiación solar incidente y pierden calidad, ya que se forman plántulas etioladas (Wien,

Wien, 1999). A larger container volume, combined with a larger space between seedlings, favors both the root and aerial environments, factors that can increase the final yield (Heuvelink & Okello, 2018; Sánchez-del Castillo et al., 2012).

Therefore, this research aimed to evaluate the effect of container volume and population density on the quality of tomato seedlings to be transplanted at 60 das, as well as the number of flowers, number of fruits and yield per plant. The purpose is to contribute to the development of a practical and low-cost method to shorten the cycle from transplanting to end of harvest to less than 90 days, leaving three clusters in each plant.

Materials and methods

The study was carried out under greenhouse and hydroponic conditions at the *Universidad Autónoma Chapingo* experimental field (19° 29' 35" NL and 98° 52' 21" WL, at 2,250 m a. s. l.).

The greenhouses used, both in the seedbed and production phases, were covered with high light dispersion thermal polyethylene. The temperature during the day was kept between 15 and 25 °C, and at night between 10 and 16 °C, with relative humidity of 60 and 80 % during the day and night, respectively, this by the opening and closing of windows with polyethylene curtains and anti-aphid mesh, as well as with a heating system. In addition, the seedbed had evaporative cooling through a wet pad with extractors.

The saladette-type 'Bullseye' tomato hybrid (from the Seminis company) with a semi-determinate growth habit was used. Sowing was done in July 2018 in polystyrene trays filled with a mixture of peat-moss, perlite and fine tezontle sand as substrate at a 1:1:1 ratio. From sowing to the first 10 days, the seedlings were irrigated only with water. For the next 15 days, irrigation was done with a nutrient solution containing the following nutrients (mg·L⁻¹): nitrogen (100), phosphorus (25), potassium (100), calcium (125), magnesium (25), sulfur (75), iron (2), manganese (1), boron (0.5), copper (0.1) and zinc (0.1). Subsequently, and until the end of harvest, double the concentration of each macronutrient and the same concentration of micronutrients (complete nutrient solution) were applied.

The seedlings were transplanted into culture beds filled with a 25 cm layer of red tezontle sand, with grain size from 1 to 3 mm in diameter. The width of the beds was 1 m, with 33 cm spacing between rows and 25 cm between plants, resulting in a population density of 12 plants·m⁻² of useful space (8 plants·m⁻² of greenhouse if 0.5 m wide paths are considered.

1999) que resultan débiles y susceptibles a enfermarse durante o después del trasplante (Kozai, 2016). Por el contrario, con el uso de charolas con mayor volumen se incrementa la cantidad de raíces formadas, lo cual favorece una mayor absorción de agua y nutrimentos (Urrestarazu, 2015; Wien, 1999). Un mayor volumen de contenedor, combinado con un mayor espacio entre plántulas, favorece tanto el ambiente de la raíz como de la parte aérea, factores que pueden incrementar el rendimiento final (Heuvelink & Okello, 2018; Sánchez-del Castillo et al., 2012).

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del volumen de contenedor y la densidad de población sobre la calidad de plántulas de jitomate para trasplante a los 60 dds, así como el número flores, número de frutos y rendimiento por planta. La finalidad es contribuir en el desarrollo de un método práctico y de bajo costo para acortar el ciclo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, dejando tres racimos en cada planta.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero e hidroponía en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (19° 29' 35" latitud norte y 98° 52' 21" longitud oeste, a 2,250 m s. n. m.).

Los invernaderos utilizados, tanto en la fase de semillero como la de producción, estaban cubierto con polietileno térmico de alta dispersión de luz. La temperatura en el día se mantuvo entre 15 y 25 °C, y en la noche entre 10 y 16 °C, con humedad relativa de 60 y 80 % durante el día y la noche, respectivamente; esto mediante la apertura y cierre de ventanas con cortinas de polietileno y mallas antiáfido, así como con un sistema de calefacción. Además, el semillero contó con enfriamiento evaporativo a través de un muro húmedo con extractores.

Se usó el híbrido de tomate 'Bullseye' (de la empresa Seminis) tipo saladette y con hábito de crecimiento semideterminado. La siembra de la semilla se hizo en julio de 2018 en charolas de poliestireno rellenas con una mezcla de peat-moss, perlita y arena fina de tezontle como sustrato en proporción 1:1:1. Desde la siembra hasta los primeros 10 días, las plántulas se irrigaron sólo con agua. Los siguientes 15 días, el riego se hizo con una solución nutritiva que contenía los siguientes nutrimentos (mg·L⁻¹): nitrógeno (100), fósforo (25), potasio (100), calcio (125), magnesio (25), azufre (75), hierro (2), manganeso (1), boro (0.5), cobre (0.1) y zinc (0.1). Posteriormente, y hasta fin de cosecha, se aplicó el doble de concentración de cada macronutriente y la misma concentración de micronutrientes (solución nutritiva completa).

Before transplanting, a drip irrigation system was installed in each bed, which consisted of strips with integrated drippers every 20 cm to provide irrigation with complete nutrient solution. Depending on environmental conditions, five to seven daily irrigations were given at a dose of 1 L·m⁻² per irrigation.

After transplanting, the plants were tutored by holding them from the stem with a plastic ring that supported a raffia cord tied to wires placed along the beds at 1.5 m high. From 60 das onwards, the side shoots of the plants were pruned to leave them at a single stem. Between 70 and 80 das, each plant's three lower leaves were removed, and at 80 das, with the third inflorescence already formed, the plants were blunted (removal of the apical bud) to leave only two leaves above the third cluster. Pollination was done manually; to do this, every day during anthesis the plants were shaken to release the pollen grain and cause its deposit on the stigma.

Eight treatments were evaluated, with the first four corresponding to seedlings handled in 200-cavity polystyrene trays with 25 mL capacity per cavity and transplanted at 35 das; the other four were in 60-cavity polystyrene trays with 250 mL capacity per cavity and transplanted at 60 das. Within each container volume, four population densities were handled, so that the treatments were as follows: 1) 1,000 seedlings·m⁻² in 200-cavity trays, 2) 750 seedlings·m⁻² in 200-cavity trays, 3) 500 seedlings·m⁻² in 200-cavity trays, 4) 250 seedlings·m⁻² in 200-cavity trays, 5) 300 seedlings·m⁻² in 60-cavity trays, 6) 200 seedlings·m⁻² in 60-cavity trays, 7) 150 seedlings·m⁻² in 60-cavity trays and 8) 75 seedlings·m⁻² in 60-cavity trays.

A split-plot randomized block experimental design with four replicates was used. In the large plot the number of cavities per tray (200 or 60, corresponding to 25 or 250 mL per cavity, respectively), and in the small plots the population density treatments (250, 500, 750 and 1,000 plants·m⁻² for 200-cavity trays, and 75, 150, 200 and 300 seedlings·m⁻² for 60-cavity trays). The size of the small plot experimental unit was 15 seedlings.

The following variables were evaluated at 30, 45 and 60 das:

Seedling height (cm): it was measured from the base of the plant to the apical meristem with a tape measure.

Stem diameter (mm): it was measured at the height of the internode of the third and fourth leaves with an electronic Vernier caliper.

Leaf area per seedling (cm²): it was determined with a leaf area meter (LI-3100, LI-COR®, USA).

Las plántulas se trasplantaron a camas de cultivo rellenas con una capa de 25 cm de arena de tezontle rojo, con granulometría de 1 a 3 mm de diámetro. El ancho de las camas fue de 1 m, y las distancias establecidas fueron de 33 cm entre hileras y 25 cm entre plantas, lo cual resultó en una densidad de población de 12 plantas·m⁻² útil (8 plantas·m⁻² de invernadero si se consideran pasillos de 0.5 m de ancho). Previo al trasplante, en cada cama se instaló un sistema de riego por goteo, el cual consistía de cintillas con goteros integrados a cada 20 cm para aportar el riego con solución nutritiva completa. Según las condiciones ambientales, se daban de cinco a siete riegos diarios a dosis de 1 L·m⁻² por riego.

A partir del trasplante, se tutoraron las plantas sujetándolas del tallo con un anillo de plástico que soportaba un cordón de rafia amarrado a alambres colocados a lo largo de las camas a 1.5 m de altura. De los 60 dds en adelante, se podaron los brotes laterales de las plantas para dejarlas a un solo tallo. Entre los 70 y 80 dds se eliminaron las tres hojas inferiores de cada planta, y a los 80 dds, ya formada la tercera inflorescencia, se despuntaron las plantas (eliminación de la yema apical) para dejar únicamente dos hojas por encima del tercer racimo. La polinización se hizo en forma manual; para ello, todos los días durante la anthesis se sacudieron las plantas para liberar el grano de polen y ocasionar su depósito en el estigma.

Se evaluaron ocho tratamientos, los primeros cuatro correspondieron a plántulas manejadas en charolas de poliestireno de 200 cavidades con 25 mL de capacidad por cavidad y trasplantadas a los 35 dds; los otros cuatro fueron en charolas de poliestireno de 60 cavidades con 250 mL de capacidad por cavidad y trasplante a los 60 dds. Dentro de cada volumen de contenedor se manejaron cuatro densidades de población, de manera que los tratamientos quedaron de la siguiente forma: 1) 1,000 plántulas·m⁻² en charolas de 200 cavidades, 2) 750 plántulas·m⁻² en charolas de 200 cavidades, 3) 500 plántulas·m⁻² en charolas de 200 cavidades, 4) 250 plántulas·m⁻² en charolas de 200 cavidades, 5) 300 plántulas·m⁻² en charolas de 60 cavidades, 6) 200 plántulas·m⁻² en charolas de 60 cavidades, 7) 150 plántulas·m⁻² en charolas de 60 cavidades y 8) 75 plántulas·m⁻² en charolas de 60 cavidades.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. En la parcela grande los tratamientos fueron el número de cavidades por charola (200 o 60, correspondientes a 25 o 250 mL por cavidad, respectivamente), y en las parcelas chicas los tratamientos de densidad de población (250, 500, 750 y 1,000 plántulas·m⁻² para charolas de 200 cavidades, y 75, 150, 200 y 300 plántulas·m⁻² para charolas de 60 cavidades). El tamaño de la unidad experimental en parcela chica fue 15 plántulas.

Total dry weight per seedling (g): it was obtained from the same seedlings used to obtain leaf area; to do this, the seedlings were placed in paper bags and dried in an oven at 70 °C until constant weight.

Leaf area ratio (cm² leaf area·g⁻¹ dry weight): it was estimated as the leaf area formed per gram of total dry weight of the seedling.

Yield variables and components were also determined: number of flowers per plant, number of fruits harvested per plant, fruit weight (g) and yield per plant (g·plant⁻¹).

The data obtained were subjected to analysis of variance and Tukey's comparison of means test ($P \leq 0.05$), for which SAS version 9.1 statistical software (SAS Institute, 2002) was used.

Results and discussion

Morphological variables and dry weight in seedlings

The analysis of variance (data not shown) indicated that at 30 and 45 das there were highly significant differences between cavity volumes in all morphological variables and dry weight, while at 60 das there were highly significant differences for leaf area and leaf area ratio, and significant differences for seedling height and stem diameter, but not for seedling dry weight.

The comparison of means tests (Table 1) show that at 30 das the seedlings grown in trays with 250 mL cavities had 1.41 cm more height, 0.88 mm thicker stems, a 140 % increase in leaf area, double the dry weight and 15 cm² more leaf area for each g of total dry weight formed compared to the seedlings produced in trays with 25 mL cavities; these differences were significant. At 45 das, the differences between the two treatments were further accentuated: seedling height in 250 mL containers was 13.8 cm greater, stem diameter was 1.42 mm thicker, leaf area was 96 cm² greater and they had double the dry weight; only the leaf area ratio was 13.1 cm² lower.

The results obtained, both at 30 and 45 das, can be explained because in the treatments with a higher container volume (250 mL per cavity), during the first 35 das (when the seedlings were transplanted into 25 mL cavities), the root grew with fewer water, oxygen and nutrient limitations than the seedlings that grew in 25 mL of substrate, as also pointed out by Ruff, Krizek, Mirecki, and Inouye (1987) and Wien (1999) in tomato cultivation. According to Sakurai, Ogawa, Kawashima, and Chino (2007), the relatively low densities with which the seedlings were handled in

Las siguientes variables fueron evaluadas a los 30, 45 y 60 dds:

Altura de plántula (cm): se midió desde la base de la planta hasta el meristemo apical con una cinta métrica.

Diámetro de tallo (mm): se midió a la altura del entrenudo de la tercera y cuarta hoja con un vernier electrónico.

Área foliar por plántula (cm²): se determinó con un integrador de área foliar (LI-3100, LI-COR®, EUA).

Peso seco total por plántula (g): se obtuvo de las mismas plántulas utilizadas para obtener el área foliar; para ello, las plántulas se colocaron dentro de bolsas de papel y se secaron en una estufa a 70 °C hasta peso constante.

Razón de área foliar (cm² área foliar·g⁻¹ de peso seco): se estimó como el área foliar formada por gramo de peso seco total de la plántula.

También se determinaron variables de rendimiento y sus componentes: número de flores por planta, número de frutos cosechados por planta, peso de fruto (g) y rendimiento por planta (g·planta⁻¹).

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), para lo cual se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2002).

Resultados y discusión

Variables morfológicas y peso seco en plántula

El análisis de varianza (datos no mostrados) indicó que a los 30 y 45 dds hubo diferencias altamente significativas entre volúmenes de cavidad en todas las variables morfológicas y peso seco, mientras que a los 60 dds hubo diferencias altamente significativas para área foliar y razón de área foliar, y diferencias significativas para altura de plántula y diámetro de tallo, pero no para peso seco de plántula.

Las pruebas de comparación de medias (Cuadro 1) muestran que a los 30 dds las plántulas que crecieron en charolas con cavidades de 250 mL tenían 1.41 cm más de altura, tallos con 0.88 mm más gruesos, un incremento en área foliar de 140 %, el doble de peso seco y 15 cm² más área foliar por cada g de peso seco total formado respecto a las plántulas producidas en charolas con cavidades de 25 mL; dichas diferencias fueron significativas. A los 45 dds, las diferencias entre ambos tratamientos se acentuaron aún más: la altura de plántula en contenedores de 250 mL fue 13.8 cm

Table 1. Comparisons of means of morphological variables and dry weight in tomato seedlings grown in two container volumes.**Cuadro 1. Comparaciones de medias de variables morfológicas y peso seco en plántulas de jitomate desarrolladas en dos volúmenes de contenedor.**

Container volume (mL)/ Volumen de contenedor (mL)	Height (cm)/ Altura (cm)	Stem diameter (mm)/ Diámetro de tallo (mm)	Leaf area (cm ²)/ Área foliar (cm ²)	Dry weight (g)/ Peso seco (g)	Leaf area ratio (cm ² ·g ⁻¹)/ Razón de área foliar (cm ² ·g ⁻¹)
30 das/30dds					
25	7.15 b ^z	2.55 b	24.48 b	0.42 b	55.9 b
250	8.56 a	3.43 a	58.83 a	0.84 a	70.7 a
LSD/DMSH	0.25	0.20	4.71	0.10	4.57
45 das/45dds					
25	18.60 b	4.38 b	123.02 b	0.88 b	140.0 a
250	32.45 a	5.80 a	219.40 a	1.79 a	126.9 b
LSD/DMSH	1.24	0.32	19.70	0.19	11.48
60 das/60 dds					
25	42.56 b	5.81 b	628.67 a	5.62 a	111.7 a
250	47.90 a	6.26 a	461.71 b	5.41 a	86.8 b
LSD/DMSH	3.05	0.39	92.09	0.87	10.59

das = days after sowing; LSD = least significant difference. ^zMeans with the same letter within each column and evaluation date do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

dds = días después de la siembra; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna y fecha de evaluación no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

250 mL cavities (between 75 and 300 seedlings·m²) also had an impact by allowing for greater interception of solar radiation per plant. This resulted in a higher rate of photoassimilate production and, consequently, of accumulated dry matter (dry weight) for greater growth and development of the seedlings compared to those placed in 25 mL trays at higher population densities (between 250 and 1,000 seedlings·m²).

At 60 das, seedlings grown in 60-cavity trays, with a container volume of 250 mL, were also taller (5.3 cm) and had a larger stem diameter (0.45 cm) compared to plants grown in 200-cavity trays, despite the fact that the latter had been transplanted 25 days earlier and were therefore in a less limited environment both in the aerial part and in the root. On the contrary, the leaf area per plant in the 60-cavity trays was 167 cm² smaller, but no statistical differences were observed in weight. With the highest container volume, the leaf area ratio remained significantly lower at 25 cm² (Table 1).

Regarding the population densities in each cavity volume, the analyses of variance (data not shown) indicate that, at 30 das, highly significant differences were found for seedling height, leaf area and leaf area ratio, but not for stem diameter and seedling dry weight. At 45 das, there were highly significant differences in seedling height, and with the 250 mL container there were significant differences in leaf area

mayor, el diámetro de tallo fue 1.42 mm más grueso, el área foliar fue 96 cm² mayor y tuvieron el doble de peso seco; únicamente la razón de área foliar fue 13.1 cm² menor.

Los resultados obtenidos, tanto a los 30 como a los 45 dds, se pueden explicar porque en los tratamientos con mayor volumen de contenedor (250 mL por cavidad), durante los primeros 35 dds (momento en que se realizó el trasplante de las plántulas en cavidades de 25 mL), la raíz creció con menos limitaciones de agua, oxígeno y nutrientes que las plántulas que crecían en 25 mL de sustrato, como también lo han señalado Ruff, Krizek, Mirecki, y Inouye (1987) y Wien (1999) en el cultivo de tomate. De acuerdo con Sakurai, Ogawa, Kawashima, y Chino (2007), también influyó que las densidades relativamente bajas con que se manejaron las plántulas en cavidades de 250 mL (entre 75 y 300 plántulas·m²) permitieron una mayor interceptación de radiación solar por planta. Lo anterior se tradujo en una mayor tasa de producción de fotoasimilados y, en consecuencia, de materia seca (peso seco) acumulada para un mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas en comparación con las manejadas en charolas de 25 mL a densidades de población mayores (entre 250 y 1,000 plántulas·m²).

A los 60 dds, las plántulas desarrolladas en charolas de 60 cavidades, con volumen de contenedor de 250 mL,

ratio. At 60 das, only highly significant differences in seedling height were detected.

Table 2 shows the comparisons of means of the population density treatments (1,000, 750, 500 and 250 seedlings·m⁻²) that were evaluated in 200-cavity trays with 25 mL capacity per cavity and that were transplanted at 35 das.

Table 2 shows that, at 30 das, seedling height with the lowest density (250 seedlings·m⁻²) was significantly lower than the control (1,000 seedlings·m⁻²); the same occurred with leaf area and leaf area ratio. No statistical differences were detected in stem diameter and dry weight. At 45 and 60 das, the differences in height between these treatments were more notable and statistically significant (5.5 cm difference between the two treatments at 45 das, and 7.5 cm difference at 60 das). These results suggest that with high densities in the seedbed there is competition for light, which favors seedling elongation (Higuchi, Sumitomo, Oda,

también tenían mayor altura (5.3 cm) y mayor diámetro de tallo (0.45 cm) respecto de las plantas desarrolladas en charolas de 200 cavidades, a pesar de que estas últimas ya llevaban 25 días de haber sido trasplantadas y, por lo tanto, estaban en un ambiente menos limitado tanto en la parte aérea como en la raíz. Por el contrario, el área foliar por planta en las charolas de 60 cavidades fue menor en 167 cm², pero en peso no se observaron diferencias estadísticas. Con el mayor volumen de contenedor, la razón de área foliar siguió siendo significativamente menor en 25 cm² (Cuadro 1).

Respecto a las densidades de población en cada volumen de cavidad, los análisis de varianza (datos no mostrados) indican que a los 30 dds se encontraron diferencias altamente significativas para altura de plántula, área foliar y razón de área foliar, pero no para diámetro de tallo ni peso seco de plántula. A los 45 dds, se tuvieron diferencias altamente significativas en altura de plántula, y con el contenedor de 250 mL hubo diferencias significativas en razón de área foliar.

Table 2. Comparisons of means of morphological variables and dry weight in tomato seedlings grown in 25 mL containers at different population densities.

Cuadro 2. Comparaciones de medias de variables morfológicas y peso seco en plántulas de jitomate desarrolladas en contenedores de 25 mL a diferentes densidades de población.

Density (seedlings·m ⁻²)/ Densidad (plántulas·m ⁻²)	Height (cm)/ Altura (cm)	Stem diameter (mm)/ Diámetro de tallo (mm)	Leaf area (cm ²)/ Área foliar (cm ²)	Dry weight (g)/ Peso seco (g)	Leaf area ratio (cm ² ·g ⁻¹)/ Razón de área foliar (cm ² ·g ⁻¹)
30 das/30 dds					
1,000	7.95 a ²	2.77 a	34.25 a	0.52 a	63.7 a
750	7.70 a	2.52 a	22.30 ab	0.35 a	62.1 ab
500	7.50 a	2.55 a	24.25 ab	0.45 a	52.4 bc
250	5.47 b	2.35 a	17.15 b	0.37 a	45.2 c
LSD/DMSH	0.90	0.64	13.08	0.24	10.69
45 das/45 dds					
1,000	20.82 a	4.32 a	134.05 a	0.90 a	146.75 a
750	18.82 b	4.45 a	116.40 a	0.80 a	144.75 a
500	19.50 ab	4.60 a	125.23 a	0.92 a	135.50 a
250	15.27 c	4.17 a	116.40 a	0.90 a	133.00 a
LSD/DMSH	1.97	0.86	50.81	0.25	27.97
60 das/60 dds					
1,000	45.2 a	5.65 a	696.4 a	6.12 a	114 a
750	42.9 ab	5.62 a	673.3 a	6.12 a	110 a
500	44.5 ab	5.97 a	573.3 a	5.27 a	109 a
250	37.7 b	6.02 a	571.8 a	4.97 a	114 a
LSD/DMSH	7.15	0.73	340.95	3.08	29.20

das = days after sowing; LSD = least significant difference. ²Means with the same letter within each column and evaluation date do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

dds = días después de la siembra; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna y fecha de evaluación no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Shimizu, & Hisamatsu, 2012). Therefore, the treatment with a lower population density (250 seedlings·m⁻²) reduced the effect of competition for light, which was manifested as a decrease in seedling height.

From this, it can be inferred that the lower population density generates a pattern of light quality that allows the lower leaves of the canopy, which are usually the most disadvantaged by natural radiation, to also receive sufficient light (Jishi, 2018). In addition, it must be considered that the light inside the canopy is richer in red and blue, colors that when predominant reduce elongation (Tewolde et al., 2018). According to Taiz, Zeiger, Møller, and Murphy (2015), from a certain population density threshold, competition for light causes symptoms of etiolation, with stem elongation being the most visible.

The other variables evaluated did not show statistical differences between densities at 45 and 60 das.

The comparison of means of the population densities of seedlings grown in 60-cavity trays with 250 mL capacity per cavity (Table 3) shows that at 30 das the

A los 60 dds, sólo se detectaron diferencias altamente significativas en altura de plántula.

En el Cuadro 2 se presentan las comparaciones de medias de los tratamientos de densidad de población (1,000, 750, 500 y 250 plántulas·m⁻²) que se evaluaron en charolas de 200 cavidades de 25 mL y que se trasplantaron a los 35 dds.

En el Cuadro 2 se observa que a los 30 dds la altura de plántula con la menor densidad (250 plántulas·m⁻²) fue significativamente menor al testigo (1,000 plántulas·m⁻²); lo mismo ocurrió con el área foliar y la razón de área foliar. En diámetro de tallo y peso seco no se detectaron diferencias estadísticas. A los 45 y 60 dds, las diferencias en altura entre dichos tratamientos fueron más notables y estadísticamente significativas (5.5 cm de diferencia entre ambos tratamientos a los 45 dds, y 7.5 cm de diferencia a los 60 dds). Estos resultados sugieren que con densidades altas en el semillero existe competencia por luz, lo cual favorece la elongación de las plántulas (Higuchi, Sumitomo, Oda, Shimizu, & Hisamatsu, 2012). Por ello, el tratamiento con menor densidad de población

Table 3. Comparisons of means of morphological variables and dry weight in tomato seedlings grown in 250 mL containers at different population densities.

Cuadro 3. Comparaciones de medias de variables morfológicas y peso seco en plántulas de jitomate desarrolladas en contenedores de 250 mL a diferentes densidades de población.

Density (seedlings·m ⁻²)/ Densidad (plántulas·m ⁻²)	Height (cm)/ Altura (cm)	Stem diameter (mm)/ Diámetro de tallo (mm)	Leaf area (cm ²)/ Área foliar (cm ²)	Dry weight (g)/ Peso seco (g)	Leaf area ratio (cm ² ·g ⁻¹)/ Razón de área foliar (cm ² ·g ⁻¹)
30 das / 30 dds					
300	10.57 a ^z	3.77 a	59.47 ab	0.82 a	70.4 ab
200	8.77 b	3.47 a	72.40 a	0.87 a	85.4 a
150	7.52 c	3.30 a	52.57 b	0.80 a	66.9 b
75	7.37 c	3.17 a	50.90 b	0.87 a	60.1 b
LSD/DMSH	0.74	0.63	15.64	0.35	15.78
45 das / 45 dds					
300	44.47 a	6.05 a	230.60 a	1.52 a	158 a
200	35.90 b	5.95 a	239.35 a	1.82 a	130 ab
150	28.67 c	5.60 a	215.48 a	1.80 a	123 bc
75	20.75 d	5.62 a	192.18 a	2.02 a	96.5 c
LSD/DMSH	4.41	0.68	70.93	0.77	31.78
60 das / 60 dds					
300	58.1 a	5.77 a	428.00 a	4.85 a	91.1 a
200	54.8 a	6.37 a	541.28 a	5.90 a	93.2 a
150	42.1 b	6.42 a	457.05 a	5.12 a	90.0 a
75	36.6 b	6.50 a	420.53 a	5.77 a	73.1 a
LSD/DMSH	7.30	0.74	132.58	2.18	31.42

das = days after sowing; LSD = least significant difference. ^zMeans with the same letter within each column and evaluation date do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

dds = días después de la siembra; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna y fecha de evaluación no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

seedlings with the highest density ($300 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$) were significantly taller compared to the rest of the densities, where the height decreased as the seedling density was reduced. Significant decreases were also found in leaf area and leaf area ratio as population density was reduced. Stem diameter and plant dry weight did not show significant differences.

At 45 das, seedling height at the highest density ($300 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$) increased 24 cm with respect to the lowest density ($75 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$). Likewise, leaf area ratio decreased significantly with decreasing density, but in the variables stem diameter, leaf area and dry weight, no statistical differences were found among densities. At 60 das, there were also significant differences in height between the highest and lowest density treatments, while no statistical differences were observed in the rest of the variables. The differences in height are explained by increased seedling competition for light as population density increases, a competition that is accentuated in the late seedbed stages and that causes elongation (Kozai, 2016; Wien, 1999).

All treatments in 60-cavity trays with 250 mL capacity per cavity allowed transplanting up to 60 das, an essential requirement to achieve four growing cycles per year instead of the three that can be achieved with younger transplants (Sánchez-del Castillo et al., 2012). However, the transplant work was more complicated with the seedlings that were handled at high density (300 and $200 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$), because they had greater height (58.1 and 54.8 cm, respectively) and long internodes, so they required immediate tutoring to avoid physical damage to the seedlings. This did not occur in the seedlings grown at the lowest density ($75 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$), which had a transplant height of 36.6 cm. With the density of $150 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$, seedling height at 60 das was 5.5 cm more than with $75 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$, with no statistical difference recorded. In addition, with $150 \text{ seedlings}\cdot\text{m}^{-2}$, 50 % less space is taken up in the seedbed, so this density can also be recommended to achieve four growing cycles per year without affecting seedling quality at transplanting.

Yield variables and components

According to the analyses of variance (data not shown) and comparisons of means, yield variables and components (number of flowers, number of fruits and weight per fruit) were not statistically different between treatments in terms of the cavity volumes studied (Table 4). This indicates that extending transplanting to 60 das in 60-cavity trays with 250 mL capacity per cavity allows shortening the cycle from transplanting to end of harvest to less than 90 days, so that four growing cycles per year can be obtained with tomato plants managed at three clusters without affecting fruit weight and yield per plant.

($250 \text{ plántulas}\cdot\text{m}^{-2}$) redujo el efecto de competencia por luz, lo cual se manifestó como una disminución en la altura de plántula.

Por lo anterior, se puede inferir que la menor densidad de población genera un patrón de calidad de la luz que permite que las hojas inferiores del dosel, que normalmente son las más desfavorecidas por la radiación natural, también reciban luz suficiente (Jishi, 2018). Además, hay que considerar que la luz dentro del dosel es más rica en rojo y azul, colores que cuando predominan reducen la elongación (Tewolde et al., 2018). De acuerdo con Taiz, Zeiger, Møller, y Murphy (2015), a partir de cierto umbral de densidad de población, la competencia por luz ocasiona síntomas de etiolación, siendo la elongación del tallo el más visible.

Las demás variables evaluadas no presentaron diferencias estadísticas entre densidades a los 45 y 60 dds.

La comparación de medias de las densidades de población de plántulas cultivadas en charolas de 60 cavidades de 250 mL de capacidad (Cuadro 3) muestra que a los 30 dds las plántulas con mayor densidad ($300 \text{ plántulas}\cdot\text{m}^{-2}$) tuvieron una altura significativamente mayor con respecto al resto de las densidades; en donde la altura disminuyó conforme se redujo la densidad de plántula. También se encontraron disminuciones significativas en área foliar y en razón de área foliar al reducirse la densidad de población. El diámetro de tallo y el peso seco de planta no mostraron diferencias significativas.

A los 45 dds, la altura de plántula con la mayor densidad ($300 \text{ plántulas}\cdot\text{m}^{-2}$) aumentó 24 cm con respecto a la menor densidad ($75 \text{ plántulas}\cdot\text{m}^{-2}$). Asimismo, la razón de área foliar disminuyó significativamente al reducir la densidad, pero en las variables diámetro de tallo, área foliar y peso seco no se encontraron diferencias estadísticas entre densidades. A los 60 dds, también hubo diferencias significativas en altura entre el tratamiento con mayor y menor densidad, mientras que en el resto de las variables no se observaron diferencias estadísticas. Las diferencias en altura se explican por la mayor competencia de las plántulas por la luz conforme aumenta la densidad de población, competencia que se acentúa en las etapas tardías de semillero y que provoca elongación (Kozai, 2016; Wien, 1999).

Todos los tratamientos en charolas de 60 cavidades con 250 mL de capacidad permitieron el trasplante hasta los 60 dds, requisito indispensable para lograr cuatro ciclos de cultivo al año en lugar de los tres que se pueden alcanzar con trasplantes de menor edad (Sánchez-del Castillo et al., 2012). Sin embargo, la labor del trasplante fue más complicada con las plántulas que se manejaron a alta densidad (300 y $200 \text{ plántulas}\cdot\text{m}^{-2}$), debido a que presentaban mayor altura (58.1 y 54.8 cm,

Table 4. Comparisons of means of yield and its components in tomato seedlings grown in two container volumes.**Cuadro 4. Comparaciones de medias del rendimiento y sus componentes en plántulas de jitomate desarrolladas en dos volúmenes de contenedor.**

Container volume (mL)/ Volumen de contenedor (mL)	Number of flowers per plant/ Número de flores por planta	Number of fruits per plant/ Número de frutos por planta	Fruit weight (g)/ Peso de frutos (g)	Yield (g·plant ⁻¹)/ Rendimiento (g·planta ⁻¹)
25	19 a ^z	18 a	124 a	2249 a
250	19 a	17 a	127 a	2200 a
LSD/DMSH	1.1	1.2	8.1	137.8

LSD = least significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Normally, if seedlings are grown in trays with 25 mL cavities and are transplanted at 35 das, there is a cycle from transplanting to end of harvest of between 110 and 115 days, so that only three complete cycles per year can be achieved with the blunting system to three clusters per plant.

The average yield obtained in seedlings from 60-cavity trays and established at a density of 8 plants·m⁻² under greenhouse conditions was 2,200 g (17.6 kg·m⁻²) in a cycle that lasted 85 days from transplanting to end of harvest. With four cycles per year, on a commercial scale, yields of approximately 700 t·ha⁻¹·yr⁻¹ could be obtained in a greenhouse (with relatively simple technology). This yield is twice what is normally obtained in an annual cycle with a well-managed conventional production system in Mexico (Castellanos & Borbón, 2009), and even slightly higher than that reported in other countries such as the Netherlands with high-tech greenhouses (Heuvelink et al., 2018). Similar yields per cycle, for saladette tomato managed at three clusters per plant at high population density, have been reported in other studies (Sánchez-del Castillo et al., 2012; Sánchez-del Castillo et al., 2014; Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Vázquez-Rodríguez, & González-Núñez, 2017).

Transplanting at 60 das opens up the possibility of establishing four growing cycles per year, without using containers in the seedbed with a large volume of substrate per seedling, which reduces space and facilitates seedbed management and transplantation.

The comparison of means tests of the population density treatments carried out in trays with 25 mL cavities (Table 5) show that there were no significant differences in the yield variables and components. Nor were statistical differences found in these variables when the seedlings were grown in 60-cavity trays with 250 mL capacity per cavity (Table 6).

These last results indicate that, in the range of population densities evaluated in the seedbed, it is

respectivamente) y entrenados largos, por lo que requirieron tutorado inmediato para evitar daños físicos a las plántulas. Esto no ocurrió en las plántulas que crecieron con la menor densidad (75 plántulas·m⁻²), las cuales tuvieron una altura al trasplante de 36.6 cm. Con la densidad de 150 plántulas·m⁻², la altura de plántula a los 60 dds fue 5.5 cm más que con 75 plántulas·m⁻², sin registrarse diferencia estadística. Además, con 150 plántulas·m⁻², el espacio que se ocupa en semillero es 50 % menor, por lo que esta densidad también puede ser recomendada para lograr cuatro ciclos de cultivo al año sin que se afecte la calidad de plántula al trasplante.

Variables de rendimiento y sus componentes

De acuerdo con los análisis de varianza (datos no mostrados) y las comparaciones de medias, las variables de rendimiento y sus componentes (número de flores, número de frutos y peso por fruto) no fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos en cuanto a los volúmenes de cavidad estudiados (Cuadro 4). Lo anterior indica que extender el trasplante hasta los 60 dds en charolas de 60 cavidades con 250 mL de capacidad permite acortar el ciclo de trasplante a fin de la cosecha a menos de 90 días, con lo que se pueden obtener cuatro ciclos de cultivo al año con plantas de jitomate manejadas a tres racimos sin que se afecte el peso de fruto y el rendimiento por planta.

Normalmente, si las plántulas crecen en charolas con cavidades de 25 mL y se trasplantan a los 35 dds se tiene un ciclo de trasplante a fin de cosecha de entre 110 y 115 días, por lo que sólo se pueden lograr tres ciclos completos por año con el sistema de despunte a tres racimos por planta.

El rendimiento promedio obtenido en las plántulas provenientes de charolas de 60 cavidades y establecidas a la densidad de 8 plantas·m⁻² de invernadero fue de 2,200 g (17.6 kg·m⁻²) en un ciclo que duró 85 días de trasplante a fin de cosecha. Con cuatro ciclos por año, a una escala comercial, se podrían obtener en invernadero (con tecnología relativamente sencilla)

Table 5. Comparisons of means of yield and its components in tomato seedlings grown in 25 mL containers at different population densities.

Cuadro 5. Comparaciones de medias del rendimiento y sus componentes en plántulas de jitomate desarrolladas en contenedores de 25 mL a diferentes densidades de población.

Density (seedlings·m ⁻²)/ Densidad (plántulas·m ⁻²)	Number of flowers per plant/ Número de flores por planta	Number of fruits per plant/ Número de frutos por planta	Fruit weight (g)/ Peso de fruto (g)	Yield (g·plant ⁻¹)/ Rendimiento (g·planta ⁻¹)
1,000	19 a ^z	19 a	117 a	2175 a
750	19 a	18 a	128 a	2305 a
500	20 a	18 a	129 a	2325 a
250	19 a	18 a	120 a	2202 a
LSD/DMSH	2.4	3.1	16.7	398.0

LSD = least significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Table 6. Comparisons of means of yield and its components in tomato seedlings grown in 250 mL containers at different population densities.

Cuadro 6. Comparaciones de medias del rendimiento y sus componentes en plántulas de jitomate desarrolladas en contenedores de 250 mL a diferentes densidades de población.

Density (seedlings·m ⁻²)/ Densidad (plántulas·m ⁻²)	Number of flowers per plant/ Número de flores por planta	Number of fruits per plant/ Número de frutos por planta	Fruit weight (g)/ Peso de fruto (g)	Yield (g·plant ⁻¹)/ Rendimiento (g·planta ⁻¹)
300	19 a ^z	18 a	124 a	2232 a
200	19 a	16 a	133 a	2142 a
150	19 a	17 a	127 a	2160 a
75	19 a	18 a	126 a	2300 a
LSD/DMSH	3.0	2.3	26.2	257.9

LSD = least significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

possible to extend the transplant age to 60 das without adverse effects on final yield. This makes it possible to program four growing cycles per year and increase yield by 25 % compared to the three-cycle system.

Regarding population densities of 75 and 150 seedlings·m⁻², the former is recommended because plants of lower height are formed, which facilitates the handling of the plants at the time of transplantation.

Conclusions

Under the conditions in which the experiment was conducted, the volume of the tray cavities and the population densities did not influence the number of flowers or fruits per plant, nor the fruit weight or the final yield per plant.

In the population densities evaluated in 60-cavity trays with 250 mL capacity per cavity, the 60 das seedlings were successfully transplanted and without adverse effects on growth and yield per plant.

rendimientos de aproximadamente 700 t·ha⁻¹·año⁻¹. Dicho rendimiento es el doble de lo que normalmente se obtiene en un ciclo anual con un sistema de producción convencional bien manejado en México (Castellanos & Borbón, 2009), e incluso un poco mayor al reportado en otros países como Holanda con invernaderos de alta tecnología (Heuvelink et al., 2018). Rendimientos similares por ciclo, para jitomate saladette a tres racimos por planta en alta densidad de población, han sido reportados en otros trabajos (Sánchez-del Castillo et al., 2012; Sánchez-del Castillo et al., 2014; Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Vázquez-Rodríguez, & González-Núñez, 2017).

El trasplante a los 60 dds abre la posibilidad de establecer cuatro ciclos de cultivo al año, sin utilizar contenedores en semillero con mucho volumen de sustrato por plántula, lo cual reduce el espacio y facilita el manejo del semillero y el trasplante.

Las pruebas de comparación de medias de los tratamientos de densidad de población manejados en

For ease of handling, the 60-cavity trays with 250 mL capacity per cavity and the density of 75 seedlings·m⁻² were the most suitable because shorter plants were produced.

End of English version

References / Referencias

- Castellanos, Z. J., & Borbón, C. M. (2009). Panorama de la horticultura protegida en México. In: Castellanos, Z. J. (Ed), *Manual de producción de tomate en invernadero* (pp. 1-18). Guanajuato, México: INTAGRI.
- Heuvelink, E., Li, T., & Dorais, M. (2018). Crop growth and yield. In: Heuvelink, E. (Ed), *Tomatoes* (pp. 89-136). Wallingford, UK: CABI.
- Heuvelink, E., & Okello, R. C. (2018). Developmental processes. In: Heuvelink, E. (Ed), *Tomatoes* (59-88). Wallingford, UK: CABI.
- Higuchi, Y., Sumitomo, K., Oda, A., Shimizu, H., & Hisamatsu, T. (2012). Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering. *Journal of Plant Physiology*, 169(18), 1789-1796. doi: 10.1016/j.jplph.2012.07.003
- Jishi, T. (2018). LED lighting technique to control plant growth and morphology. In: Kosai, T. (Ed). *Smart plant factory* (pp. 11-22). Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-13-1065-2_14
- Kozai, T. (2016). Transplant production in closed systems. In: Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.), *Plant factory* (pp. 237-250). California, USA: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-801775-3.00019-6
- López-Valencia, M., Sánchez-del Castillo, F., & Contreras-Magaña, E. (2002). Efecto de Cycocel y B-9 sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 8(2), 161-170. doi: 10.5154/r.rchsh.1999.03.025
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic food production*. Florida, USA: CRC Press.
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M., & Inouye, D. W. (1987). Restricted root zone volume: influence on growth and development of tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(5), 763-769.
- Sakurai, K., Ogawa, A., Kawashima, C., & Chino, M. (2007). Effects of biodegradable seedling pots on growth and nutrient concentration of tomato plants 2. Growth and nutrient concentration after transplanting. *Horticultural Research*, 4(3), 275-279. doi: 10.2503/hrj.4.275
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., & Contreras-Magaña, E. (2012). Development of alternative crop systems for commercial production of vegetables in hydroponics - I: Tomato. *Acta Horticulturae*, 947, 179-187. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.947.22
- charolas con cavidades de 25 mL (Cuadro 5) muestran que no hubo diferencias significativas en las variables de rendimiento y sus componentes. Tampoco se encontraron diferencias estadísticas en dichas variables cuando las plántulas se manejaron en charolas de 60 cavidades con 250 mL de capacidad (Cuadro 6).
- Estos últimos resultados indican que, en el intervalo de las densidades de población evaluadas en semillero, es posible prolongar la edad de trasplante hasta los 60 dds sin efectos adversos en el rendimiento final. Lo anterior hace posible programar cuatro ciclos de cultivo al año e incrementar el rendimiento en 25 % en comparación con el sistema de tres ciclos.
- En las densidades de población de 75 y 150 plántulas·m⁻² es recomendable la primera debido a que se forman plantas de menor altura, lo que facilita la manipulación de las plantas al momento del trasplante.

Conclusiones

Bajo las condiciones en que se realizó el experimento, el volumen de cavidad de las charolas y las densidades de población no influyeron en el número de flores o frutos por planta, ni en el peso de fruto o el rendimiento final por planta.

En las densidades de población evaluadas en charolas de 60 cavidades con 250 mL de capacidad, las plántulas de 60 dds se trasplantaron con éxito, y sin efectos adversos en el crecimiento y el rendimiento por planta.

Por facilidad de manejo, las charolas de 60 cavidades con 250 mL de capacidad y la densidad de 75 plántulas·m⁻² fueron las más adecuadas debido a que se desarrollaron plantas de menor altura.

Fin de la versión en español

- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., Pineda-Pineda, J., Osuna, J. M., Rodríguez-Pérez, J. E., & Osuna-Encino, T. (2014). Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia*, 48(2), 185-197. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n2/v48n2a5.pdf>
- Sánchez-del Castillo, F., & Moreno-Pérez, E. C. (2017). *Diseño agronómico y manejo de invernaderos*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., Vázquez-Rodríguez, J. C., & González-Núñez, M. A. (2017). Densidades de población y niveles de despunte para variedades contrastantes de jitomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(3), 163-174. doi: 10.5154/r.rchsh.2017.01.003

- SAS Institute. (2002). *SAS/STAT users guide version 9.1*. New York, USA: Author.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). *Atlas agroalimentario*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Retrieved from https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. Massachusetts, USA: Sinauer Associates, Inc. Publisher.
- Tewolde, F. T., Shiina, K., Maruo, T., Takagaki, M., Kozai, T., & Yamori, W. (2018). Supplemental LED inter-lighting compensates for a shortage of light for plant growth and yield under the lack of sunshine. *PLoS ONE*, 13(11), 1-14. doi: 10.1371/journal.pone.0206592
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. doi: 10.13140/RG.2.1.1940.0724
- Wien, H. C. (1999). Transplanting. In: Wien, H. C. (Ed), *The physiology of vegetable crops* (pp. 37-67). New York, USA: CABI Publishing.