

Densidad de plantas y poda de tallos en la producción de pepino en invernadero

Felipe Ayala-Tafoya¹
Carlos Alfonso López-Orona²
Moisés Gilberto Yáñez-Juárez^{2§}
Tomás Díaz-Valdez³
Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz¹
Juan Martín Parra Delgado³

¹Área de Horticultura; ²Área de Protección Vegetal; ³Área de Suelos y Agua-Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. AP. 25. CP. 80000. Tel. 01(667) 8461048. (tafoya@uas.edu.mx; clopezorona@uas.edu.mx; tdiaz10@hotmail.com; teresadejesus.v@yahoo.com.mx; martinparra2004@yahoo.es).

§Autor para correspondencia: moisesyj@uas.edu.mx.

Resumen

La densidad de plantas o tallos es una variable de manejo agronómico asociada a la productividad de hortalizas bajo condiciones protegidas. La investigación se realizó con el objetivo de conocer la influencia de la densidad de plantas y poda de tallos sobre el crecimiento de planta y rendimiento de frutos de pepino cultivado bajo condiciones de invernadero. Se usó el diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial, con dos niveles cada factor: densidad de plantas (1.68 y 2.22 plantas m⁻²) y poda de tallos (uno y dos tallos planta⁻¹). Los tratamientos: T1) 1.68 plantas m⁻² con poda a un tallo planta⁻¹, T2) 1.68 plantas m⁻² con poda a dos tallos planta⁻¹, T3) 2.22 plantas m⁻² con poda a un tallo planta⁻¹ y T4) 2.22 plantas m⁻² con poda a dos tallos planta⁻², se establecieron con cuatro repeticiones. Los resultados indicaron que la biomasa fresca de tallo planta y seca de hojas planta⁻¹ disminuyó al aumentar la densidad de plantas, pero aumentó en las plantas con poda a dos tallos planta⁻¹. La longitud de tallo, biomasa seca de tallo, hojas planta, biomasa fresca de hojas planta⁻¹ y producción de flores planta⁻¹ también aumentaron con dos tallos planta⁻¹, mientras que el verdor foliar disminuyó, pero sin influencia en esas variables por la densidad de plantas. Ambos factores ocasionaron disminución en el diámetro de fruto. No obstante, los mejores rendimientos de pepino: total (112.8 t ha⁻¹), selecto (22.4 t ha⁻¹) y súper selecto (53.6 t ha⁻¹), fueron positivamente influidos tanto por la densidad de plantas como por la poda de tallos.

Palabras clave: *Cucumis sativus*, crecimiento de plantas, plantas m⁻², rendimiento de frutos, tallos planta⁻¹.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus*) es el sexto producto hortícola con mayor producción mundial, después de la papa (*Solanum tuberosum*), yuca (*Manihot esculenta*), tomate (*Solanum lycopersicum*), sandía (*Citrullus lanatus*) y camote (*Ipomea batatas*). En 2014 se produjeron 74.98 millones de toneladas (t) de pepinos en 2.18 millones de hectáreas (ha) cosechadas. En México se cosecharon 16 808 ha y produjeron 707 632 t (FAO, 2016), que corresponden a Sinaloa, principal productor nacional, 24.5% de la superficie cosechada y 43.1% de la producción obtenida (SIAP, 2016).

El cultivo protegido representa la mejor opción para incrementar la producción de pepino, al propiciar un ambiente menos restrictivo para el crecimiento y desarrollo de las plantas que el que ocurre a cielo abierto (Smitha y Sunil, 2016). Debido a los costos altos de las instalaciones y manejo es necesario desarrollar y aplicar prácticas agrícolas específicas, como el de optimizar la densidad de plantas por unidad de superficie, para una máxima expresión del potencial productivo del cultivo (Ortiz *et al.*, 2009).

El pepino en ambiente protegido con tutorado de las plantas se traduce en una mejor disposición de las hojas para aprovechar la energía lumínica y una mayor ventilación, lo cual promueve una menor incidencia de plagas y enfermedades, facilita la cosecha y permite el uso de mayores densidades de población para obtener altos rendimientos de frutos con mayor calidad (Olalde *et al.*, 2014). Aunque diferentes tipos de espalderas han sido utilizadas en este cultivo, en ambiente protegido la sujeción de plantas suele realizarse con hilo de polipropileno (rafía) fijado en la parte basal de la planta (liado, anudado o con anillos) y del alambre o tutor horizontal situado a determinada altura por encima del dosel vegetal (Grijalva *et al.*, 2010).

En la producción comercial de pepino en invernadero, al igual que los cultivares indeterminados de tomate, se cultivan con un solo tallo principal y los brotes axilares se eliminan de forma regular (Maboko *et al.*, 2011; Max *et al.*, 2016; Mendoza-Pérez *et al.*, 2018). El incremento en la densidad de plantas puede ser obtenido, tanto por un mayor número de plantas m^{-2} , como dejando que tallos laterales se desarrollen para aumentar el número de tallos m^{-2} (Kleinhenz *et al.*, 2006; Rahmatian *et al.*, 2014). El cultivo con baja densidad inicial de plantas y luego aumentada la densidad efectiva mediante el desarrollo de tallos laterales, parece ser una manera prometedora de incrementar el número de frutos m^{-2} y presenta la ventaja adicional de utilizar un menor número de plantas en la superficie de cultivo. Investigaciones anteriores indican que, en general, la adición de tallos laterales disminuye el peso promedio de los frutos, reduce la variabilidad del peso promedio de los frutos, que resultan ser de tamaño más uniforme durante el ciclo de cultivo, aunque reduce la producción de frutos de mayor tamaño (Peil y Gálvez, 2004).

Para el pepino tipo slicer, cultivado en condiciones de invernadero y comúnmente manejado a un tallo, se utilizan espaciamentos de 1.5 a 2 m entre hileras y 0.2 a 0.3 m entre plantas; es decir, desde 1.7 hasta 3.3 plantas m^{-2} . No obstante, pocos estudios se han realizado para evaluar los efectos de la densidad de plantación de nuevas variedades, siendo necesario optimizar la densidad de plantas en la producción de pepino, especialmente en aquellas variedades con costos de semilla elevados (López-Elías *et al.*, 2011). Además, existe limitada información sobre la producción de pepino bajo condiciones protegidas y variables de manejo agronómico asociadas a su productividad como es el número de tallos.

La investigación se realizó con el objetivo de conocer la influencia de la densidad de plantas y la poda de tallos sobre el crecimiento de planta y rendimiento de pepino slicer partenocárpico cultivado en condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en un invernadero ubicado en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, geográficamente localizado a 24° 48' 30" de latitud Norte, 107° 24' 30" de longitud oeste y 38.54 m de altitud. El invernadero (Baticenital 740-350[®], ACEA, México) está orientado de Norte a Sur, de estructura metálica, con 3.5 m al canal pluvial y 6.3 m de altura total. Está conformado por tres naves de 7.4 m de ancho en una superficie total de 1480 m². La cubierta, en forma de doble arco, tiene plástico blanco traslucido, LDPE 180 μ , estabilización UV tipo Hals, 91% de transmisión global de luz visible y 35% de dispersión de luz visible. Dispone de ventilación en laterales y cabeceras (3.3 m), así como cenital (1.15 m), con malla anti-afidos (16 x 16 hilos cm⁻²).

El suelo del sitio es del tipo vertisol crómico con drenaje superficial regular. La capacidad de campo del suelo es 64% y el punto de marchitamiento permanente de 39%, por lo que la humedad aprovechable 25%, con base en el peso de suelo seco. Su contenido de materia orgánica es menor a 1%; con menos de 0.002% de nitrógeno, alrededor de 17.5 y 300 mg kg⁻¹ de fósforo y potasio, respectivamente, pH entre 7.5 y 8 y conductividad eléctrica menor de 1 dS m⁻¹. El clima de Culiacán es BS₁(h⁺)w(w) (e): semiseco muy cálido extremoso con lluvias de verano, porcentaje de precipitación invernal con respecto al total anual menor de cinco (García, 2004).

Después de la preparación del suelo, se formaron camas de cultivo separadas a 1.8 m, a las cuales se incorporó vermicomposta en dosis de 12.5 t ha⁻¹, encima se colocaron dos cintas de riego con goteros cada 30 cm (1.5 L h⁻¹) y finalmente fueron acolchadas con plástico blanco/negro. Se utilizó semilla de pepino 'Alanis RZ F1' del tipo slicer partenocárpico. La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 128 cavidades, rellenas con turba humedecida con una solución de *Bacillus subtilis* [Agrobacilo[®] (4 x 10¹⁰ ufc mL⁻¹), Agrobiológica, México] en dosis de 500 mL m⁻³. Las semillas fueron tapadas con vermiculita.

A partir de la aparición de la primera hoja verdadera, las plántulas de pepino fueron fertirrigadas con 50 mg L⁻¹ de NPK, incrementando en 50 mg cada tercer día hasta llegar a 250, utilizando el fertilizante 18N-18P-18K-1Mg-1S-0.04Fe-0.02Zn-0.02Mn-0.01Mo-0.01Cu-0.01B (Ultrasol Multi-propósito[®], SQM, México). Entre cada fertirrigación se aplicó el fertilizante foliar 9N-45P-15K-0.5Mg-1S-0.01Cu-0.01Mn-0.05Fe-0.01Mo-0.01Zn-0.01B (Speedfol Starter[®], SQM, México), en dosis de 0.3 a 0.5 g L⁻¹. A los 22 días después de la siembra se realizó el trasplante. Después de éste, las aportaciones de agua y nutrientes se hicieron por fertirrigación.

El volumen de agua, cantidad de fertilizantes y la periodicidad de los riegos dependieron de las condiciones climáticas, la fenología de las plantas y la humedad del suelo medida con tensiómetros (2725ARL, Soilmoisture Equipment Corp., EE. UU). La aplicación del riego se realizó cuando la tensión de humedad alcanzó valores de 20 a 25 kPa en los tensiómetros colocados a 30 cm de profundidad. Al final del estudio se habían aplicado 268, 109, 378, 182, 70 y 56 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente.

Se realizó un control fitosanitario con énfasis en la prevención, mediante un programa de aplicaciones de extracto de *Allium* sp., extracto de semilla de *Azadirachta indica*, extracto de *Cinnamomum zeylanicum* y sales potásicas de ácidos grasos, contra los insectos plaga (*Bemisia* sp., *Frankliniella occidentalis*, *Polyphagotarsonemus latus* y otros), así como de *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* sp., bicarbonato de potasio, fosfito de potasio, extracto de *Larrea tridentata*, entre otros, contra patógenos causantes de enfermedades (*Oidium* sp. y *Pseudoperonospora cubensis*) comunes al pepino cultivado en la región.

Las plantas de pepino se podaron a uno y dos tallos por planta. En las plantas con poda a un tallo se eliminaron todos los brotes axilares del tallo principal. Mientras que en las plantas con poda a dos tallos se dejó crecer uno de los primeros brotes axilares, el cual se convirtió en el segundo tallo, después en ambos tallos se eliminaron los brotes axilares y se tutoraron con rafia y anillos de plástico. A los 78 días después del trasplante (ddt) los tallos fueron despuntados, cuando alcanzaron la altura de los tutores horizontales del invernadero, delimitando con ello el ciclo de cultivo.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 2. El factor A correspondió a la densidad de plantas m^{-2} , con dos niveles: 1.68 y 2.22 plantas m^{-2} (0.33 y 0.25 m entre plantas, respectivamente). El factor B fue la poda de tallos, con dos niveles: poda a uno y dos tallos planta⁻¹. Los tratamientos: T1 ($A^1 \times B^1$) = 1.68 plantas m^{-2} con poda a un tallo, T2 ($A^1 \times B^2$) = 1.68 plantas m^{-2} con poda a dos tallos (3.37 tallos m^{-2}), T3 ($A^2 \times B^1$) = 2.22 plantas m^{-2} con poda a un tallo, y T4 ($A^2 \times B^2$) = 2.22 plantas m^{-2} (4.44 tallos m^{-2}), se establecieron con cuatro repeticiones en 216 m^2 de área experimental (23 y 30 plantas por repetición en las respectivas densidades de 1.68 y 2.22 plantas m^{-2}).

El crecimiento de las plantas fue evaluado, cada 15 ddt, a través de las siguientes variables de respuesta: longitud de tallo en centímetros, considerado de la base del tallo al extremo distal, diámetro basal y apical del tallo en milímetros (Mitutoyo, Kanawaga, Japón, precisión ± 0.01 mm), medidos en una posición intermedia del primer entrenudo basal y del entrenudo que forman la tercera y cuarta hoja contadas a partir del ápice del tallo, respectivamente; número de hojas planta⁻¹, área foliar planta⁻¹ medida con un integrador (LI-3000A, LI-COR Inc., EE. UU.), índice de área foliar (IAF) en m^2 de área foliar por m^2 de superficie de suelo, obtenida dividiendo el área foliar planta entre la superficie ocupada por cada planta, según su densidad (0.59 m^2 para 1.68 plantas m^{-2} y 0.45 m^2 para 2.22 plantas m^{-2}) y verdor foliar (SPAD-502, Konica Minolta, Japón), obtenido de hojas de los estratos bajo, medio y alto de cada lado (oriente y poniente) de las plantas. También se obtuvo la acumulación de biomasa fresca y seca de hojas y tallos (Sartorius, Goettingen, Alemania; precisión ± 0.001 g) después de secado en estufa (FE-292, Felisa, México) hasta peso seco constante de 16 plantas por tratamiento, al final del ciclo.

También se evaluó la producción de flores planta⁻¹, cada tercer día y semanalmente el crecimiento de frutos seleccionados, midiendo su longitud y diámetro desde la antesis hasta la cosecha, de 16 plantas por tratamiento. Para determinar el rendimiento de pepino, los frutos cosechados se pesaron (Sartorius, Goettingen, Alemania, precisión ± 0.01 g) y clasificaron en los tamaños: chico (19.1-20.3 cm de largo y 3.81-5.08 cm de diámetro), selecto (20.3-21.6 cm de largo y 5.08-6.03 cm de diámetro), súper selecto (21.6-22.8 cm de largo y 5.08-6.03 cm de diámetro), grande (22.8-24.1 cm de largo y 4.8-5.7 cm de diámetro) y extra grande (24.1-25.4 cm de largo y 5.71-6.98 cm de diámetro).

Los resultados de las variables evaluadas fueron procesados con el paquete Statistica 7.0 (StatSoft, 2004); a través, del análisis de varianza y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la separación de medias.

Resultados y discusión

Crecimiento de tallos

La densidad de plantas no afectó significativamente (Tukey, $p \leq 0.05$) la longitud de tallo. Sin embargo, las plantas con poda a dos tallos eran más altas que aquellas que tenían un tallo (Cuadro 1), lo cual podría explicarse como efectos ocasionados por la competencia entre las plantas por luz solar (Cruz *et al.*, 2009; Grijalva *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Influencia de la densidad de plantas (A), poda de tallos (B) y su interacción (A x B) en el crecimiento del tallo de plantas de pepino cultivadas en condiciones de invernadero (75 días después del trasplante).

Factor de variación/ Significancia	Longitud (cm)	Diámetro (mm)		Biomasa (g)	
		Basal	Apical	Fresca	Seca
A	ns	ns	ns	**	ns
A ¹) 1.68 plantas m ⁻²	261.3	10.7	7.3	314.5 a ⁽¹⁾	43.8
A ²) 2.22 plantas m ⁻²	258.3	10.5	7.2	283.3 b	42.5
B	**	ns	ns	***	***
B ¹) un tallo planta ⁻¹	257.1 b	10.5	7.1	241.8 b	38.4 b
B ²) dos tallos planta ⁻¹	262.5 a	10.8	7.3	356 a	47.8 a
A x B	**	ns	ns	*	***
T1 (A ¹ x B ¹)	261.9 a	10.7	7.1	246 c	38.6 b
T2 (A ¹ x B ²)	260.8 a	10.8	7.4	383 a	48.9 a
T3 (A ² x B ¹)	252.2 b	10.3	7.2	237.5 c	38.3 b
T4 (A ² x B ²)	264.3 a	10.7	7.2	329 b	46.6 a

⁽¹⁾= Medias con letras diferentes en una columna, para cada factor y su interacción, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); ns, *, **, *** = no significativo a $p \leq 0.05$, significativo a $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

El diámetro de tallo, medido en la parte basal o apical de las plantas (Cuadro 1), no fue significativamente afectado (Tukey, $p \leq 0.05$). Lo cual concuerda con Díaz *et al.* (1999); Ortiz *et al.* (2009); Grijalva *et al.* (2010), quienes tampoco observaron influencia de la densidad en el grosor de tallo de plantas de pimiento, pepino y tomate, respectivamente. Esta característica morfológica ha mostrado mayor propensión genética, ya que Ortiz *et al.* (2009) detectaron diferencias entre variedades de pepino.

Con la menor densidad (1.68 plantas m⁻²) el tallo acumuló más biomasa fresca. Este resultado ratifica lo reportado por Díaz *et al.* (1999), quienes señalaron que la producción de biomasa disminuye a medida que la densidad aumenta, debido a la mayor competencia entre las plantas por luz, CO₂, agua y minerales. Sin embargo, el manejo de las plantas a dos tallos ocasionó que dicho órgano tuviera una mayor acumulación de biomasa fresca y seca, tanto con 1.68 como con 2.22 plantas m⁻² (Cuadro 1), lo cual manifiesta un efecto compensatorio en el peso del tallo, producto del mayor número de tallos planta⁻¹.

Crecimiento de hojas

La densidad de plantas no afectó significativamente (Tukey, $p \leq 0.05$) el número de hojas producidas por las plantas de pepino. Sin embargo, el manejo de las plantas a dos tallos y su interacción con las dos densidades de plantas, suscitó la formación de mayores cantidades de hojas por planta. Por ello, el cultivo con densidad de 2.22 plantas m^{-2} , poda a dos tallos planta $^{-1}$, así como su interacción, también propiciaron incrementos en el área foliar planta $^{-1}$ y en el IAF (Cuadro 2). En estudios se ha visto que el área foliar planta $^{-1}$ aumentó junto con la disminución de la densidad de plantas (Gomes *et al.*, 2017), pero en el presente estudio se manifestó una capacidad de las plantas de pepino para adaptarse al manejo de dos tallos planta $^{-1}$ y crecer competitivamente. Existe la aceptación general acerca del área foliar como uno de los parámetros más importantes en la evaluación del crecimiento de las plantas, de allí que la determinación adecuada de la misma sea fundamental para la correcta interpretación de los procesos en una especie vegetal.

Cuadro 2. Influencia de la densidad de plantas (A), poda de tallos (B) y su interacción (A x B) en el crecimiento foliar de plantas de pepino cultivadas en condiciones de invernadero (75 días después del trasplante).

Factor de variación/ Significancia	Hojas planta $^{-1}$ (#)	Área foliar (dm 2 planta $^{-1}$)	IAF $^{(1)}$ (m 2 m $^{-2}$)	Biomasa (g)		Verdor (valores spad)
				Fresca	Seca	
A	ns	***	***	ns	**	ns
A 1) 1.68 plantas m $^{-2}$	40.9	100.4 b $^{(2)}$	1.69 b	1039.5	149.8 a	50.5
A 2) 2.22 plantas m $^{-2}$	40.2	110.2 a	2.45 a	1057.8	131.3 b	49.6
B	***	***	***	**	***	***
B 1) un tallo planta $^{-1}$	29.6 b	78.8 b	1.55 b	944 b	125.6 b	52.6 a
B 2) dos tallos planta $^{-1}$	51.5 a	131.8 a	2.59 a	1 153.3 a	155.5 a	47.5 b
A x B	***	***	***	*	**	*
T1 (A 1 x B 1)	30.4 b	76.1 c	1.28 d	900.5 b	135.4 bc	54.3 a
T2 (A 1 x B 2)	51.5 a	124.7 b	2.1 b	11 78.5 a	164.2 a	46.7 b
T3 (A 2 x B 1)	28.9 b	81.5 c	1.81 c	987.5 ab	115.8 c	50.9 ab
T4 (A 2 x B 2)	51.6 a	139 a	3.09 a	1 128 ab	146.8 ab	48.3 b

$^{(1)}$ = índice de área foliar; $^{(2)}$ = medias con letras diferentes en una columna, para cada factor y su interacción, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns, *, **, *** = no significativo a $p \leq 0.05$, significativo a $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

Ha sido objeto de interés en los estudios de agronomía, fisiología vegetal y genética, ya que se encuentra muy relacionada con la eficiencia fotosintética de los cultivos (Blanco y Folegatti, 2005; Mamun-Hossain *et al.*, 2017).

Aunque la densidad de plantas no influyó significativamente (Tukey, $p \leq 0.05$) la biomasa fresca de hojas planta $^{-1}$, la biomasa seca foliar de las plantas cultivadas con 1.68 plantas m^{-2} fue mayor. Ambas, biomasa fresca y seca de hojas fue más alta en las plantas manejadas con dos tallos planta $^{-1}$. Al final, el mayor número de hojas debido al manejo de dos tallos en las plantas cultivadas a 3.37 tallos m^2 (A 1 x B 2), ocasionó las mayores producciones de biomasa fresca y seca planta $^{-1}$, aunque estadísticamente iguales con respecto a las plantas de pepino manejadas con 4.44 tallos m^{-2} (A 2 x B 2) (Cuadro 2).

Al considerar que las anteriores representaron las mayores densidades utilizadas en este estudio (1.68 y 2.22 plantas m⁻² con poda a dos tallos planta⁻¹), los resultados indican que al aumentar la densidad se ocasionaron reducciones en la biomasa fresca y seca de las hojas individuales (Díaz *et al.*, 1999), a consecuencia de la presión poblacional en el desarrollo de las plantas; sin embargo, a la misma densidad se obtuvo una mayor producción de biomasa por planta o unidad de superficie (Villegas *et al.*, 2004; Goda *et al.*, 2014). La producción de biomasa foliar de la planta de pepino está directamente relacionada con el área foliar que desarrolle el cultivo, teniendo como recursos el agua, la luz y los nutrimentos del suelo que intervienen en sus procesos fisiológicos.

La densidad de plantas no influyó significativamente (Tukey, $p \leq 0.05$) el verdor foliar, pero si la poda de tallos, ya que el incremento de área foliar por unidad de superficie, propiciado por el aumento de tallos planta⁻¹, ocasionó que el índice de verdor de las hojas disminuyera (Cuadro 2). Resultados similares fueron encontrados en hojas de soya, observándose una tendencia a disminuir el índice de verdor conforme mayor era la densidad (Moreira *et al.*, 2015). Ekinci *et al.* (2014); Cardoso *et al.* (2017) reportaron valores spad relativamente bajos (37.7 y 39.9) en hojas de pepino, mientras que Pôrto *et al.* (2014); Yasir *et al.* (2016) valores similares (40 a 52.5 y 45.3 a 52.4, respectivamente) a los obtenidos en esta investigación.

Producción de flores y crecimiento de frutos

La densidad de plantas no afectó significativamente (Tukey, $p \leq 0.05$) la producción de flores por las plantas de pepino. Sin embargo, el manejo a dos tallos ocasionó que las plantas produjeran 56.9% más flores que las plantas a un solo tallo y que su interacción con las densidades de 1.68 y 2.22 plantas m⁻² superaran en 66.2 y 51.8% el número de flores generadas por las plantas cultivadas a las mismas densidades, pero con un tallo por planta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Influencia de la densidad de plantas (A), poda de tallos (B) y su interacción (A x B) en la producción de flores y crecimiento de frutos de plantas de pepino cultivadas en condiciones de invernadero.

Factor de variación/ Significancia	Flores/planta ⁽¹⁾ (#)	Longitud de fruto (cm)			Diámetro de fruto (cm)		
		0 ⁽²⁾	7	14	0	7	14
A	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
A ¹) 1.68 plantas m ⁻²	29.1	3.6	11	19.4	0.7	2.2 a	3.8
A ²) 2.22 plantas m ⁻²	28.7	3.6	10.6	18.7	0.7	2 b	3.6
B	***	ns	ns	ns	ns	ns	*
B ¹) un tallo planta ⁻¹	22.5 b ⁽³⁾	3.5	10.8	19	0.7	2.1	3.8 a
B ²) dos tallos planta ⁻¹	35.3 a	3.7	10.8	19.1	0.7	2	3.6 b
A x B	***	ns	ns	ns	ns	ns	**
T1 (A ¹ x B ¹)	22.2 b	3.5	10.6	19	0.7	2.2	3.7 a
T2 (A ¹ x B ²)	36 a	3.7	11.3	19.7	0.7	2.2	3.8 a
T3 (A ² x B ¹)	22.8 b	3.5	10.9	19.1	0.7	2.1	3.9 a
T4 (A ² x B ²)	34.6 a	3.6	10.3	18.3	0.7	1.9	3.3 b

⁽¹⁾= 75 días después del trasplante; ⁽²⁾= días después de antesis; ⁽³⁾= Medias con letras diferentes en una columna, para cada factor y su interacción, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns, *, **, ***: no significativo a $p \leq 0.05$, significativo a $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

Dado que los pepinos ginoicos partenocárpicos, como el utilizado en esta investigación, sólo producen flores femeninas (generalmente una flor en la axila de cada hoja presente en el tallo de la planta), hipotéticamente el número de hojas por planta debería corresponderse con la cantidad de flores. Sin embargo, el número de flores que alcanzó la antesis sólo correspondió al 76 y 68.5% de hojas desarrolladas en las plantas con uno y dos tallos, respectivamente. Lo que indica que las plantas abortaron, prematuramente, desde 24% de botones florales en las plantas con un solo tallo hasta 31.5% en las plantas con dos tallos.

Este fenómeno ocurre en las especies cucurbitáceas de manera natural y llega a ser desde 60 hasta 70% en la medida que el suministro de nutrimentos disminuye (Peil y Gálvez, 2005), ya que bajo dichas condiciones se puede presentar menor actividad meristemática en la planta, que trae como consecuencia que no aparezcan nuevas flores o que las mismas no dieran origen a frutos (Schapendonk y Brouwer, 1984; Marcelis, 1991; 1992), por la poca fuerza de la fuente capaz de sostenerla como consecuencia de un deficiente transporte de fotoasimilados, relacionado con la poca disponibilidad nutrimental (Liebig, 1980).

La longitud del fruto no mostró diferencias (Tukey, $p \leq 0.05$) por causa de los tratamientos (Cuadro 3). Al inicio del estudio sobre el crecimiento del fruto, el día de la antesis, tampoco el diámetro de fruto mostró diferencias por causa de los factores estudiados. Sin embargo, a los 7 días después de antesis (dda) la densidad de 1.68 plantas m^{-2} incrementó el diámetro de fruto y a los 14 dda el manejo a un tallo planta⁻¹ también favoreció el engorde del fruto, de modo que los frutos de las plantas del tratamiento 4 (2.22 plantas m^{-2} con dos tallos planta⁻¹) fueron desde 12 hasta 18% menos gruesos que los frutos de las plantas de los tratamientos 1, 2 y 3. Este menor crecimiento puede explicarse por la mayor competencia entre los tallos dentro de la planta por agua y nutrientes, así como de la limitación de la raíz de la planta para hacer frente al aumento de la demanda de agua y nutrientes (Ara *et al.*, 2007; Azevedo *et al.*, 2010), el cual puede ser modulado por incrementos en la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua (Mourão *et al.*, 2017).

Efectos poco significativos de la densidad de plantas sobre el crecimiento del fruto de diversas hortalizas fueron informados por Luján y Chavez (2003), quienes observaron que el largo y ancho del fruto y el grosor de pericarpio del fruto de chile jalapeño fueron poco afectados por los menores espaciamientos entre plantas y surcos, López-Elías *et al.* (2015) indicaron que la longitud y diámetro del fruto de pepino, al igual que la firmeza y concentración de sólidos solubles fueron similares para las densidades de plantación evaluadas.

Rendimiento de frutos

La mayor densidad de plantas m^{-2} y la poda a dos tallos planta⁻¹ ocasionaron incrementos significativos (Tukey, $p \leq 0.05$) en el rendimiento total de pepino (Cuadro 4). Similares resultados fueron obtenidos en plantas de tomate al aumentar la densidad de tallos m^{-2} (Peil y Gálvez, 2004; Mendoza-Pérez *et al.*, 2018). No obstante, tal respuesta es diferente según el cultivo se realice a campo abierto o en invernadero, pues mientras a campo abierto el rendimiento disminuye al incrementar la densidad, bajo condiciones de invernadero aumenta (Villegas *et al.*, 2004). Aunque en ambos casos, el manejo de las podas es trascendental para que las plantas obtengan aumentos en el índice de área foliar y por ende, en la intercepción de luz, que incremente a su vez la biomasa asignada a los frutos (Villegas *et al.*, 2004; Kinoshita *et al.*, 2014).

La densidad de 2.22 plantas m^{-2} incrementó significativamente el rendimiento de frutos chicos (Cuadro 4). Estos resultados coinciden con otros obtenidos en tomate (Grijalva *et al.*, 2010), donde la mayor densidad de plantas utilizada en esa investigación (3.78 plantas m^{-2}) propició las mayores cosechas de tomates chicos. Otra investigación sobre el efecto de la densidad de plantación en tomate, en condiciones de invernadero (Grasso *et al.*, 2004), evidenció una respuesta positiva en el rendimiento a medida que se incrementó el número de plantas m^{-2} , con el inconveniente de reducir el tamaño del fruto. También se ha descrito que la alta densidad de plantas, además de que los frutos producidos son de menor tamaño, aumenta la precocidad y reduce el ciclo biológico (Villegas *et al.*, 2004; El-Hamed y Elwan, 2011).

Cuadro 4. Influencia de densidad de plantas (A), poda de tallos por planta (B) y su interacción (A x B) en el crecimiento foliar de pepino cultivadas en condiciones de invernadero.

Factor de variación/ Significancia	Rendimiento (t ha^{-1})					
	Total	Chico	Selecto	Súper selecto	Grande	Extra grande
A	**	*	**	**	ns	ns
A ¹) 1.68 plantas m^{-2}	92.6 b ⁽¹⁾	2 b	14.1 b	41.1 b	19.8	15.5
A ²) 2.22 plantas m^{-2}	106.5 a	3.8 a	20.1 a	51 a	17.5	14.1
B	*	ns	ns	**	ns	ns
B ¹) un tallo planta ⁻¹	94.9 b	2.7	16	42 b	19.8	14.3
B ²) dos tallos planta ⁻¹	104.2 a	3.1	18.2	50.1 a	17.4	15.3
A x B	**	ns	*	**	ns	ns
T1 (A ¹ x B ¹)	89.6 b	2.2	14.2 b	35.7 b	22.3	15.2
T2 (A ¹ x B ²)	95.5 b	1.9	14 b	46.6 a	17.3	15.8
T3 (A ² x B ¹)	100.2 ab	3.2	17.9 ab	48.4 a	17.4	13.3
T4 (A ² x B ²)	112.8 a	4.3	22.4 a	53.6 a	17.6	14.9

⁽¹⁾= Medias con letras diferentes en una columna, para cada factor y su interacción, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns, *, **, *** = no significativo a $p \leq 0.05$, significativo a $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

La interacción de 2.22 plantas m^{-2} con dos tallos planta⁻¹ (T4) promovió significativamente más rendimiento de pepino selecto y súper selecto, los tamaños de fruto con mayor demanda en el mercado internacional, hasta 57.5 y 50.1% superiores al rendimiento obtenido con 1.68 plantas m^{-2} manejadas a un tallo planta⁻¹ (Cuadro 4). No obstante, ninguno de los factores en estudio, densidad de plantas o poda de tallos, ni su interacción, afectaron significativamente el rendimiento de pepino grande y extra grande.

La densidad óptima; es decir, la población de plantas capaz de utilizar de manera óptima los recursos disponibles, depende de varios factores, incluidos el genotipo, el medio ambiente y la estrategia de gestión del cultivo. De acuerdo con Peil *et al.* (2014), el aumento en la productividad de los cultivos más densos se debe a una mayor intercepción de la luz fotosintéticamente activa y niveles más altos de fotosíntesis, lo que estimula el crecimiento de las plantas, aumenta los fotoasimilados totales y favorece el crecimiento de la fruta. El mayor rendimiento obtenido con densidades de 2.22 plantas m^{-2} manejadas a dos tallos planta⁻¹ fue el resultado de una mayor densidad de plantas por área. Aunque el espaciado más estrecho de la planta disminuyó el peso medio del fruto, proporcionó ganancias en la productividad general, corroborando los resultados de varios estudios (Gonsalves *et al.*, 2011; Campagnol *et al.*, 2012; Peil *et al.*, 2014) en especies de solanáceas y cucurbitáceas.

Sin embargo, cabe subrayar que, incluso con el aumento del rendimiento como una función de espaciamiento más estrecho, el cultivo de plantas a muy alta densidad no siempre es adecuado porque dificulta las actividades de manejo, aumenta la necesidad de poda, aumenta la probabilidad de bacterias y hongos fitopatógenos, y dificulta su monitoreo y control (Gomes *et al.*, 2017).

Conclusiones

El diámetro basal y apical de tallo, la longitud de fruto, el rendimiento de pepino grande y extra grande, no fueron significativamente influidos por la densidad de plantas y poda de tallos. La biomasa fresca de tallo planta⁻¹ y seca de hojas planta⁻¹ disminuyó al aumentar la densidad de plantas, pero aumentó en las plantas con dos tallos. La longitud y biomasa seca de tallo, hojas planta, biomasa fresca de hojas planta y producción de flores planta⁻¹ aumentaron, mientras que el verdor foliar disminuyó, con dos tallos planta⁻¹. Ambos factores ocasionaron disminuciones en el diámetro de fruto. No obstante, el rendimiento de pepino fue positivamente influido tanto por la densidad de plantas como por la poda de tallos. El rendimiento total, de pepino selecto y súper selecto, se obtuvieron cuando se utilizó la densidad de 2.22 plantas m⁻² con poda a dos tallos planta⁻¹.

Literatura citada

- Ara, N.; Bashar, M. K.; Begum, S. and Kakon, S. S. 2007. Effect of spacing and stem pruning on the growth and yield of tomato. *Inter. J. Sustainable Crop Production*. 2(3):35-39.
- Azevedo, V. F.; Abboud, A. C. S. and Carmo, M. G. F. 2010. Row spacing and pruning regimes on organically grown cherry tomato. *Hortic. Bras.* 28(4):389-394. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362010000400002>.
- Blanco, F. F. and Folegatti, M. V. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola*. 62(4):305-309. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000400001>.
- Campagnol, R.; Mello, S. C. and Barbosa, J. C. 2012. Vertical growth of mini watermelon according to the training height and plant density. *Hortic. Bras.* 30(4):726-732. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000400027>.
- Cardoso, D. S. C. P.; Sediya, M. A. N.; Poltronieri, Y.; Fonseca, M. C. M. and Neves, Y. F. 2017. Effect of concentration and N: K ratio in nutrient solution for hydroponic production of cucumber. *Rev. Caatinga, Mossoró*. 30(4):818-824. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n401rc>.
- Cruz, H. N.; Sánchez, C. F.; Ortiz, C. J. y Mendoza, C. M. C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. *Agric. Téc. Méx.* 35(1):73-80.
- Díaz, L.; Vilorio, Z. A. y Arteaga, R. L. 1999. Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. *Bioagro*. 11(2):69-73.
- El-Hamed, K. and Elwan, M. 2011. Dependence of pumpkin yield on plant density and variety. *Am. J. Plant Sci.* 2(5):636-643. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2011.25075>.
- Ekinci, M.; Dursun, A.; Yıldırım, E. and Parlakova, F. 2014. Effects of nanotechnology liquid fertilizers on the plant growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 13(3):135-141.
- FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops statistics. www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5^{ta}. (Ed.). Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Geografía. México. 90 p.
- Goda, Y.; Helaly, A. A.; Abd El-Rehim, A. S.; Mohamed, A. A. and El-Zeiny, O. A. H. 2014. Effect of pruning on growth, yield and fruit quality of husk tomato (*Physalis pubescens* L.). J. Am. Sci. 10(1s):5-10.
- Gomes, R. F.; Santos, L. S.; Marin, M. V.; Diniz, G. M. M.; Rabelo, H. O. and Braz, Leila, T. 2017. Effect of spacing on mini watermelon hybrids grown in a protected environment. Austr. J. Crop Sci. 11(05):522-527. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.17.11.05.p313>.
- Gonsalves, M. V. I.; Pavani, L. C.; Cecílio Filho, A. B. and Feltrim, A. L. 2011. Leaf area index and fruit yield of seedless watermelon depending on spacing between plants and N and K applied by fertigation. Científica, Jaboticabal. 39(1):25-33.
- Grasso, R.; Muguero, A.; Ferrato, J.; Mondino, M. C. y Longo, A. 2004. Efecto de la época y la densidad de plantación sobre la productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. Revista FAVE-Ciencias Agrarias. 3(1):7-11.
- Grijalva, C. R. L.; Macías, D. R.; Grijalva, D. S. A. y Robles, C. F. 2010. Evaluación de densidades y arreglos de plantación en tomate bola en condiciones de invernadero en el noroeste de Sonora. Biotecnia. 12(2):20-28.
- Kinoshita, T.; Yano, T.; Sugiura, M. and Nagasaki, Y. 2014. Effects of controlled-release fertilizer on leaf area index and fruit yield in high-density soilless tomato culture using low node-order pinching. PLoS ONE. 9(11):e113074. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0113074>.
- Kleinhenz, V.; Katroschan, K.; Schütt, F. and Stützel, H. 2006. Biomass accumulation and partitioning of tomato under protected cultivation in the humid tropics. Eur. J. Hortic. Sci. 71(4):173-182.
- Liebig, H. 1980. Physiological and economical aspects of cucumber crop density. Acta Hortic. 118(1):149-164.
- López-Elías, J.; Garza, O. S.; Huez, L. M. A.; Jiménez, L. J.; Rueda, P. E. O. y Murillo, A. B. 2015. Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en función de la densidad de plantación en condiciones de invernadero. Eur. Sci. J. 11(24):25-36.
- López-Elías, J.; Huez, L. M. A.; Pacheco, A. F.; Jiménez, L. J. y Preciado, F. F. A. 2011. Productividad y calidad de dos cultivares de pepino en respuesta a la densidad de plantación. Biotecnia. 13(1):23-28.
- Luján, F. M. y Chávez, S. N. 2003. El arreglo topológico y su efecto en el crecimiento desarrollado y producción del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Rev. Fitotec. Mex. 26(2):81-87.
- Maboko, M. M.; Du Plooy, C. P. and Chiloane, S. 2011. Effect of plant population, fruit and stem pruning on yield and quality of hydroponically grown tomato. Afr. J. Agric. Res. 6(22):5144-5148. <https://doi.org/10.1080/02571862.2008.10639914>.
- Mamun-Hossain, S. A. A.; Wang, L. X.; Chen, T. T. and Li, Z. H. 2017. Leaf area index assessment for tomato and cucumber growing period under different water treatments. Plant, Soil Environ. 63(10):461-467.
- Marcelis, L. F. M. 1991. Effects of sink demand on photosynthesis in cucumber. J. Exp. Bot. 42(11):1387-1392. <https://doi.org/10.1093/jxb/42.11.1387>.
- Marcelis, L. F. M. 1992. The dynamic of growth and dry matter distribution in cucumber. Annual Bot. 69(6):487-492. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088376>.
- Max, J. F. J.; Schmidt, L.; Mutwiwa, U. N. and Kahlen, K. 2016. Effects of shoot pruning and inflorescence thinning on plant growth, yield and fruit quality of greenhouse tomatoes in a tropical climate. J. Agric. Rural Develop. Trop. Subtrop. 117(1):45-56.

- Mendoza-Pérez, C.; Ramírez-Ayala, C.; Martínez-Ruiz, A.; Rubiños-Panta, J. E.; Trejo, C. y Vargas-Orozco, A. G. 2018. Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(2):355-366. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1077>.
- Moreira, A.; Moraes, L. A. C.; Schroth, G. and Mandarino, J. M. G. 2015. Effect of nitrogen, row spacing, and plant density on yield, yield components, and plant physiology in soybean-wheat intercropping. *Agron. J.* 107(6):2162-2170. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj15.0121>.
- Mourão, I.; Brito, L. M.; Moura, L.; Ferreira, M. E. and Costa, S. R. 2017. The effect of pruning systems on yield and fruit quality of grafted tomato. *Hortic. Bras.* 35(2):247-251. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170215>.
- Olalde, G. V. M.; Mastache, L. A. A.; Carreño, R. E.; Martínez, S. J. y Ramírez, L. M. 2014. El sistema de tutorado y poda sobre el rendimiento de pepino en ambiente protegido. *Interciencia.* 39(10):712-717.
- Ortiz, C. J.; Sánchez, C. F.; Mendoza, C. M. C. y Torres, G. A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(4):289-294.
- Peil, R. M. N.; Albuquerque Neto, A. A. R. and Rombaldi, C. V. 2014. Plant density and cherry tomato genotypes in closed substrate growing system. *Hortic. Bras.* 32(2):234-240. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000200021>.
- Peil, R. M. N. y Gálvez, J. L. 2004. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Hortic. Bras.* 22(2):265-270. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362004000200020>.
- Peil, R. M. N. y Gálvez, J. L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revi. Bras. Agroc.* 11(1):05-11. <http://dx.doi.org/10.18539/cast.v11i1.1171>.
- Pôrto, M. L. A.; Puiatti, M.; Fontes, P. C. R.; Cecon, P. R. e Alves, J. C. 2014. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura do pepino japonês em ambiente protegido. *Hortic. Bras.* 32(3):292-296.
- Rahmatian, A.; Delshad, M. and Salehi, R. 2014. Effect of grafting on growth, yield and fruit quality of single and double stemmed tomato plants grown hydroponically. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 55(2):115-119.
- Schapendonk, A. H. C. M. and Brouwer, P. 1984. Fruit growth of cucumber in relation to assimilate-supply and sink activity. *Scientia Horticulturae.* 23(1):21-33.
- SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola-siap-gb/icultivo/index.jsp>.
- Smitha, K. and Sunil, K. M. 2016. Influence of growing environment on growth characters of cucumber (*Cucumis sativus*). *J. Trop. Agric.* 54(2):201-203.
- StatSoft. 2004. Statistica (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Villegas, C. J. R.; González, H. V. A.; Carrillo, S. J. A.; Livera, M. M.; Sánchez, C. M. y Osuna, E. T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(4):333-338.
- Yasir, N. F.; Seheib, M. W. and Hasan, O. A. K. 2016. Effect of adding different organic fertilizers in the absorption of some of nutrient elements from soil in properties of plant growth and yield of cucumber plant. *Global J. Agric. Res.* 4(6):13-19.