

# DENSIDAD DE POBLACIÓN Y VOLUMEN DE SUSTRATO EN PLÁNTULAS DE JITOMATE (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.)

## POPULATION DENSITY AND SUBSTRATE VOLUME ON TOMATO SEEDLINGS (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.)

Felipe Sánchez-del Castillo<sup>1</sup>, Esaú del C. Moreno-Pérez<sup>1\*</sup>, Antonio Morales-Maza<sup>2</sup>,  
Aureliano Peña-Lomelí<sup>1</sup>, María T. Colinas-León<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5, Carretera México-Texcoco. 56230. Chapingo, Estado de México. (esaump10@yahoo.com.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de Mexicali, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera a San Felipe, Km. 7.5. Colonia Colorado Dos. 21700. Mexicali, Baja California, México.

### RESUMEN

En semilleros convencionales de jitomate (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.), con el uso de charolas de cavidades pequeñas, las plántulas sufren efectos fisiológicos y morfológicos negativos en respuesta al sombreado mutuo provocado por la alta densidad de plántulas y a la reducción del volumen para el crecimiento de la raíz, factores que se agudizan hacia el final de la etapa de semillero. El objetivo del presente estudio fue evaluar en invernadero los efectos de densidad de población y volumen de sustrato en semillero, sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas de jitomate cultivar Charleston, y después del trasplante, sobre el número de flores de las tres primeras inflorescencias como una estrategia para incrementar el rendimiento bajo un sistema de producción basado en tres racimos por planta. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con un arreglo factorial 2<sup>4</sup>: combinación de cuatro densidades de plantación (480, 720, 960 y 1200 plántulas m<sup>-2</sup>) y cuatro volúmenes de sustrato (12.3, 36.8, 61.4 y 85.9 cm<sup>3</sup>) definidos por su profundidad. El sustrato del semillero fue una mezcla de perlita:vermiculita 1:1 (v/v). Se realizó un análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey (p≤0.05). Después de 37 d de la siembra, la altura de plántula y el número de hojas fueron mayores en la menor densidad (480 plántulas m<sup>-2</sup>). La densidad mayor (1200 plántulas m<sup>-2</sup>) provocó una menor área foliar y biomasa de tallo, raíces y total en las plántulas, así como una disminución del número de frutos en el primer racimo. Los contenedores con volumen de 12.3 cm<sup>3</sup> redujeron la altura de la plántula y el número de flores en la primera inflorescencia, respecto a los contenedores

### ABSTRACT

In conventional tomato (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.) nurseries, with the use of trays of small cavities, the seedlings suffer physiological and morphological negative effects in response to mutual shading caused by high density of seedlings and reduction of volume for root growth, factors which are exacerbated at the end of the nursery stage. The aim of this study, in a greenhouse, was to evaluate the effects of population density and substrate volume in nursery on growth and development of tomato seedlings, Charleston cultivar, and after transplanting, on the number of flowers of the three first inflorescences as a strategy to increase performance under a production system based on three clusters per plant. The experimental design was a randomized complete block with a factorial 2<sup>4</sup> arrangement: the combination of four densities of plantation (480, 720, 960 and 1200 seedlings m<sup>-2</sup>) and four volumes of substrate (12.3, 36.8, 61.4 and 85.9 cm<sup>3</sup>) defined by its depth. In nursery the substrate was a mixture of perlite: vermiculite 1:1 (v/v). A variance analysis was performed and treatment means were compared using the Tukey test (p≤0.05). Seedling height and number of leaves were higher in the lowest density (480 seedlings m<sup>-2</sup>) 37 d after sowing. The highest density (1200 seedlings m<sup>-2</sup>) caused a lower foliar area and biomass of stem, roots and total in the seedlings, as well as a decrease in the number of fruits in the first cluster. The containers with volume of 12.3 cm<sup>3</sup> reduced the seedling height and the number of flowers in the first inflorescence, respect to containers of 85.9 cm<sup>3</sup>. It is concluded that seedling vigor can be increased by reducing sowing density which increases number of flowers and fruits in plants with a three clusters system.

\*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2011. Aprobado: enero, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 46: 255-266. 2012.

de 85.9 cm<sup>3</sup>. Se concluye que se puede aumentar el vigor de las plántulas, disminuyendo la densidad de siembra lo cual aumenta el número de flores y frutos en plantas con un sistema de tres racimos.

**Palabras clave:** floración, trasplante, condiciones ambientales, manejo.

## INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Lycopersicon lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más importantes mundialmente y su producción se ha triplicado en las últimas cuatro décadas; en 2003 la producción fue 110 millones t en 4.2 millones ha (Costa y Heuvelink, 2005). En 2010, el área para esta especie en México fue 54 238 ha y una producción de 2 058 428 t (SIAP, 2011). Castellanos y Borbón (2009) indican que hay alrededor de 4000 ha en invernaderos con un rendimiento promedio de 200 t ha<sup>-1</sup>.

La producción en invernadero se caracteriza por usar cultivares con hábito indeterminado con la eliminación de brotes laterales, en ciclos de cultivo largos (hasta 11 meses), con 15 a 25 racimos por planta y densidades de población de 2 a 3 plantas m<sup>-2</sup> (Santos y Sánchez, 2003). Se ha estudiado (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez y Ponce, 1998) el desarrollo de paquetes tecnológicos alternativos con despuntes tempranos y la poda de brotes laterales para dejar sólo uno, dos o tres racimos por planta. La producción menor por planta se compensa con densidades altas de 7 a 18 plantas m<sup>-2</sup> según el nivel de despunte. Esto es posible debido a que cada planta manejada así, desarrolla una menor área foliar y además acorta su ciclo de cultivo (de trasplante a fin de cosecha) a un máximo de tres meses. La producción se concentra en un intervalo muy corto que puede coincidir con las fechas de mejores precios en el mercado. Así, pueden obtenerse hasta cuatro ciclos de cultivo por año, con productividad anual mayor. Además, es un sistema adaptable a invernaderos de menor altura, por tanto con estructuras menos costosas; así se logra rentabilidad económica mayor respecto al sistema convencional (Sánchez *et al.*, 1998). La densidad óptima para rendimiento y calidad máximos para este sistema se evaluó (Sánchez y Corona, 1994; Ponce *et al.*, 2000) y el rendimiento está basado en pocos

**Key words:** flowering, transplant, environmental conditions, management.

## INTRODUCTION

Tomato (*Lycopersicon lycopersicum* Mill.) is one of the most important vegetable crops worldwide and its production has tripled in the last four decades; in 2003 production was 110 million t from 4.2 million ha (Costa and Heuvelink, 2005). In 2010, the area for this species in México was 54 238 ha with a production of 2 058 428 t (SIAP, 2011). Castellanos and Borbón (2009) indicate there are about 4000 ha in greenhouses with an average yield of 200 t ha<sup>-1</sup>.

Greenhouse production is characterized by using cultivars of indeterminate habit cutting off lateral buds, in long crop cycles (up to 11 months), with 15 to 25 clusters per plant and population densities between 2 and 3 plants m<sup>-2</sup> (Santos and Sánchez, 2003). It has been studied (Sánchez and Corona, 1994, Sanchez *et al.*, 1998, Sanchez and Ponce, 1998) the development of alternative technology packages with early trimming and pruning of side shoots, leaving only one, two or three clusters per plant. The lower production per plant is offset by high densities, 7 to 18 plants m<sup>-2</sup> according to the level of pinching. This is possible since each plant well managed, develops less leaf area and also shortens the growing season (from transplant to harvest) to a maximum of three months. Production is concentrated in a very short interval that can be coincident with the dates of best prices in the market. Thus, up to four crop cycles per year can be obtained with a higher annual productivity. It is also an adaptable system to lower height greenhouses, therefore with less expensive structures; thus, greater economic profits are achieved compared to conventional systems (Sánchez *et al.*, 1998). The optimum density was studied for maximum yield and quality for this system (Sánchez and Corona, 1994; Ponce *et al.*, 2000) and performance is based on few clusters per plant, whereby it is proposed that one possible way to increase production is promote growth and number of flowers and fruits per cluster.

The flowering of tomato plant occurs in simple or branched clusters forming inflorescences called corymbs or racemose cymes: 3 to 10 flowers in each simple inflorescence are usual, although many more

racimos por planta, por lo cual una vía posible para aumentar la producción es promover el crecimiento y cantidad de flores y frutos por racimo.

La floración del jitomate ocurre como racimos simples o ramificados que forman inflorescencias llamadas corimbos o cimas racimosas: lo normal es 3 a 10 flores en cada inflorescencia simple, aunque se pueden formar muchas más (Kinet y Peet, 1999). El número de flores es influenciado por las condiciones del ambiente de la parte aérea y de la raíz que intervienen en las relaciones de la fuente y la demanda de los órganos en crecimiento desde la iniciación floral (Atherton y Harris, 1986; Kinet y Peet, 1999).

El crecimiento de hojas, entrenudos y raíces provoca una competencia por fotoasimilados al momento de la iniciación floral en el ápice, pero en condiciones de limitación puede causar el aborto de primordios florales y por tanto se forman menos flores por inflorescencia (Kinet y Peet, 1999). Según Charles-Edwards *et al.* (1986), cada flor que se inicia requiere una tasa mínima de asimilados durante sus etapas iniciales de desarrollo para no abortar y crecer normalmente hasta antesis.

La primera inflorescencia inicia en el ápice aproximadamente cuando la tercera hoja de la plántula en semillero tiene apenas 1 cm de longitud y las hojas cotiledonares están completamente expandidas (Atherton y Harris, 1986). En esta etapa la baja disponibilidad de fotoasimilados, que eventualmente puede ser causada por altas densidades de plántulas o reducidos volúmenes de sustrato para el crecimiento de la raíz, puede causar el aborto de varios primordios florales (Kinet y Peet, 1999). Según Atherton y Harris (1986) y Kinet y Peet (1999), el número de flores por inflorescencia aumenta al reducir la competencia de los órganos vegetativos que crecen en el momento de la iniciación y crecimiento. Por tanto, al mejorar las condiciones ambientales de las plántulas en semillero se favorece la producción de asimilados y su distribución a favor de la inflorescencia, crecimiento y desarrollo de las plántulas (Ando *et al.*, 2003).

En México, el sistema predominante de producción de plántulas de jitomate para trasplante a campo abierto, que se extendió a invernadero, se basa en usar charolas de 200 cavidades que generan una densidad de 1200 plántulas  $\text{m}^{-2}$  (Pérez *et al.*, 2006). Según Vavrina y Orzolek (1993), su popularidad

may be formed (Kinet and Peet, 1999). The number of flowers is influenced by environmental conditions of the shoot and root involved in the source-sink relationships of the growing organs from floral initiation onwards (Atherton and Harris, 1986; Kinet and Peet, 1999).

The growth of leaves, internodes and roots cause a competition for photo-assimilates at the time of floral initiation at the apex, but with limiting conditions can cause abortion of floral primordia and consequently fewer flowers per inflorescence are formed (Kinet and Peet, 1999). According to Charles-Edwards *et al.* (1986), each flower that is being initiated requires a minimum rate of assimilates during early stages of development to not abort and grow normally until anthesis.

The first inflorescence is initiated in the apex approximately when the third leaf of the seedling in nursery is only 1 cm long and the cotyledonary leaves are fully expanded (Atherton and Harris, 1986). At this stage the low availability of photo-assimilates, which eventually can be caused by high densities of seedlings or small substrate volumes for root growth, can cause abortion of several floral primordia (Kinet and Peet, 1999). According to Atherton and Harris (1986) and Kinet and Peet (1999), the number of flowers per inflorescence is increased when the competition of the vegetative organs growing at the time of initiation and growth of flowers is reduced. Therefore, by improving environmental conditions of the seedlings in the nursery increases the production and distribution of assimilates in favor of the inflorescence, growth and development of seedlings (Ando *et al.*, 2003).

In México, the predominant production system of tomato seedlings to transplant into the open field, which then was spread to greenhouses, is based on the use of 200 cavities trays which produce a density of 1200 seedlings  $\text{m}^2$  (Pérez *et al.*, 2006). According to Vavrina and Orzolek (1993), their popularity for growers is due to the fact that they have small cells (about 25  $\text{cm}^3$ ) that increase the production of seedlings per surface unit, thus maximizing the number of seedlings per unit area and use less substrate per cavity and little greenhouse space. However, the physiological and morphological needs are not considered for optimal development of the seedlings nor the effects related to the growth and yields are analyzed when transplanted. By using

para los agricultores se debe a sus celdas pequeñas (alrededor de 25 cm<sup>3</sup>) que aumentan la producción de plántulas por unidad de superficie, y así maximizan el número de plántulas por unidad de área y usan menor cantidad de sustrato por cavidad y poco espacio de invernadero. Sin embargo, no se consideran las necesidades fisiológicas y morfológicas para el desarrollo óptimo de las plántulas ni se analizan los efectos relacionados con el crecimiento y el rendimiento al ser trasplantadas. Al usar cavidades pequeñas las plántulas sufren efectos fisiológicos y morfológicos negativos como etiolación de la parte aérea e hipoxia de la raíz, en respuesta al sombreado mutuo provocado por la alta densidad de plántulas y la reducción del volumen para el crecimiento de la raíz, factores que se agudizan hacia el final de la etapa de semillero, lo cual afecta la calidad y comportamiento posterior al trasplante (Sakurai *et al.*, 2007). El tamaño de las cavidades y la densidad de población para manejar las plántulas en semillero influyen en su vigor, crecimiento y desarrollo (Nesmith y Duval, 1998). Cooper *et al.* (2002) señalan que al aumentar el volumen de la cavidad, se incrementa la precocidad en la floración y en la cosecha.

El incremento en el volumen de la cavidad causa aumentos en el crecimiento de las raíces, brotes apicales, acumulación de biomasa, tasa de fotosíntesis, contenido de clorofila en las hojas, absorción de nutrimentos, respiración y rendimiento de las plantas (Cantliffe, 1993; Nesmith y Duval, 1998). Sin embargo, evaluar en semillero el efecto del volumen de sustrato sobre el crecimiento y desarrollo de la raíz de las plántulas es metodológicamente difícil y puede causar errores al interpretar los resultados. Ello se debe a que al cambiar las dimensiones del contenedor para aumentar el volumen de sustrato por plántula, se reduce la densidad de población de plántulas; por tanto, la intercepción de radiación solar de las plántulas aumenta al haber más espacio entre ellas, afectando también el crecimiento y desarrollo (mayor tasa de fotosíntesis y de producción de asimilados). Al final es difícil evaluar si los efectos son causados por un mayor volumen de sustrato por plántula o una menor densidad de población o por ambos factores.

Una manera de estudiar separadamente los efectos del volumen de sustrato y de la densidad de población es usando contenedores que al aumentar su volumen permitan manejar la misma densidad de población.

small cavities seedlings suffer negative physiological and morphological effects such as etiolation of the shoot and root hypoxia, in response to mutual shading caused by high density of seedlings and the reduction of the volume for root growth, factors that are exacerbated by the end of the nursery stage, which affects the quality and performance after transplantation (Sakurai *et al.*, 2007). The size of cavities and population density with which the seedlings in nursery are managed, influences their vigor, growth and develop (Nesmith and Duval, 1998). Cooper *et al.* (2002) point out that when increasing the cavity volume, the precocity in flowering and harvesting is increased.

The increase in the volume of the cavity causes increases in root growth, apical shoots, biomass accumulation, and photosynthesis rate, chlorophyll content in leaves, nutrient uptake, respiration and plant performance (Cantliffe, 1993; Nesmith and Duval, 1998). However, to evaluate in a nursery the effect of substrate volume on growth and development of the root of seedlings, is methodologically difficult and can cause errors in interpretation of results. This is due to the fact that changing the dimensions of the container to increase the substrate volume per seedling, the density of seedlings is reduced; therefore, interception of solar radiation of the seedlings is increased by having more space between them, affecting also the growth and development (higher rate of photosynthesis and assimilate production). At the end it is difficult to assess whether the effects are caused by a higher substrate volume per seedling or a lower population density or both.

One way to study separately the effects of substrate volume and population density is using containers that, by increasing their volume, allow the management of the same population density. This increased volume is achieved only by increasing depth without affecting the diameter in containers with round base, or width and length if the base is square or rectangular.

The aim of this work was to study in tomato seedlings, the effect of population density and different substrate volumes on growth and development indicators, particularly in relation to the number of flowers per inflorescence reaching anthesis in the first three inflorescences. The hypothesis was that with a higher substrate volume per seedling combined with low population densities, seedlings with greater

Este incremento del volumen se logra sólo mediante un aumento de la profundidad sin afectar el diámetro en contenedores con base redonda, o el ancho y largo si la base es cuadrada o rectangular.

El objetivo del presente estudio fue evaluar en plántulas de jitomate el efecto de la densidad de población y de distintos volúmenes de sustrato sobre indicadores del crecimiento y desarrollo, particularmente con relación al número de flores por inflorescencia que llegan a antesis en las tres primeras inflorescencias. La hipótesis fue que con un mayor volumen de sustrato por plántula combinado con bajas densidades de población, se obtienen plántulas con mayor vigor al trasplante y en su desarrollo producirán más flores por inflorescencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó de mayo a octubre del 2008. La fase de semillero se estableció en un invernadero de cristal y la fase de producción en un invernadero con estructura metálica y cubierta de polietileno, ambos ubicados en la Universidad Autónoma Chapingo, a 19° 29' N, 98° 53' O y una altitud de 2251 m. El material vegetal fue el híbrido comercial *Charleston*, de la empresa Rogers (Syngenta), el cual pertenece a los tomates de tipo *beef*.

### Fase de semillero

El sustrato usado en semillero fue una mezcla de perlita-vermiculita en proporción 1:1 (v/v). Los contenedores del sustrato para las plántulas fueron contruidos con tubos de PVC de 2.5 cm de diámetro cortados a diferentes alturas para proporcionar los volúmenes de sustrato indicados para cada tratamiento.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en un arreglo factorial de tratamientos: 1) cuatro volúmenes de sustrato para las plántulas (12.3, 36.8, 61.4 y 85.9 cm<sup>3</sup>) definidos por su profundidad (2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm) y diámetro interior (2.54 cm); 2) con cuatro densidades de población (480, 720, 960 y 1200 plántulas m<sup>-2</sup>). Cada tratamiento tuvo 25 plántulas, 15 se usaron como bordo y 10 en competencia completa constituyendo la unidad experimental. La densidad más alta y el volumen de sustrato por plántula más pequeño fueron los testigos porque representan las condiciones comerciales estándar de producción de plántulas de jitomate. El volumen de sustrato se definió con base en la profundidad de la cavidad, para permitir la evaluación del efecto de un volumen de sustrato diferente para la raíz a una misma densidad de población.

vigor are obtained at transplanting and that in their development they will produce a higher number of flowers per inflorescence.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted from May to October, 2008. The seedling stage was established in a glass greenhouse and the production stage in a greenhouse with metal frame and polyethylene cover, both located at the Universidad Autónoma Chapingo, 19° 20' N, 98° 53' W and an altitude of 2251 m. The plant material was the commercial hybrid *Charleston*, of the Rogers Company (Syngenta), which belongs to the *beef*-type tomatoes.

### Nursery stage

The substrate used in the nursery was a mixture of perlite-vermiculite in 1:1 ratio (v/v). Substrate containers for seedlings were constructed with PVC tubes of 2.5 cm in diameter cut at different heights to provide the indicated substrate volumes for each treatment.

The experimental design was randomized complete block with four replications in a factorial arrangement of treatments: four volumes of substrate for seedlings (12.3, 36.8, 61.4 and 85.9 cm<sup>3</sup>) defined by their depth (2.5, 7.5, 12.5 and 17.5 cm) and inside diameter (2.54 cm), combined with four population densities (480, 720, 960 and 1200 seedlings m<sup>-2</sup>). Each treatment had 25 seedlings, of which 15 were used as border and 10 in complete competition constituting the experimental unit. The higher density and the lower substrate volume per seedling were the controls because they represent the standard commercial conditions of tomato seedling production. The reason for defining the substrate volume was defined based on the cavity depth in order to evaluate the effect of a different substrate volume for the root to a same population density.

Temperature was controlled in the nursery between 25 to 30 °C during the day and 15 to 20 °C overnight. In the first stages of emergence three irrigations were applied per day with water without fertilizer; when the first true leaves occurred, two irrigations were applied daily with a nutrient solution with the following mineral concentrations (mg L<sup>-1</sup>): N 250, P 50, K 250, Ca 250, Mg 50, Fe 2, Mn 0.5, B 0.5, Cu 0.1 and Zn 0.1 (Sanchez *et al.*, 1998). For a uniform irrigation in all treatments there was a drain of 20 % of the volume of solution applied.

The variables evaluated at 37 d after sowing (das) were: stem diameter, using an electronic caliper (Mitutoyo, Model CD-6 CS, USA); seedling height, from the stem base to apex; number

En el semillero se controló la temperatura para mantener 25 a 30 °C en el día y 15 a 20 °C en la noche. En las primeras etapas de la emergencia se aplicaron tres riegos por día con agua sin fertilizante; al aparecer las primeras hojas verdaderas se aplicaron dos riegos por día con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de minerales ( $\text{mg L}^{-1}$ ): N 250, P 50, K 250, Ca 250, Mg 50, Fe 2, Mn 0.5, B 0.5, Cu 0.1 y Zn 0.1 (Sánchez *et al.*, 1998). Para un riego uniforme en todos los tratamientos hubo un drenado de 20 % del volumen de solución aplicado.

Las variables evaluadas 37 d después de la siembra (dds) fueron: diámetro de tallo, con un vernier electrónico (Mitutoyo, Modelo No. CD-6 CS, EE.UU.); altura de plántula, de la base del tallo hasta el ápice; número de hojas; área foliar, con un integrador de área foliar LI-3000A (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EE.UU.); contenido total de clorofila de la hoja, con un medidor de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japón); longitud de raíces; volumen de raíz, evaluado por desplazamiento de volumen en agua; peso seco de hoja, tallo y raíces medido después de 72 h en una estufa de flujo continuo a 70 °C.

#### Fase de trasplante a cosecha

Se inició a partir del trasplante (37 dds), en un invernadero con cubierta exterior de polietileno y piso cubierto con una tela blanca permeable de polipropileno. El sustrato fue arena volcánica (tezontle rojo) con partículas de 3 a 5 mm de diámetro. Los contenedores fueron bolsas de polietileno blanco-negro (40×45 cm) llenadas con 15 L de sustrato. Para los riegos se usaron goteros ( $4 \text{ L h}^{-1}$ ) con cuatro derivaciones, una por maceta. En promedio eran cuatro riegos diarios de 15 min cada uno con la solución nutritiva indicada anteriormente. El trasplante se hizo a una densidad de 7.4 plantas  $\text{m}^{-2}$ , al colocar dos plantas por bolsa a 30 cm entre bolsas y a 60 cm entre las hileras de bolsas; cada doble hilera de bolsas separadas por pasillos de 1.20 m de ancho. En las plantas se eliminaron los brotes laterales para dejar un solo tallo principal, y en los ápices o yemas terminales se eliminaron dos hojas por arriba de la tercera inflorescencia. Las plantas se guiaron individualmente con rafia desde los 8 d después del trasplante.

El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones, cada bloque tenía plantas de cada uno de los 16 tratamientos asignados en el semillero, y la unidad experimental fue de ocho plantas. Con los datos obtenidos en ambas fases se realizaron análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), usando SAS (2004).

of leaves; leaf area, measured with an integrator of leaf area LI-3000A (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA); total chlorophyll content of the leaf, using a chlorophyll meter SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japan); length of roots; root volume, measured by volume displacement in water; dry weight of leaf, stem and roots measured after 72 h in a continuous flow stove at 70 °C.

#### Stage of transplant to harvest

It was started after transplantation (37 das), in a greenhouse with an external polyethylene cover and ground covered with a permeable white cloth of polypropylene. The substrate was volcanic sand (red tezontle) with particles of 3 to 5 mm in diameter. The containers were white-black polyethylene bags (40×45 cm) filled with 15 L of substrate. For irrigation drippers ( $4 \text{ L h}^{-1}$ ) with four derivatives were used, one per pot. On average four irrigations were applied daily 15 min each one with the nutrient solution described above. The transplant was done at a density of 7.4 plants  $\text{m}^{-2}$ , by placing two plants per bag at 30 cm between bags and at 60 cm between the rows of bags; each double row of bags separated by aisles of 1.20 m wide. In plants, lateral buds were removed to leave only one main stem and on the apices or terminal buds were removed two leaves above the third inflorescence. The plants were guided individually with raffia from eight days after transplantation.

The experimental design was a randomized block with four replications, each block was formed with plants from each of the 16 treatments allocated in the nursery, and the experimental unit consisted of eight plants. With the data obtained in both phases variance analyses were performed and means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ), using SAS (2004).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Nursery stage

In the variance analyses (data not shown) no significant effect was found of the interaction for any of the variables; therefore, the analysis of results focused on the effects of main factors. Thus, there were significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among density treatments for seedling height measured at the 37 das, where lower densities (480 and 720 seedlings  $\text{m}^{-2}$ ) had higher values respect to those of higher density (960 and 1200 seedlings  $\text{m}^{-2}$ ). The number of leaves was similar, and there was a significant difference only for density of 960 (Table 1). On the contrary, the chlorophyll content was significantly lower for

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fase de semillero

En los análisis de varianza (datos no mostrados) no se encontró efecto significativo de la interacción para ninguna de las variables, por lo cual el análisis de los resultados fue para los efectos de los factores principales. Así, hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos de densidad para altura de plántula medida a los 37 dds, donde las densidades menores (480 y 720 plántulas  $m^{-2}$ ) tuvieron valores más altos respecto a los de mayor densidad (960 y 1200 plántulas  $m^{-2}$ ). El número de hojas fue similar y sólo hubo diferencia significativa para la densidad de 960 (Cuadro 1). Por el contrario, el contenido de clorofila fue significativamente menor para las plántulas manejadas a la menor densidad, debido posiblemente a que en condiciones de sombreado la clorofila tiende a aumentar (Taiz y Zeiger, 2002; Lambers *et al.*, 2008).

Las plántulas manejadas en baja densidad fueron más altas no por elongación o por etiolación, sino probablemente por una mayor tasa de producción de materia seca por mejores condiciones de iluminación (menos sombra entre ellas al estar más separadas una

seedlings managed to lower density, possibly due to the fact that under shading conditions chlorophyll tends to increase (Taiz and Zeiger, 2002, Lambers *et al.*, 2008).

Seedlings managed at low density were higher as a result not of elongation by etiolation but probably of a higher rate of dry matter production by better light conditions (less shade between them being more separated from each other) and the tendency to a larger formation of more leaf area per plant (Table 1), all of which indicates a greater vigor.

The seedling height was 24.08 % higher with a substrate volume of 85.9 %  $cm^3$ , as compared to 12.3  $cm^3$ . This result agrees with that reported by Ruff *et al.* (1987) who consider that space limitation for root development causes a short and branched root development and a lower production and translocation of cytokinins, which are growth regulators required in the cell division processes at the aerial apex.

Leaves of seedlings which grew in the volume of 12.3  $cm^3$  showed a higher chlorophyll content ( $p \leq 0.05$ ) than that of seedlings in 61.4 and 85.9  $cm^3$ . This could be explained as an effect of dilution by the increased growth in height of seedlings handled in containers with more capacity, although there were no differences in either leaf area or dry weight.

**Cuadro 1. Comparaciones de medias de variables morfológicas y contenido de clorofila en plántulas de jitomate, a los 37 días después de la siembra.**

**Table 1. Mean comparison of morphological variables and chlorophyll content in tomato seedlings, at 37 days after sowing.**

| Fuente de variación                         | Diámetro de tallo (mm) | Altura de plántulas (cm) | Número de hojas | Clorofila (unidades SPAD) | Volumen de raíces ( $cm^3$ ) |
|---------------------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|
| Densidad (plántulas $m^{-2}$ ) <sup>†</sup> |                        |                          |                 |                           |                              |
| 480                                         | 4.04 a                 | 17.47 a                  | 4.90 a          | 47.85 b                   | 1.78 a                       |
| 720                                         | 4.01 a                 | 16.82 a                  | 4.84 a          | 50.19 a                   | 1.64 a                       |
| 960                                         | 3.73 a                 | 12.50 b                  | 4.46 b          | 51.04 a                   | 1.85 a                       |
| 1200                                        | 3.80 a                 | 12.63 b                  | 4.75 ab         | 51.04 a                   | 1.43 a                       |
| (Tukey; $p \leq 0.05$ )                     | 0.35                   | 2.95                     | 0.37            | 2.16                      | 0.52                         |
| Volumen de sustrato ( $cm^3$ ) <sup>‡</sup> |                        |                          |                 |                           |                              |
| 12.3                                        | 3.77 a                 | 12.37 b                  | 4.75 a          | 52.26 a                   | 1.78 a                       |
| 36.8                                        | 3.75 a                 | 14.39 ab                 | 4.59 a          | 51.03 ab                  | 1.62 a                       |
| 61.4                                        | 4.04 a                 | 16.38 a                  | 4.84 a          | 49.18 bc                  | 1.71 a                       |
| 85.9                                        | 4.01 a                 | 16.29 a                  | 4.78 a          | 47.67 c                   | 1.59 a                       |
| (Tukey; $p \leq 0.05$ )                     | 0.35                   | 2.95                     | 0.37            | 2.16                      | 0.52                         |

a,b,c Medias con distinta literal para cada factor en una columna, son diferentes ( $p \leq 0.05$ ). <sup>†</sup>Valores promediados considerando todos los niveles de volumen de sustrato. n=4. <sup>‡</sup>Valores promediados considerando todos los niveles de densidad. n=4. <sup>§</sup>a,b,c Means with different letter for each factor in a column are different ( $p \leq 0.05$ ). <sup>†</sup>Averaged values considering all levels of substrate volume. n=4. <sup>‡</sup>Averaged values considering all density levels. n=4.

de otra) y a la tendencia de formación de más área foliar por planta (Cuadro 1), todo lo cual indica un mayor vigor.

La altura de las plántulas fue 24.08 % superior con un volumen de sustrato de 85.9 cm<sup>3</sup>, comparado con 12.3 cm<sup>3</sup>. Esto concuerda con lo reportado por Ruff *et al.* (1987), quienes consideran que la limitación de espacio para el desarrollo de las raíces provoca un desarrollo radical corto y ramificado y una menor producción y translocación de citocininas, que son reguladores de crecimiento necesarios en los procesos de división celular en el ápice de crecimiento de la parte aérea.

Las hojas de plántulas que crecieron en el volumen de 12.3 cm<sup>3</sup> mostraron un contenido de clorofila mayor ( $p \leq 0.05$ ) al de plántulas en volúmenes de 61.4 y 85.9 cm<sup>3</sup>. Esto se podría explicar como un efecto de dilución por el mayor crecimiento en altura de las plántulas manejadas en contenedores de más capacidad, aunque no hubo diferencias ni en área foliar ni en peso seco.

El área foliar por plántula con la densidad de 480 plántulas m<sup>-2</sup> fue 20.5 % superior respecto a la densidad de 1200 plántulas m<sup>-2</sup> (Cuadro 2). Con 720 plántulas m<sup>-2</sup> hubo más materia seca total por plántula, comparado con la densidad de 1200 plántulas m<sup>-2</sup>, debido principalmente al mayor peso seco de tallo. Además, con densidades bajas hay una mayor intercepción de radiación solar por plántula que se traduce en mayor tasa de producción de fotoasimilados, y en consecuencia de materia seca

The leaf area per seedling with density of 480 seedlings m<sup>-2</sup> was 20.5 % higher than the density of 1200 seedlings m<sup>-2</sup> (Table 2). With 720 seedlings m<sup>-2</sup> there was more total dry matter per seedling as compared to the density of 1200 seedlings m<sup>-2</sup>, mainly due to higher dry weight of the stem. Furthermore, with low densities there is a greater interception of solar radiation per seedling which translates into higher production rate of photo-assimilates, and in consequence of dry matter accumulated, which will affect growth and development in early growth stages of tomato (Reghin *et al.*, 2006; Sakurai *et al.*, 2007).

In the variables evaluated with respect to substrate volumes, there were no differences ( $p > 0.05$ ) among treatments. Nesmith and Duval (1998) and Reghin *et al.* (2006) indicate that the physiological and morphological characters of seedlings are affected by the restriction of space for root growth, but the results in the present study show no evidence in this regard for leaf area and total dry weight.

### Stage of transplant to harvest

The low population densities (480 and 720 seedlings m<sup>-2</sup>) caused a higher vigor at 37 das (Tables 1 and 2). The hypothesis is that this higher vigor promotes more flowers in early inflorescences which start at nursery stage and this will also be reflected in more set fruits.

**Cuadro 2. Comparaciones de medias entre densidades de población para área foliar y peso seco en plántulas de jitomate a los 37 días después de la siembra.**

**Table 2. Mean comparisons between population densities for leaf area and dry weight in tomato seedlings at 37 days after sowing.**

| Densidad<br>(plántulas m <sup>-2</sup> ) <sup>†</sup> | Área foliar<br>(cm <sup>2</sup> ) | Peso seco (g plántula <sup>-1</sup> ) |         |         |         |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                       |                                   | Hoja                                  | Tallo   | Raíz    | Total   |
| 480                                                   | 134.69 ab                         | 0.44 a                                | 0.17 ab | 0.11 ab | 0.73 ab |
| 720                                                   | 146.47 a                          | 0.43 a                                | 0.21 a  | 0.11 ab | 0.76 a  |
| 960                                                   | 128.94 ab                         | 0.45 a                                | 0.14 b  | 0.13 a  | 0.72 ab |
| 1200                                                  | 107.01 b                          | 0.35 a                                | 0.11 b  | 0.08 b  | 0.55 b  |
| (Tukey; $p \leq 0.05$ )                               | 29.99                             | 0.13                                  | 0.06    | 0.03    | 0.19    |

a,b Medias con distinta literal para cada factor en una columna, son diferentes ( $p \leq 0.05$ ). <sup>†</sup>Valores promediados considerando todos los niveles de volumen de sustrato. n=4. ♦ a,b Means with different letter for each factor in a column are different ( $p \leq 0.05$ ). <sup>†</sup>Averaged values considering all the levels of substrate volume. n=4.

acumulada, lo cual afectará el crecimiento y desarrollo en etapas tempranas de crecimiento del jitomate (Reghin *et al.*, 2006; Sakurai *et al.*, 2007).

En las variables evaluadas de los volúmenes de sustrato no hubo diferencias ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos. Nesmith y Duval (1998) y Reghin *et al.* (2006) indican que los caracteres fisiológicos y morfológicos de las plántulas son afectados por la restricción de espacio para el crecimiento de raíces, pero los resultados en el presente estudio no muestran esa evidencia para área foliar y peso seco total.

### Fase de trasplante a cosecha

Las densidades de población bajas (480 y 720 plántulas  $m^{-2}$ ) causaron un mayor vigor a los 37 dds (Cuadros 1 y 2). La hipótesis es que ese mayor vigor promueve más flores en las primeras inflorescencias, las cuales se inician en etapa de semillero y ello se reflejará también en más frutos formados.

En número de flores por inflorescencia no hubo diferencias estadísticas entre las distintas densidades; sin embargo, el número total de flores por planta fue significativamente menor en el tratamiento de mayor densidad en semillero (1200 plántulas  $m^{-2}$ ) respecto al de 720 plántulas  $m^{-2}$  (Cuadro 3), debido a la acumulación de las diferencias numéricas para el número de flores dentro de cada inflorescencia. Como consecuencia hubo diferencias ( $p \leq 0.05$ ) para el número de frutos en el primer racimo, porque las plantas provenientes de mayor densidad en el semillero (1200 plántulas  $m^{-2}$ ) tuvieron menos frutos que aquéllas con menor densidad (Cuadro 3). Esto se puede deber a un aumento en la producción de asimilados en la densidad baja (720 plántulas  $m^{-2}$ ) dada por una mayor intercepción de RFA por plántula durante la etapa de semillero, en la cual se origina la iniciación floral de las primeras inflorescencias (Kinet y Peet, 1999). Aunque hay un componente genético que limita el número de flores por inflorescencia, Charles-Edwards *et al.* (1986) señalan que dentro de cierto intervalo, entre más fotoasimilados se acumulen por día, más flores se forman y desarrollan.

Respecto al volumen de sustrato en semillero, sólo hubo diferencias ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos para el número de flores en la primer inflorescencia, donde en el mayor volumen de sustrato (85.9  $cm^3$ ) aumentó 15.15 % el número de flores respecto al volumen menor (12.3  $cm^3$ ). Esto puede atribuirse a que

There were no statistical differences among the different densities in number of flowers per inflorescence; however the total number of flowers per plant was significantly lower in the treatment of higher density in nursery (1200 seedlings  $m^{-2}$ ) with respect to the 720 seedlings  $m^{-2}$  (Table 3), due to the accumulation of numerical differences for the number of flowers within each of the inflorescences. As a result there were differences ( $p \leq 0.05$ ) for the number of fruits in the first cluster, since plants from higher density in the nursery (1200 seedlings  $m^{-2}$ ) had fewer fruits than those with lower density (Table 3). This may be due to an increase in the production of assimilates in the low density (720 seedlings  $m^{-2}$ ) given by a higher photosynthetic active radiation (PAR) interception per seedling during the nursery stage, in which the floral initiation of early inflorescences originates (Kinet and Peet, 1999). Although there is a genetic component that limits the number of flowers per inflorescence, Charles-Edwards *et al.* (1986) noted that within a certain interval, the more photo-assimilates accumulate per day, more flowers can be formed and developed.

Regarding the substrate volume in the nursery, there were differences ( $p \leq 0.05$ ) only among treatments for number of flowers on the first inflorescence, since in the largest substrate volume (85.9  $cm^3$ ) there was 15.15 % increase in the number of flowers, as compared to the lower volume (12.3  $cm^3$ ). This can be attributed to the fact that in a less restrictive environment for root growth, such as the treatment with higher volume (85.9  $cm^3$ ), oxygen, water and nutrients are absorbed more efficiently and more cytokinins are synthesized and translocated that can stimulate the growth of more flower primordia (Atherton and Harris, 1986; Ponce *et al.*, 2000). However, in the present study this effect was not large enough to cause a significant increase in the number of fruits in this inflorescence, or in the total number of flowers or fruits per plant.

With respect to yield and its components, there were not differences ( $p > 0.05$ ) among treatments of population density for average fruit weight per cluster in the three clusters, or for the yield per plant and per unit area (Table 4). This shows that although seedling density influenced leaf area and dry weight at transplant, it did not affect the average weight of fruits or subsequent performance.

**Cuadro 3. Comparaciones de medias del número de flores y frutos por inflorescencia en las primeras tres inflorescencias de jitomate a los 117 días después de la siembra.****Table 3. Mean comparisons of the number of flowers and fruits per inflorescence in the first three tomato inflorescences at 117 days after sowing.**

| Fuente de variación                                 | Número de flores por inflorescencia |        |        |          | Número de frutos por inflorescencia |        |        |          |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|----------|-------------------------------------|--------|--------|----------|
|                                                     | 1ra.                                | 2da.   | 3ra.   | Total    | 1ra.                                | 2da.   | 3ra.   | Total    |
| Densidad (plántulas m <sup>-2</sup> ) <sup>‡</sup>  |                                     |        |        |          |                                     |        |        |          |
| 480                                                 | 6.29 a <sup>†</sup>                 | 6.25 a | 6.39 a | 18.93 ab | 5.54 a                              | 4.85 a | 4.31 a | 14.72 ab |
| 720                                                 | 6.06 a                              | 6.64 a | 6.81 a | 19.51 a  | 5.37 a                              | 5.56 a | 4.56 a | 15.50 a  |
| 960                                                 | 6.21 a                              | 6.52 a | 6.39 a | 19.13 ab | 5.36 a                              | 4.91 a | 4.46 a | 14.74 ab |
| 1200                                                | 5.57 a                              | 6.25 a | 6.17 a | 18.00 b  | 4.51 b                              | 5.01 a | 4.23 a | 13.77 b  |
| (Tukey; p≤0.05)                                     | 0.85                                | 0.87   | 0.69   | 1.48     | 0.75                                | 0.75   | 0.73   | 1.368    |
| Volumen de sustrato (cm <sup>3</sup> ) <sup>§</sup> |                                     |        |        |          |                                     |        |        |          |
| 12.3                                                | 5.60 b                              | 6.37 a | 6.44 a | 18.42 a  | 4.96 a                              | 4.94 a | 4.48 a | 14.39 a  |
| 36.8                                                | 5.95 ab                             | 6.76 a | 6.31 a | 19.03 a  | 5.31 a                              | 5.37 a | 4.10 a | 14.79 a  |
| 61.4                                                | 5.98 ab                             | 6.35 a | 6.25 a | 18.59 a  | 4.95 a                              | 5.17 a | 4.41 a | 14.55 a  |
| 85.9                                                | 6.60 a                              | 6.18 a | 6.76 a | 19.54 a  | 5.57 a                              | 4.85 a | 4.57 a | 14.99 a  |
| (Tukey; p≤0.05)                                     | 0.85                                | 0.87   | 0.69   | 1.48     | 0.75                                | 0.75   | 0.73   | 1.37     |

<sup>†</sup>Medias con distinta literal para cada factor en una columna, son diferentes (p≤0.05). <sup>‡</sup>Valores promediados considerando todos los niveles de volumen de sustrato. n=4. <sup>§</sup>Valores promediados considerando todos los niveles de densidad. n=4. <sup>¶</sup>Means with different letter for each factor in a column, are different (p≤0.05). <sup>‡</sup>Averaged values considering all the levels of substrate volume. n=4. <sup>§</sup>Averaged values considering all the levels of density. n=4.

en un ambiente menos restrictivo para el crecimiento de la raíz, como el tratamiento con mayor volumen (85.9 cm<sup>3</sup>), se absorbe más eficientemente oxígeno, agua y nutrientes y se sintetizan y traslocan más citocininas que estimulan el crecimiento de más primordios de flor (Atherton y Harris, 1986; Ponce *et al.*, 2000). Sin embargo, en el presente estudio este efecto no fue suficiente para causar un aumento significativo en el número de frutos en esa inflorescencia, ni en el número total de flores o frutos por planta.

En rendimiento y sus componentes no hubo diferencias (p>0.05) entre tratamientos de densidad de población para el peso promedio de fruto por racimo en los tres racimos, ni para el rendimiento por planta y por unidad de superficie (Cuadro 4). Esto muestra que aunque la densidad en semillero influyó sobre área foliar y peso seco al momento del trasplante, no afectó el peso medio de los frutos o el rendimiento posterior.

El peso medio de fruto en el primer racimo fue mayor (p≤0.05) con un volumen de 85.9 cm<sup>3</sup> de sustrato por plántula que con 12.3 cm<sup>3</sup>, pero esta diferencia no se manifestó en los racimos posteriores. En consecuencia, el peso promedio de fruto y el rendimiento por planta y por unidad de superficie no mostraron diferencias significativas entre los

The average weight of fruit in the first cluster was higher (p≤0.05) with a volume of 85.9 cm<sup>3</sup> of substrate per seedling than with 12.3 cm<sup>3</sup>, but this difference was not reflected in the subsequent clusters. Consequently, the average fruit weight and yield per plant and per unit area did not show significant differences between the substrate volumes per seedling (Table 4). According to Cooper *et al.* (2002), a higher substrate volume per seedling in nursery affects the size of the fruit and, therefore, performance at harvest. However, in the present study this effect was not reflected in a higher yield per unit area.

It is possible that the increase in the substrate volume per seedling based solely on depth is not so effective in promoting positive effects on seedling vigor and variables of development that reflects on performance as with an increase of dimensions of the container. In this latter case with a wider container the seedling density population decrease and there would be a greater PAR interception per seedling. In the present study we used the method of increasing volume to more clearly separate the effects of the substrate volume from those caused by the different population densities.

**Cuadro 4. Comparaciones de medias de rendimiento y sus componentes entre distintos volúmenes de sustrato en semillero de jitomate.****Table 4. Mean comparisons of performance and its components between different substrate volumes in tomato nursery.**

| Volumen de sustrato<br>(cm <sup>3</sup> ) <sup>‡</sup> | Peso medio de fruto por racimo (g) |             |             | Peso promedio<br>de fruto<br>(g) | Rendimiento |                       |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|----------------------------------|-------------|-----------------------|
|                                                        | 1er. racimo                        | 2do. racimo | 3er. racimo |                                  | planta (kg) | (kg m <sup>-2</sup> ) |
| 12.3                                                   | 133.41 b <sup>†</sup>              | 143.70 a    | 265.11 a    | 180 a                            | 2.63 a      | 18.40 a               |
| 36.8                                                   | 137.75 ab                          | 140.48 a    | 268.49 a    | 170 a                            | 2.99 a      | 20.99 a               |
| 61.4                                                   | 137.21 ab                          | 147.44 a    | 290.86 a    | 180 a                            | 2.78 a      | 19.49 a               |
| 85.9                                                   | 157.57 a                           | 138.23 a    | 259.06 a    | 180 a                            | 2.84 a      | 19.89 a               |
| (Tukey; p≤0.05)                                        | 23.35                              | 35.53       | 62.88       | 30                               | 0.66        | 4.66                  |

<sup>†</sup>Medias con distinta literal para cada factor en una columna, indican diferencias significativas (p≤0.05). <sup>‡</sup>Valores promediados considerando todos los niveles de densidad. n=4. <sup>‡</sup>Means with different letter for each factor in a column indicate significant differences (p≤0.05). <sup>‡</sup>Averaged values considering all the levels of density. n=4.

volúmenes de sustrato por plántula (Cuadro 4). Según Cooper *et al.* (2002), un mayor volumen de sustrato por plántula en semillero influye en el tamaño de fruto y por tanto en el rendimiento a la cosecha. Sin embargo, en el presente estudio dicho efecto no se reflejó en un mayor rendimiento por unidad de superficie.

Es posible que el aumento en volumen de sustrato por plántula basado sólo en profundidad no sea tan efectivo para promover efectos positivos en vigor de plántula y variables de desarrollo que se reflejen en rendimiento como con un aumento de las dimensiones del contenedor. En este último caso con un contenedor más ancho la densidad de población de plántula disminuiría y habría una mayor intercepción de RFA por plántula. En el presente estudio se usó el método de aumentar volumen para separar más claramente los efectos de volumen de sustrato de aquellos causados por distintas densidades de población.

## CONCLUSIONES

El ambiente generado por una densidad baja en semillero permitió obtener plántulas con más vigor definido por mayor altura, área foliar, número de hojas y peso seco total al momento del trasplante, que las manejadas a una densidad mayor. Un mayor volumen de sustrato sólo afectó el vigor con mayor altura al momento del trasplante.

El mayor vigor de las plántulas dado principalmente por baja densidad de población en semillero, tuvo un efecto suficiente para causar un mayor

## CONCLUSIONS

The environment generated by a low density in nursery allowed to obtain seedlings with more vigor, defined by greater height, leaf area, number of leaves and total dry weight at transplant, than those managed at a higher density. A higher substrate volume only affected vigor with greater height at the time of transplantation.

The highest seedling vigor given mainly by low population density in nursery, had a sufficient effect to cause a greater number of flowers and fruits per plant compared to the high density used in conventional nurseries.

—End of the English version—



número de flores y frutos por planta respecto a la densidad alta usada en los semilleros convencionales.

## LITERATURA CITADA

- Ando, A., T. Wada, H. Hirai, and K. Abe. 2003. Effects of rockwool-cube size and days of raising seedlings on growth and root activity of the seedlings, growth after transplanting, and yield of tomatoes grown on rockwool. Hort. Res. 2: 297-301.
- Atherton, J. G., and G. P. Harris. 1986. Flowering. In: Atherton, J. G., and J. Rudich (eds). The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement. Chapman and Hall. London, England. pp: 167-200.

- Cantliffe, D. J. 1993. Pre and postharvest practices for improved vegetable transplant quality. *HortTechnology* 3: 415-417.
- Castellanos, R. J. Z., y M. C. Borbón. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. *In*: Castellanos, R. J. Z. (ed). Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Intagri. Celaya, Gto., México. pp: 1-18.
- Charles-Edwards, D. A., D. Doley, and G. M. Remington. 1986. *Modelling Plant Growth and Development*. Academic Press. Sydney, Australia. 235 p.
- Cooper, P. E., C. R. Stark, P. B. Francis, A. Gibson, J. Green, M. McGraw, and B. Truax. 2002. The effect of tomato transplant container size on yield and quality of fresh-market tomatoes. *Arkansas Agricultural Experiment Station. Horticultural Studies. Research series* 494. 3 p.
- Costa, J. M., and E. Heuvelink. 2005. The tomato crop and industry. *In*: Heuvelink, E. (ed). *Tomatoes*. CABI Publishing, Wageningen University. The Netherlands. pp: 1-19.
- Kinet, J. M. and M. M. Peet. 1999. Tomato. *In*: Wien, H. C. *The Physiology of Vegetable Crops*. CABI Publishing. NY. pp: 207-218.
- Nesmith, D. S., and J. R. Duval. 1998. Transplant production and performance: The effect of container cell size. Department of Horticulture. Georgia Experiment Station. Griffin, G. A. USA. *HortTechnology* 8: 1-4.
- Pérez, D. J. F., R. J. Cervantes, D. L. Soltero, y O. S. Medina. 2006. Guía para cultivar jitomate en la Ciénega de Chapala y Bajío Michoacano. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. 26 p.
- Ponce, O. J., Del C. F. Sánchez, M. E. Contreras, y S. T. Corona. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Fitotec. Mex.* 23: 87-98.
- Reghin, M. Y., R. F. Otto, J. R. Olinik, e C. F. Jacoby. 2006. Produção de cebola sobre palhada a partir de mudas obtidas em bandejas com diferentes números de células. *Hort. Bras.* 24: 289-297.
- Ruff, M. S., D. T. Krizek, R. M. Mirecki, and D. W. Inouye. 1987. Restricted root zone volume: influence on growth and development of tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112: 763-769.
- Sánchez, Del C. F., C. J. Ortiz, C. C. Mendoza, H. V. González, and O. J. Bustamante. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Rev. Fitotec. Mex.* 21: 1-13.
- Sánchez, Del C. F., y O. J. Ponce. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 4: 89-94.
- Sánchez, Del C. F., y S. T. Corona. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 1: 109-114.
- Santos, M. J., y Del C. F. Sánchez. 2003. Densidades de población, arreglos de dosel y despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 257-262.
- Sakurai, K., A. Ogawa, C. Kawashima, and M. Chino. 2007. Effects of biodegradable seedling pots on growth and nutrient concentrations of tomato plants: 2. Growth and nutrient concentrations after transplanting. *Bioresource Technol.* 98: 2781-2786.
- SAS. 2004. Statistical Analysis System Institute. SAS Proceeding Guide. Versión 8.1. SAS Institute. Cary, NC. USA.
- SIAP. 2011. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx> (Consulta: noviembre, 2011).
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2002. *Plant Physiology*. 3rd. Ed. Sinauer Associates, Inc. Publisher. Sunderland, Mass. 690 p.
- Lambers, H., F. Stuart, and T. L. Pons. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Second edition. Springer. Australia. 604 p.
- Vavrina, C. S., and M. Orzolek. 1993. Tomato transplant age: A review. *HortTechnology* 3: 313-16.