

RENDIMIENTO DE JITOMATE CON DIFERENTES MÉTODOS DE CULTIVO HIDROPÓNICO BASADOS EN DOSELES ESCALERIFORMES

Felipe Sánchez-Del-Castillo; Olmo Atxayácatl Bastida-Cañada;
Esaú del Carmen Moreno-Pérez; Efraín Contreras-Magaña;
Jaime Sahagún-Castellanos

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Estado de México, MÉXICO. C.P. 56230.
Correo-e: esaump10@yahoo.com.mx (Autor para correspondencia).

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue comparar el rendimiento por unidad de superficie y tiempo que se puede lograr con sistemas de producción de plantas de jitomate en hidroponía bajo invernadero con la formación de doseles en forma de escalera (escaleriformes) en relación con los de dosel uniforme. Se trabajó con plantas despuntadas para dejarles sólo tres racimos a cada una y así limitar su altura a menos de un metro. Las plantas se agruparon en hileras ubicadas a diferente altura para conformar cuatro modalidades distintas de dosel en forma de escalera y también se manejó un testigo de dosel uniforme con todas las hileras de plantas a la misma altura. Cada tratamiento de dosel escaleriforme se probó a dos densidades de población (11.1 y 15.5 plantas·m⁻² de invernadero). Se utilizó un diseño en bloques al azar con tres repeticiones. Las variables estudiadas fueron el rendimiento y número de frutos por unidad de superficie y por planta, y el peso medio de los frutos. Se encontró que los doseles escaleriformes obtuvieron mayor rendimiento por unidad de superficie que el testigo uniforme. En estos doseles las plantas en alta densidad produjeron mayor rendimiento y número de frutos por unidad de superficie que las que crecieron con la menor densidad, en tanto que el peso medio de frutos no disminuyó significativamente.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Solanum lycopersicum*, arreglos de plantación, densidad de población, hidroponía, despunte.

TOMATO YIELD WITH DIFFERENT HYDROPONIC PRODUCTION METHODS BASED ON LADDER-SHAPED CANOPIES

ABSTRACT

The objective of this study was to compare the yield per unit area and the time in which it can be achieved using hydroponic tomato plant production systems under greenhouse conditions, based on the formation of ladder-shaped in relation to uniform canopies. Plants were trimmed to leave only three clusters in each one, and thus limit their height to less than a meter. Plants were grouped in rows located at different heights to form four different modalities of ladder-shaped canopy and also a control was conducted with all the rows of plants located at the same height. Each ladder-shaped canopy treatment was tested at two population densities (11.1 and 15.5 plants·m⁻² of greenhouse space). A randomized block design with nine treatments and three replications was used. Variables studied were: yield and number of fruits per plant and unit area, and mean fruit weight. It was found that plants in ladder-shaped canopies yielded more per unit area than those in the control with uniform canopy. In these canopies high density plants produced higher yields and number of fruit per unit area than those grown under lower density, whereas the mean fruit weight did not decrease significantly.

ADDITIONAL KEYWORDS: *Solanum lycopersicum*, plantation arrays, plant density, hydroponics, trimming.

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de jitomate en invernadero que más se ha generalizado en el mundo, consiste en utilizar variedades de crecimiento indeterminado (generalmente de tipo bola), en donde se manejan densidades de 2 a 3 plantas·m⁻² que llegan a crecer más de 7 m de largo, con área foliar que sobrepasa de 1 m² por planta. Con este sistema, en invernaderos con muy buen control de clima y del ambiente en la raíz, se logran cosechar de 15 a 25 racimos por planta por año, lo que implica ciclos largos de cultivo, que llegan a durar hasta 10 meses desde el trasplante hasta el final de la cosecha (Ponce *et al.*, 2000). Con esto es posible obtener hasta 500 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Hanan, 1998; Resh, 2001). El problema principal es que se requiere de tecnología, infraestructura y equipo muy sofisticado que hace difícil el manejo técnico (Heuvelink y Dorais, 2005) y conlleva a muy altos costos de producción que sólo se justifican mediante el acceso a mercados selectos que pueden pagar precios muy altos a cambio de la calidad y sanidad de los productos cosechados.

Se ha desarrollado en la Universidad Autónoma Chapingo una alternativa de producción técnicamente más fácil y de menor costo. Ésta consiste en despuntar tempranamente las plantas (eliminar la yema terminal) para dejar sólo tres racimos por planta, con lo que se reduce su altura a aproximadamente un metro y su área foliar por planta a menos de 0.4 m². Esto hace factible establecerlas en densidades de población tan altas como 8 plantas·m⁻² (Ponce *et al.*, 2000; Ucan *et al.*, 2005; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012). Aunque el rendimiento por planta es menor, debido a que sólo se cosechan tres racimos de cada una, por unidad de superficie se compensa debido a la mayor densidad de población que se utiliza. Dado que el ciclo desde el trasplante hasta el fin de cosecha se acorta de 10 a tres o cuatro meses (según la edad a la que se trasplante), en un esquema de producción continua se pueden obtener tres a cuatro ciclos por año (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez y Ponce, 1998;) y se han logrado producciones a escala comercial de hasta 600 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Sánchez *et al.*, 1998). Además, se tiene la ventaja de concentrar la cosecha de todo un ciclo en un lapso menor a un mes, por lo que puede programarse para aprovechar las ventanas de mercado donde el precio es más alto (Méndez-Galicia *et al.*, 2005; Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2007).

La disposición de las plantas bajo este sistema ha sido en marco real en camas de 1.2 m de ancho, separadas por pasillos de 0.5 m. Se han manejado cuatro hileras de plantas por cama (Sánchez y Ponce 1998), con rendimientos que oscilan entre los 12 y 18 kg·m⁻² en ciclos de tres a cuatro meses de trasplante a fin de cosecha (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012). Se ha observado que las dos hileras de plantas dispuestas a lo largo del centro de las tinas, por tener competencia completa por radiación fotosintéticamente activa (RFA) han rendido un 25 % menos que las plantas ubicadas en las hileras exteriores que se ven favorecidas por el espacio de los pasillos (Ucan *et al.*, 2005).

INTRODUCTION

The greenhouse tomato production system which has become the most common in the world consists of using indeterminate growth varieties (usually round tomato), where densities from 2 to 3 plants·m⁻² are handled, which grow more than 7 m long, with leaf area exceeding 1 m² per plant. With this system, greenhouses with very good climate and root environment control are able to harvest 15 to 25 clusters per plant per year, which means longer growing seasons that can last up to 10 months after transplanting until the end of the harvest (Ponce *et al.*, 2000). With this, it is possible to obtain up to 500 t·ha⁻¹·year⁻¹ (Hanan, 1998; Resh, 2001). The main problem is that it requires technology, infrastructure and sophisticated equipment, which makes technical management difficult (Heuvelink and Dorais, 2005) and leads to very high production costs that can only be justified through access to selected markets that can pay very high prices in return for quality and health of the harvested products.

A technically easier and less expensive production alternative has been developed at the Universidad Autónoma Chapingo. This alternative involves early trimmed plants (remove the terminal bud) to leave only three clusters per plant, reducing the height to about one meter and leaf area per plant to less than 0.4 m². This makes it feasible to establish them in population densities as high as 8 plants·m⁻² (Ponce *et al.*, 2000; Ucan *et al.*, 2005; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012). Although the yield per plant is lower, because only three clusters are harvested from each plant, it is offset by unit area due to the higher population density that is used. Since the cycle from transplanting until the end of harvest is shortened from 10 to three or four months (according to the age of transplanting) a continuous production scheme can have three to four cycles per year (Sánchez and Corona, 1994; Sánchez and Ponce, 1998;) and productions on a commercial scale of up to 600 t·ha⁻¹·year⁻¹ (Sánchez *et al.*, 1998.) have been achieved. Furthermore, it has the advantage of concentrating the harvest of a whole cycle in less than one month period, so it can be programmed to take advantage of market windows where the price is higher (Méndez-Galicia *et al.*, 2005; Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2007).

The arrangement of plants under this system has been in 1.2 m wide beds, separated by rows of 0.5 m. Four rows of plants per bed (Sánchez and Ponce 1998), with yields ranging between 12 and 18 kg·m⁻² in cycles of three to four months from transplanting to the end of harvest (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012). It has been observed that the two rows of plants arranged along the center of the tubs, due to full competition for photosynthetically active radiation (PAR), have yielded 25 % less than the plants in the outer rows that are favored by the corridor space (Ucan *et al.*, 2005).

According to Gardner *et al.* (1990), if the distribution of solar radiation on leaves of the canopy is improved, it could

De acuerdo con Gardner *et al.* (1990), si se mejora la distribución de la radiación solar en las hojas del dosel se podría lograr una mayor producción de materia seca por día, y por lo tanto un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo. Señalan que para una misma irradiancia diaria se produce más biomasa en aquellos doseles en que la radiación incidente se distribuye más uniformemente entre todas las hojas.

Considerando la latitud de la localidad y los movimientos diarios y estacionales del sol, se pueden disponer hileras de plantas despuntadas a tres racimos, colocadas a distinta altura y orientadas de tal manera que se logre una distribución más homogénea de la radiación solar en cada una de las hojas del dosel, lo que puede permitir un incremento en la tasa de asimilación neta (g de materia seca producida en cada m² de hoja por día) para un índice de área foliar (IAF) dado, o el establecimiento de un mayor número de plantas por unidad de superficie (mayor IAF) sin que haya una disminución significativa de dicha tasa de asimilación neta. De esta manera se pueden lograr más racimos por unidad de superficie y tiempo, sin que disminuya significativamente el número de frutos por racimo ni el peso medio de los frutos, con lo cual se puede incrementar aún más el rendimiento y la productividad anual (Méndez-Galicia *et al.*, 2005; Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2007).

Con la idea de incrementar el rendimiento mediante una distribución más homogénea de la RFA, se han propuesto varias formas de distribuir las plantas para hacer un dosel en forma de escalera (escaleriforme): con hileras de plantas trasplantadas de la misma edad, pero con diferente número de racimos por planta (Jorge-Santos y Sánchez-Del-Castillo, 2003; Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2007); con hileras de plantas trasplantadas de la misma edad, pero despuntadas a diferente altura y establecidas en dirección este-oeste (Méndez-Galicia *et al.*, 2005; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2010) o en dirección norte-sur (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2009); con hileras de plantas despuntadas a tres racimos, pero trasplantadas en diferentes fechas (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos por los diferentes autores muestran que, en general, los sistemas de producción basados en doseles escaleriformes han superado el rendimiento de los testigos uniformes de 20 a 50 %, con potenciales de rendimiento anual cercanos a los 100 kg·m⁻², muy superiores al rendimiento que se ha logrado con sistemas convencionales en invernadero (Resh, 2001; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012).

En varios de los estudios mencionados se ha trabajado con variedades de crecimiento indeterminado o con densidades relativamente altas, lo que ha provocado doseles con índices de área foliar muy elevados (mayor a cinco), que han afectado parámetros de calidad como el tamaño y peso medio del fruto.

Las variedades con hábito de crecimiento determinado presentan menos área foliar por planta que los de hábito indeterminado, por lo que la densidad óptima para el primer

achieve greater production of dry matter per day, and therefore a higher yield per unit area and time. For the same daily irradiance, more biomass is produced in those canopies where the incident radiation is more evenly distributed among all leaves.

Given the latitude of the locality and the daily and seasonal sun moves, we can have rows of plant trimmed to three clusters, placed at different heights and oriented so that a more homogeneous distribution of solar radiation is achieved in each leaf of the canopy, which may allow an increase in net assimilation rate (g of dry matter produced in each m² of leaf per day) for a leaf area index (LAI) given, or the establishment of a greater number of plants per unit area (greater LAI) without a significant decrease in the rate of net assimilation. In this manner, we can have more clusters per surface and time unit, without significantly reducing the number of fruits per cluster and the average weight of the fruit, which can further increase the yield and annual productivity (Méndez-Galicia *et al.*, 2005; Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2007).

With the idea of increasing the yield by a more homogeneous distribution of the PAR, several methods have been proposed to distribute the plants to make a ladder-shaped canopy: with rows of transplanted plants of the same age, but different number of clusters per plant (Jorge-Santos and Sánchez-Del-Castillo, 2003; Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2007); with rows of transplanted plants of the same age, but trimmed at different heights and established in an east-west direction (Méndez-Galicia *et al.*, 2005; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2010) or north-south direction (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2009); with rows of plant trimmed to three clusters, but transplanted at different times (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2010). The results obtained by different authors show that, in general, production systems based on ladder-shaped canopies have exceeded the yield of uniform control treatments by 20 to 50 %, with potential annual yield near 100 kg·m⁻², far superior compared to the yield achieved with conventional greenhouses (Resh, 2001; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012).

Several of the studies mentioned have worked with indeterminate growth varieties or with relatively high densities, causing canopies with very high leaf area rates (greater than five), affecting quality parameters such as size and average weight fruit.

The varieties with determinate growth habit have less leaf area per plant than those of indeterminate habit, so that the optimal density for the first group of varieties and with these ladder-type arrangements of plants has not been precisely defined.

Based on the above, in the present study, an objective was to compare the yield and yield components (number of fruits and average fruit weight) per unit area and time among four

grupo de variedades y con estos arreglos escaleriformes de las plantas no ha sido definida con precisión.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue comparar el rendimiento y sus componentes (número de frutos y peso medio de fruto) por unidad de superficie y tiempo entre cuatro diferentes arreglos escaleriformes del dosel y un arreglo de dosel uniforme usado como testigo, en todos los casos manejando plantas despuntadas a tres racimos.

Un segundo objetivo fue definir, para cada sistema escaleriforme, cuál es la distancia entre plantas que otorga el mayor rendimiento por unidad de superficie sin afectar el tamaño de fruto en una variedad determinada.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo de julio de 2011 a febrero de 2012, en un invernadero del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en Chapingo, Estado de México, México, a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, altitud de 2,245 m.

Se trabajó en un invernadero tipo capilla de estructura metálica, con cubierta de polietileno térmico calibre 720, con 80 % de transmisión de luz, cortinas del mismo material y ventanas protegidas con malla antiáfidos en las paredes laterales y frontales, a fin de evitar la entrada de insectos. Con la finalidad de tener mejor difusión de la luz se cubrió el piso con tela blanca de polipropileno (*ground cover*). El invernadero contaba con sistema de calefacción con capacidad para elevar la temperatura interior hasta 10 °C sobre la exterior.

Se utilizó el híbrido de jitomate 'Pik Ripe 461', tipo bola determinado. Es una planta fuerte y vigorosa, con resistencia a *Fusarium* (razas 1 y 2), a ToMV (Virus del Mosaico del Tomate, razas 0, 1 y 2) y a TYLCV (Rizado del Tomate). Su alto potencial de rendimiento se basa en los frutos redondos de excelente tamaño y uniformidad (Anónimo, 2011).

Los tratamientos de dosel escaleriforme evaluados se describen a continuación y se muestran en la Figura 1.

Tratamientos 1 y 2. Escalera con cinco y siete plantas por metro de hilera ($\text{plantas}\cdot\text{m}^{-1}$), respectivamente, en dosel en forma de escalera (escaleriforme) formado por cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos, con orientación este-oeste y soportadas por una estructura que permitió colocar cada hilera de plantas en una tina a distinta altura (30 cm de diferencia en altura entre hileras contiguas). El marco de plantación fue de 20 y 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar densidades de 11.1 y 15.5 $\text{plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero, respectivamente (considerando pasillos de 60 cm de ancho). Las plántulas fueron trasplantadas a los 45 días de edad.

different ladder-canopy arrangements and under uniform canopy arrangement used as control, in all cases using plants trimmed to three clusters.

A second objective was to define, for each ladder-system, the distance between plants that gives the highest yield per unit area without affecting fruit size in a given variety.

MATERIALS AND METHODS

This study was carried out from July 2011 to February 2012 in a greenhouse at the Horticulture Institute, Department of Plant Science, Universidad Autónoma Chapingo, located in Chapingo, State of Mexico, Mexico, at 19° 29' N and 98° 53' W, at an elevation of 2,245 m.

We worked in a chapel type greenhouse with a metal structure, polyethylene thermal cover caliber 720 with 80 % light transmission, with curtains of the same material and protected windows with anti-aphids mesh in front and side walls to avoid the entry of insects. The ground was covered with white polypropylene fabric in order to get a better light diffusion. The greenhouse had a heating system capable of raising the internal temperature to 10 °C above the outside temperature.

The hybrid 'Pik Ripe 461' of round tomato was used. It is a strong and vigorous plant with resistance to *Fusarium* (races 1 and 2), to ToMV (Tomato Mosaic Virus, races 0, 1 and 2) and to TYLCV (Tomato Curly). Its high yield potential is based on round fruits of excellent size and uniformity (Anónimo, 2011).

The ladder-canopy treatments evaluated are described below and shown in Figure 1.

Treatments 1 and 2. Ladder with five and seven plants per meter of row ($\text{plants}\cdot\text{m}^{-1}$), respectively, in a ladder-shaped canopy formed by four rows of plants trimmed to three clusters, orientation east-west and supported by a structure that allowed to place each row of plants in a tub at different heights (30 cm difference of height between adjacent rows). The planting was 20 and 14.3 cm between plants and 25 cm between rows to give densities of 11.1 and 15.5 $\text{plants}\cdot\text{m}^{-2}$ of greenhouse, respectively (taking into account corridors of 60 cm wide). Seedlings were transplanted at 45 days of age.

Treatments 3 and 4. Pyramid with 5 and 7 $\text{plants}\cdot\text{m}^{-1}$, respectively, in a ladder-shaped canopy formed by five rows of plants trimmed to three clusters, with orientation north-south and supported by a structure that allowed to place each row of plants in a tub at different heights (30 cm difference of height between adjacent rows). The rows of the north and south edges stay on the lowest floor and the middle row on the highest. Planting distances were 20 and 14.3 cm between plants and 25 cm between rows to give a density of 11.9 and 16.7 $\text{plants}\cdot\text{m}^{-2}$ of greenhouse, respectively (taking into account width corridors of 60 cm). Seedlings were transplanted at 45 days of age.



FIGURA 1. Tratamientos escaleriformes: 1. Escalera; 2. Pirámide; 3. Intercambio; 4. Imbricación.

FIGURE 1. 1. Ladder treatment; 2. Pyramid treatment; 3. Exchange treatment; 4. Overlapping treatment.

Tratamientos 3 y 4. Pirámide con 5 y 7 plantas·m⁻¹, respectivamente, en dosel escaleriforme formado por cinco hileras de plantas despuntadas a tres racimos, con orientación norte-sur y soportadas por una estructura que permitió colocar cada hilera de plantas en una tina a distinta altura (30 cm de diferencia de altura entre hileras contiguas). Las hileras de las orillas norte y sur quedaron en el piso más bajo y la hilera central en el más alto. Los marcos de plantación fueron de 20 y 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 11.9 y 16.7 plantas·m⁻² de invernadero, respectivamente (considerando pasillos de 60 cm de ancho). Las plántulas fueron trasplantadas a los 45 días de edad.

Tratamientos 5 y 6. Intercambio con 5 y 7 plantas·m⁻¹, respectivamente, en un dosel escaleriforme de producción continua formado por cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos con orientación norte-sur. Inicialmente sólo las tinas de las dos hileras centrales se trasplantaron con plántulas de 50 días de edad (ciclo 1). Después de 50 días se trasplantaron las dos hileras exteriores también con

Treatments 5 and 6. Exchange with 5 and 7 plants·m⁻¹, respectively, in a ladder-shaped canopy of continuous production formed by four rows of plants trimmed to three clusters with orientation north-south. At the beginning, only the tubs with two central rows were transplanted with 50-day-old seedlings (1 cycle). After 50 days, the two outer rows were also transplanted with 50-day-old seedlings (cycle 2) after 50 days; in this manner, plants of the central rows were higher than those from outer rows. Fifty days later the harvest of cycle 1 was completed; after removing the harvested plants, tubs were removed from the central rows. Then, tubs with plants were moved from the edges to the middle of the greenhouse and the empty tubs were place on the sides to immediately transplant 50-day-old seedlings (cycle 3). With the overlap of two cycles, planting was under 20 and 14.3 cm between plants and 25 cm between rows, densities of 11.1 and 15.5 plants·m⁻² of greenhouse, respectively (taking into account the width corridor of 60 cm). Transplant dates were one every 50 days, 50 and 100 days after starting the experiment.

plántulas de 50 días de edad (ciclo 2); de esta manera, las plantas de las hileras centrales eran más altas que las exteriores. Transcurridos 50 días más se terminó la cosecha del ciclo 1, después de eliminar las plantas cosechadas, se quitaron las tinas de cultivo de las hileras centrales. Entonces se corrieron las tinas con plantas de las orillas hacia el centro y se colocaron las tinas vacías a los lados para trasplantarlas inmediatamente con plántulas de 50 días de edad (ciclo 3). Con el traslape de dos ciclos el marco de plantación quedó de 20 y 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, para dar densidades de 11.1 y 15.5 plantas·m⁻² de invernadero, respectivamente (considerando el ancho de pasillo de 60 cm). Las fechas de trasplante fueron cada 50 días a uno, 50 y 100 días de iniciado el experimento.

Tratamientos 7 y 8. Imbricación cada 22 días con 5 y 7 plantas·m⁻¹, respectivamente, en un dosel escaleriforme formado por cinco hileras de plantas despuntadas a tres racimos con orientación este-oeste. Inicialmente sólo la tina que da al norte se trasplantó con plántulas de 60 días de edad (ciclo 1). Después de 22 días se trasplantó la tina contigua a la anterior también con plántulas de 60 días de edad (ciclo 2); transcurridos 22 días más, la contigua a la anterior, y así sucesivamente hasta llegar a la quinta tina que daba al sur. Con el traslape de cinco ciclos de producción, los marcos de plantación quedaron de 20 y 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, para dar densidades de 11.1 y 15 plantas·m⁻² de invernadero, respectivamente (considerando un ancho de pasillo de 60 cm). Las fechas de siembra fueron cada 22 días a uno, 22, 44, 66 y 88 días de iniciado el experimento.

Tratamiento 9. Testigo, que consistió de un dosel uniforme formado por cuatro hileras de plantas a la misma altura, despuntadas a tres racimos y orientadas en dirección norte-sur, tal como se ha manejado comercialmente con base en resultados experimentales previamente obtenidos (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012). El marco de plantación fue de 30 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar densidad de 8.3 plantas·m⁻² de invernadero (considerando un ancho de pasillo de 60 cm).

El diseño experimental fue un arreglo en bloques al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron conformadas por la combinación entre los distintos tipos de arreglos y distinto número de plantas por metro lineal. Cada combinación de arreglo del dosel y número de plantas por metro lineal se consideró como un tratamiento independiente.

Como sustrato se utilizó arena de tezontle rojo. Las semillas se sembraron en macetas de polietileno rígido de 0.7 litros de capacidad. El trasplante se hizo a tinas construidas con lámina de acero galvanizado calibre 24, con dimensiones de 100 cm de largo por 25 cm de ancho y 25 cm de altura como se aprecian en la Figura 1.

Desde la siembra se regó con la solución nutritiva propuesta por Méndez-Galicia *et al.*, (2005), al 50 % de su concentra-

Treatments 7 and 8. Overlapping every 22 days with 5 and 7 plants·m⁻¹, respectively, in a ladder-shaped canopy formed of five rows of plants trimmed to three clusters with orientation east-west. At the beginning, only the north tub was transplanted with 60-day-old seedlings (cycle w). After 22 days, the adjacent tub was transplanted also with 60 days old seedlings (cycle 2); after 22 days more, the adjacent tub was transplanted, and so on until transplanting the fifth tub on the south side. With the overlap of five production cycles, planting was under 20 and 14.3 cm between plants and 25 cm between rows, densities of 11.1 and 15 plants plants·m⁻² of greenhouse, respectively (taking into account a width corridor of 60 cm). Planting dates were every 22 days at one, 22, 44, 66 and 88 days after starting the experiment.

Treatment 9. Control, which consisted of a uniform canopy formed by four rows of plants at the same height, trimmed to three clusters and oriented north-south, as it has been commercially managed based on previously obtained experimental results (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2012). Planting was 30 cm between plants and 25 cm between rows with a density of 8.3 plants·m⁻² of greenhouse (taking into account a width corridor of 60 cm).

The experimental design was a randomized block arrangement with three replications. The experimental units were formed by the combination of different types of arrangements and different number of plants per linear meter. Each combination of canopy arrangement and number of plants per linear meter is considered as a separate treatment.

Red volcanic rocks were used as substrate. The seeds were sown in rigid polyethylene pots of 0.7 liters. Tubs for transplanting were built with galvanized steel sheet caliber 24, with dimensions of 100 cm long by 25 cm wide and 25 cm high, as shown in Figure 1.

The nutrient solution given by Méndez-Galicia *et al.*, (2005) was used from planting, at 50 % of its normal concentration. From the third week of the emergence and until the end of the growing cycle, the nutrient solution was applied at 100 % of the indicated concentration. Irrigation, from transplanting, was done with drip tape made with flexible polyethylene and always with nutrient solution, applying, in several daily irrigations, the amount needed to maintain the substrate holding capacity depending on weather conditions and plant age. The average expenditure of nutrient solution varied between 3 and 6 liters·m⁻²·day⁻¹.

We evaluated yield and its components per plant, per row of plants and per unit area. The variables studied were:

Yield per unit area (kg·m⁻² of greenhouse), calculated by the weight of fruit obtained by treatment summing all cuts.

Yield per plant (kg·plant⁻¹), calculated by weight of fruit obtained per plant after summing all cuts.

ción normal. A partir de la tercera semana de la emergencia y hasta el final del ciclo de cultivo, la solución nutritiva se aplicó al 100 % de la concentración indicada. El riego, a partir del trasplante, se efectuó con cinta de goteo de polietileno flexible y siempre con solución nutritiva, aplicando, en varios riegos al día, la cantidad necesaria para mantener el sustrato a su capacidad de retención según las condiciones climáticas y la edad de la planta. El gasto promedio de solución nutritiva osciló entre 3 y 6 litros·m⁻²·día⁻¹.

Se evaluó el rendimiento y sus componentes por planta, por hilera de plantas y por unidad de superficie. Las variables estudiadas fueron:

Rendimiento por unidad de superficie (kg·m⁻² de invernadero), calculado mediante el peso de frutos obtenido por tratamiento en la suma de todos los cortes.

Rendimiento por planta (kg·planta⁻¹), calculado mediante el peso de frutos obtenido por planta en la suma de todos los cortes.

Rendimiento de cada hilera de plantas dentro de los tratamientos de escalera, pirámide y testigo, reportado en kg·m⁻¹ de hilera. Se hicieron para detectar efectos de competencia entre hileras de plantas. No se efectuaron para los tratamientos de intercambio e imbricación debido a que en estos casos los efectos de competencia se dieron en diferentes tiempos, y no sería válida la comparación.

Número de frutos por unidad de superficie (frutos·m⁻² útil), calculado mediante el peso de frutos obtenido por tratamiento en la suma de todos los cortes.

Número de frutos por planta (frutos·planta⁻¹), calculado mediante el peso de frutos obtenido por planta en la suma de todos los cortes.

Número de frutos por cada hilera de plantas dentro de cada tratamiento de escalera, pirámide y testigo, reportado en frutos·m⁻¹ de hilera.

Peso medio de frutos (gramos), obtenido dividiendo el rendimiento por planta entre el número de frutos por planta.

Peso medio de frutos por hilera de plantas dentro de cada tratamiento de escalera, pirámide y testigo, reportado en gramos.

Con el programa SAS (Statistical Analysis System) se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para cada variable entre tratamientos y para analizar las variables por hilera dentro de cada tratamiento de escalera, pirámide y testigo.

Para el análisis de los tratamientos de intercambio y de imbricación se consideró el número de hileras requeridas para completar un ciclo de producción (las primeras cuatro hile-

Yield of each row of plants within ladder, pyramid and control treatments were reported in kg·m⁻¹ of row. Those were made to detect effects of competition between plant rows. They were not performed for exchange and overlapping treatments because in these cases the effects of competition were given at different times, and the comparison will not be valid.

Number of fruits per unit area (fruits·m⁻² useful), calculated by weight of fruit obtained per treatment summing all cuts.

Number of fruits per plant (fruits·plant⁻¹), calculated by the weight of fruit per plant in the sum of all cuts.

Number of fruits per plant row within each ladder, pyramid and control treatment reported in fruits·m⁻¹ of row.

Average weight of fruits (grams) obtained by dividing the yield per plant by the number of fruits per plant.

Average weight of fruits per plant row within each ladder, pyramid and control treatment reported in grams.

Using the SAS (Statistical Analysis System) program, we performed the analysis of variance and Tukey comparisons test ($P \leq 0.05$) for each variable among treatments and to analyze the variables per row within each ladder, pyramid and control treatment.

For the analysis of exchange and overlapping treatments we considered the number of rows required to complete a production cycle (the first four rows of plants harvested for exchange and the first five rows of plants harvested for overlapping).

RESULTS AND DISCUSSION

Comparison among treatments

The analysis of variance (data not shown) showed highly significant treatment effects for variables yield per unit area, fruits per unit area, yield per plant, fruits per plant and average fruit weight. Table 1 shows the mean comparison test of treatments for these variables.

Ladder treatment with 7 plants·m⁻¹ had the highest yield per unit area (more than double compared to the control of uniform canopy), which is explained by the higher number of fruits per unit area and their high average weight, although it was not the highest, it is among the largest. This treatment was statistically superior to all treatments except for the ladder treatment with 5 plants·m⁻¹, which exceeded it by 5.4 kg·m⁻², a difference that is close to the HSD (5.5).

The uniform canopy control had the lowest yield per unit area and number of fruits per unit area. This treatment had high values for yield per plant, number of fruits per plant and average weight of fruits, so the low values in yield are explained

ras de plantas cosechadas para intercambio y las primeras cinco hileras de plantas cosechadas para imbricación).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación general entre tratamientos

En el análisis de varianza (datos no mostrados) se encontraron efectos altamente significativos de los tratamientos para las variables rendimiento por unidad de superficie, frutos por unidad de superficie, rendimiento por planta, frutos por planta y peso medio de frutos. En el Cuadro 1 se muestra la prueba de comparación de medias de tratamientos para las variables mencionadas.

Se observó que el tratamiento de escalera con 7 plantas·m⁻¹ produjo el mayor rendimiento por unidad de superficie (más del doble respecto al testigo de dosel uniforme), lo cual se explica por el mayor número de frutos por unidad de superficie y el alto peso medio de los mismos, que si bien no fue el más alto, está dentro de los mayores. Este tratamiento fue estadísticamente superior a todos los tratamientos, excepto al de escalera con 5 plantas·m⁻¹, al cual superó por 5.4 kg·m⁻², diferencia que es cercana a la DMSH (5.5).

El testigo de dosel uniforme por unidad de superficie obtuvo el menor rendimiento y número de frutos. Se puede observar que presentó valores altos para rendimiento por

by the lower density used in this treatment (8 plants·m⁻²). According to previous studies by Jorge-Santos and Sánchez-Del-Castillo (2003) and Ucan *et al.* (2005), densities higher than 8 plants·m⁻² trimmed to three clusters for uniform canopies have increased the yield per unit area, but at the expense of a significant decrease in fruit size or average fruit weight, a factor which is determinative of the sale price, so the density is considered as the most appropriate.

The arrangement of ladder-shaped canopy with orientation east-west showed that 7 plants·m⁻¹ had 22 % more yield per unit area and 31 % larger fruit number than 5 plants·m⁻¹; this was due to the greater number of plants per m² of greenhouse, 15.6 against 11.1 plants·m⁻², respectively, which offset the lower yield and the lowest number of fruits per plant that had seven compared to five plants per linear meter. Considering that the average fruit weight decreased by only 8 %, for the ladder treatment the density of 7 plants·m⁻¹ is more recommendable than 5 plants·m⁻¹. Pyramid treatments had a similar behavior to the ladder treatments but, as already mentioned, the yield per unit area was higher for ladder treatments.

The exchange treatment with 7 plants·m⁻¹ showed that, although having a similar yield per unit area compared to 5 plants·m⁻¹, the yield per plant decreased significantly. This indicates a higher pressure of density, perhaps because the plants from central rows, sown and transplanted 50 days

CUADRO 1. Comparación de medias de tratamientos para variables de rendimiento y sus componentes.

TABLE 1. Mean comparison of treatments for yield variables and components.

Tratamiento/ Treatment	Rendimiento (kg·m ⁻²) / Yield (kg·m ⁻²)	Frutos m ⁻² / Fruits m ⁻²	Rendimiento (kg·planta ⁻¹) / Yield (kg·plant ⁻¹)	Frutos planta ⁻¹ / Fruits plant ⁻¹	Peso medio de fruto (g) / Average fruit weight (g)
Escalera con 5 plantas·m ⁻¹ / Ladder with 5 plants·m ⁻¹	24.3 ab ^z	144 bc	1.943 a	11.67 a	169 a
Escalera con 7 plantas·m ⁻¹ / Ladder with 7 plants·m ⁻¹	29.7 a	189 a	1.693 abc	10.66 a	156 abcd
Pirámide con 5 plantas·m ⁻¹ / Pyramid with 5 plants·m ⁻¹	20.1 bc	121 bcd	1.857 ab	11.00 a	167 ab
Pirámide con 7 plantas·m ⁻¹ / Pyramid with 7 plants·m ⁻¹	23.5 b	152 b	1.553 bc	10.33 a	154 abcd
Intercambio con 5 plantas·m ⁻¹ / Exchange with 5 plants·m ⁻¹	16.8 cd	108 cd	1.513 c	10.00 ab	155 abcd
Intercambio con 7 plantas·m ⁻¹ / Exchange with 7 plants·m ⁻¹	18.0 cd	132 bc	1.157 d	8.33 bc	136 cd
Imbricación con 22 días y 5 plantas·m ⁻¹ / Overlapping with 22 days and 5 plants·m ⁻¹	17.6 cd	125 bc	0.947 de	6.67 cd	141 bcd
Imbricación con 22 días y 7 plantas·m ⁻¹ / Overlapping with 22 days and 7 plants·m ⁻¹	19.1 bcd	147 b	0.820 e	6.00 d	131 d
Testigo (dosel uniforme) con 3.3 plantas·m ⁻¹ / Control (uniform canopy with 3.3 plants·m ⁻¹)	13.8 d	86 d	1.810 abc	11.33 a	159 abc
DMSH / HSD	5.5	36	0.333	1.94	27

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencia significativa.

HSD: Honestly Significant Difference. ^zMeans with the same letter within columns are not significantly different.

planta, número de frutos por planta y peso medio de frutos, por lo que los valores bajos en rendimiento se explican por la menor densidad con que se manejó dicho tratamiento (8 plantas·m⁻²). Según estudios realizados previamente por Jorge-Santos y Sánchez-Del-Castillo (2003) y Ucan *et al.* (2005), las densidades mayores de 8 plantas·m⁻² en plantas despuntadas a tres racimos para doseles uniformes han aumentado el rendimiento por unidad de superficie, pero a costa de disminución significativa del tamaño o del peso medio de fruto, un factor que es determinante del precio de venta, por lo que dicha densidad es considerada como la más adecuada.

Para el arreglo de dosel en forma de escalera con orientación este-oeste, se observa que 7 plantas·m⁻¹ tuvo 22 % más rendimiento por unidad de superficie y 31 % mayor número de frutos que 5 plantas·m⁻¹, lo cual se debió a la mayor cantidad de plantas por m² de invernadero, 15.6 contra 11.1 plantas·m⁻², respectivamente, lo que compensó el menor rendimiento y número de frutos por planta que tuvo siete respecto a cinco plantas por metro lineal. Considerando que el peso medio de frutos sólo disminuyó en 8 %, para el tratamiento de escalera la densidad de 7 plantas·m⁻¹ es más recomendable que 5 plantas·m⁻¹. Los tratamientos de pirámide tuvieron comportamiento similar a los de escalera pero, como ya se señaló, el rendimiento por unidad de superficie fue mayor en este último.

En el tratamiento de intercambio con 7 plantas·m⁻¹ se observa que, aunque se tiene un rendimiento por unidad de superficie similar respecto a 5 plantas·m⁻¹, el rendimiento por planta disminuyó significativamente. Esto indica mayor presión de densidad, debido quizá a que las plantas de las hileras centrales, como fueron sembradas y trasplantadas 50 días antes que las de las de las hileras exteriores, estaban muy altas y fueron obstáculo para el paso de luz desde el momento del trasplante y hasta que las plantas de las hileras centrales fueron retiradas al final de su cosecha, lo que ocasionó menor rendimiento de las plantas de las dos hileras exteriores que afectó también el rendimiento promedio por planta de todo el tratamiento de intercambio en alta densidad.

Para los tratamientos de imbricación, cada 22 días se observa que el rendimiento y número de frutos por planta y por unidad de superficie fueron estadísticamente similares para las dos densidades. El peso medio de frutos de 7 plantas·m⁻¹ también fue similar entre las dos densidades.

Los resultados coinciden con otros autores (Cebula, 1995; Jolliffe y Gaye, 1995), quienes señalan que, dentro de cierto rango, las plantas manejadas en alta densidad en ambiente favorable como el que se da en invernadero, incrementan o al menos mantienen su rendimiento por unidad de superficie. Cuando el rendimiento ya no aumenta con el incremento de la densidad de población se debe a que el sombreado mutuo entre plantas afecta negativamente la producción de fotoasimilados, al grado de que el número de frutos por planta o el peso medio de cada fruto disminuyen de manera importante (Heuvelink, 1995; Villegas *et al.*, 2004).

earlier than those of the outer rows, were already very high and were an obstacle to the passage of light from the time of transplanting until the plants of the central rows were removed at the end of their harvest, which caused a lower yield of the plants of the two outer rows which also affected the average yield per plant of all exchange treatment in high density.

The overlapping treatments showed every 22 days that the yield and number of fruits per plant and per unit area were statistically similar for the two densities. The average fruit weight of 7 plants·m⁻¹ was also similar between the two densities.

The results agree with other authors (Cebula, 1995; Jolliffe and Gaye, 1995), who point out that, within a certain range, the plants with high density in a favorable environment such as that of a greenhouse, increase or at least maintain yield per unit area. When yield no longer increases with the increase in population density, it is because the mutual shading between plants negatively affects the production of photoassimilates, to the extent that the number of fruits per plant and the average weight per fruit decrease significantly (Heuvelink, 1995; Villegas *et al.*, 2004).

It is important to mention that the yield achieved with the ladder treatment at high density (30 kg·m⁻²) was obtained in a cycle of 100 days from transplanting to harvest using 45-day-old seedlings at the time of transplanting. Thus, in a greenhouse with good climate control, we can easily produce three production cycles per year with an annual yield that can reach 90 kg·m⁻² of greenhouse equivalent to 900 t·ha⁻¹·year⁻¹ commercial scale, twice that produced in commercial high-tech greenhouses, but at very high production costs (Heuvelink and Dorais, 2005). With this income, the cost of the infrastructure (containers and support structures) needed would be paid off quickly, generating higher economic returns per kilogram of fruit produced.

In the exchange system, the first two rows of plants are harvested 100 days after transplanting. After that, two rows are obtained every 50 days, so under greenhouse conditions it is possible to have six cycles of two rows per year (equivalent to three cycles of four rows), and this represents a yield of 540 t·ha⁻¹·year⁻¹ for the exchange system with seven plants·m⁻¹.

A similar situation occurs with the overlapping system: the harvest of the first row is completed at 90 DAT and we have a cycle every 22 days, so it is possible to obtain up to 13 cycles of a row of plants in a year. The yield reported in Table 1 is the sum of five cycles (five rows in different time periods), representing a yield of almost 500 t·ha⁻¹·year⁻¹.

Comparison of rows in each arrangement

Comparisons between means of rows for the average of ladder treatments with 5 and 7 plants·m⁻¹ (Table 2) show that

Cabe destacar que el rendimiento logrado con el tratamiento de escalera en alta densidad ($30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) fue obtenido en un ciclo de 100 días de trasplante a fin de cosecha usando plántulas de 45 días de edad al momento del trasplante. Entonces, en invernadero con buen control climático se pueden producir holgadamente tres ciclos de cultivo al año con rendimiento anual que puede llegar a los $90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ lo que equivale en escala comercial a $900 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, el doble de lo producido en invernaderos comerciales de alta tecnología, pero a muy altos costos de producción (Heuvelink y Dorais, 2005). Con esos rendimientos el costo de la infraestructura necesaria (contenedores y estructuras de sostén) se pagaría rápidamente, lo que generaría mayor rentabilidad económica por kilogramo de fruto producido.

En el sistema de intercambio, las dos primeras hileras de plantas son cosechadas 100 días después del trasplante. Después de eso se van obteniendo dos hileras cada 50 días, por lo que es posible en condiciones de invernadero obtener seis ciclos de dos hileras por año (equivalente a tres ciclos de cuatro hileras), y esto representa un potencial de rendimiento de $540 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para el sistema de intercambio con 7 plantas $\cdot\text{m}^{-1}$.

Con el sistema de imbricación sucede algo similar: la primera hilera de plantas se termina de cosechar a los 90 ddt y se obtiene un ciclo cada 22 días, por lo que es posible obtener hasta 13 ciclos de una hilera de plantas en un año. El rendimiento reportado en el Cuadro 1 es la suma de cinco ciclos (cinco hileras desfasadas en el tiempo), por lo que se estima un rendimiento potencial de casi $500 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Comparación de hileras dentro de cada arreglo

Las comparaciones entre medias de hileras para el promedio de los tratamientos de escalera con 5 y 7 plantas $\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadro 2) muestran que las plantas de la hilera superior

the top row plants had higher fruit number, which can be explained because, by their location at the top of the canopy, these plants had no shadow of other plant rows. In other words, these plants had no competition on the north side; and on the south side because this row is adjacent to a lower level, there was also no competition. Under these conditions probably these plants caught greater PAR than the plants of other rows, which resulted in increased production of photoassimilates and over the cycle in more fruits without their average weight being affected significantly. For the other variables there were no significant differences between rows, suggesting a more homogeneous distribution of PAR intercepted by the canopy in a uniform arrangement like that of the control.

The pyramid treatments with 5 and 7 plants $\cdot\text{m}^{-1}$ (Table 3) had a similar situation to that of the ladder treatments, because also the top row (third step) had the highest values in number of fruits per plant while for other variables, no significant differences were presented.

In contrast, the row analysis of the control treatment with uniform canopy (Table 4) shows that plants of the outer rows had a 50 % greater yield than the inner rows, and significant differences that are mainly attributable to the larger number of fruits per plant obtained in the first plants (three more fruits per plant). While the average weight of the fruits was statistically equal, it appears that there was a tendency to be higher in the plants of the outer rows, especially those in the fourth row compared to those of the second row.

These results agree with those of Ucan *et al.* (2005), who also worked with a uniform canopy with four rows of tomato plants trimmed to three clusters. They found a difference of 24 % in yield for the plants in the outer rows, with the difference being that the yield component that most affected

CUADRO 2. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento por planta y sus componentes en el promedio de tratamientos de escalera con 5 y 7 plantas $\cdot\text{m}^{-1}$.

TABLE 2. Mean comparison for row of plants for variables of yield per plant and its components in the average of ladder treatment with 5 and 7 plants $\cdot\text{m}^{-1}$.

Hilera / Row	Rendimiento (g·planta ⁻¹) / Yield (g·plant ⁻¹)	Frutos·planta ⁻¹ / Fruits·plant ⁻¹	Peso medio de fruto (g) / Average fruit weight (g)
Primer escalón (inferior) / First step (bottom)	1314 a ^z	9.55 b	138 a
Segundo escalón / Second step	1143 a	9.04 b	127 a
Tercer escalón / third step	1333 a	10.19 b	130 a
Cuarto escalón (superior) / Fourth step (top)	1476 a	11.69 a	126 a
DMSH / HSD	505	1.19	36

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. HSD: Honestly Significant Difference. ^zMeans with the same letter within columns are not significantly different.

CUADRO 3. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento por planta y sus componentes en el promedio de tratamientos de pirámide con 5 y 7 plantas·m⁻¹.

TABLE 3. Mean comparison for row of plants for variables of yield per plant and components in the average of pyramid treatments with 5 and 7 plants·m⁻¹.

Hilera / Row	Rendimiento (g·planta ⁻¹) / Yield (g·plant ⁻¹)	Frutos-planta ⁻¹ / Fruit-plant ⁻¹	Peso medio de fruto (g) / Average fruit weight (g)
Primer escalón oriente (inferior) / First step east (bottom)	1255 a ^z	8.9 a	142 a
Segundo escalón oriente (intermedio) / Second step east (Intermediate)	1197 a	9.3 ab	130 a
Tercer escalón (superior) / Third step (top)	1307 a	10.2 a	128 a
Segundo escalón poniente (intermedio) / Second step west (intermediate)	1070 a	9.1 b	119 a
Primer escalón poniente (inferior) / First step west (bottom)	1024 a	8.3 b	122 a
DMSH / HSD	462	1.05	47

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. HSD: Honestly Significant Difference. ^zMeans with the same letter within columns are not significantly different.

CUADRO 4. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento por planta y sus componentes del tratamiento de dosel uniforme (testigo) con 3.3 plantas·m⁻¹.

TABLE 4. Mean comparison for row of plants for variables of yield per plant and its components of the uniform canopy treatment (control) with 3.3 plants·m⁻¹.

Hilera / Row	Rendimiento (g·planta ⁻¹) / Yield (g·plant ⁻¹)	Frutos-planta ⁻¹ / Fruits-plant ⁻¹	Peso medio de fruto (g) / Average fruit weight (g)
Hilera 1 (exterior oriente) / Row 1 (outside east)	2220 a ^z	13.6 a	162 a
Hilera 2 (interior oriente) / Row 2 (inner east)	1513 b	10.8 bc	140 a
Hilera 3 (interior poniente) / Row 3 (inner west)	1497 b	10.0 c	150 a
Hilera 4 (exterior poniente) / Row 4 (outside west)	2280 a	13.1 ab	172 a
DMSH / HSD	649	1.19	33

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. HSD: Honestly Significant Difference. ^zMeans with the same letter within columns are not significantly different.

tuvieron mayor número de frutos, lo cual se puede explicar porque, por su ubicación en la parte superior del dosel, estas plantas no sufrieron sombreado por las otras hileras. Dicho de otra manera, por el lado norte no tenían ninguna competencia y por el lado sur, como la hilera adyacente se encuentra a un nivel inferior, tampoco había competencia. En esas condiciones probablemente captaron mayor cantidad de RFA que las plantas de las demás hileras, lo que se tradujo en mayor producción de fotoasimilados y a la largo del ciclo, en mayor número de frutos sin que el peso promedio de éstos se viera afectado de manera significativa. Para las demás variables no hubo diferencias significativas entre

this result was the greater fruit weight of the plants of the outer rows.

Since this is a hydroponic system, the plants in rows along the edges of the beds receive the same allocation of water and nutrients. The differences in yield can be explained by greater interception of PAR compared to those that are fully competitive in the central rows, since due to their location toward the corridors these plants are less shaded.

The above explanation and the better yield per unit area of the ladder canopies compared to the uniform control treat-

hileras, sugiriendo una distribución más homogénea de la RFA interceptada por el dosel que en un arreglo uniforme como el del testigo.

Con los tratamientos de pirámide con 5 y 7 plantas·m⁻¹ (Cuadro 3) ocurrió algo semejante que con los tratamientos de escalera, pues fue también la hilera superior (tercer escalón) la que presentó los mayores valores en número de frutos por planta, mientras que para las demás variables no se presentaron diferencias significativas.

En contraste, el análisis por hilera del tratamiento testigo con arreglo de dosel uniforme (Cuadro 4) muestra que las plantas de las hileras exteriores tuvieron un rendimiento 50 % mayor que el de hileras interiores, diferencias que fueron significativas y que pueden atribuirse principalmente al mayor número de frutos por planta obtenidos en las primeras (tres frutos más por planta). Aunque en el peso medio de los frutos fue estadísticamente igual, se observa que hubo tendencia a ser superior en las plantas de las hileras exteriores, sobre todo las de la hilera cuatro respecto a las de la hilera dos.

Estos resultados concuerdan con los de Ucan *et al.* (2005), quienes también trabajaron con dosel uniforme con cuatro hileras de plantas de jitomate despuntadas a tres racimos. Ellos encontraron diferencia de 24 % de rendimiento a favor de las plantas en las hileras exteriores, con la diferencia de que el componente de rendimiento que más influyó sobre este resultado fue el mayor peso de fruto que presentaron las plantas de las hileras exteriores.

Dado que se trata de un sistema hidropónico, las plantas ubicadas en las hileras a lo largo de las orillas de las camas reciben la misma dotación de agua y nutrientes. Las diferencias en rendimiento se pueden explicar por mayor interceptación de RFA respecto a las que se encuentran con competencia completa en las hileras centrales, ya que por su ubicación hacia los pasillos son menos sombreadas.

La explicación anterior y el mejor desempeño en rendimiento por unidad de superficie de los doseles escaleriformes respecto al testigo uniforme concuerda con lo encontrado por McAvoy *et al.* (1989), en el sentido de que existe relación estrecha entre el rendimiento de frutos de jitomate y la densidad de flujo fotónico total interceptada por el dosel y su distribución en cada planta, sobre todo en el periodo de antesis a cosecha, donde la presión de densidad es mayor por el crecimiento del área foliar.

CONCLUSIONES

Las plantas con disposición en forma de escalera simple con orientación este-oeste de las hileras de plantas produjeron el mayor rendimiento por unidad de superficie: el doble del obtenido con el testigo de dosel uniforme.

ment agrees with that found by McAvoy *et al.* (1989), in the sense that there is a close relationship between tomato fruit yield and the total photon flux density intercepted by the canopy and its distribution on each plant, especially in the period from anthesis to harvest where pressure of density is increased by the growth of leaf area.

CONCLUSIONS

Plants placed on a ladder with east-west orientation of plant rows produced the highest yield per unit area: twice that obtained with the uniform canopy control.

A density of 7 plants·m⁻¹ in each row had higher yield and number of fruits per unit area compared to 5 plants·m⁻¹, without affecting the average weight of fruits, especially in the ladder and pyramid treatments.

The ladder and pyramid treatments had a similar yield per plant for each of the rows of plants, while plants of the inner rows in the uniform canopy control had lower yield than those of the outer rows. This indicates a more uniform distribution of photosynthetically active radiation in the ladder-shaped canopy.

End of English Version

Una densidad de 7 plantas·m⁻¹ en cada hilera obtuvo mayor rendimiento y número de frutos por unidad de superficie respecto a 5 plantas·m⁻¹, sin afectar el peso medio de los frutos, sobre todo en los tratamientos de escalera y pirámide.

En los tratamientos escalera y pirámide el rendimiento por planta fue similar para cada una de las hileras de plantas, mientras que en el testigo de dosel uniforme las plantas de las hileras interiores rindieron menos que las de las hileras exteriores. Esto indica una distribución más homogénea de la radiación fotosintéticamente activa en los doseles en forma de escalera.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 2011. SEMINIS (<http://www.gowansemillas.com.mx/>). Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2011.
- CEBULA, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Horticulturae* 412: 321-329. http://www.actahort.org/books/412/412_37.htm
- GARDNER, F. O.; PEARCE, R. B.; MITCHEL, R. L. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Iowa, Estados Unidos de América. 327 p.
- HANAN, J. J. 1998. *Greenhouses Advanced Technology for Protected Agriculture*. Editorial CRC Press. Boca Raton, Florida. USA. 648 p.
- HEUVELINK, E. 1995. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Scientia Horticulturae* 64(3):193-201. doi: 10.1016/0304-4238(95)00839-X

- HEUVELINK, E.; DORAIS, M. 2005. Crop growth and yield. In: Heuvelink, E. (editor). Tomatoes. CABI Publishing. Wageningen University. The Netherlands. pp. 85-144.
- JOLLIFFE, P. A.; GAYE, M. M. 1995. Dynamics of growth and yield components of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) to row covers and population density. *Scientia Horticulturae* 62(3): 153-164. doi: 10.1016/0304-4238(95)00766-M
- JORGE-SANTOS, M.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F. 2003. Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. *Fitotecnia Mexicana* 26(4): 257-262. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/26-4/6a.pdf>
- MCAVOY, R. J.; JANES, H. W.; GODFRIAUX, B. L.; SECKS, M.; DUCHAI, D.; WITTMAN, W. K. 1989. The effect of total available photosynthetic photon flux on single truss tomato growth and production. *Journal of Horticultural Science* 64(3): 331-338. http://www.jhortscib.org/Vol64/64_3/10.htm
- MÉNDEZ-GALICIA, T.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; CONTRERAS-MAGAÑA, E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(1): 185-192. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf/?id=MTYw>
- PEET, M.; WELLES, G. 2005. Greenhouse tomato production, pp. 257-304. In: Tomatoes. Heuvelink, E. (ed.). CABI Publishing. Wageningen University. The Netherlands. doi: 10.1079/9780851993966.0257
- PONCE O., J.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; CONTRERAS M., E.; CORONA S., T. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Fitotecnia Mexicana* 23: 87-97. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/23-1/9a.pdf>
- RESH, M. H. 2001. Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción. Quinta edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; CORONA S., T. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 1(2): 109-114.
- SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; PONCE O., J. 1998. Proyecto de Producción de Hortalizas en Hidroponía Bajo Invernadero en el Valle de San Fernando, San Luis Potosí. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 108 p.
- SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; ORTIZ C., J.; MENDOZA C., C.; GONZÁLEZ H., V.; BUSTAMANTE O., J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotecnia Mexicana* 21(1): 1-13.
- SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; MORENO-PÉREZ, E. C.; CRUZ-ARELLANES, E. L. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(1): 67-73. doi: 10.5154/r.rchsh.2009.15.009
- SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; MORENO-PÉREZ, E. C.; COATZÍN-RAMÍREZ, R.; COLINAS-LEÓN, M. T.; PEÑALOMELÍ, 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.
- UCAN C., I.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; CONTRERAS M., E.; CORONA S., T. 2005. Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Fitotecnia Mexicana* 28(1): 33-38. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/28-1/5a.pdf>
- VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, J. C.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; MORENO-PÉREZ, E. C. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(1): 55-62. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf/?id=MTA4MQ==>
- VILLEGAS C., J. R.; GONZÁLEZ H., V. A.; CARRILLO S., J. A.; LIVERA M., M.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; OSUNA E., T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(4): 333-338. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/27-4/5a.pdf>