

Effect of population densities and paclobutrazol applications on seedling quality and yield in tomato

Efecto de densidades de población y aplicaciones de paclobutrazol en calidad de plántula y rendimiento en jitomate

Esaú del Carmen Moreno-Pérez; Felipe Sánchez-del Castillo*; Mario Ruiz-Díaz; Efraín Contreras-Magaña

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

*Corresponding author: fsanchezdelcastillo@yahoo.com.mx, cel. 595 95 70021.

Abstract

The development of an alternative greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production system to obtain four annual growing cycles requires delaying transplantation from 50 to 60 days after sowing (das). The study objectives were to evaluate the effects of paclobutrazol applications and population densities in the seedbed on the quality of seedlings to be transplanted at 60 das, and on the number of flowers and yield of plants pruned to three clusters. A randomized complete block experimental design was used with a split-plot arrangement with four replicates and 16 treatments that resulted from combining two population densities (150 and 300 seedlings·m⁻²) and seven paclobutrazol treatments (one, two and three applications with 25 and 50mg·L⁻¹ of active ingredient), plus two controls (without application). The lower density in the seedbed resulted in lower height, larger stem diameter and higher seedling dry weight at 60 das; however, at the end of the growing cycle the number of flowers and the yield per plant were lower. Triple applications of paclobutrazol, with 25 and 50 mg·L⁻¹, significantly decreased height and leaf area, but dry weight and stem thickness were similar to the control. Triple application of paclobutrazol resulted in two flowers and two more fruits per plant compared to the control, possibly because the temporary arrest of vegetative growth, caused by paclobutrazol, left more photoassimilates available for the inflorescences in formation.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, late transplanting, growth retardants, greenhouse production.

Resumen

El desarrollo de un sistema alternativo de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero para obtener cuatro ciclos de cultivo anuales requiere retrasar el trasplante de 50 a 60 días después de la siembra (dds). Los objetivos del presente estudio fueron evaluar los efectos de aplicaciones de paclobutrazol y de densidades de población en semillero sobre la calidad de plántulas para su trasplante a los 60 dds, y sobre el número de flores y rendimiento de plantas despuntadas a tres racimos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones y 16 tratamientos que resultaron de combinar dos densidades de población (150 y 300 plántulas·m⁻²) y siete tratamientos de paclobutrazol (una, dos y tres aplicaciones con 25 y 50 mg·L⁻¹ de ingrediente activo), más dos testigos (sin aplicación). La menor densidad en semillero mostró menor altura, mayor diámetro de tallo y mayor peso seco de plántula a los 60 dds; sin embargo, al final del ciclo de cultivo la cantidad de flores y el rendimiento por planta fueron menores. Las aplicaciones triples de paclobutrazol, con 25 y 50 mg·L⁻¹, disminuyeron significativamente la altura y área foliar, pero el peso seco y el grosor de tallo fueron similares al testigo. La aplicación triple de paclobutrazol resultó en dos flores y dos frutos más por planta respecto del testigo, posiblemente debido a que la detención temporal del crecimiento vegetativo, provocada por el paclobutrazol, dejó más fotoasimilados disponibles para las inflorescencias en formación.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, trasplante tardío, retardadores de crecimiento, producción en invernadero.



Introduction

Mexico produces 3.5 million tons of tomato (*Solanum lycopersicum* L.), of which 50 % are exported to the United States, generating 1.345 billion dollars annually. It is estimated that more than 50 % of what is exported comes from greenhouses and shade-houses (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2017).

The predominant greenhouse tomato cultivation system in Mexico is based on that used in northern European countries and Canada, where varieties with an indeterminate growth habit are used with population densities of 2.5 to 3 plants·m⁻² and more than 20 clusters per plant are harvested in an annual growing cycle with yields that can exceed 500 t·ha⁻¹·year⁻¹. This is achieved by controlling the environmental conditions that can be obtained with their highly technified and expensive greenhouses (Cheiri, de Gelder, & Peet, 2018; Heuvelink, Li, & Dorais, 2018). However, the lower technological level used in our country, reflected in greater pest and disease problems, or in shorter growing cycles, makes it difficult to exceed 300 t·ha⁻¹·year⁻¹ (Castellanos & Borbón-Morales, 2009). Furthermore, due to the very long harvest period (five to seven months), production costs frequently exceed \$5,000.00 MXN per ton and the selling price in domestic markets, such as supply centers, fluctuates greatly; for this reason, the economic benefit is usually limited due to the high percentage of producers with less than one hectare of greenhouses who do not have access to other markets, such as the export one (Sánchez-del Castillo & Moreno-Pérez, 2017).

An alternative tomato production system has been developed and validated. It involves transplanting seedlings 45 to 50 days after sowing (das), and then leading the plants to a single stem and removing the terminal bud two leaves above the third inflorescence, this to leave only three clusters per plant. With the above, the cycle from transplanting to end of harvest is shortened to 110 days, and in a continuous production scheme, three growing cycles per year can be obtained with higher annual productivity than in conventional systems (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, & Contreras-Magaña, 2012). Due to the concentration of the period from the start to end of the harvest (30 days), it can be programmed so that it is obtained when there are high price windows, so the producer can have a greater economic benefit and also recover his investment faster (Sánchez-del Castillo et al., 2012). Likewise, the lower yield per plant in a growing cycle is partially compensated by the establishment of high population densities, ranging from 7 to 8 plants·m⁻² of greenhouse (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Vázquez-Rodríguez, & González-Núñez, 2017).

Introducción

En México se producen 3.5 millones de toneladas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), de las cuales 50 % se exportan a EUA, lo que genera 1,345 millones de dólares anuales. Se estima que más del 50 % de lo exportado proviene de invernaderos y casas-sombra (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2017).

El sistema predominante del cultivo de jitomate bajo invernadero en México se deriva del practicado en países del norte de Europa y Canadá, donde se usan variedades de hábito de crecimiento indeterminado con densidades de población de 2.5 a 3 plantas·m⁻² y se cosechan más de 20 racimos por planta en un ciclo de cultivo anual con rendimientos que pueden superar las 500 t·ha⁻¹·año⁻¹. Lo anterior se logra por el control de las condiciones ambientales que se pueden obtener con sus invernaderos altamente tecnificados y costosos (Cheiri, de Gelder, & Peet, 2018; Heuvelink, Li, & Dorais, 2018). No obstante, el menor nivel tecnológico utilizado en nuestro país, reflejado en mayores problemas de plagas y enfermedades, o en ciclos de cultivo más cortos, hace difícil superar las 300 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Castellanos & Borbón-Morales, 2009). Además, debido a que el periodo de cosecha es muy largo (cinco a siete meses), los costos de producción frecuentemente superan los \$5,000.00 MXN por tonelada y el precio de venta en los mercados nacionales, como los centros de abasto, es muy fluctuante; por ello, el beneficio económico suele ser limitado para el alto porcentaje de productores con menos de una hectárea de invernaderos que no tienen acceso a otros mercados como el de exportación (Sánchez-del Castillo & Moreno-Pérez, 2017).

Se ha desarrollado y validado un sistema alternativo de producción de jitomate que consiste en realizar el trasplante con plántulas de 45 a 50 días después de la siembra (dds), y después conducir las plantas a un solo tallo y eliminar la yema terminal dos hojas por encima de la tercera inflorescencia, esto para dejar sólo tres racimos por planta. Con lo anterior, el ciclo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta a 110 días, y en un esquema de producción continua se pueden obtener tres ciclos de cultivo por año con mayor productividad anual que en los sistemas convencionales (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, & Contreras-Magaña, 2012). Por lo concentrado del periodo de inicio a fin de cosecha (30 días), ésta se puede programar para obtenerla cuando hay ventanas de precio alto, con lo que el productor puede tener un mayor beneficio económico y además recuperar más rápido su inversión (Sánchez-del Castillo et al., 2012). Asimismo, el menor rendimiento por planta en un ciclo de cultivo tiene compensación parcial con el establecimiento de altas densidades de población, que oscilan entre 7 y 8 plantas·m⁻² de invernadero (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Vázquez-Rodríguez, & González-Núñez, 2017).

Under this production system, average yields of 16 kg·m⁻² per 3.5-month cycle are achieved (with a potential of 500 t·ha⁻¹·year⁻¹), with production costs per kg similar to the conventional system, but with fewer health problems because of the short cycles (Sánchez-del Castillo et al., 2012; Sánchez-del Castillo et al., 2017). The annual yield per unit area offered by this production system could be increased by shortening the time lapse from transplant to the end of the harvest to less than three months to obtain four growing cycles per year instead of three. This could be achieved by managing the seedlings in the seedbed in order to prolong their transplanting until 60 das without negative effects on the subsequent yield. Yield could also be increased by promoting the formation of more flowers and fruits in each of the three inflorescences per plant.

In the early stages of seedling growth, applying a growth retardant such as paclobutrazol can form plants with short internodes (Brigard, Harkess, & Baldwin, 2006) and smaller leaves (Seleguini, de Araujo-Faria, Silva-Benett, Lacerda-Lemos, & Seno, 2013), making it easier to keep the seedlings longer in the seedbed and to transplant at an older age without subsequent negative consequences.

Regarding the increase in the number of flowers per inflorescence, Heuvelink et al. (2018) point out that while this trait has a genetic component, it is possible to reduce the number of abortions of the flower primordia initiated in each inflorescence, which would make more of them reach anthesis. This can be achieved by temporary modifications of environmental conditions (light, temperature, CO₂, nutrition, etc.) or the management of the source-demand relationship (use of hormones or growth regulators such as retardants). With greater spacing between seedlings in the seedbed (lower population density), each seedling is expected to receive the incident photosynthetically active radiation more evenly and thus increase its rate of photoassimilate production, leaving more sugar available for the flower primordia and with it the possibility of producing more flowers per inflorescence (Heuvelink & Okello, 2018).

Based on the above, the present study was carried out with the aim of evaluating the effect of paclobutrazol applications and different population densities in a seedbed on morphological characteristics related to the quality of tomato seedlings at 60 das, and on the number of flowers and fruits per inflorescence of plants pruned to the third cluster.

Materials and methods

The present research was carried out in greenhouses at the *Universidad Autónoma Chapingo* experimental field, located in Texcoco, State of Mexico (19° 20' NL

Bajo dicho sistema de producción se logran rendimientos promedio de 16 kg·m⁻² por ciclo de 3.5 meses (con potencial de 500 t·ha⁻¹·año⁻¹), con costos de producción por kg similares al sistema convencional, pero menores problemas sanitarios al tratarse de ciclos cortos (Sánchez-del Castillo et al., 2012; Sánchez-del Castillo et al., 2017). El rendimiento anual por unidad de superficie que ofrece este sistema de producción se podría aumentar si se acorta el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de tres meses para obtener cuatro ciclos de cultivo por año en lugar de tres. Lo anterior se podría lograr mediante un manejo de las plántulas en semillero que pudiera prolongar su trasplante hasta los 60 dds sin efectos negativos en el rendimiento posterior. El rendimiento también se podría incrementar promoviendo la formación de más flores y frutos en cada una de las tres inflorescencias por planta.

En etapas tempranas de crecimiento de las plántulas, la aplicación de un retardador del crecimiento como el paclobutrazol puede formar plantas con entrenudos cortos (Brigard, Harkess, & Baldwin, 2006) y hojas más pequeñas (Seleguini, de Araujo-Faria, Silva-Benett, Lacerda-Lemos, & Seno, 2013), lo que facilita mantener las plántulas más tiempo en el semillero y hacer trasplantes a mayor edad sin consecuencias negativas posteriores.

En cuanto al incremento en el número de flores por inflorescencia, Heuvelink et al. (2018) señalan que, si bien dicho carácter tiene un componente genético, se puede promover que haya menos abortos de los primordios de flor iniciados en cada inflorescencia, lo que haría que lleguen más a anthesis. Esto se puede lograr mediante modificaciones temporales de las condiciones ambientales (luz, temperatura, CO₂, nutrición, etc.) o del manejo de la relación fuente-demanda (uso de hormonas o reguladores de crecimiento como los retardadores). Con mayor espaciamiento entre plántulas en el semillero (menor densidad de población), se espera que cada plántula reciba más uniformemente la radiación fotosintéticamente activa incidente y, por lo tanto, aumente su tasa de producción de fotoasimilados, lo que deja más azúcar disponible para los primordios de flor y con ello la posibilidad de que se produzcan más flores por inflorescencia (Heuvelink & Okello, 2018).

Con base en lo anterior, se efectuó el presente estudio con el objetivo de evaluar el efecto de aplicaciones de paclobutrazol y diferentes densidades de población en semillero sobre caracteres morfológicos relacionados con la calidad de plántulas de jitomate a los 60 dds, y sobre el número de flores y frutos por inflorescencia de plantas despuntadas al tercer racimo.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en invernaderos del campo experimental de la Universidad Autónoma

and 98° 53' WL, at 2,240 masl). A gable greenhouse with a thermal polyethylene cover with 85 % transmission and 55 % light diffusion was used in the seedbed phase. It had polyethylene curtains, anti-aphid mesh, and a wet wall system and extractors that allowed maintaining a temperature of 15 to 25 °C during the day and 10 to 16 °C at night, with relative humidity between 50 and 70 % most of the day. Management after transplantation was carried out in another greenhouse with similar characteristics.

The hybrid tomato 'El Cid F1', which is a Harris Moran brand, was used for the experiment. This saladette-type hybrid has an indeterminate growth habit, and was chosen because it is widely used by growers due to its size, firmness, color and long shelf life, which is reflected in better selling prices. The seeds were sown in 60-cavity polystyrene trays with a volume of 250 mL per cavity, and 5 cm separation between the center of each cavity. A mixture of peatmoss and perlite (50/50, v/v) was used as substrate. The seedlings were irrigated with a nutrient solution containing the following nutrient concentrations (mg·L⁻¹): 200 N, 50 P, 200 K, 250 Ca, 50 Mg, 150 S, 2 Fe, 1 Mn, 0.5 Bo, 0.1 Cu and 0.1 Zn. For the first 15 das, the nutrient solution was applied at half its concentration; then, until the end of the harvest, the full concentration was used.

Sixteen treatments were established, resulting from the combination of two population densities (150 and 300 seedlings·m⁻²), seven paclobutrazol (B-[(4-chlorophenyl)methyl]-α-(1,1-dimethylethyl)-N-1,2,4-triazole-1-ethanol) (Latimer, 1992) application treatments and two controls without application, one for each density. The paclobutrazol application treatments were: 1) one application of 50 mg·L⁻¹ of active ingredient at 20 das, 2) one application of 50 mg·L⁻¹ of active ingredient at 30 das, 3) one application of 50 mg·L⁻¹ of active ingredient at 40 das, 4) two applications of 25 mg·L⁻¹ of active ingredient at 20 and 40 das, 5) two applications of 50 mg·L⁻¹ of active ingredient at 20 and 40 das, 6) three applications of 25 mg·L⁻¹ of active ingredient at 20, 30 and 40 das, and 7) three applications of 50 mg·L⁻¹ of active ingredient at 20, 30 and 40 das.

A randomized complete block experimental design was used with a split-plot treatment arrangement with four replicates. In the large plots, the population densities were located and in the subplots the paclobutrazol application treatments, with 15 seedlings per experimental unit.

Variables measured in the seedbed at 60 das were: 1) seedling height (measured with a tape measure), 2) stem thickness in the internode between the fourth and fifth leaf (measured with an electronic Vernier caliper [Digimatic Caliper CD-6 CS, Mitutoyo, USA]), 3) leaf area per plant, in two representative plants of

Chapingo, Texcoco, Estado de México (19° 20' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a 2,240 msnm). El tipo de invernadero utilizado en la fase de semillero fue de dos aguas con cubierta de polietileno térmico con 85 % de transmisión y 55 % de dispersión de luz. Contaba con cortinas de polietileno, malla antiáfido, y un sistema de muro húmedo y extractores que permitían mantener una temperatura en el día de 15 a 25 °C y durante la noche de 10 a 16 °C, con humedad relativa entre 50 y 70 % la mayor parte del día. El manejo después del trasplante se efectuó en otro invernadero con características similares.

Para el experimento se empleó el híbrido de jitomate 'El Cid F1', el cual es de la marca comercial Harris Moran. Este híbrido es de tipo saladette y hábito de crecimiento indeterminado, y fue elegido por ser utilizado ampliamente por los productores debido al tamaño, firmeza, color y larga vida de anaquel que alcanzan sus frutos, lo que se refleja en mejores precios de venta. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 60 cavidades con volumen de 250 mL por cavidad, y separación de 5 cm entre centro y centro de cada cavidad. Como sustrato se utilizó una mezcla de turba y perlita (50/50, v/v). Las plántulas se irrigaron con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones nutrimentales (mg·L⁻¹): 200 N, 50 P, 200 K, 250 Ca, 50 Mg, 150 S, 2 Fe, 1 Mn, 0.5 Bo, 0.1 Cu y 0.1 Zn. Durante los primeros 15 dds, la solución nutritiva se aplicó a la mitad de su concentración; después, hasta el fin de la cosecha, se utilizó la concentración completa.

Los tratamientos establecidos fueron 16, y resultaron de la combinación de dos densidades de población (150 y 300 plántulas·m⁻²), siete tratamientos de aplicación de paclobutrazol (B-[(4-clorofenil)metil]-α-(1,1-dimetiletil)-N-1,2,4-triazol-1-etanol) (Latimer, 1992) y dos testigos sin aplicación, uno para cada densidad. Los tratamientos de aplicación de paclobutrazol fueron: 1) una aplicación de 50 mg·L⁻¹ de ingrediente activo a los 20 dds, 2) una aplicación de 50 mg·L⁻¹ de ingrediente activo a los 30 dds, 3) una aplicación de 50 mg·L⁻¹ de ingrediente activo a los 40 dds, 4) dos aplicaciones de 25 mg·L⁻¹ de ingrediente activo a los 20 y 40 dds, 5) dos aplicaciones de 50 mg·L⁻¹ de ingrediente activo a los 20 y 40 dds, 6) tres aplicaciones de 25 mg·L⁻¹ de ingrediente activo a los 20, 30 y 40 dds, y 7) tres aplicaciones de 50 mg·L⁻¹ de ingrediente activo a los 20, 30 y 40 dds.

El diseño experimental fue bloques completos al azar con un arreglo de tratamientos en parcelas divididas con cuatro repeticiones. En las parcelas grandes se ubicaron las densidades de población y en las subparcelas los tratamientos de aplicación de paclobutrazol, con 15 plántulas por unidad experimental.

Las variables medidas en semillero a los 60 dds fueron: 1) altura de plántula (medida con una cinta métrica),

each treatment in each replicate (measured with a portable leaf area meter [LI-3000A, LI-COR, Nebraska, USA]) and 4) total dry weight (obtained by oven drying to constant weight the same two plants per treatment in each sampled replicate to obtain leaf area and leaf area ratio [grams of total dry matter per m² of leaf] from the same two plants per treatment in each replicate sampled to obtain leaf area).

Transplanting was carried out at 60 das, for which three rows of plants were placed in beds 1 m wide x 25 cm deep filled with volcanic sand (red tezontle) with particles from 1 to 3 mm in diameter. The paths left between beds were 50 cm wide. Nine plants were used per experimental unit, established at a distance of 30 cm between plants and 33 cm between rows.

A tape-based irrigation system was installed with integrated drippers every 20 cm. Irrigation was carried out with a nutrient solution with the concentrations of nutrients indicated above. There were between three to five irrigations daily (1 L·m⁻² in each irrigation) according to weather conditions and the age of the plants. As part of the management, a preventive program was established for the control of pests and diseases, plant tutoring, pruning of side shoots to leave a single stem per plant and removal of the growth apex two leaves above the third inflorescence formed. At this stage, the variables evaluated were: 1) number of flowers per inflorescence in the three clusters per plant, 2) number of fruits per plant, 3) average fruit weight and 4) total yield per plant.

Analysis of variance was applied to the data obtained, followed by Tukey's comparison of means test ($P \leq 0.05$).

Results and discussion

Seedling quality indicators at transplant

Analysis of variance (data not shown) indicated significant differences ($P \leq 0.01$) for seedling population densities in the seedbed and paclobutrazol treatments in all seedling quality traits assessed at 60 das, except for leaf area per plant in the density factor. The population density x paclobutrazol interaction was not significant in any of the traits evaluated. Coefficients of variation were generally low, ranging from 4 to 12 %.

The comparison of means tests, in the average of the paclobutrazol application treatments (Table 1), show that the seedlings that grew at low population density (150 seedlings·m⁻²) had 4.3 cm less height, 0.23 mm more stem thickness, 1.44 g more dry weight and 20 cm²·g⁻¹ less leaf area ratio, compared to those that grew at 300 seedlings·m⁻². All differences were statistically significant, except for leaf area.

2) grosor de tallo en el entrenudo entre la cuarta y quinta hoja (medido con un vernier electrónico [Digimatic Caliper CD-6 CS, Mitutoyo, EUA]), 3) área foliar por planta, en dos plantas representativas de cada tratamiento en cada repetición (medida con un integrador de área foliar [LI-3000A, LI-COR, Nebraska]) y 4) peso seco total (obtenido mediante secado hasta peso constante en estufa de las mismas dos plantas por tratamiento en cada repetición muestreada para obtener área foliar y razón de área foliar [gramos de materia seca total por m² de hoja] de las mismas dos plantas por tratamiento en cada repetición muestreada para obtener área foliar).

El trasplante se efectuó 60 dds, para lo cual se colocaron tres hileras de plantas en camas de 1 m de ancho x 25 cm de profundidad rellenas con arena volcánica (tezontle rojo) con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Los pasillos entre camas fueron de 50 cm de ancho. Se utilizaron nueve plantas por unidad experimental, establecidas a una distancia de 30 cm entre plantas y 33 cm entre hileras.

Se instaló un sistema de riego a base de cintilla con goteros integrados a cada 20 cm. El riego se realizó con solución nutritiva con las concentraciones de nutrientes señaladas anteriormente. Los riegos diarios fueron entre tres y cinco (1 L·m⁻² en cada riego) según las condiciones climáticas y la edad de las plantas. Como parte del manejo, se estableció un programa preventivo para el control de plagas y enfermedades, tutorio de las plantas, poda de brotes laterales para dejar un solo tallo por planta y eliminación del ápice de crecimiento dos hojas por encima de la tercera inflorescencia formada. En esta etapa, las variables evaluadas fueron: 1) número de flores por inflorescencia en los tres racimos por planta, 2) número de frutos por planta, 3) peso medio de frutos y 4) rendimiento total por planta.

A los datos obtenidos se les aplicó análisis de varianza y, posteriormente, una comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Indicadores de calidad de plántula al trasplante

Los análisis de varianza (datos no mostrados) indicaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para densidades de población de plántulas en semillero y tratamientos de paclobutrazol en todos los caracteres de calidad de plántula evaluados a los 60 dds, excepto para el área foliar por planta en el factor densidades. La interacción densidad de población x paclobutrazol no fue significativa en ninguno de los caracteres evaluados. Los coeficientes de variación en general fueron bajos, oscilando de 4 a 12 %.

Table 1. Quality indicators of 'El Cid F1' tomato seedlings 60 days after sowing in response to two population densities. Cuadro 1. Indicadores de calidad de plántulas de jitomate 'El Cid F1' 60 días después de la siembra en respuesta a dos densidades de población.

Treatment/ Tratamiento	Height (cm)/ Altura (cm)	Stem thickness (mm)/ Grosor 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)
150 seedlings·m ⁻² / 150 plántulas·m ⁻²	33.7 b ^z	5.35 a	703 a	7.54 a	94 b
300 seedlings·m ⁻² / 300 plántulas·m ⁻²	38.0 a	5.12 b	690 a	6.10 b	114 a
LSD/DMSH	0.86	0.09	56.11	0.61	6.91

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, $P \leq 0.05$).

The results obtained are in line with those indicated by Taiz and Zeiger (2002) in the sense that, above a certain population density threshold, competition between plants for photosynthetically active radiation causes etiolation symptoms such as an increase in stem length and a reduction in their diameter. At the same time, photosynthesis per plant decreases and thus its accumulated dry weight, so that at a higher density there is a lower production of assimilates per plant, which are used more in stem elongation than in cell division and growth to thicken tissues. In the present study, at 60 das the seedlings at low density (150 seedlings·m⁻²) reduced their height by 11.3 %, but increased their stem diameter by 4 % and their dry weight by 24 %, this compared to the seedlings that grew at the higher density (300 seedlings·m⁻²).

Stem thickness and seedling dry weight were greater with low seedling density, possibly because as the seedlings are further apart, they intercept radiation more efficiently and produce more photoassimilates per day (Soltani & Sinclair, 2012).

Giovinazzo and Souza-Machado (2001) found that, with low population density, the leaf area developed by each seedling was greater than with high density. This was not the case in the present experiment, possibly because with the greater spacing between seedlings the leaves intercepted the incident photosynthetically active radiation incident more evenly, resulting in the formation of more sugars that could favor the formation of thicker leaves. This can be indirectly inferred from the lower leaf area ratio in the low-density treatment, which in turn contributed to the higher total dry weight found.

In the average density (Table 2), the paclobutrazol applications significantly reduced seedling height with respect to the control. This effect was greater with three applications of 50 ppm of active ingredient,

Las pruebas de comparación de medias, en el promedio de los tratamientos de aplicación de paclobutrazol (Cuadro 1), muestran que las plántulas que crecieron en baja densidad de población (150 plántulas·m⁻²) tuvieron 4.3 cm menos altura, 0.23 mm más grosor de tallo, 1.44 g más de peso seco y 20 cm²·g⁻¹ menos de razón de área foliar, respecto de las que crecieron a 300 plántulas·m⁻². Todas las diferencias fueron estadísticamente significativas, a excepción del área foliar.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo señalado por Taiz y Zeiger (2002) respecto a que, a partir de cierto umbral de densidad de población, la competencia entre las plantas por radiación fotosintéticamente activa ocasiona síntomas de etiolación como el aumento de longitud de tallos y su reducción en diámetro. Al mismo tiempo, la fotosíntesis por planta disminuye y con ello su peso seco acumulado, por lo que a mayor densidad hay una menor producción de asimilados por planta, los cuales se utilizan más en elongación de tallos que en división y crecimiento celular para engrosar tejidos. En el presente trabajo, a los 60 dds las plántulas en baja densidad (150 plántulas·m⁻²) redujeron su altura en 11.3 %, y aumentaron su diámetro de tallo 4 % y su peso seco 24 %, esto en comparación con las plántulas que crecieron en la densidad más alta (300 plántulas·m⁻²).

El grosor del tallo y el peso seco de plántula fueron mayores con baja densidad de plántulas, posiblemente porque al estar las plántulas más separadas interceptan radiación más eficientemente y producen más fotoasimilados por día (Soltani & Sinclair, 2012).

Giovinazzo y Souza-Machado (2001) encontraron que, con baja densidad de población, el área foliar desarrollada por cada plántula fue mayor que con alta. En el presente experimento no ocurrió así, posiblemente debido a que con el mayor espacio entre plántulas las hojas interceptaron

Table 2. Quality indicators of 'El Cid F1' tomato seedlings 60 days after sowing in response to eight forms of paclobutrazol application.**Cuadro 2. Indicadores de calidad de plántula de jitomate 'El Cid F1' 60 días después de siembra en respuesta a ocho formas de aplicación de paclobutrazol.**

Treatment/ Tratamiento	Height (cm)/ Altura (cm)	Stem thickness (mm)/ Grosor 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)
Control without application/ Testigo sin aplicación	40.6 a ²	5.12 bc	826 a	7.67 a	110 abc
50 ppm, 20 das/ 50 ppm, 20 dds	36.0 cd	4.91 c	608 c	6.33 b	98 bc
50 ppm, 30 das/ 50 ppm, 30 dds	34.2 de	5.16 abc	663 bc	6.28 b	107 abc
50 ppm, 40 das/ 50 ppm, 40 dds	38.6 ab	5.50 a	789 a	6.88 ab	117 ab
25 ppm, 20 and 40 das/ 25 ppm, 20 y 40 dds	37.1 bc	5.30 ab	733 ab	6.21 b	119 a
50 ppm, 20 and 40 das/ 50 ppm, 20 y 40 dds	35.5 cde	5.17 abc	646 bc	7.08 ab	92 c
25 ppm, 20, 30 and 40 das/ 25 ppm, 20, 30 y 40 dds	33.6 e	5.39 ab	678 bc	7.34 ab	95 c
50 ppm, 20, 30 and 40 das/ 50 ppm, 20, 30 y 40 dds	31.2 f	5.31 ab	631 bc	6.80 ab	95 c
LSD/DMSH	2.37	0.36	104	1.24	20.25

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

ppm = partes por millón; dds = días después de la siembra; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ³Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

reducing the height by 9.4 cm relative to the control (14 % less). Brigard et al. (2006) and Seleguini et al. (2013) state that in the seedling stage with the application of paclobutrazol, plants with shorter internodes are formed, which makes it possible to keep the seedlings longer in the seedbed. It should be noted that paclobutrazol is absorbed by the aerial part and is translocated via xylem to the growth points where it inhibits the production of gibberellins by preventing the oxidation of kaurene to kaurenic acid, thereby reducing the rate of cell division and expansion, which limits growth (Rademacher, 2000).

Stem thickness was significantly reduced relative to the control in most paclobutrazol application treatments; only the late application (40 das) of 50 ppm resulted in thicker stems ($P \leq 0.05$). Giovanazzo and Souza-Machado (2001), when applying paclobutrazol in tomato, report a 9 % increase in stem diameter. Sun, Chen, Chang, Tseng, and Wu (2010) also highlight greater stem vigor with the application of paclobutrazol to tomato seedlings. Possibly the discrepancies with the present work are due to differences in doses, varieties tested and experimental conditions.

la radiación fotosintéticamente activa incidente más uniformemente, lo que formó más azúcares que pudieron favorecer la formación de hojas más gruesas. Esto se puede inferir indirectamente de la menor razón de área foliar en el tratamiento de baja densidad, que a su vez contribuyó al mayor peso seco total encontrado.

En el promedio de densidades (Cuadro 2), las aplicaciones de paclobutrazol redujeron significativamente la altura de las plántulas respecto al testigo. Dicho efecto fue mayor con tres aplicaciones de 50 ppm de ingrediente activo, con lo que redujo 9.4 cm la altura con respecto del testigo (14 % menos). Brigard et al. (2006) y Seleguini et al. (2013) mencionan que en etapa de plántula con la aplicación de paclobutrazol se forman plantas con entrenudos más cortos, lo que hace posible mantener las plántulas más tiempo en el semillero. Cabe señalar que el paclobutrazol es absorbido por la parte aérea y se transloca vía xilema hasta los puntos de crecimiento donde inhibe la producción de giberelinas al impedirse la oxidación del kaureno a ácido kaurenóico, esto reduce la tasa de división y expansión celular, lo que limita el crecimiento (Rademacher, 2000).

Several of the treatments with paclobutrazol application caused a significant reduction in the leaf area of the seedling. The most noteworthy treatments were those of one application of 50 ppm at 20 das and those of three applications of 50 ppm at 20, 30 and 40 das, which reduced this variable by 218 and 195 cm² per seedling, respectively, with respect to the control without application (equivalent to a decrease of 26 and 24 %, respectively). On the other hand, the triple application treatments of paclobutrazol at any of its doses (25 or 50 ppm) maintained a similar dry weight to the control, but with a lower seedling height, so it can be inferred that they are more compact seedlings with more cells per cm of stem height.

As observed in the present research, there is a reduction in seedling height with paclobutrazol applications and low population densities, which is documented in the literature. Giovinazzo and Souza-Machado (2001) found that 50 ppm of paclobutrazol applied using the drench method at sowing reduced the size of tomato seedlings by up to 43 %. Seleguini, Vendruscolo, Cardoso-Campos, and de Araujo-Farias (2016) report a 10-cm decrease in tomato plant height when 50 ppm of paclobutrazol was foliarly applied at 15 das. Wien (1999) points out that, with a low population density in the seedbed, competition for light between seedlings is delayed and seedlings are less elongated. This occurred in the present experiment; furthermore, the decrease in leaf area per seedling, by reducing competition for light, stimulated the photosynthesis rate, which was reflected in a significant thickening of the stem and with it a greater seedling dry weight. Under these conditions, at the time of transplant, the seedlings are better prepared to withstand water stress and mechanical damage that usually occur at that time.

The reduction in height, leaf area and leaf area ratio, as well as the increase in dry weight and stem thickness in seedlings to prolong transplantation to 60 das without subsequent negative effects on yield and fruit quality, are considered very important from an agronomic and economic point of view. This is because it is possible to shorten the cycle, from transplanting to the end of harvest, to less than 90 days in the production system with pruning to three clusters per plant, enabling intensive greenhouse production to obtain four growing cycles per year instead of three (25 % more yield than what has been achieved so far with this production system). It should be noted that, in this experiment, the harvest of the first ripe fruits began at 112 das, and the last cut was at 145 das, that is, 85 days after transplanting. Considering the above, treatments combining three applications (20, 40 and 60 das) of paclobutrazol (25 or 50 ppm) and the lower population density (150 seedlings·m⁻²) produced seedlings with higher agronomic quality for transplanting at 60 das.

El grosor del tallo se redujo significativamente con respecto al testigo en la mayoría de los tratamientos de aplicación de paclobutrazol; únicamente la aplicación tardía (40 dds) de 50 ppm resultó en plántulas con tallos más gruesos ($P \leq 0.05$). Giovinazzo y Souza-Machado (2001), al aplicar paclobutrazol en jitomate, reportan un incremento en el diámetro del tallo de 9 %. Sun, Chen, Chang, Tseng, y Wu (2010) también destacan mayor vigor de tallo con la aplicación de paclobutrazol en plántulas de jitomate. Posiblemente las discrepancias con el presente trabajo se deban a las diferencias en dosis, variedades probadas y condiciones experimentales.

Varios de los tratamientos con aplicación de paclobutrazol provocaron una reducción significativa del área foliar de la plántula. Destacan los tratamientos de una aplicación de 50 ppm a los 20 dds y tres aplicaciones de 50 ppm a los 20, 30 y 40 dds, los cuales redujeron esta variable en 218 y 195 cm² por plántula, respectivamente, respecto del testigo sin aplicación (equivalentes a una disminución del 26 y 24 %, respectivamente). Por su parte, los tratamientos de triple aplicación de paclobutrazol en cualquiera de sus dosis (25 o 50 ppm) mantuvieron un peso seco similar al testigo, pero menor altura de plántula, por lo que se infiere que se trata de plántulas más compactas con más células por cm de altura del tallo.

Como se ha observado en la presente investigación, hay reducción en la altura de plántula con aplicaciones de paclobutrazol y bajas densidades de población, lo cual está documentado en la literatura. Giovinazzo y Souza-Machado (2001) encontraron que 50 ppm de paclobutrazol aplicado en *drench* al momento de la siembra redujo el tamaño de plántulas de jitomate hasta 43 %. Seleguini, Vendruscolo, Cardoso-Campos, y de Araujo-Farias (2016) reportan una disminución de 10 cm en altura de planta de jitomate al aplicar en forma foliar 50 ppm de paclobutrazol a los 15 dds. Wien (1999) señala que, con baja densidad de población en el semillero, la competencia por luz entre plántulas se retrasa y las plántulas se elongan menos. Esto ocurrió en el presente experimento; además, la disminución del área foliar por plántula, al reducir la competencia por luz, estimuló la tasa de fotosíntesis, lo que se reflejó en un engrosamiento significativo del tallo y con ello un mayor peso seco de plántulas. Bajo dichas condiciones, al momento del trasplante, las plántulas están mejor preparadas para resistir el estrés hídrico y los daños mecánicos que suelen presentarse en ese momento.

La reducción de altura, área foliar y razón de área foliar, así como el incremento en peso seco y grosor del tallo en plántulas para prolongar el trasplante hasta los 60 dds sin efectos negativos posteriores en el rendimiento y calidad de frutos, se consideran muy importantes desde los puntos de vista agronómico y

Yield and its components

The analysis of variance carried out on variables related to tomato fruit yield and its components (data not shown) indicated significant differences between population density treatments for number of flowers and yield per plant, and highly significant differences between paclobutrazol applications for number of flowers, number of fruits harvested and yield per plant. In no case was the density x paclobutrazol interaction significant. Coefficients of variation were very low (between 4 and 7 %), which contributed to the detection of significant differences even with close numerical values between the variables of the treatments.

Comparisons of means (Table 3) show that, in the average of the paclobutrazol application treatments, with a density of 300 seedlings·m⁻², it was possible to produce one more flower per plant than with 150 seedlings·m⁻², a difference that was significant; however, the number of fruits was statistically equal between the two densities. Neither did the average fruit weight show differences between densities, but the yield per plant, although with little numerical difference, was significantly higher when the seedbed was managed at the higher density (300 seedlings·m⁻²). No satisfactory explanation was found for this result. Possibly in the low-density treatment, because of the greater spacing between seedlings, a microclimate with a higher wind speed, higher temperature and lower relative humidity was formed within the canopy, which can negatively affect the number of flowers that reach anthesis. In any case, a more in-depth study aimed at clarifying what happened is advisable.

Regarding the comparison of means of the paclobutrazol application treatments in the average of the densities (Table 4), it was found that the triple application (20, 30 and 40 das) of 50 ppm of paclobutrazol caused the formation of more flowers per plant relative to the control (23.6 against 21.8 flowers),

económico. Lo anterior debido a que se logra reducir el ciclo, de trasplante a fin de cosecha, a menos de 90 días en el sistema de producción con despunte a tres racimos por planta, lo que posibilita la producción intensiva en invernadero para obtener cuatro ciclos de cultivo al año en lugar de tres (25 % más de rendimiento que lo logrado hasta ahora con este sistema de producción). Cabe señalar que, en este experimento, la cosecha de los primeros frutos maduros inició a los 112 dds, y el último corte fue a los 145 dds, es decir, 85 días después del trasplante. Considerando lo anterior, los tratamientos que combinan tres aplicaciones (20, 40 y 60 dds) de paclobutrazol (25 o 50 ppm) y la densidad de población más baja (150 plántulas·m⁻²) produjeron plántulas con más calidad agronómica para su trasplante a los 60 dds.

Rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza realizado sobre las variables de rendimiento de frutos de jitomate y sus componentes (datos no mostrados) indicó diferencias significativas entre tratamientos de densidad de población para número de flores y rendimiento por planta, y diferencias altamente significativas entre aplicaciones de paclobutrazol para número de flores, número de frutos cosechados y rendimiento por planta. En ningún caso la interacción densidad x paclobutrazol fue significativa. Los coeficientes de variación fueron muy bajos (entre 4 y 7 %), lo que contribuyó a la detección de diferencias significativas aún con valores numéricos cercanos entre las variables de los tratamientos.

Las comparaciones de medias (Cuadro 3) muestran que, en el promedio de los tratamientos de aplicación de paclobutrazol, con una densidad de 300 plántulas·m⁻² se logró producir una flor más por plántula que con 150 plántulas·m⁻², diferencia que fue significativa; no obstante, el número de frutos fue estadísticamente igual entre las dos densidades. Tampoco el peso medio de fruto mostró diferencias entre densidades, pero el

Table 3. Mean comparisons of yield and its components in 'El Cid F1' tomato plants in response to two population densities. Cuadro 3. Comparaciones de medias del rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate 'El Cid F1' en respuesta a dos densidades de población.

Treatment/ Tratamiento	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)
150 seedlings·m ⁻² / 150 plántulas·m ⁻²	21.7 b ²	16.7 a	105 a	1754 b
300 seedlings·m ⁻² / 300 plántulas·m ⁻²	22.7 a	17.1 a	110 a	1864 a
LSD/DMSH	0.66	1.31	7.16	102.5

LSD = least significant difference. ²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Table 4. Mean comparisons of yield and its components in 'El Cid F1' tomato plants in response to eight forms of paclobutrazol application.**Cuadro 4. Comparaciones de medias del rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate 'El Cid F1' en respuesta a ocho formas de aplicación de paclobutrazol.**

Treatment/ Tratamiento	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)
Control without application/ Testigo sin aplicación	21.6 b ^z	15.2 c	108 a	1626 b
50 ppm, 20 das/ 50 ppm, 20 dds	21.7 ab	15.8 bc	110 a	1735 ab
50 ppm, 30 das/ 50 ppm, 30 dds	22.2 ab	17.1 abc	105 a	1834 a
50 ppm, 40 das/ 50 ppm, 40 dds	22.0 ab	17.3 ab	108 a	1875 a
25 ppm, 20 and 40 das/ 25 ppm, 20 y 40 dds	22.1 ab	17.0 abc	108 a	1834 a
50 ppm, 20 and 40 das/ 50 ppm, 20 y 40 dds	22.1 ab	17.3 ab	104 a	1804 ab
25 ppm, 20, 30 and 40 das/ 25 ppm, 20, 30 y 40 dds	22.9 ab	17.9 a	108 a	1913 a
50 ppm, 20, 30 and 40 das/ 50 ppm, 20, 30 y 40 dds	23.4 a	17.3 ab	107 a	1852 a
LSD/DMSH	1.71	2.01	10.06	182.0

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

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

a difference that was significant. Similarly, in several of the paclobutrazol treatments, particularly those with triple applications of 25 and 50 ppm, significantly more fruits were produced per plant than in the control (at least two more fruits per plant), while the average fruit weight was similar in all treatments, including the control (Table 4). As a consequence of the greater number of fruits, the yield per plant was statistically higher than the control in several of the evaluated treatments, but the triple application of 25 ppm of paclobutrazol, which had a yield per plant of almost 300 g more than the control, stands out.

According to Contreras-Magaña, Arroyo-Pozos, Ayala-Arreola, Sánchez-del Castillo, and Moreno-Pérez (2013), and Heuvelink and Okello (2018), in the tomato flower initiation period, young leaves in the growth phase leave fewer photoassimilates available for the inflorescences that are just starting, limiting the number of flowers that can form per inflorescence. Each flower primordium needs a daily minimum of photoassimilates for its growth; if there is not that minimum number of assimilates, some or several primordia abort in favor of the others that are growing at the same time.

rendimiento por planta, aunque con poca diferencia numérica, alcanzó a ser significativamente mayor cuando el semillero se manejó en alta densidad (300 plántulas·m⁻²). No se encontró una explicación satisfactoria a este resultado. Posiblemente en el tratamiento de baja densidad, por el mayor espaciamiento entre plántulas, se formó un microclima con mayor velocidad de viento, mayor temperatura y menor humedad relativa dentro del dosel, lo que puede afectar negativamente el número de flores que alcanzaron antesis. De cualquier manera, se sugiere un estudio más a fondo encaminado a esclarecer lo sucedido.

Con respecto a la comparación de medias de los tratamientos de aplicación de paclobutrazol en el promedio de las densidades (Cuadro 4), se encontró que la triple aplicación (20, 30 y 40 dds) de 50 ppm de paclobutrazol provocó la formación de más flores por planta respecto del testigo (23.6 contra 21.8 flores), diferencia que fue significativa. De manera similar, en varios de los tratamientos de paclobutrazol, en particular los de triple aplicación de 25 y 50 ppm, se produjeron significativamente más frutos por planta que en el testigo (al menos dos frutos más por planta); mientras que el peso medio de fruto fue similar en

Dikshit, Bennett, Precheur, Kleinhenz, and Riedel (2004) applied paclobutrazol to tomato seeds and promoted a greater number of flowers in the first two inflorescences formed. In the present study, significant increases were found in the number of flowers per plant in the treatments with triple application of paclobutrazol with respect to the control, especially with 50 ppm. The greatest effect seems to be in the third inflorescence (data not shown), suggesting that probably earlier applications are required to affect the first and second inflorescence. However, with transplantation occurring up to 60 das, the cycle from transplant to end of harvest took place over 85 days, which makes it possible to obtain up to four growing cycles per year in the greenhouse.

Based on results obtained on the management of tomato cultivation with high population densities and pruning to three clusters per plant, in which the feasibility of achieving three growing cycles per year and high annual productivity have been demonstrated (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Coatzín-Ramírez, Colinas-León, & Peña-Lomelí, 2010; Sánchez-del Castillo et al., 2012; Sánchez-del Castillo, Bastida-Cañada, Moreno-Pérez, Contreras-Magaña, & Sahagún-Castellano, 2014), a commercial validation of this system was carried out. For this, this system was compared with conventional management; this was done under a technology transfer project between tomato producers in the State of Puebla and the *Universidad Autónoma Chapingo* during 2014 and 2015. In the management with high population densities, the average yield per cycle was 142.13 t·ha⁻¹ (426.4 t·ha⁻¹·year⁻¹, 126 t more per year than the conventional system), with an average production cost per cycle of \$770,000.00 MXN (\$2,310,000.00 MXN per year), which represented an average net profit of \$1,041,340.00 MXN per cycle (\$3,124,020.00 MXN per year, against \$1,823,600.00 MXN of net profit per hectare under the conventional system).

The importance of achieving one more production cycle per year lies in the ability to generate additional net profits for producers, which are about a million pesos more per hectare than those obtained with only three cycles.

Conclusions

The two tested population densities enabled successful transplantation up to 60 das. With the density of 150 seedlings·m⁻², seedlings with lower height, larger stem diameter, higher dry weight and lower leaf area ratio were obtained; however, at the end of the growing cycle, the number of flowers and the final yield per plant were higher in the plants that grew in the seedbed at a higher density (300 seedlings·m⁻²), so it is considered the most suitable for seedbed management.

todos los tratamientos, incluyendo al testigo (Cuadro 4). Como consecuencia del mayor número de frutos, el rendimiento por planta fue estadísticamente superior al testigo en varios de los tratamientos evaluados, pero destaca la triple aplicación de 25 ppm de paclobutrazol, la cual tuvo un rendimiento por planta de casi 300 g más que el testigo.

De acuerdo con Contreras-Magaña, Arroyo-Pozos, Ayala-Arreola, Sánchez-del Castillo, y Moreno-Pérez (2013), y Heuvelink y Okello (2018), en el periodo de iniciación floral en jitomate, las hojas jóvenes en crecimiento dejan menos fotoasimilados disponibles para las inflorescencias que se están iniciando, lo que limita el número de flores que se pueden formar por inflorescencia. Cada primordio de flor necesita un mínimo diario de fotoasimilados para su crecimiento; si no hay ese mínimo de asimilados, algunos o varios primordios abortan en favor de los demás que están creciendo al mismo tiempo.

Dikshit, Bennett, Precheur, Kleinhenz, y Riedel (2004) aplicaron paclobutrazol en semillas de jitomate y promovieron un mayor número de flores en las dos primeras inflorescencias formadas. En el presente estudio, se encontraron incrementos significativos sobre el número de flores por planta en los tratamientos con triple aplicación de paclobutrazol con respecto al testigo, sobre todo con 50 ppm. El mayor efecto parece estar en la tercera inflorescencia (datos no mostrados), lo que sugiere que, probablemente, se requieran aplicaciones más tempranas para incidir sobre la primera y segunda inflorescencia. Sin embargo, con el trasplante hasta los 60 dds, el ciclo de trasplante a fin de cosecha se dio en 85 días, lo que posibilita la obtención en invernadero de hasta cuatro ciclos de cultivo al año.

Con base en resultados obtenidos sobre el manejo del cultivo de jitomate en altas densidades de población y poda a tres racimos por planta, en los que se ha demostrado la factibilidad de lograr tres ciclos de cultivo al año y una alta productividad anual (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Coatzín-Ramírez, Colinas-León, & Peña-Lomelí, 2010; Sánchez-del Castillo et al., 2012; Sánchez-del Castillo, Bastida-Cañada, Moreno-Pérez, Contreras-Magaña, & Sahagún-Castellano, 2014), se llevó a cabo una validación comercial de este sistema. Para ello, se comparó dicho sistema con el manejo convencional; esto bajo un proyecto de transferencia de tecnología entre productores de jitomate en el Estado de Puebla y la Universidad Autónoma Chapingo durante 2014 y 2015. En el manejo con altas densidades de población el rendimiento promedio por ciclo fue de 142.13 t·ha⁻¹ (426.4 t·ha⁻¹·año⁻¹, 126 t más al año respecto del sistema convencional), con un costo de producción promedio por ciclo de \$770,000.00 MXN (\$2,310,000.00 MXN por año), lo que representó en

The treatments involving three applications of paclobutrazol (20, 30 and 40 das) decreased seedling height, leaf area and leaf area ratio with respect to the control. In addition, the triple application produced an increase of two flowers and two more fruits per plant compared to the control, which was reflected in 287 g of additional yield per plant at the end of the cycle.

With transplantation up to 60 das, the end of the harvest occurred in 85 days, which makes it possible to obtain up to four growing cycles per year in the greenhouse, and with it 25 % more yield and annual net profits than what have been obtained so far with three cycles.

End of English version

References / Referencias

- Brigard, J. P., Harkess, R. L., & Baldwin, B. S. (2006). Tomato early seedling height control using a paclobutrazol seed soak. *HortScience*, 41(3), 768-772. doi: 10.21273/ORTSCI.41.3.768
- Castellanos, Z. J., & Borbón-Morales, C. (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.
- Cheiri, K., de Gelder, A., & Peet, M. M. (2018). Greenhouse tomato production. In: Heuvelink, E. (Ed.), *Tomatoes* (pp. 276-313). Wallingford, UK: CABI. Retrieved from <https://www.cabi.org/bookshop/book/9781780641935/>
- Contreras-Magaña, E., Arroyo-Pozos, H., Ayala-Arreola, J., Sánchez-del Castillo, F., & Moreno-Pérez, E. C. (2013). Caracterización morfológica de la diferenciación floral en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(4), 59-70. doi: 10.5154/r.rchsh.2012.02.010
- Dikshit, S., Bennett, M. A., Precheur, R. J., Kleinhenz, M. D., & Riedel, R. M. (2004). Transplant quality, disease control and yield in fresh market tomato as affected by paclobutrazol and commercial biological control agents. *Acta Horticulturae*, 631, 283-289. doi: 10.7660/ActaHortic.2004.631.35
- Giovinazzo, R., & Souza-Machado, V. (2001). Paclobutrazol responses with processing tomato in France. *Acta Horticulturae*, 542, 355-358. doi: 10.17660/ActaHortic.2001.542.46
- Heuvelink, E., Li, T., & Dorais, M. (2018). Crop growth and yield. In: Heuvelink, E. (Ed.), *Tomatoes* (pp. 89-136). Wallingford, UK: CABI. Retrieved from <https://www.cabi.org/bookshop/book/9781780641935/>
- Heuvelink, E., & Okello, R. C. (2018). Developmental processes. In: Heuvelink, E. (Ed.), *Tomatoes* (pp. 59-88). Wallingford, UK: CABI. Retrieved from <https://www.cabi.org/bookshop/book/9781780641935/>
- Latimer, J. G. (1992). Drought, paclobutrazol, abscisic acid, and gibberellic acid as alternatives to daminozide in promedio una ganancia neta de \$1,041,340.00 MXN por ciclo (\$3,124,020.00 MXN por año, contra \$1,823,600.00 MXN de ganancia neta por hectárea bajo el sistema convencional).
- La importancia de lograr un ciclo de producción más por año es poder generar ganancias netas adicionales para los productores, las cuales son cerca de un millón de pesos más por hectárea respecto de las obtenidas con sólo tres ciclos.

Conclusiones

Las dos densidades de población probadas permitieron el trasplante con éxito hasta los 60 dds. Con la densidad de 150 plántulas·m² se obtuvieron plántulas con menor altura, mayor diámetro de tallo, mayor peso seco y menor razón de área foliar; sin embargo, al final del ciclo de cultivo, el número de flores y el rendimiento final por planta fue mayor en las plantas que crecieron en el semillero a una mayor densidad (300 plántulas·m²), por lo que se considera la más adecuada para el manejo del semillero.

Los tratamientos de tres aplicaciones de paclobutrazol (20, 30 y 40 dds) disminuyeron la altura de plántula, el área foliar y la razón de área foliar con respecto al testigo. Además, la triple aplicación produjo un incremento de dos flores y dos frutos más por planta en comparación con el testigo, lo que se reflejó en 287 g más de rendimiento por planta al final del ciclo.

Con el trasplante hasta los 60 dds, el fin de la cosecha se dio en 85 días, lo que posibilita la obtención de hasta cuatro ciclos de cultivo al año en invernadero, y con ello un 25 % más de rendimiento y de beneficio económico anual de lo que se ha obtenido hasta ahora con tres ciclos.

Fin de la versión en español

- tomato transplant production. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 117(2), 243-247. doi: 10.21273/JASHS.117.2.243
- Rademacher, W. (2000). Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 501-531. doi: 10.1146/annurev.arplant.51.1.501
- Sánchez-del Castillo, F., Bastida-Cañada, O. A., Moreno-Pérez, E. C., Contreras-Magaña, E., & Sahagún-Castellano, J. (2014). Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(3), 48-59. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.10.037
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., Coatzín-Ramírez, R., Colinas-León, M. T., & Peña-Lomelí, A.

- (2010). Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 207-214. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.16.026
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., & Contreras-Magaña, E. (2012). Development of alternative commercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Horticulturae*, 947, 179-187. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.947.22
- Sánchez-del Castillo, F., & Moreno-Pérez, E. C. (2017). *Diseño agronómico y manejo de invernaderos. Serie agricultura protegida I*. Chapingo, 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
- Seleguini, A., Vendruscolo, P. E., Cardoso-Campos, L. F., & de Araujo-Farias, M. J. (2016). Paclobutrazol effect on plant growth and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production in protected environment. *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 391-399. doi: 10.17268/sci.agropecu.2016.04.04
- Seleguini, A., de Araujo-Faria, M. J., Silva-Benett, K. S., Lacerda-Lemos, O., & Seno, S. (2013). Strategies for tomato seedling production using paclobutrazol. *Semina: Ciencias Agrarias*, 34(2), 539-548. doi: 10.5433/1679-0359.2013.v34n2p539
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). *Indicadores Económicos*. Retrieved July 20, 2018 from <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/indicadores-economicos>
- Soltani, A., & Sinclair, T. (2012). *Modelling physiology of crop development, growth and yield*. Oxfordshire, UK: CAB International.
- Sun, Y. W., Chen, J. J., Chang, W. N., Tseng, M. J., & Wu, F. S. (2010). Irrigation with 5°C water and paclobutrazol promotes strong seedling growth in tomato (*Solanum lycopersicon*). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85(4), 305-311. doi: 10.1080/14620316.2010.11512672
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). Plant physiology. *Annals of Botany*, 91(6), 750-751. doi: 10.1093/aob/mcg079
- Wien, H. C. (1999). Transplanting. In: Wien, H. C. (Ed.), *The physiology of vegetable crops* (pp. 37-67). Cambridge, U. K: CABI Publishing.