

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOTÉCNICA DE CUATRO SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN DOS HÍBRIDOS DE JITOMATE

Felipe Sánchez-del Castillo; Esaú del Carmen Moreno-Pérez[¶],
Rogelio Coatzín-Ramírez; Ma. Teresa Colinas-León; Aureliano Peña-Lomelí.

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

RESUMEN

Para evaluar, fisiotécnica y agronómicamente, cuatro sistemas de producción de jitomate utilizando dos híbridos, se compararon el crecimiento y el rendimiento por planta y por unidad de superficie de cada uno de ellos. Las plantas fueron conducidas a un solo tallo y despuntadas dos hojas por encima del tercer racimo. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y arreglo factorial de tratamientos. Los sistemas de producción fueron: Dosel en forma de escalera formado por cuatro hileras de plantas de la misma edad ubicadas a distinta altura; dosel con ciclos de cultivo imbricados en forma de escalera; dosel uniforme formado por cuatro hileras de plantas; y dosel uniforme formado por tres hileras de plantas, y los genotipos fueron: 'Sun Lider' y 'Pick Ripe 461'. Mediante muestreos realizados cada 30 días se evaluaron diversos indicadores del crecimiento, y al final del ciclo el rendimiento y sus componentes primarios. El sistema de producción con dosel en forma de escalera de plantas a distinta altura, mantuvo altas tasas de asimilación neta a lo largo del ciclo de cultivo y presentó el rendimiento más alto (2.35 kg·planta⁻¹ o 16.15 kg·m⁻² útil, en un periodo de trasplante a cosecha de cuatro meses), así como el mayor peso medio de fruto (140 g); en número de frutos por planta el valor más alto fue para el sistema de imbricación (19.18 frutos). El genotipo 'Sun lider' con 2.25 kg·planta⁻¹, superó a 'Pick ripe 461' (2.12 kg·planta⁻¹).

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Lycopersicum esculentum*, despunte, dosel, productividad.

AGRONOMIC AND PHYSIOTECHNICAL EVALUATION OF FOUR PRODUCTION SYSTEMS IN TWO TOMATO HYBRIDS

ABSTRACT

To evaluate, physiotechnically and agronomically, four different production systems of tomato using two hybrids, the growth and yield per plant and area unit were compared. The plants were conducted to a single stem and trimmed two leaves above the third cluster. A randomized complete block experimental design with four replications was used with a factorial arrangement of treatments. The production systems were: Canopy with a stair shape formed by four rows of plants of the same age located to different height; canopy with crop cycles overlapped in a stairs shape; uniform canopy formed by four rows of plants and uniform canopy formed by three rows of plants, and genotypes were 'Sun Lider' and 'Pick Ripe'. Several growth indicators were evaluated every 30 days and, at the final of crop cycle, the yield and their primary components. The production system with stair shape canopy formed with plants at different height, maintained high assimilation net rates along the crop cycle and presented the highest yield (2.35 kg/plant or 16.15 kg/m² in a period of four months from transplant to final harvest, and the highest fruit medium weight (140 g); in number of fruits per plant the highest value was for the overlapped system (19.18 fruits). The genotype 'Sun Lider' with 2.25 kg/plant, overcame 'Pick ripe 461' (2.12 kg / plant).

ADDITIONAL KEY WORDS: *Lycopersicum esculentum*, trimming, canopy, productivity.

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 serias limitaciones por topografía accidentada, erosión hídrica y eólica y salinidad de suelo, conduce a considerar como opción tec-

nológica el uso de sistemas de producción intensivos como el cultivo protegido y la hidroponía.

El sistema de producción de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero que se practica en países europeos y en América del Norte, consiste en usar genotipos de tipo bola de crecimiento indeterminado, con densidades de población de dos a tres plantas·m⁻² que se dejan

crecer a más de 3 m de altura, para cosechar de 15 a 25 racimos por planta en un ciclo de cultivo de 10 a 11 meses y un periodo de inicio a fin de cosecha de al menos cinco meses, pero con rendimientos que pueden sobrepasar 300 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Nuez, 2001; Resh, 2001). En este sistema el índice de área foliar (IAF) aumenta continuamente, y por ello la densidad de población se determina considerando que las plantas crecerán a la altura indicada. Lo extenso del ciclo de cultivo provoca una producción relativamente baja de biomasa por año, debido principalmente a que el IAF, para una máxima intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) por el dosel, tarda mucho tiempo en establecerse (Sánchez *et al.*, 1999).

Charles-Edwards *et al.* (1986) consideran que entre más pronto se logre establecer y se mantenga el IAF óptimo para lograr una máxima intercepción de RFA, mayor rendimiento por unidad de superficie puede lograrse.

Un sistema de producción alternativo, desarrollado en la Universidad Autónoma Chapingo y que ya ha sido validado comercialmente por algunos productores, consiste en despuntar tempranamente las yemas terminales para dejar tres racimos por planta, con lo cual se logra que tengan poca altura y área foliar, lo que hace posible establecerlas en densidades de población de hasta siete plantas·m⁻²; en este caso el rendimiento por planta es menor que cuando se manejan a muchos racimos, pero el rendimiento por unidad de superficie es compensado con la mayor densidad de población; además, al cosechar pocos racimos por planta, el ciclo de cultivo de trasplante a cosecha se acorta, lo que hace posible hasta tres o cuatro ciclos de cultivo por año y con ello obtener una productividad anual superior a la del sistema convencional (Sánchez y Ponce., 1998; Sánchez *et al.*, 1998). Este sistema se hace más eficiente con el uso de plántulas de mayor edad al momento del trasplante, ya que permite reducir aún más el periodo de trasplante a fin de cosecha (Sánchez *et al.*, 1999). Al reducirse el ciclo del cultivo también disminuyen los problemas fitosanitarios y se concentra la cosecha en un periodo más corto de tiempo, lo que permite programar la cosecha para ventanas de mercado cuando el precio es alto, dándole al productor un mayor beneficio económico.

No obstante las ventajas arriba mencionadas, se han encontrado algunos inconvenientes para este último sistema de producción. Por ejemplo, Ucán *et al.* (2005) reportan que cuando se usan contenedores (camas) en los que se establecen cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos, las dos hileras centrales rinden de 20 a 30 % menos que las plantas ubicadas en las hileras exteriores. Lo anterior se debe a un mayor sombreado de las plantas en las hileras centrales, mientras que las de las hileras exteriores se ven favorecidas con mayor iluminación y mejor distribución de la luz en las hojas por el espacio de los pasillos que hay entre las camas.

Gardner *et al.* (1990) señalan que una distribución más uniforme de la radiación solar entre las hojas del do-

sel, permite mayor producción de materia seca por día y eventualmente un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo. Con el fin de mejorar la intercepción de luz de las hileras centrales respecto a las exteriores, Jarvis (1998) propone, para los cultivos en alta densidad, disminuir el número de hileras por cama, aunque se disminuya la distancia entre plantas contiguas.

Otro sistema con el que se puede lograr mayor uniformidad en la distribución de la radiación en las hojas del dosel, ha sido investigado más recientemente (Méndez y Sánchez, 2005; Vázquez *et al.*, 2007). Éste consiste en el establecimiento de contenedores organizados para colocar cuatro hileras de plantas a distinta altura formando doseles escalonados (dosel escaleriforme).

El uso de variedades determinadas de jitomate no es común en invernaderos, pero para los sistemas propuestos de despunte donde se dejan tres racimos por planta puede ser más adecuado, ya que presentan menos área foliar por planta, menor altura y, en consecuencia, menos sombreado mutuo para las altas densidades que se manejan (Méndez y Sánchez, 2005).

Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo comparar, fisiotécnica y agronómicamente, cuatro sistemas de producción y dos genotipos de plantas de jitomate en hidroponía bajo invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo de junio a noviembre del 2007, en condiciones de invernadero e hidroponía. La fase de semillero se estableció en un invernadero de cristal y la fase de producción en un invernadero con estructura metálica y cubierta de polietileno, ambos ubicados en la Universidad Autónoma Chapingo, a 19° 29' de latitud norte, 98° 53' de longitud oeste y una altitud de 2,250 m.

Material biológico

Se utilizaron los híbridos comerciales de jitomate 'Pick ripe 461' y 'Sun líder', ambos de hábito de crecimiento determinado y frutos tipo bola. Estos cultivares son apreciados en el mercado por sus frutos grandes, color uniforme, buen sabor, firmeza y relativa larga vida de anaquel.

Diseño del experimento

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y ocho tratamientos en un arreglo factorial, siendo los factores de estudio los sistemas de producción (cuatro) y los genotipos de jitomate (dos).

Los sistemas de producción evaluados fueron los siguientes:

1. Dosel uniforme de cuatro hileras (testigo): consistió

en unidades experimentales de 28 plantas en arreglo de cuatro hileras de plantas y una orientación norte-sur, con un espacio entre plantas y entre hileras de 30 cm, dejando pasillos de 50 cm entre cada juego de cuatro hileras, lo que resultó en una densidad de siete plantas·m⁻² de invernadero. Las plántulas se trasplantaron a los 30 días después de la siembra (dds).

2. Dosel uniforme de tres hileras: consistió de unidades experimentales de 27 plantas en arreglo de tres hileras por cama con orientación norte-sur. La distancia entre plantas fue de 21.7 y 40 cm entre hileras, resultando también una densidad de siete plantas·m⁻². Las plántulas se trasplantaron a los 30 dds.

3. Sistema de imbricación: formada por la coexistencia de plantas de distinta edad, que consistió en un trasplante inicial en dos hileras con plántulas de 50 dds; la distancia entre hileras fue de 30 cm y entre plantas de 16.6 cm. Cuando las plantas cumplieron 100 dds, se procedió a trasplantar otras dos hileras de plántulas de 50 dds, una a cada costado de las hileras anteriores, a la misma distancia entre plantas e hileras, formando así un dosel en forma de escalera por tratarse de plantas con distinta edad. Cuando las plantas centrales cumplieron 150 dds y se terminó la cosecha de tres racimos por planta, fueron eliminadas y las plantas de las hileras de los costados (de 100 días de edad) se recorrieron al centro, y se colocaron nuevamente dos hileras de plántulas de 50 dds en los costados. El procedimiento se repitió cada 50 días hasta el final del experimento. La densidad fue de seis plantas·m⁻² por cada ciclo de dos hileras.

4. Dosel escaleriforme: consistió en sembrar plántulas de 30 días de edad en cuatro hileras a diferente altura, usando como contenedores bolsas colocadas encima de un armazón metálico de forma escalonada. La distancia horizontal entre plantas y entre hileras fue de 30 cm, y la diferencia de altura entre hileras de plantas contiguas fue de 30 cm, resultando una densidad de siete plantas·m⁻² de invernadero. La orientación de las hileras fue con dirección este-oeste. Debido al despunte dos hojas arriba de la tercera inflorescencia, el ciclo de cultivo fue de cuatro meses.

En todos los sistemas de producción las plantas fueron despuntadas (remoción de la yema terminal) dos hojas arriba de la tercera inflorescencia formada. Con este manejo, cada ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha duró aproximadamente cuatro meses.

Las variables evaluadas fueron:

1. Peso seco por planta (PSP). Se obtuvo al secar en una estufa a 70 °C hasta peso constante.

2. Peso seco por m² (PSM²).

3. Tasa de asimilación neta (TAN). Se calculó con los valores obtenidos de área foliar y peso seco de la planta, de los 30 a 60 días, 60 a 90 días y de 90 a 120 días. Se expresó en g·m⁻² de hoja·día⁻¹, de acuerdo con el algoritmo

propuesto por Scurlock *et al.* (1988):

$$TAN = \left[\frac{(W_2 - W_1)}{(s_2 - s_1)} \right] \left\{ \frac{(\ln s_2 - \ln s_1)}{(t_2 - t_1)} \right\},$$

Donde W_2 y W_1 son el peso seco de la planta entera (g) al final y al inicio de un periodo determinado, s_2 y s_1 son el área foliar total por planta (cm²) al final y al inicio del mismo periodo, \ln es el logaritmo natural, y t_2 y t_1 son el tiempo final e inicial en el periodo dado.

4. Índice de área foliar (IAF). Se obtuvo al dividir el área foliar total de una planta entre el área de superficie que ocupó.

5. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC), que resulta de multiplicar la TAN por el IAF (g·m⁻² de suelo·día⁻¹).

Todas estas variables se evaluaron a los 60, 90 y 120 dds.

Al final del ciclo se evaluaron:

6. Rendimiento total por planta (kg).

7. Número de frutos por planta.

8. Peso medio de fruto (g).

9. Número de frutos·m⁻²·ciclo⁻¹.

10. Rendimiento (kg·m⁻²) por ciclo.

11. Índice de cosecha (IC). Se obtuvo al dividir el rendimiento agronómico (peso de fruto por planta) entre el rendimiento biológico (materia seca total) por planta.

Los datos obtenidos fueron sometidos a una prueba de análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando para su análisis el programa computacional SAS.

Conducción del experimento

La siembra de la semilla en el sistema de imbricación se llevó a cabo en macetas de 750 mL de capacidad a una densidad de 100 plántulas·m⁻², rellenas con arena de tezontle rojo cernido para dar una granulometría de 1 a 2 mm de diámetro. En los otros tres tratamientos se usaron charolas de poliestireno expandido con 200 cavidades de 30 mL de capacidad, usando turba canadiense (peat-moss) como sustrato. En ambos casos, durante la primera semana se aplicaron cuatro riegos por día sin fertilizante, y a partir de la aparición de las primeras hojas verdaderas se aplicaron tres riegos diarios con una solución nutritiva compuesta por las siguientes concentraciones de nutrimentos minerales en mg·L⁻¹: N=250, P=50, K=250, Ca=280, Mg=50, Fe=2, Mn=0.5, B=0.5, Cu= 0.1 y Zn=0.1, como la sugieren Sánchez *et al.* (1992). En la conducción del semillero se utilizó un sistema de enfriamiento con panel evaporativo para mantener una temperatura de 25 a 30 °C y humedad relativa entre 65 y 85 %.

La fase de producción se desarrolló en un invernadero con cubierta de polietileno, ventanas laterales a todo lo largo por ambos costados, protegidas con malla anti-áfidos

y cortinas enrollables. El piso se cubrió con tela negra permeable de polipropileno (ground cover). Los contenedores fueron bolsas de polietileno de color negro con capacidad de 10 litros, las cuales se rellenaron usando como sustrato tezontle rojo con partículas de 1 a 4 mm. En el sistema de riego se colocaron goteros con gasto de 4 L·h⁻¹ con cuatro derivaciones, una por maceta, dando un gasto final individual de 1 L·h⁻¹. Se proporcionaban cuatro riegos al día, con la solución antes mencionada, ajustando el tiempo de cada riego a las condiciones climáticas y a la edad de las plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza indican que hubo diferencias significativas entre sistemas de producción y entre genoti-

CUADRO 1. Valores de F y significancia estadística de varios indicadores de crecimiento de plantas de jitomate para los distintos factores de estudio y las interacciones.

Factor de estudio	Tasa de asimilación neta	Tasa de crecimiento del cultivo	Índice de área foliar	Peso seco·planta ⁻¹	Peso seco·m ⁻²
60 días después de la siembra					
Bloque	1.17	1.84	1.12	1.33	1.38
Sistema de producción	6.08**	8.37**	1.14	5.67**	12.06**
Cultivar	5.50*	0.22	8.19**	0.87	0.75
Sistema x cultivar	0.40	0.72	0.25	0.93	0.84
Coefficiente de variación	13.49	13.99	12.77	11.53	11.60
90 días después de la siembra					
Bloque	1.50	3.40*	2.60	1.43	1.29
Sistema de producción	1.56	5.79**0	8.56**	3.61*	7.97**
Cultivar	4.03	0.04	4.87*	0.30	0.34
Sistema x cultivar	2.80	0.13	1.73	0.53	0.48
Coefficiente de variación	17.22	24.08	19.08	12.81	13.08
120 días después de la siembra					
Bloque	1.66	1.36	0.17	0.67	0.42
Sistema de producción	5.33**	0.16	44.59**	14.70**	17.75**
Cultivar	0.20	3.42	36.61**	0.77	1.49
Sistema x cultivar	0.17	0.12	2.03	0.26	0.65
Coefficiente de variación	42.82	50.47	14.53	10.79	9.79

*: significativo con $P=0.05$. **: $P=0.01$.

CUADRO 2. Valores de F y significancia estadística de variables relacionadas con el rendimiento en jitomate para los distintos factores de estudio y las interacciones.

Factor de estudio	Rendimiento·planta ⁻¹ (g)	Frutos·planta ⁻¹	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por unidad de área	Frutos por unidad de área	Índice de cosecha
Bloque	1.30	0.83	2.34	1.25	0.81	0.80
Sistema de producción	5.58**	8.59**	13.69**	13.14**	0.36	19.78**
Cultivar	6.28**	1.87	1.93	6.24*	1.73	19.54**
Sistema x cultivar	0.21	0.94	2.22	0.23	0.92	2.19
Coefficiente de variación	6.34	7.25	5.22	6.41	7.41	6.49

*: significativo con $P = 0.05$. **: $P = 0.01$.

pos para la mayoría de las variables evaluadas; sin embargo, no hubo efecto de interacción significativa entre sistemas y variedades para ninguna de las variables (Cuadros 1 y 2), por lo que sólo se presentan los resultados de los efectos principales.

Indicadores del crecimiento

Entre los 30 y 60 dds se tiene un periodo de crecimiento vegetativo intenso; al final del mismo se advierte la aparición de botones florales. La TAN y la TCC en ese periodo fueron estadísticamente menores para el sistema de imbricación, respecto a los demás, mientras que el IAF fue igual para todos los tratamientos (Cuadro 3). La menor TAN en el sistema de imbricación se explica por que el trasplante al lugar definitivo se realizó a los 50 dds, mientras que en los demás tratamientos fue a los 30 dds, pues al estar las plántulas por más tiempo en el semillero a mayor densidad que en el lugar definitivo, les afectó más la competencia por la RFA incidente que a las plántulas de los otros tratamientos trasplantadas a los 30 dds. Como no hubo diferencias en IAF entre sistemas, la TCC (que es producto de la TAN por el IAF) también fue menor para el sistema de imbricación. Como consecuencia de lo anterior, a los 60 dds, también el PSP y el PSM² fueron estadísticamente menores para el sistema de imbricación (Cuadro 3). El rango de PSP osciló de 48.3 g/planta para el sistema de imbricación hasta 39 en el testigo, mientras que por unidad de superficie la diferencia fue de más de 100 g·m⁻² entre ambos tratamientos.

Por lo que respecta a los genotipos se observan diferencias en la TAN y en el IAF, encontrándose que 'Sun líder' tuvo mayor TAN, pero menor IAF que 'Pick ripe' (Cuadro 3).

Entre los 60 y 90 dds las plantas estaban en la etapa de floración y establecimiento de frutos; en este periodo la TAN fue igual en todos los tratamientos, pero el IAF a los 90 dds fue estadísticamente mayor en el sistema de dosel

CUADRO 3. TAN y TCC entre 30 y 60 dds e IAF, PSP y PSM² a los 60 dds, de cuatro sistemas de producción y dos genotipos de jitomate.

	TAN (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	IAF (m ² ·m ⁻²)	TCC (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	PSP (g)	PSM ² (g·m ⁻²)
Sistema de producción					
Escaleriforme	17.18 a ^z	2.23 a	37.51 a	46.51 a	311 a
Imbricación	13.18 b	2.23 a	29.21 b	39.00 b	235 b
Dosel de 3 hileras	16.80 a	2.47 a	41.41 a	48.24 a	323 a
Dosel de 4 hileras (Testigo)	16.79 a	2.30 a	8.65 a	48.30 a	323 a
DMS	3.00	0.41	7.44	7.39	48.89
Genotipo					
Sun líder	16.88 a	2.16 b	36.27 a	46.38 a	303 a
Pick ripe	15.09 b	2.46 a	37.12 a	44.65 a	293 a
DMS	1.59	0.21	3.93	3.91	25.8

^zMedias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMS: Diferencia mínima significativa; TAN: Tasa de asimilación neta; IAF: Índice de área foliar; TCC: Tasa de crecimiento de cultivo; PSP: Peso seco por planta; PSM²: peso seco por metro cuadrado; dds: días después de la siembra.

uniforme con tres hileras de plantas respecto al escaleriforme y al de imbricación (3.36 contra 2.37 y 2.17 respectivamente); en consecuencia la TCC del periodo también fue mayor para este sistema (Cuadro 4), con diferencias estadísticas respecto al sistema de imbricación (17 g·m⁻²·día⁻¹ de diferencia entre ambos tratamientos). Como resultado de lo anterior, el mayor PSP correspondió también a dicho sistema (aproximadamente un 20 % más respecto al sistema de imbricación, que fue el de menor valor), aunque no alcanzó a diferir estadísticamente de los sistemas de dosel uniforme en cuatro hileras y dosel escaleriforme, lo que puede explicarse por los 20 días más de estancia en el semillero a alta densidad y 20 días menos de estancia en el lugar definitivo creciendo a una menor densidad. Por la misma razón, el PSM² fue estadísticamente menor en el sistema de imbricación respecto a los otros tres; cabe señalar que a los 90 dds aún no se imbricaba el segundo ciclo de plantas en dicho tratamiento, por lo que la densidad era de nueve plantas·m⁻² útil, una planta menos que en los demás tratamientos.

Los sistemas de dosel uniforme de tres y cuatro hileras de plantas estuvieron manejados a la misma densidad de población, pero la disposición de las plantas en el primero (mayor espacio entre hileras y menor espacio entre plantas) pudo ser la causa de su mayor IAF y en consecuencia de su mayor TCC, respecto a los sistemas escaleriforme y el de imbricación. Resultados similares han sido reportados por Van de Vooren *et al.* (1986) en jitomates y por Jarvis (1998) para especies de cultivo de invernadero manejadas

CUADRO 4. TAN y TCC entre 60 y 90 dds e IAF, PSP y PSM² a los 90 dds de cuatro sistemas de producción y dos genotipos de jitomate.

	TAN (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	IAF (m ² ·m ⁻²)	TCC (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	PSP (g)	PSM ² (g·m ⁻²)
Sistema de producción					
Escaleriforme	14.87 a ^z	2.37 b	34.57 ab	148.50 ab	994.95 a
Imbricación	12.46 a	2.17 b	27.13 b	130.32 b	785.84 b
Dosel de 3 hileras	13.43 a	3.36 a	44.73 a	160.62 a	1076.18 a
Dosel de 4 hileras (Testigo)	13.04 a	2.64 ab	34.65 ab	149.23 ab	999.86 a
DMS	3.29	0.76	13.36	27.03	180.34
Genotipo					
Sun líder	14.27 a	2.44 a	34.97 a	148.46 a	973.80 a
Pick ripe	12.63 a	2.83 a	35.57 a	145.87 a	954.65 a
DMS	1.74	0.40	7.06	14.30	95.41

^zMedias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMS: Diferencia mínima significativa; TAN: Tasa de asimilación neta; IAF: Índice de área foliar; TCC: Tasa de crecimiento de cultivo; PSP: Peso seco por planta; PSM²: peso seco por metro cuadrado; dds: días después de la siembra

en camas. Dada la orientación norte-sur de las hileras de plantas y el sol haciendo su recorrido en dirección este-oeste, el sistema de dosel uniforme en tres hileras pudo tener una distribución más adecuada de la RFA incidente; como lo mencionan Gardner *et al.* (1995), una distribución más uniforme de la radiación solar entre las hojas del dosel permite mayor producción de materia seca por día.

Entre genotipos no se encontraron diferencias estadísticas para ninguna de las variables estudiadas (Cuadro 4), y aunque se observa una fuerte tendencia de mayor TAN y menor IAF en el cultivar 'Sun líder', similar a la del periodo anterior, estas diferencias no alcanzan a ser significativas.

Entre los 90 y 120 dds se da el periodo de crecimiento más rápido de los frutos. En este periodo el sistema escaleriforme tuvo el valor más alto de TAN, el cual superó estadísticamente al sistema de imbricación que tuvo el menor valor. La diferencia fue de más del 100 % (11.8 contra 4.6 g·m⁻² de hoja·día⁻¹); los sistemas de dosel uniforme en tres y cuatro hileras tuvieron valores intermedios (Cuadro 5). El IAF medido a los 120 dds fue estadísticamente mayor en el sistema de imbricación, lo cual se explica por que a partir de los 100 dds del primer ciclo se hizo la imbricación del segundo con plantas de 50 días de edad, quedando una densidad de 18 plantas·m⁻² útil en este último tratamiento contra las 10 plantas·m⁻² útil en los demás tratamientos. Entonces la mayor densidad del sistema de im-

CUADRO 5. TAN y TCC entre 90 y 120 dds e IAF, PSP y PSM² a los 120 dds de cuatro sistemas de producción y dos genotipos de jitomate.

	TAN (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	IAF (m ² ·m ⁻²)	TCC (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	PSP (g)	PSM ² (g·m ⁻²)
Sistema de producción					
Escaleriforme	11.76 a ^z	1.88 c	22.04 a	223.51 a	1497.45 b
Imbricación	4.61 b	3.94 a	18.60 a	162.47 b	1959.42 a
Dosel con 3 hileras	8.30ab	2.40 b	20.34 a	227.11 a	1521.57 b
Dosel con 4 hileras	8.99 ab	2.30 bc	20.97 a	217.79 a	1459.13 b
DMS	5.17	0.50	14.57	30.29	209.37
Genotipo					
Sun líder	8.70 a	2.22 b	17.10 a	211.20 a	1575.40 a
Pick ripe	8.13 a	3.04 a	23.87 a	204.23 a	1643.42 a
DMS	2.73	0.26	7.71	16.02	110.76

^zMedias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$; DMS: Diferencia mínima significativa; TAN: Tasa de asimilación neta; IAF: Índice de área foliar; TCC: Tasa de crecimiento de cultivo; PSP: Peso seco por planta; PSM²: peso seco por metro cuadrado; dds: días después de la siembra.

bricación provocó mayor IAF, pero no condujo a una mayor TCC con respecto a los otros tratamientos, ya que el mayor sombreado mutuo condujo a una menor TAN, tal y como lo señalan autores como Charles-Edwards *et al.* (1986) y Pollock y Farrar (1996).

El PSM² del sistema de imbricación superó estadísticamente al resto de los tratamientos, siendo su PSP el que obtuvo el menor valor, lo que se explica también por la mayor densidad de población y, en consecuencia, un mayor sombreado entre plantas, lo que coincide con Gardner *et al.* (1990), quienes señalan que con el aumento de la densidad dentro de ciertos límites se provoca la disminución de la biomasa por planta por el mayor sombreado mutuo, pero se incrementa el peso por unidad de superficie al haber más plantas·m⁻².

Entre genotipos se vuelven a encontrar diferencias en el IAF, donde se observa que el híbrido 'Pick ripe' superó al 'Sun líder', tal como ocurrió a los 60 dds. Esta diferencia en IAF puede ser importante si se manejan, como se pretende con estos sistemas, altas densidades de población, pues 'Sun líder' presentaría menos competencia por RFA entre plantas, característica que en igualdad de otros aspectos relacionados con la productividad, podría explicar un mayor rendimiento por unidad de superficie; al menos esto ocurrió en el presente trabajo, donde 'Sun líder' rindió casi 1 kg·m⁻² más de fruto que 'Pick ripe' (Cuadro 6).

Variables de rendimiento

Para el rendimiento y variables relacionadas, se encontró que el sistema de dosel escaleriforme obtuvo mayores valores respecto a los sistemas de dosel uniforme en

CUADRO 6. Efecto del sistema de producción y del genotipo de jitomate en el rendimiento y variables relacionadas.

	RTP (kg)	NFP	PMF (g)	NFM ²	RM ² (kg·m ⁻²)	IC
Sistema de producción						
Escaleriforme	2.35a ^z	16.8b	140a	115 a	16.15a	0.74a
Imbricación (50 días)	2.27ab	19.1a	119c	115 a	13.72b	0.63c
Dosel con 3 hileras	2.11b	16.2b	130b	112 a	14.10b	0.67bc
Dosel con 4 hileras (Testigo)	2.12b	16.8b	126bc	115 a	14.48b	0.70ab
DMS	0.19	1.74	9.0	11.8	1.28	0.06
Genotipo						
Sun líder	2.27a	17.5a	130a	116 a	15.12 a	0.72a
Pick ripe	2.15b	16.9a	127a	112 a	14.27 b	0.65b
DMS	0.10	0.9	5.0	6.2	0.68	0.03

^zMedias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$; DMS: Diferencia mínima significativa; RTP: rendimiento total por planta; NFP: número de frutos por planta; PMF: peso medio de los frutos; NFM²: número de frutos por m² útil por ciclo; RM²: rendimiento por m² útil por ciclo; IC: índice de cosecha.

tres o cuatro hileras (Cuadro 6), y estadísticamente igual respecto al de imbricación.

Este mayor rendimiento obtenido en el sistema escaleriforme se explica por un mayor peso medio de frutos respecto a los demás tratamientos, ya que el número de frutos por unidad de superficie en este sistema fue estadísticamente igual a los dos de dosel uniforme e inferior al de imbricación.

Hubo un mayor número de frutos por planta en el sistema de imbricación; esto se debió a un mayor número de flores por planta (datos no mostrados), lo cual se atribuye a las mejores condiciones ambientales en las que estuvieron las plántulas en el semillero (menor densidad de plántulas y mayor espaciado para la raíz al usar macetas). La iniciación floral de la primera inflorescencia en el jitomate tiene lugar aproximadamente a los 20 dds, y a partir de ese momento cada ocho días se inicia una nueva (Atherton y Harris, 1986). De acuerdo con Ponce *et al.* (2000) y otros autores (Russell y Morris, 1983; Dieleman y Heuvelink, 1992), la iniciación de las primeras inflorescencias tiene lugar en el semillero, y se puede aumentar el número de flores iniciadas mejorando las condiciones ambientales (luz, CO₂, temperatura, espacio para el crecimiento de la raíz) en ese periodo. Entonces el mayor número de flores por planta en el sistema de imbricación pudo deberse al manejo de las plántulas en contenedores grandes y a una menor densidad de población (100 plantas·m⁻²) respecto a los demás sistemas, donde las plántulas crecieron en charolas de 200 cavidades a una densidad de 1,100 plantas·m⁻².

El mayor número de frutos logrado con el sistema de imbricación no resultó en el mayor rendimiento por unidad

de superficie debido a que este tratamiento tuvo el menor peso medio de fruto, lo cual se debe a un mayor grado de sombreado mutuo entre plantas ocasionado por la mayor densidad que representaron los dos ciclos imbricados.

El mayor rendimiento por unidad de superficie en el sistema escaleriforme respecto a los demás, se explica por un mayor IC producto de un mayor peso medio de fruto (Cuadro 6). Al tener las hileras de plantas a diferente altura en el sistema escaleriforme, la captación de radiación solar fue más homogénea en el dosel, provocando una mayor producción de materia seca. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Charles-Edwards *et al.* (1986) y Gardner *et al.* (1990), que indican que el rendimiento se puede aumentar incrementando la eficiencia fotosintética y/o la fotosíntesis del dosel, mediante una distribución más homogénea de la luz entre las hojas del dosel.

En los sistemas uniformes con la misma densidad de plantas (10 plantas·m⁻² útil) con arreglos diferentes no hubo diferencia significativa entre manejar tres o cuatro hileras de plantas, ya que el sistema de tres hileras probablemente no mejoró la distribución de radiación solar incidente con el aumento del espacio entre hileras, al disminuir el espacio entre plantas.

Entre genotipos se encontraron tendencias a un mayor número de frutos por planta, peso de fruto y de número de frutos·m⁻² en el híbrido 'Sun lider', respecto a 'Pick ripe 461', las cuales fueron suficientemente importantes para que el rendimiento por planta y por unidad de superficie fueran estadísticamente significativas a favor del primero, gracias a su mayor IC (Cuadro 6), probablemente debido a una menor inversión de fotoasimilados en hojas por planta resultando en menor IAF (Cuadros 3 y 5) y dejar así mayor proporción de asimilados en los frutos.

Dado que el sistema de imbricación puede permitir hasta siete ciclos de cultivo al año (un ciclo de producción cada 50 días), en contraste con tres ciclos al año de los otros sistemas, su productividad anual podría ser muy superior. Aunque su costo de producción por año se incrementará, la productividad anual extra incrementaría las ganancias por unidad de superficie por año. Por ello se hace necesario realizar experimentos con estos sistemas que comprendan un periodo de al menos un año completo. Cabe señalar que la productividad anual del sistema de dosel escaleriforme y de los sistemas de dosel uniforme, también se puede incrementar en un ciclo más por año acortando los ciclos de cultivo (lo que permitiría obtener más ciclos por año) mediante la técnica de hacer trasplantes de plántulas de mayor edad, como se hizo para el sistema de imbricación.

CONCLUSIONES

El sistema de producción de jitomate con dosel en for-

ma de escalera a una densidad de 7 plantas·m⁻² de invernadero, mantuvo altas tasas de asimilación neta a lo largo de su ciclo de cultivo, y al final de éste un mayor índice de cosecha, un mayor tamaño de fruto y un mayor rendimiento por unidad de superficie que el resto de los sistemas evaluados.

El híbrido 'Sun lider' produjo mayor rendimiento por unidad de superficie que el 'Pick ripe 461'.

LITERATURA CITADA

- ATHERTON, J. G.; HARRIS, G. P. 1986. Flowering. In: The Tomato Crop. ATHERTON, J. G. and J. RUDICH (editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 167-200.
- CHARLES-EDWARDS, D. A.; DOLEY, D.; RIMMINGTON, G. M. 1986. Modelling Plant Growth and Development. Academic Press. Sidney, Australia. 235 p.
- DIELEMAN, J. A.; HEUVELINK, J. A. 1992. Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. *Journal of Horticultural Science* 67(1): 1-10.
- GARDNER, P. F.; PEARCE, R. B.; MITCHEL, R. L. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Second Edition. Iowa State University Press. Iowa, EUA. 327 p.
- JARVIS, R. W. 1998. Control de Enfermedades en Cultivos de Invernadero. Mundi-Prensa. Madrid, España. 334 p.
- NUEZ, F. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 793 p.
- MÉNDEZ, G. T.; SANCHEZ DEL C. F. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 11(1): 185-192.
- POLLOCK, C. J.; FARRAR, J. F. 1996. Source-Sink Relations: The role of sucrose. pp 261-279 In: *Photosynthesis and the Environment*. Advances in Photosynthesis Vol. 5. N. R. BAKER (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- 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.). *Fitotecnia Mexicana*. 23(1): 87-97.
- RESH, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- RUSSELL, C. R.; MORRIS, D. A. 1983. Patterns of assimilate distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Annals of Botany* 52: 357-363.
- SÁNCHEZ, DEL C. F.; ESPINOZA, P. R.; ESCALANTE, E. R. 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. *Fitotecnia Mexicana* 21(1): 1-3.
- 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): 89-93.
- SÁNCHEZ, DEL C. F.; ORTIZ, C. J.; MENDOZA, C. C.; GONZÁLEZ, H. V.; COLINAS, L. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33 (1): 21-29.
- SCURLOCK, J. M. O.; COOMBS, J.; HALL, D. O.; LONG, S. P. 1988. Técnicas en Fotosíntesis y bioproductividad. Editora Futura, S. A. 251 p.
- UCÁN, C.; SÁNCHEZ DEL C. F.; CORONA S. T.; CONTRERAS M. E. 2005. Efecto del manejo de relaciones fuente-demanda sobre el tamaño de fruto de jitomate. *Fitotecnia Mexicana* 28(1): 33-38.
- VAN DE VOOREN, J.; WELLS H. W. G.; HAYMAN, G. 1986. Glasshouse crop production. pp. 582-624. *In: The tomato crop*. J. G. ATHERTON and J. RUDICH (eds). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra.
- VÁZQUEZ, R. J. C.; SÁNCHEZ DEL C. F.; MORENO, P. E. DEL C. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13 (1): 55-62.