

DOSELES ESCALERIFORMES CON HILERAS DE PLANTAS DE JITOMATE ORIENTADAS EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE

T. Méndez-Galicia; F. Sánchez-Del Castillo¹; J. Sahagún-Castellanos; E. Contreras-Magaña.

Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO. (*Autor responsable).

RESUMEN

Con el objetivo de incrementar el rendimiento por unidad de superficie de jitomate en hidroponía bajo invernadero, se compararon diferentes disposiciones de plantas conformando doseles en forma de escalera (escaleriformes) y doseles uniformes, contra un testigo de dosel uniforme ya validado comercialmente. Se utilizó un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones, cada unidad experimental comprendió un área de 1.56 m². El invernadero lo mismo que las hileras de plantas estaban orientados en dirección este-oeste. Los tratamientos de dosel escaleriforme se lograron acomodando conjuntos de tres hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos o de cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos pero colocadas en tinas a diferente altura. Para el primer caso se tuvieron cuatro tratamientos (43, 49, 53 y 56 racimos·m⁻²) y para el segundo dos tratamientos (50 y 66 racimos·m⁻²). Los dos tratamientos de dosel uniforme y el testigo se formaron con cuatro hileras de plantas a tres racimos (dando 50, 66 y 30 racimos·m⁻², respectivamente). Además del rendimiento por unidad de superficie se evaluó el número de frutos por unidad de superficie, peso medio de frutos, y el índice de área foliar (IAF). El rendimiento y el IAF fueron significativamente mayores utilizando doseles escaleriformes formados con hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos. En rendimiento se obtuvieron 27.3 kg·m⁻², contra sólo 18.3 kg·m⁻² en el testigo con dosel uniforme, mientras que los IAF fueron 5.9 y 2.5, respectivamente. Se concluye que las plantas manejadas con disposición escaleriforme rindieron más por unidad de superficie que el testigo basado en un dosel uniforme debido a la cosecha de mayor número de racimos y, por lo tanto, de frutos por unidad de superficie con poca disminución en el peso medio de fruto.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Lycopersicon esculentum* Mill. alta densidad, poda, despunte, hidroponía, arreglo de plantación.

LADDER-FORM CANOPIES FOR TOMATO ROWS ORIENTED EAST- WEST

ABSTRACT

With the objective of increasing yield per unit area for tomato under hydroponics in the greenhouse, we compared different plant arrangements consisting of ladder-shaped (ladder-form) and uniform canopies, against a commercially already validated uniform canopy. A randomized block design with nine treatments and four replications was used; each experimental unit consisted of an area of 1.56 m². Both greenhouse and plant rows had an east-west orientation. Ladder-form canopy treatments were established by placing sets of three rows of plants, each plant trimmed to a different number of clusters, or four rows of plants, each plant trimmed to three clusters, but placed in containers at different heights. In the first case we obtained four treatments (43, 49, 53, and 56 cluster·m⁻²) and for the second case two treatments (50 and 66 cluster·m⁻²). The two treatments for uniform canopy and the control were generated with four rows of plants with three racemes each (resulting in 50, 66, and 30 cluster·m⁻², respectively). Aside from yield per unit area, we evaluated the number of fruits per unit area, fruit average weight, and leaf area index (LAI). Yield and LAI were significantly higher when using ladder-form canopies made from plant rows trimmed at different numbers of clusters. Yield was 27.3 kg·m⁻², compared to only 18.3 kg·m⁻² from the uniform canopy control; while LAIs were 5.9 and 2.5, respectively. We conclude that plants managed in a ladder-form arrangement had better yield per unit area than the uniform canopy control due to harvesting of a higher number of clusters and, thus, fruits per unit area with a small reduction in fruit average weight.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Lycopersicon esculentum* Mill., high density, pruning, trimming, hydroponics, planning arrangement.

INTRODUCCIÓN

En México, la necesidad de incrementar la producción agrícola en un contexto de escasa superficie cultivable por productor, de falta de agua, de heladas, y de serias limitaciones por topografía accidentada, erosión hídrica y eólica y salinidad, conduce a considerar como opción tecnológica el uso de sistemas de producción intensivos como la hidroponía y los invernaderos. Con el uso conjunto de estas dos tecnologías es posible reducir las restricciones en la producción debidas a clima, agua, nutrimentos, plagas, enfermedades y maleza. Sin embargo, por la fuerte inversión que se requiere para la instalación y operación de estos sistemas, la rentabilidad económica se restringe a especies de alto valor económico en el mercado, como lo es el jitomate y a un manejo eficiente del espacio y del tiempo para alcanzar la máxima productividad.

El sistema de producción de jitomate en invernadero que normalmente se practica en el Norte de Europa y de América e incluso en México en empresas Grandes como Desert Glory en Colima o Bionatur en el Estado de México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado. Las plantas son trasplantadas a suelo mejorado o sustratos hidropónicos a densidades de dos a tres por m² y se dejan crecer hasta tres m de altura, para cosechar de 15 a 20 racimos por planta en un ciclo de cultivo de 10 a 11 meses y un periodo de inicio a fin de cosecha de cinco a siete meses. El rendimiento fluctúa de 300 a 400 t·ha⁻¹·año⁻¹, pero los costos de producción son muy elevados, llegando eventualmente a niveles de 500,000 dólares por hectárea por año (Picken, 1984; Vooren *et al.*, 1986; Hanan, 1998; Resh, 2001).

En la Universidad Autónoma Chapingo, desde hace 20 años se está trabajando en el desarrollo de sistemas de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero que otorgan al menos el mismo rendimiento anual, pero que son más sencillos de manejar y de costos de producción menores a los 150,000 dólares por hectárea por año. La finalidad es que productores de recursos económicos limitados también puedan acceder a estas tecnologías y derivar un beneficio económico importante de pequeñas superficies (Sánchez *et al.*, 1992; Sánchez *et al.*, 1998).

Aprovechando la alta irradiancia que incide todo el año en la mayor parte del territorio nacional y la plasticidad de las plantas de jitomate para su manejo mediante podas, despuntes y guiado, se ha trabajado sobre la conformación más adecuada del dosel de plantas (arquitectura del follaje) para captar mayor cantidad de radiación solar y así lograr un rendimiento económico mayor. De los más importantes logros ha sido la generación y validación, a escala comercial, de un paquete tecnológico de producción de jitomate en hidroponía, que consiste en despuntar las plantas y eliminar todos los brotes laterales para dejar sólo uno, dos ó tres racimos por planta, estableciendo densidades de población de 18, 12 y 8 plantas·m⁻² de

invernadero, respectivamente (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez y Ponce, 1998; Sánchez *et al.*, 1999; Ponce *et al.*, 2002).

Con el despunte para dejar un racimo por planta y la eliminación de brotes laterales, se reduce la altura, de más de dos metros, a sólo 50 cm; también el área foliar por planta se reduce en más de un 70 % y se obliga a la planta a crecer en forma determinada, disminuyendo el crecimiento vegetativo y favoreciendo el reproductivo (Sánchez *et al.*, 1999). Debido a la reducción de la altura de planta se puede incrementar la densidad de población hasta 18 plantas·m² lo que permite el establecimiento rápido y temprano de un índice de área foliar (IAF) de 3 a 4 que es considerado como óptimo para jitomate (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Gardner *et al.*, 1990). El periodo desde el trasplante hasta el fin de la cosecha se reduce 60 %, de más de 200 días a menos de 80, con poca disminución del rendimiento por ciclo, ya que la alta densidad de población utilizada compensa la baja producción de cada planta. El corto del ciclo de cultivo permite realizar más de cuatro ciclos en un año, duplicándose el rendimiento desde 300 hasta 600 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez y Ponce, 1998).

Los costos de producción se reducen casi a la mitad al no requerir invernaderos tan altos y sofisticados y, en las condiciones climatológicas favorables de varias zonas del país pueden ser manejados con el mínimo de equipo de control ambiental. Otra ventaja es la de concentrar toda la cosecha de un ciclo en un periodo muy corto que se puede hacer coincidir con el de mayor demanda, logrando mejor precio (Sánchez *et al.*, 1998).

Aunque el rendimiento por unidad de superficie con este sistema es alto, se limita por la heterogénea distribución de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en el dosel, ya que las plantas se disponen en tinas largas de aproximadamente 1.2 m de ancho, generalmente con dirección Norte-Sur y en cada tina se siembran al menos cuatro hileras de plantas, quedando el 50 % de éstas con competición completa por luz (hileras centrales) y 50 % con menor competición (hileras exteriores), ya que se ven favorecidas por el espacio de los pasillos que se dejan entre cada tina. A ese respecto, se ha observado en experiencias comerciales y comprobado en trabajos experimentales (Jarvis, 1998) que las plantas de las hileras centrales interceptan menor RFA y rinden menos que las de hileras exteriores. Según Gardner *et al.* (1990) y Charles-Edwards *et al.* (1986), si se distribuyera más equitativamente la radiación solar entre todas las hojas del dosel se podría lograr mayor producción de materia seca por día y, por lo tanto, mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo.

Vázquez y Sánchez (2002, datos no publicados), en tinas orientadas Oriente-Poniente, buscando una mejor intercepción de luz, formaron un dosel en forma de escalera

manejando, en cada tina de 1.2 m de ancho, tres hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos. Las plantas de la hilera ubicada al sur de la tina se despuntaron a un racimo, las de la hilera central a tres racimos y las de la hilera ubicada al norte a seis racimos por planta. De esta manera, considerando la distancia entre plantas que hubo en cada hilera, lograron cosechar 43 racimos·m⁻², obteniendo un rendimiento de 30 kg·m⁻², contra los 20 kg·m⁻² logrados en los tratamientos testigo de plantas en dosel uniforme despuntadas a tres racimos y 8 plantas·m⁻² (24 racimos·m⁻²), que son los que se han aplicado comercialmente.

En la presente investigación se compararon entre sí, y contra testigos usados comercialmente bajo dosel uniforme, dos sistemas de producción basados en la conformación de doseles en forma de escalera (escaleriformes). El objetivo principal fue determinar si la formación de doseles en forma de escalera permiten obtener más racimos por unidad de superficie que los sistemas comerciales de despunte temprano y altas densidades de población manejados como doseles uniformes, sin una disminución importante en el peso medio de fruto o en el número de frutos por racimo, para obtener mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo.

Se partió de la hipótesis de que es posible incrementar el rendimiento por unidad de superficie en el cultivo de jitomate mediante la formación de doseles en forma de escalera a partir del manejo de hileras de plantas a diferente altura y orientadas en dirección Este-Oeste, debido a que con ello se puede lograr una distribución más homogénea de la radiación fotosintéticamente activa entre las distintas hojas que conforman el dosel en relación a las plantas manejadas con doseles uniformes (hileras de plantas a la misma altura), situación que se puede aprovechar para incrementar la densidad de población o, mejor dicho, el número de racimos a cosechar por unidad de superficie en un tiempo dado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La realización del experimento comprendió del 17 de febrero al 30 de agosto de 2000, y se llevó a cabo en un invernadero ubicado en la localidad de la Resurrección, municipio de Texcoco, Estado de México, México, a 19° 29' latitud Norte y 98° 51' longitud Oeste, a una altura de 2200 m. El invernadero es de estructura metálica con cubierta de vidrio y está orientado en dirección Oriente-Poniente.

Se manejaron nueve tratamientos (Cuadro 1) arreglados en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Las tinas para los tratamientos T1 a T4, en donde el dosel escaleriforme se formó con base en hileras de plantas

de distinta altura y las del testigo, tuvieron 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad. El sustrato para estas tinas consistió de una capa de 5 cm de grava de tezontle rojo compuesta por partículas de aproximadamente 1 cm de diámetro, seguida de otra capa de 25 cm de arena de tezontle rojo con partículas comprendidas entre 1 y 4 mm de diámetro. La capa de grava permitió un drenaje libre y evitó el contacto entre el suelo y la capa de arena de tezontle en donde se desarrollaron las raíces (Figuras 1 y 2). Las tinas para los tratamientos con dosel escaleriforme formados por hileras de plantas con el mismo nivel de despunte de tres racimos por planta (tratamientos T5 y T6), eran de lámina galvanizada con las siguientes dimensiones: 1.2 m de largo, 20 cm de altura y 20 cm de ancho, se colocaron en dirección oriente-poniente. La escalera se formó colocando las tinas a diferente altura (Figura 3). Las tinas de los tratamientos con dosel uniforme (T8 y T9) tuvieron dimensiones iguales a las anteriores, separando las tinas contiguas con polietileno negro; en este caso todas las tinas se colocaron a la misma altura (Figura 4). Para los tratamientos T5, T6, T8 y T9 se usaron dos centímetros de grava de tezontle rojo en el fondo y encima una capa de 17 cm de arena de tezontle rojo con las mismas características del sustrato de los otros tratamientos.

Para el experimento se utilizaron dos híbridos de jitomate. En los tratamientos escaleriformes formados con hileras de plantas de distinto nivel de despunte (tratamientos 1 a 4) se utilizó el cultivar Gabriela (Hazera Quality Seed Ltd.), el cual es de crecimiento indeterminado, con resistencia a las razas de *Fusarium* 1 y 2, y a *Verticillium*; madurez tardía, vigor fuerte, frutos de forma achatada profundamente, hombros verdes y muy larga vida de anaquel. En los demás tratamientos se usó el cultivar Pike Ripe (Peto seed), el cual tiene crecimiento determinado, frutos de tamaño grande del tipo bola, larga vida de anaquel y madurez temprana (Marín, 2000).

La siembra se realizó el día 17 de febrero del 2000, en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con "Peat moss" (Soge Mix®) preparado de fábrica para semillero, colocando una semilla por cavidad. La emergencia total de las plantas ocurrió seis días después de la siembra. Durante la primera semana después de la emergencia se regó con agua sola y una vez que apareció la primera hoja verdadera se aplicó solución nutritiva (Cuadro 2), al 50 % de concentración. 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 trasplante se llevó a cabo con todo y cepellón a los 30 días de edad de las plántulas. El riego, a partir del trasplante, se efectuó con cinta de goteo de polietileno flexible y siempre con solución nutritiva (Cuadro 2), aplicando diariamente la cantidad necesaria para mantener el sustrato a su capacidad de retención (entre 5 y 8 litros·m⁻²·día⁻¹, según las condiciones climáticas y la edad de la planta).

CUADRO 1. Clave y descripción de tratamientos.

Clave del tratamiento	Descripción del tratamiento
T1 (E-2,3,6-A) ^z	Dosel escaleriforme con tres hileras de plantas: hilera sur a dos racimos por planta y 10 plantas·m ⁻¹ , hilera centro a tres racimos por planta y 6.6 plantas·m ⁻¹ , hilera norte a seis racimos por planta y cuatro plantas m ⁻¹ (53 racimos·m ⁻²) (Figura 1).
T2 (E-2,3,6-B)	Dosel escaleriforme con tres hileras de plantas: hilera sur a dos racimos por planta y 6.6 plantas·m ⁻¹ , hilera centro a tres racimos por planta y cinco plantas·m ⁻¹ , hilera norte a seis racimos por planta y cuatro plantas m ⁻¹ (43 racimos·m ⁻²) (Figura 1).
T3 (E-2,4,6-A)	Dosel escaleriforme con tres hileras de plantas: hilera sur a dos racimos por planta y 10 plantas·m ⁻¹ , hilera centro a cuatro racimos por planta y 5.8 plantas·m ⁻¹ , hilera norte a seis racimos por planta y cuatro plantas m ⁻¹ (56 racimos·m ⁻²) (Figura 1).
T4 (E-2,4,6-B)	Dosel escaleriforme con tres hileras de plantas: hilera sur a dos racimos por planta y 6.6 plantas·m ⁻¹ lineal, hilera centro a cuatro racimos por planta y cinco plantas·m ⁻¹ , hilera norte a seis racimos por planta y cuatro plantas m ⁻¹ (49 racimos·m ⁻²) (Figura 1).
T5 (E-3,3,3,3-A)	Dosel escaleriforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a diferente altura, 6.6 plantas·m ⁻¹ lineal (66 racimos·m ⁻²) (Figura 2).
T6 (E-3,3,3,3-B)	Dosel escaleriforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a diferente altura, cinco plantas·m ⁻¹ (50 racimos·m ⁻²) (Figura 2).
T7 (U-3,3,3,3)	Testigo comercial: Dosel uniforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a la misma altura, 3.3 plantas·m ⁻¹ (30 racimos·m ⁻²) (Figura 3).
T8 (U-3,3,3,3-A)	Dosel uniforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a la misma altura, 6.6 plantas·m ⁻¹ (66 racimos·m ⁻²) (Figura 4).
T9 (U-3,3,3,3-B)	Dosel uniforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a la misma altura, cinco plantas·m ⁻¹ (50 racimos·m ⁻²) (Figura 4).

Los números dentro del paréntesis y entre claves se refieren al número de racimos por planta en cada hilera.
T: tratamiento; E: dosel escaleriforme; U: dosel uniforme; A: densidad alta; B: densidad baja.

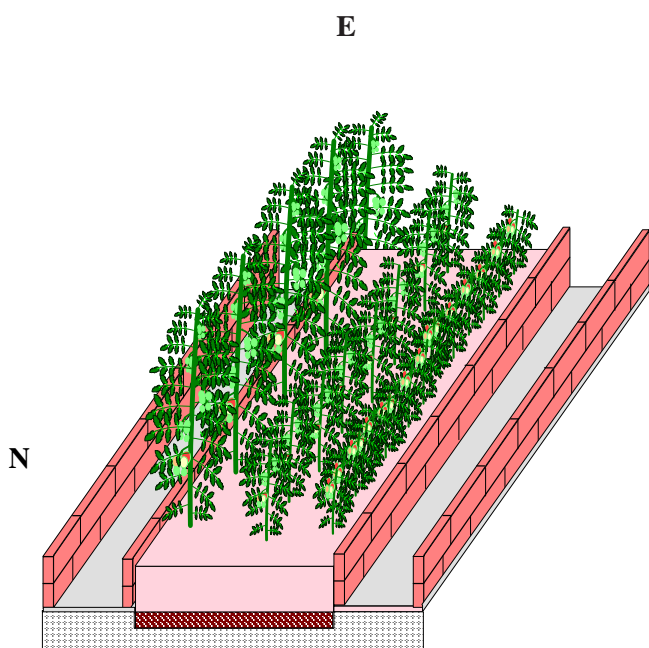


FIGURA 1. Dosel escaleriforme con tres hileras de plantas de jitomate de distinta altura (tratamientos 1 a 4).

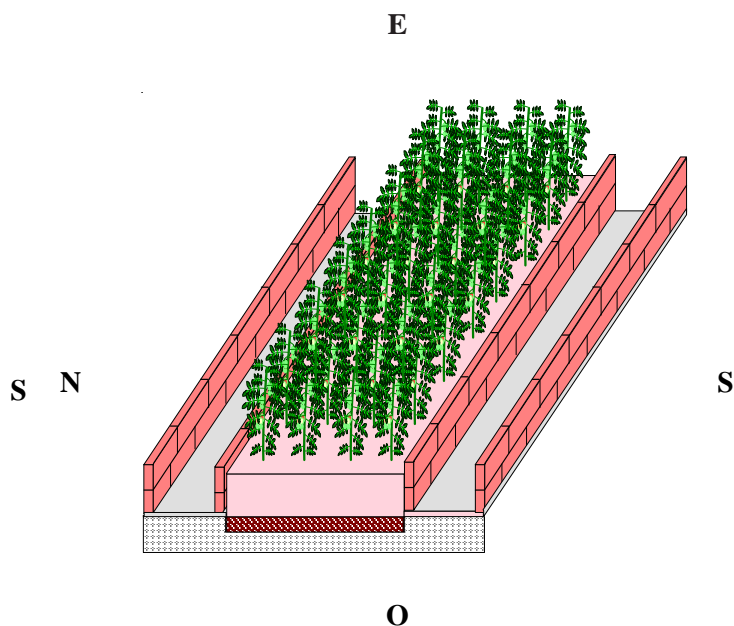


FIGURA 2. Dosel uniforme con plantas de jitomate despuntadas a tres racimos mostrando algunos detalles de la tina (tratamiento 7).

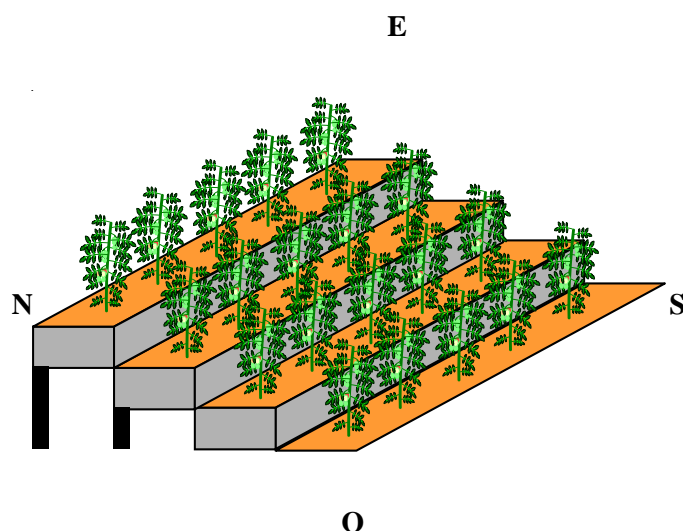


FIGURA 3. Dosel escaleriforme en dirección este-oeste conformado por cuatro hileras de plantas de jitomate a tres racimos colocadas a distinta altura (tratamientos 5 y 6).

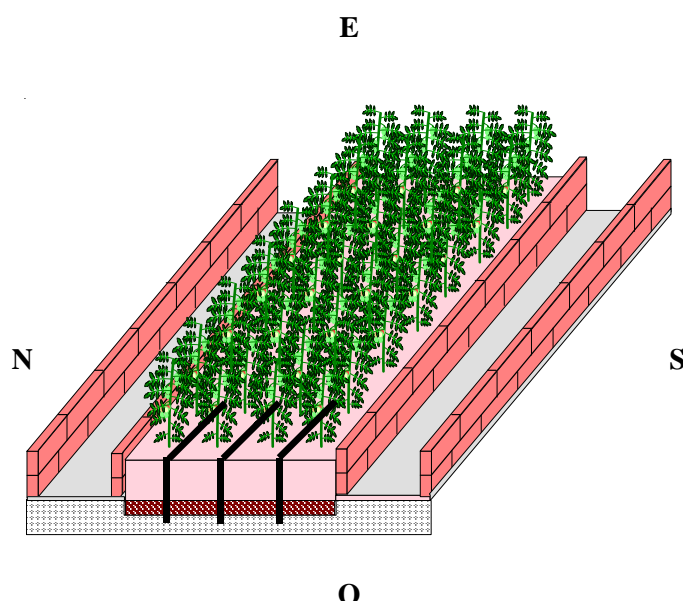


FIGURA 4. Dosel uniforme con plantas de jitomate despuntadas a tres racimos mostrando algunos detalles de la tina (tratamientos 8 y 9).

Las plantas se condujeron a un solo tallo mediante podas de los brotes laterales conforme aparecían, los despuntes se realizaron eliminando la yema terminal dos hojas arriba de la segunda, tercera, cuarta o sexta inflorescencia de acuerdo al tratamiento correspondiente (correspondiendo a una etapa fenológica de 11, 14, 17 y 23 hojas por planta, respectivamente). El guiado de las plantas se realizó a partir de los 20 días después del trasplante, para lo cual se colocaron tres ó cuatro hileras de alambre (de acuerdo al tratamiento) paralelas por encima y a lo largo de las tinas, sujetadas de la base de marcos

metálicos. Por debajo de la cuarta hoja de cada planta se realizó el amarre a la rafia, alrededor del tallo en un extremo y en el otro a las hileras del alambre mencionado.

CUADRO 2. Nutrientos, concentraciones y fertilizantes con los que preparó la solución nutritiva.

Nutriente	Concentración (mg·litro ⁻¹)	Fuente de fertilizante
Nitrógeno	250	Nitrato de calcio
Fósforo	60	Acido fosfórico al 85 %
Potasio	300	Sulfato de potasio
Calcio	300	Nitrato de calcio
Azufre	200	Sulfatos de potasio y de magnesio
Magnesio	75	Sulfato de magnesio
Hierro	3	Sulfato ferroso
Manganeso	0.5	Sulfato de manganeso
Boro	0.5	Borax
Cobre	0.1	Sulfato de cobre
Zinc	0.1	Sulfato de zinc

Se efectuaron análisis de varianza ($P \leq 0.05$) y pruebas de comparación de medias conforme a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$, para comparar los tratamientos con relación a las siguientes variables:

- rendimiento por unidad de superficie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
- número de frutos por unidad de superficie ($\text{frutos} \cdot \text{m}^{-2}$)
- peso medio de fruto (g)
- índice de área foliar. Esta se estimó de manera destructiva en la última etapa de desarrollo del cultivo, en cada una de las hileras y para cada tratamiento en las cuatro repeticiones. Se utilizó el medidor de área foliar (LI-3000 LI-COR, Lincoln Nebraska, USA). Para cada tratamiento y repetición se midió el área foliar de una planta de cada hilera y se multiplicó por el número total de plantas por hilera de cada m^2 cubierto por el tratamiento.

Los frutos se cosecharon manualmente cuando alcanzaron un color rosa o anaranjado en cada uno de los diferentes racimos a partir de los 85 días después del trasplante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de comparación de medias para la variable rendimiento por unidad de superficie (Cuadro 3), muestra que el tratamiento T4 (E-2,4,6-B) presentó el rendimiento más alto ($27.32 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$), 47.1 % más que el testigo (TU-3,3,3,3), que rindió $18.57 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Todos los tratamientos escaleriformes y el uniforme de densidad alta, fueron estadísticamente superiores al testigo mencionado.

Para el número de frutos por unidad de superficie la media general de tratamientos fue de 238 pero osciló desde 277 en el tratamiento E-2,3,6-A, hasta 161 en el testigo (TU-3,3,3,3), el cual resultó estadísticamente inferior al resto de los tratamientos. El peso medio de fruto fue mayor en el testigo (115 g), mientras que el tratamiento T5 (E-3,3,3,3-A) tuvo el menor valor (91 g); la amplitud entre el tratamiento con mayor y menor peso de fruto fue de 21 %. Es notorio que el peso medio de fruto disminuyó con el aumento de la densidad de población.

Desde la perspectiva de doseles uniformes con plantas despuntadas a tres racimos, los antecedentes (Sánchez y Corona, 1994; Jorge y Sánchez, 2003) indicaron que el intento de aumentar el rendimiento por unidad de superficie mediante el aumento de la densidad de población, alcanza un límite de alrededor de 10 plantas·m⁻² (30 racimos·m⁻²), ya que sobrepasarlo implica una reducción proporcional en el número de frutos por racimo o en el peso medio de frutos, permaneciendo relativamente constante el rendimiento por unidad de superficie (RUS). La causa principal para no aumentar más el rendimiento es la formación de un índice de área foliar (IAF) excesivo para este tipo de dosel, lo que provoca sombreo mutuo de hojas y, en consecuencia puede llevar a una reducción en la fotosíntesis total por planta y en los fotoasimilados disponibles para los frutos en crecimiento (Gardner *et al.*, 1990).

De acuerdo con Charles-Edwards *et al.* (1986) y Gardner *et al.* (1990), el rendimiento se puede aumentar incrementando la eficiencia fotosintética y/o la fotosíntesis del dosel, esto último como consecuencia de incrementar hasta cierto punto el índice de área foliar, de aumentar la duración de la fotosíntesis o de lograr una distribución más

homogénea de la luz en el dosel. De manera similar Aikman (1989) demostró que redistribuyendo más homogéneamente la radiación incidente en el dosel mediante pantallas blancas parcialmente reflejantes, se incrementa la fotosíntesis y el rendimiento de jitomate. También Hannan (1998), planteó el uso de cubiertas de invernadero con alto grado de dispersión de luz, así como pasillos con cubiertas blancas, buscando alto grado de dispersión de la radiación e mejorar así la fotosíntesis del dosel.

Los resultados obtenidos en el presente estudio dan sustento a la hipótesis planteada en el sentido de que es posible incrementar el rendimiento por unidad de superficie en el cultivo de jitomate, mediante el manejo de hileras de plantas a diferente altura y orientadas en dirección Este-Oeste, al lograrse una distribución más homogénea de la radiación fotosintéticamente activa en el dosel, situación que permite incrementar la densidad de población o, mejor dicho, el número de racimos a cosechar por unidad de superficie en un tiempo dado.

Los arreglos escaleriformes conformados por tres hileras de plantas con diferente nivel de despunte y densidad de población baja y alta (49 y 56 racimos·m⁻², respectivamente) (Cuadro 3), rindieron significativamente más que los tratamientos dispuestos en doseles uniformes, conformados por cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y densidad de población alta y baja, y que el testigo comercial con dosel uniforme (66, 50 y 30 racimos·m⁻², respectivamente). El dosel escaleriforme permitió incrementar el IAF sin efectos adversos en el peso medio de fruto, por lo que se pudieron cosechar más racimos y más frutos por unidad de área con respecto al testigo uniforme.

CUADRO 3. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes e índice de área foliar por unidad de superficie en jitomate, para distintos arreglos de plantación.

Arreglo	Rendimiento (kg·m ⁻²)	Frutos (Frutos·m ⁻²)	Peso Medio de Frutos (g)	Índice de Área Foliar
E-2,4,6-B (T4) ^z	27.32 a ^y	274 ab	100 bc	5.91 c
E-2,4,6-A (T3)	26.86 ab	277 a	97 bc	6.45 b
E-2,3,6-B (T2)	25.63 abc	231 de	111 a	6.67 ab
E-3,3,3,3-A (T5)	24.59 abc	269 abc	92 c	3.38 e
E-2,3,6-A (T1)	24.53 abc	243 cd	101 b	6.99 a
U-3,3,3,3-A (T8)	24.14 bc	248 cd	98 bc	5.00 d
E-3,3,3,3-B (T6)	23.44 cd	233 d	101 b	3.19 e
U-3,3,3,3-B (T9)	20.60 de	204 e	101 b	3.44 e
U-3,3,3,3 (T7)	18.57 e	161 f	115 a	2.52 f
DMSH	2.98	27.45	8.58	0.41
Media general	23.97	238	102	4.84
CV (%)	5.18	4.80	3.51	3.52

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$).
T = tratamiento. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

En los doseles uniformes T8 y T9 (con 66 y 50 racimos·m², respectivamente), el rendimiento fue menor al de los escaleriformes porque hubo un menor número de frutos, (Cuadro 3) ocasionado probablemente por el mayor nivel de sombreo mutuo entre plantas, sobre todo en las hileras centrales, tal como lo mencionó Charles-Edwards *et al.* (1986) con relación a doseles uniformes, conforme aumenta la densidad de población, las flores potenciales y después los frutos no amarran o son abortados. Esto reduce el rendimiento por planta y, después de cierta densidad de población o, como lo llaman Gardner *et al.* (1990), más allá de un IAF crítico, puede inclusive reducirse el rendimiento por unidad de superficie. Por su parte Ferry y Janick (1970), trabajando con tomate, encontraron que el número de racimos y el número de flores por planta, así como el porcentaje de amarre de frutos disminuyeron bruscamente al aumentar la población de plantas en dosel uniforme. Como lo mencionaron Pérez *et al.* (1997), la falta de luz dentro de un dosel de plantas por efecto de altas densidades de población disminuyó la asimilación por planta, ocasionando la formación de flores pequeñas, apretadas, defectuosas y pobres en polen con fuerte tendencia a abortar. De igual manera, Serrano (1996) indicó que la luminosidad tiene gran importancia cuando se emplean densidades altas, ya que afecta la floración, fecundación y vigor de las plantas. También Vooren *et al.* (1986) mencionaron que después de cierto límite de índice de área foliar, como efecto del sombreamiento mutuo, se producen menos fotoasimilados por planta, lo que conduce a un menor número de frutos por planta y un menor diámetro y peso de fruto.

De acuerdo a lo anterior, como se puede constatar con los resultados del presente estudio, el efecto del sombreo mutuo se manifestó a IAF menores en los doseles uniformes que en los escaleriformes, es decir, la disposición de plantas en este último caso favoreció una distribución más uniforme de la radiación en condiciones de alta densidad de población.

CONCLUSIONES

En las condiciones en que se realizó el experimento, los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones:

Las plantas con disposición en forma de escalera (escaleriformes) rindieron significativamente más por unidad de superficie que las plantas basadas en un dosel uniforme.

El rendimiento más alto por unidad de superficie (27 kg·m⁻²) se obtuvo con el tratamiento de dosel escaleriforme que conjugó 6.6 plantas por metro lineal despuntadas a dos racimos en la hilera ubicada al sur de la tina, cinco plantas por metro lineal despuntadas a cuatro racimos para la hilera central y cuatro plantas por metro lineal

despuntadas a seis racimos para la hilera ubicada al norte de la tina, obteniéndose un total de 49 racimos·m⁻²

El mayor rendimiento por unidad de superficie en los doseles escaleriformes se debió a la cosecha de mayor número de frutos por unidad de superficie, con poca disminución en el peso medio de frutos y estuvo relacionado con un mayor índice de área foliar.

LITERATURA CITADA

- AIKMAN, D. P. 1989. Potencial increase in photosynthesis efficiency from redistribution of solar radiation in a crop. *J. Exp. Bot.* 40: 855-864.
- CANCINO B., J.; SÁNCHEZ DEL C., F.; ESPINOSA R., P. 1990. Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. *Revista Chapingo* 73-74: 26-30.
- CHARLES-EDWARDS, D. A.; DOLEY, D.; RIMMINGTON, G. M. 1986. *Modelling Plant Growth and Development*. Academic Press. Sydney, Australia. 235 p.
- FERRY, R. L.; JANICK, J. 1970. Response of the tomato to population pressure. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 91: 47-60.
- GARDNER, P. F.; PEARCE, R. B.; MITCHEL, R. L. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Iowa, USA. 327 p.
- HANAN, J. J. 1998. *Greenhouses Advanced Technology for Protected Agriculture*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 648 p.
- JARVIS, R. W. 1998. *Control de Enfermedades en Cultivos de Invernadero*. Traducido al español por MATEO BOX, J. M. Mundi-Prensa. Madrid, España. 334 p.
- JORGE S., M.; SÁNCHEZ DEL C., F. 2003. Densidades, arreglo de plantación y niveles de despunte en jitomate bajo hidroponía e invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(4): 257-262.
- MARÍN R., J. 2000. *Portagrano 2000. Vademécum de Variedades Horticolas*. Gráficas ALPE. Berja (Almería), España. 360 p.
- PÉREZ G., M.; MÁRQUEZ S., F.; PEÑA L., A. 1997. *Mejoramiento Genético de Hortalizas*. Mundi-Prensa. D. F., México. 380 p.
- PICKEN, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Hort. Sci.* 59(1): 1-13
- PONCE O., J.; SÁNCHEZ DEL C., F.; CONTRERAS M., E.; CORONA S., T. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 23(1): 87-97.
- RESH, H. M. 2001. *Cultivos Hidropónicos*. Traducida al español por DE JUÁN, C. Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- SÁNCHEZ DEL C., 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 C., F.; ESPINOSA R., P.; ESCALANTE R., E. 1992. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. *Avances de investigación*. *Revista Chapingo* 78: 62-68.
- SÁNCHEZ DEL C., 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 21(1): 1-13.

- SÁNCHEZ DEL C., F.; ORTÍZ C., J.; MENDOZA C., C.; GONZÁLEZ H., V.; COLINAS L., M. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33(1): 21-29.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; PONCE O., J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 89-94.
- SERRANO C., Z. 1996. Veinte Cultivos de Hortalizas en Invernadero. RALLI, S. A. Sevilla, España. 638 p.
- VOOREN, J. VAN DE; WELLES, G. W. H.; HAYMAN, G. 1986. Glasshouse crop production, pp. 582-624. *In: The Tomato Crop*. ATHERTON, G.; J. RUDICH (eds.) Chapman and Hall. London, England.