



III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

CONCENTRACIONES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA, VOLÚMENES DE SUSTRATO Y FRECUENCIAS DE RIEGO EN PEPINO BAJO INVERNADERO

Esaú del Carmen Moreno Pérez^{1*}; Felipe Sánchez del Castillo¹; José Luis Noriega Navarrete¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Km 38,5, Carretera México-Texcoco, C.P. 56320 Texcoco, Estado de México, México.

esaump10@yahoo.com.mx (*Autor de correspondencia).

Resumen

Considerando que los fertilizantes que se utilizan en los sistemas hidropónicos para la producción de hortalizas son cada vez más caros y que éstos conjuntamente con los sustratos representan un porcentaje importante en el costo total de producción (Huang, 2009), se llevó a cabo el presente estudio con el objetivo de comparar el efecto de una solución nutritiva al 100 % de concentración (N,200; P,50; K,250; Ca,280 y Mg,50 mg•L⁻¹), al 75 y 50 % de concentración, en combinación con tres volúmenes de sustrato (4, 8 y 12 L planta⁻¹) y tres frecuencias de riego (1, 3 y 7 riegos al día) sobre indicadores de crecimiento y rendimiento de pepino cv. Paraíso, manejado bajo invernadero. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y un arreglo de tratamientos en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. La densidad de población fue de seis plantas m⁻² de invernadero, y las plantas fueron despuntadas a 1.5 m de altura. No se encontraron diferencias significativas en rendimiento, pero los resultados sugieren el uso de una solución nutritiva al 75 % de concentración, el uso de un volumen de 8 L de tezontle como sustrato, y con una frecuencia mínima de tres riegos al día; con lo que se obtiene al menos 16 Kg m⁻² de pepino en un periodo de 100 días de trasplante a fin de cosecha (equivalente a 600 t ha⁻¹ año⁻¹).

Palabras clave adicionales: *Cucumis Sativus* L., estrés hídrico, conductividad eléctrica, tezontle.



Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.), es una hortaliza de importancia económica para el mercado de muchos países de América Latina. México encabeza la lista de países exportadores de este producto, con un valor de la producción superior a los 420 millones de dólares anuales (USDA, 2012).

La agricultura protegida es una tecnología de producción que ofrece varios beneficios como menos riesgos de producción ante factores climáticos, menor incidencia de plagas y enfermedades, y mayor rendimiento y calidad de los productos cosechados, entre otros (Sánchez y Moreno, 2017). En los últimos años, esta tecnología ha crecido grandemente en todo el mundo (Juárez *et al.*, 2011). En pepino, se logran rendimientos de más de $500 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, a pesar de su bajo precio en el mercado, la alta productividad que se logra lo hace un cultivo muy rentable, por ello, después del jitomate, es una de las hortalizas que más se maneja en invernadero. En México se cultiva con esta tecnología alrededor de dos mil hectáreas de pepino (SAGARPA, 2012).

El manejo convencional del pepino consiste en establecer ciclos de cultivo de al menos 6 meses de siembra a fin de cosecha, con densidades de población de 2 a 3 plantas m^{-2} . Las guías laterales que se van formando en la base del tallo son eliminadas para conducir un solo tallo por planta. Alternativamente, en la Universidad Autónoma Chapingo, se ha desarrollado tecnología de producción de pepino basada en el manejo de plantas en alta densidad de población (6 o más plantas m^{-2} de invernadero), pero con despuntes temprano (eliminación del ápice de crecimiento) cuando las plantas alcanzan de 1 a 2 m de altura para obtener ciclos de cultivo muy cortos (Sánchez *et al.*, 2016; Ortiz *et al.*, 2009), similar al manejo del jitomate con despunte temprano propuesto por Sánchez *et al.*, (2012). Este sistema de cultivos con ciclos cortos manejado con alta densidad de población, tiene la ventaja de que además de lograr una alta productividad anual, se obtienen productos más sanos (más inocuos, al no aplicar pesticida o se aplica en muy poca cantidad), y se puede concentrar la cosecha en periodos cortos, donde puede haber ventanas de mejor precio para una mayor rentabilidad económica para el productor.

Con la tecnología de invernadero, se pueden controlar factores climáticos como radiación solar, temperatura y humedad relativa que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta (Scholberg *et al.*, 2000; Chamarro, 2001; Sánchez y Moreno, 2017), pero hay factores edáficos que afectan el crecimiento y funcionamiento de la raíz para una buena absorción, por lo que conjuntamente con el uso de invernaderos, la tecnología de hidroponía resulta casi indispensable, pues con ésta se puede controlar aspectos como la concentración de la solución nutritiva, la CE, el pH, la cantidad y frecuencia del riego, la oxigenación para la raíz con base en el tipo de sustrato y tamaño del contenedor (Moreno *et al.*, 2011), entre otros factores que también afectan el crecimiento y la producción final de las plantas de pepino (Hernández *et al.*, 2005).



Sin embargo, como parte de la tecnología a desarrollar para pepino en hidroponía en alta densidad de población, y buscando reducir costos para una producción más rentable, hace falta investigar algunos aspectos como los siguientes:

a) El volumen mínimo de sustrato requerido por planta para permitir un desarrollo óptimo de las raíces y con ello una adecuada absorción de agua y nutrimentos, ya que el volumen de sustrato del contenedor y las características del mismo, generan ambientes capaces de afectar el crecimiento radical, así como la distribución y acumulación de biomasa que influyen en la fotosíntesis y al final, en el rendimiento (Urrestarazu, 2004; Walters *et al.*, 2005).

b) La concentración de solución nutritiva óptima, y lo que ocurre con la alta salinidad que se presenta por las sales depositadas en el contenedor cuando éstas son aportadas con el agua de riego en cantidades superiores a las absorbidas por las plantas y a las pérdidas con el agua por lixiviación. Al respecto, se sabe que con una alta concentración de sales (elementos minerales) en la rizósfera, se eleva el potencial osmótico de la solución nutritiva y aumenta la conductividad eléctrica en el sustrato, y cuando ésta es muy elevada puede causar problemas en el desarrollo normal de los cultivos (Abad *et al.*, 2005; Sonneveld y Voogt, 2009). Además, como consecuencia de un incremento del potencial osmótico de las células en la rizósfera, se reduce el consumo de agua por la planta lo que eventualmente provoca un déficit hídrico y con ello una fuerte competencia por el agua entre la raíz y las sales, lo cual tiene repercusiones negativas para lograr más área foliar lo que limita la producción de fotosintatos, y en consecuencia en el crecimiento y desarrollo de los frutos (Taiz y Zeiger, 2006).

c) Asimismo hace falta conocer el suministro y la distribución del agua de riego durante el día, es decir, la frecuencia de riegos por día, dado que el pepino por su amplia lámina foliar, alta densidad estomática y cutícula delgada es una hortaliza muy exigente en agua (Zitter *et al.*, 2004). Hay que considerar que el aporte constante de agua, regula variaciones en la CE de la solución del sustrato y pudiera mantener la disponibilidad de los elementos, aun en una baja concentración de la solución nutritiva y volumen de sustrato reducido (Marschner, 1995).

De esta manera, se plantea el estudio de soluciones nutritivas más diluidas que las que normalmente se manejan (CE de alrededor de 2.5 dS m^{-1}) y el uso de poco volumen de sustrato por planta (menor a 12 L por contenedor), en combinación con la aplicación de distintos riegos al día (entre 1 y 7 riegos diarios), pues con el uso de menor volumen de sustrato y menos fertilizantes se disminuiría el costo de producción. Cabe mencionar que los fertilizantes constituyen un insumo cada vez más caros, y conjuntamente con el sustrato representan un porcentaje importante en el costo de producción del cultivo, por lo que el uso de una solución nutritiva más diluida de la que normalmente se ocupa, y menor volumen de sustrato contribuirían a mejorar el ingreso económico de los productores, como también lo señala Ávila (2001); desde la perspectiva ambiental, se tendría menor contaminación del suelo por lixiviados o drenajes provenientes



del manejo de un sistema hidropónico abierto (donde se pierde toda el agua drenada), minimizando así la salinización progresiva ocasionada por los fertilizantes que llega a contaminar al manto freático (FAO, 2002).

Con base en lo anterior, se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar el efecto de tres frecuencias de riego durante el día (utilizando la misma lámina de riego), en combinación con tres concentraciones de soluciones nutritivas, y tres tamaños de contenedor que implican volúmenes diferentes de arena de tezontle como sustrato para las plantas, sobre variables del crecimiento y rendimiento por unidad de superficie de frutos de pepino.

Materiales y métodos

El experimento fue conducido en condiciones de invernadero, el cual se encuentra ubicado en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. El invernadero es de tipo capilla a dos aguas, cubierto con polietileno térmico calibre 720 (180 micrones de espesor) con 80 % de transmisión de luz y alta dispersión de luz (difuso).

Como material vegetal se utilizó pepino tipo americano variedad Paraíso, de la empresa Enza Zaden®. Las plántulas fueron obtenidas en charolas de 200 cavidades y trasplantadas a los 25 días después de la siembra (dds). Se manejó una densidad de población de 6 plantas m⁻² de invernadero (9 plantas m⁻² útil). Con el apoyo de anillos plásticos, de alambres que corrían a lo largo del invernadero, y de un hilo tutor, las plantas fueron conducidas en posición vertical, eliminándose las ramas laterales para conducir la planta a un solo tallo. A la altura de 1.5 m, las plantas fueron despuntadas mediante la eliminación del ápice de crecimiento principal.

Se evaluaron tres concentraciones de soluciones nutritivas (100 %, 75 % y 50 %), tres frecuencias de riego (uno, tres y siete riegos al día), y tres volúmenes de sustrato de tezontle rojo (bolsas negras de polietileno con 4, 8 y 12 litros). La Solución nutritiva al 100 % contenía los siguientes elementos minerales y concentraciones (mg L⁻¹): N, 200; P, 50; K, 250; Ca, 280; Mg, 50; S, 200; Fe, 3; B, 0.5; Mn, 0.5; Cu, 0.05 y Zn, 0.05.

Los riegos fueron programados con la ayuda de un temporizador digital de 8 eventos, al cual se le conectó una electroválvula de ½" para aplicar los diferentes riegos al día. Considerando la etapa fenológica de las plantas y las condiciones ambientales prevalecientes, se aplicó el riego requerido, procurando en cada uno dar un sobrieriego del 20 %.

Como sustrato se utilizó arena de tezontle rojo con partículas de 2-4 mm de diámetro, el cual al hacerle una prueba física, se encontró que tenía 49 % de porosidad total, 24 % de oxígeno para la raíz y 25 % de capacidad de retención de humedad.



Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo de tratamientos en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. Las concentraciones de soluciones nutritivas constituyeron las parcelas grandes; las frecuencias de riego, las parcelas medianas y el volumen de sustrato, las parcelas chicas. La unidad experimental fue 1 m².

Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP en cm), medida con el apoyo de una cinta métrica; diámetro de tallo (DT en cm), medida con el apoyo de un vernier digital; área foliar (AF en cm), medida con un integrador de área foliar; peso seco total (PST en g), para lo cual se colocó el material en una estufa a 70 °C hasta lograr peso constante; índice de cosecha (IC), con base en la relación del peso seco de fruto/peso seco total de la planta; número de frutos (NF) y rendimiento de fruto (RF en Kg m⁻² de invernadero). La AP se evaluó a los 30 días después del trasplante (ddt), mientras que en las otras variables a los 80 ddt. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias de Tukey, considerando diferencias significativas con una $\alpha = 0.05$.

Tabla 1. Comparación de medias para diferentes variables en pepino cultivado bajo 3 concentraciones de solución nutritiva, 3 frecuencias de riego y 3 volúmenes de sustrato.

Tratamiento	AP (cm)	DT (mm)	AF (cm)	PST (g)	IC	RF (Kgm ⁻²)	NF
Concentración de la Solución Nutritiva (%)							
Ddt	30	80	80	80	80	100	100
100	104.9 a	9.81 a	0.63 a	100.3 a	0.33 a	15.55 a	47.97 a
75	102.9 a	9.63 a	0.61 a	100.3 a	0.38 a	15.27 a	45.97 a
50	92.8 b	9.26 b	0.60 a	98.0 a	0.35 a	15.10 a	49.64 a
DSH	3.7	0.32	0.06	11.44	0.06	3.79	7.6
Frecuencia de Riego							
Ddt	30	80	80	80	80	100	100
7	101.5 a	9.60 ab	0.62 a	102.6 a	0.37 a	17.11 a	50.33 a
3	100.4 a	9.74 a	0.61 a	97.3 a	0.35 a	16.05 a	46.36 b
1	96.7 b	9.35 b	0.60 a	98.6 a	0.34 a	15.76 a	46.44 b
DSH	3.16	0.3	0.51	8.20	0.06	1.78	3.40
Volumen de Sustrato (L)							
Ddt	300	80	80	80	80	100	100
12	102.4 a	9.74 a	0.63 a	120.6 a	0.33 b	16.65 a	48.92 a
8	101.5 a	9.60 b	0.60 a	100.6 b	0.35ab	16.32 a	47.78 a
4	96.8 b	9.35 c	0.59 a	95.3 b	0.38 a	15.95 a	46.44 a
DSH	1.55	0.13	0.05	9.17	0.05	1.39	3.40

AP: altura de planta, DT: diámetro de tallo, AF: área foliar, PST: peso seco total, IC: índice de cosecha, RF: rendimiento de fruto, NF: número de frutos, ddt: días después del trasplante. DSH: Diferencia significativa honesta (Tukey, P = 0.05). Medias con la misma letra en la misma columna, no presentan diferencia significativa.



Análisis y discusión de resultados

Análisis de resultados por factor de estudio

Se encontró que con la solución nutritiva (SN) al 50 % de concentración, se tuvo menor altura de planta (AP) y menor diámetro de tallo (DT) que con las concentraciones del 75 y 100 %; en las otras variables evaluadas (AF, PST, IC, NF y RF), no hubo ninguna diferencia estadística entre tratamientos (Tabla 1).

Marschner (1995) señala que con frecuencia se observan problemas de suministro de iones minerales a la raíz debido a la disminución en concentración alrededor de la rizósfera; sin embargo, en este caso, no se encontró muchos efectos con las soluciones diluidas, incluso entre una solución al 75 % y al 100 % no hubo ninguna diferencia, lo que sugiere que las plantas de pepino no exigen grandes cantidades de nutrimentos minerales, e incluso bastaría una solución con un 50 % de la concentración manejada para lograr la misma expresión de rendimiento, sobre todo si se combina con una mayor frecuencia de riego.

Entre 3 y 7 riegos aplicados al día no hubo muchas diferencias en ambos grupos de variables del crecimiento y rendimiento, pero cuando solamente se dio un riego al día, se tuvo una disminución significativa tanto en altura de planta como en diámetro de tallo, e incluso hubo tendencias a reducirse el área foliar y el peso seco total, que se manifestó en una disminución significativa en el número de frutos formados sobre todo con respecto al aplicar siete riegos al día, aunque dicha disminución no afectó de manera significativa el rendimiento, aunque hubo tendencias a una disminución. Yoshida *et al.* (2011), observaron que con la aplicación de un mayor número de riegos al día (para una misma lámina de riego), se logró mayor crecimiento en plantas de tomate, que con menos riegos. Al respecto Snyder y Bauerle (1985) señalan que las plantas de cultivo no responden directamente a las cantidad de riegos aplicados por día, sino al potencial hídrico presente en el suelo o sustrato; el cual con una alta frecuencia de riegos, se amortigua y mantiene en niveles adecuados los valores de potencial hídrico, sin llegar a valores inferior del umbral que pudiera ocasionar estrés hídrico en la planta (Rodrigo *et al.*, 1992).

Al analizar el volumen de sustrato utilizado, se encontró que con un volumen reducido de sustrato (contenedor con 4 L) también se afectó la altura de planta y el diámetro de tallo, e incluso el peso seco, y solamente se encontró una tendencia de disminución en el área foliar y en el número de frutos por unidad de superficie, de manera que tampoco se afectó significativamente el rendimiento. El menor crecimiento se explica porque con un volumen de sustrato pequeños (4 L), la capacidad de retención de humedad es baja lo que puede ocasionar estrés hídrico por una disminución más rápida de la conductividad hidráulica e incrementos en la conductividad eléctrica entre un riego y otro, comparado con el uso de contenedores con mayor volumen que tienen mayor capacidad de retención haciendo que la reserva de agua sea suficiente entre riegos (Rodrigo *et al.*, 1992).



No obstante, los resultados muestran que con una alta frecuencia de riegos y el uso del sustrato arena de tezontle rojo con partículas de 2-4 mm de diámetro, es factible usar un contenedor de 8 L para la producción de pepino en vez de 12 L sin ningún efecto negativo en rendimiento y en sus características morfológicas, lo cual permite un ahorro económico para el productor, pues se disminuye el costo tanto del contenedor como de sustrato.

Reghin *et al.*, (2006) también señalan que los caracteres fisiológicos y morfológicos de las plántulas son afectados por la restricción de espacio para el crecimiento de la raíz. Específicamente en cuanto a volumen de sustrato, mencionan que con mayor volumen, existe a la vez mayor cantidad de solución disponible por planta y se puede mantener durante más tiempo en forma de reserva, lo cual propicia que en la rizósfera los nutrimentos se encuentren disponibles en cantidades y formas adecuadas durante más tiempo para poder ser absorbidos, lo cual disminuye el riesgo de presentar un estrés salino o nutrimental.

El hecho de que no se haya observado diferencias importantes entre tratamientos, sobre todo en el rendimiento, posiblemente se debe también a que las plantas fueron despuntadas tan pronto alcanzaron 1.5 m de altura (60 ddt), de manera que sólo hubo tendencias de una mejor expresión en las variables del crecimiento y rendimiento con la mayor concentración de la solución nutritiva, mayor frecuencia de riego y mayor volumen de sustrato (Tabla 1).

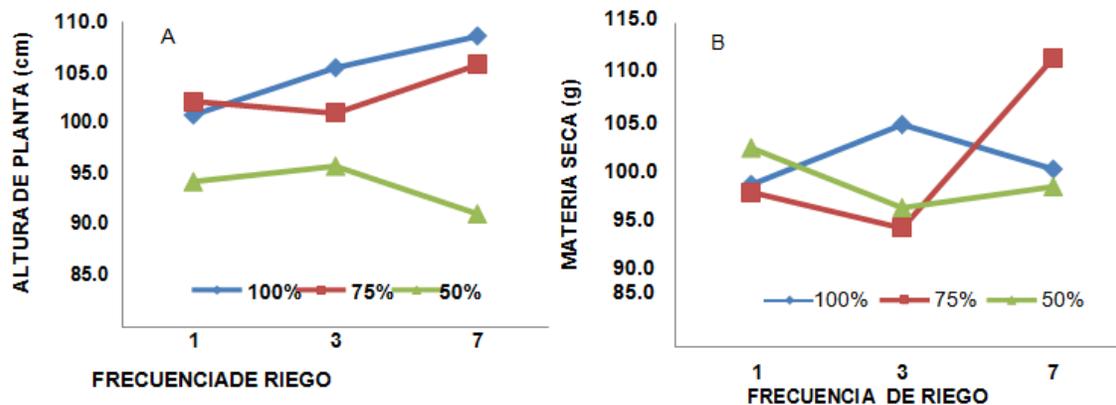


Figura 1. Interacciones entre la concentración de la solución nutritiva y la frecuencia de riego en: A) altura de planta a los 30 días después del trasplante y B) peso seco total a los 80 días después del trasplante.

Análisis de las interacciones

Los resultados indican que no se tuvieron muchos efectos de interacción para los factores y variables estudiadas. Entre la concentración de la solución nutritiva (SN) y la frecuencia de riegos (FR) hubo interacción significativa solamente para altura de planta (AP) y peso seco total (PST). Se observa que a medida que se aplicaron más riegos por día, la AP aumentó desde las primeras etapas del crecimiento al utilizar SN con concentraciones del 100 y 75 %, pero con la SN al 50 % la AP



disminuyó (Figura 1A), lo que explica esta interacción. Con uno o tres riegos al día, se tuvieron valores similares de materia seca (PST), pero con la aplicación de cuatro riegos más (siete riegos al día) dicha variable se incrementó con la SN al 75, no así con la SN al 50 y 100 %. Como lo indican Badr y El-Yazied (2007), este efecto puede ser debido a que la reposición más frecuente de la solución nutritiva, en combinación con una mayor cantidad de nutrientes disueltos en la misma solución nutritiva (hasta cierto límite) ocasiona que en la zona de la rizósfera se mantenga niveles más elevados de nutrientes, quedando en una concentración óptima en la zona de la raíz capaz de promover el crecimiento. La tendencia a disminuir el peso seco con más riegos al día en la solución nutritiva al 50 %, quizás se deba a que con más riegos con una solución tan diluida favorece que parte de los nutrientes de la rizósfera sean lavados y arrastrados por el drenaje más frecuente, disminuyendo su asimilación por la planta, mientras que con un solo riego al día, los nutrientes quedan retenidos en la zona de la rizósfera por más tiempo y puedan ser mejor aprovechados.

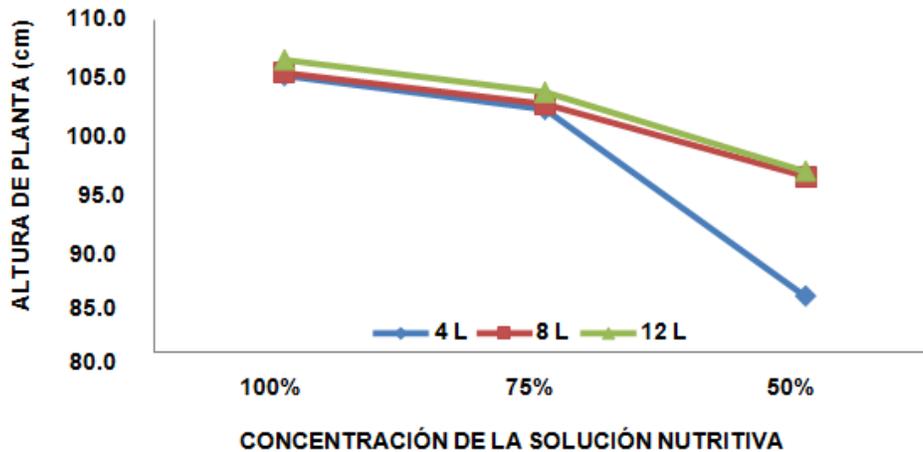


Figura 2. Interacción entre la concentración de la solución nutritiva y el volumen de sustrato en la altura de planta a los 30 días después del trasplante.

En la interacción entre la solución nutritiva (SN) y el volumen de sustrato (VS), se encontró efecto significativo solamente para la variable AP (Figura 2). Se observa que con mayor concentración de SN y mayor VS se tiene más altura de planta, y ésta fue disminuyendo conforme ambos factores también disminuyeron, y la interacción se explica porque con la concentración de la solución nutritiva más baja en combinación con el menor volumen de sustrato, la altura de planta se redujo drásticamente, posiblemente porque se dieron condiciones fuertes de estrés, por lo que es posible considerar que la mayor disponibilidad de nutrientes contenidos en la SN aunado a un mayor VS propicia condiciones favorables para el crecimiento de la raíz, así como una mayor cantidad de agua y nutrientes retenidos (Pereira y Martínez, 1999; Marschner, 1995).

La interacción entre frecuencia de riego (FR) y volumen de sustrato (VS) solamente fue significativa en AP y DT. El comportamiento observado indica que



con VS alto (12 L) o intermedio (8 L), se generan plantas con mayor AP y DT que con el manejo con contenedores de 4 L sobre todo cuando se maneja baja frecuencia de riego, con el que las variables del crecimiento se ven afectados de manera negativa (Figura 3). De acuerdo con lo reportado por Burés (1997), Urrestarazu (2004) y Pires *et al.* (2011), se puede establecer que el menor crecimiento de las plantas de pepino desarrolladas en contenedores pequeños, es debido a que agotan rápidamente el agua disponible en el tezontle, con un aumento significativo de la CE, y para contrarrestar este efecto se debe incrementar la frecuencia de riego por día, pues como se puede apreciar en la Figura 3, con siete riegos al día la diferencia en AP y DT fueron pequeñas entre volumen de sustrato, pero con menos riegos, las diferencias fueron más amplias.

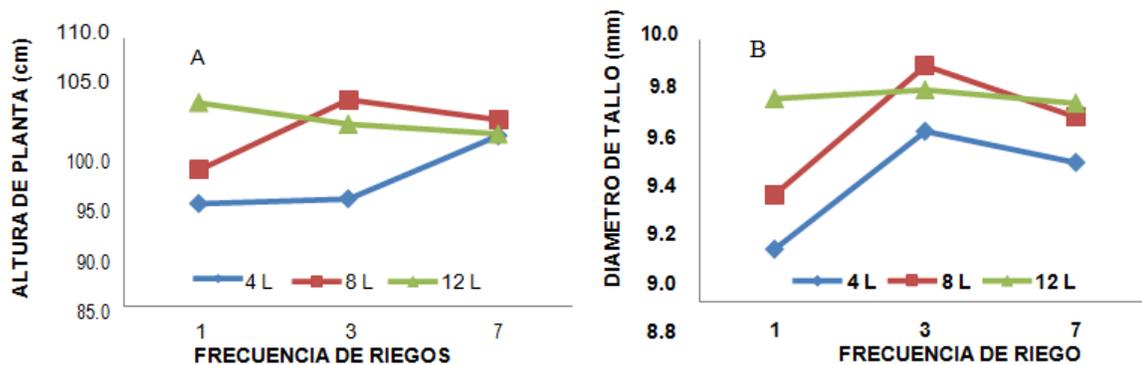


Figura 3. Interacciones entre la frecuencia de riego y el volumen de sustrato en: A) Altura de planta a los 30 días después del trasplante y B) Diámetro de tallo a los 80 días después del trasplante.

Aunque los resultados en rendimiento indican que sería factible implementar una producción de pepino hidropónico hasta con una solución nutritiva al 50 % y un contenedor de 4 L de volumen, aplicando tres riegos al día, en este caso se estaría trabajando en un límite mínimo de estos factores, donde cualquier error podría impactar negativamente y de manera importante el proceso de producción, por lo que la mejor recomendación, es utilizar contenedores con 8 L de sustrato, con siete riegos al día y una concentración de la solución nutritiva del 75 %, que haría más fácil el manejo técnico, a la vez que se lograrían ahorros significativos en sustrato, agua y fertilizantes, sin afectar el crecimiento y rendimiento final.

Conclusiones

Los resultados permiten concluir que con solución nutritiva que contenga los siguientes elementos y concentraciones: N, 150; P, 38; K, 187; Ca, 210; Mg, 38; S, 150; Fe, 3; B, 0.5; Mn, 0.5; Cu, 0.05 y Zn, 0.05 en mg L^{-1} (solución nutritiva al 75 % de concentración), con siete riegos al día y un volumen de contenedor de 8 L de sustrato de tezontle, es factible obtener un rendimiento de pepino de al menos $16 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero en un periodo de 100 días de trasplante a fin de cosecha (equivalente a $600 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), similar al utilizar una solución nutritiva al 100 % de concentración, y 12 L de volumen de sustrato, lográndose ahorros importantes en fertilizantes, agua y sustrato.



Referencias bibliográficas

- Abad B., M., P. Noguera M. y C. Carrión B. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación, pp. 299-354. En: Fertirrigación. Cadahia, C. (ed.). Ediciones Mundi Prensa. Barcelona, España.
- Ávila, J. A. 2001. El mercado de los fertilizantes en México, Situación actual y perspectivas. Problemas del Desarrollo. Instituto de Investigaciones Económicas (IIEc). Universidad Nacional Autónoma de México, 32, 189-207.
- Badr, M. A. and A. A. A. El-Yazied. 2007. Effect of fertigation frequency from subsurface drip irrigation on tomato yield grown on sandy soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3, 279-285.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Chamarro LJ (2001). Anatomía y Fisiología de la Planta. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi Prensa. pp: 225-254.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2002. El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. Roma. 323 p.
- Hernández S., Q., F. Sánchez C., A. Peña L., D. Montalvo H. 2005. Sustratos y frecuencias de riego para la producción de jitomate en hileras a diferente altura. Terra Latinoamericana 23, 341-349.
- Juárez L., P., R. Bugarín M., R. Castro B., A. L. Sánchez M., E. Cruz C., C. R. Juárez R., G. Alejo S. y R. Balois M. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. Revista Fuente 3, 21-27.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press Limited. London, Great Britain. 889 p.
- Moreno P., E., F. Sánchez C., L. L. González M., C.A. Pérez M. y N. Magaña L. 2011. Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. Terra Latinoamericana 29, 57-63.
- Ortiz. C., J., F. Sánchez C., M. C. Mendoza C. y A. Torres G. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana 32, 289-294.
- Pereira, P. R. G. y H. E. P. Martínez. 1999. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. Informe Agropecuario 20, 24-31.
- Pires, R. C. M., P. R. Furlani, R. V. Ribeiro, D. B. Junior, E. Sakai, A. L. Lourenco and A. T. Neto. 2011. Irrigation frequency and substrate volume effects in the growth and yield of tomato plants under greenhouse conditions. Scientia Agricola 68, 400-405.
- Reghin, M. Y., R. F. Otto, J. R. Olinik e C.F. S. Jacoby. 2006. Produção de cebola sobre palhada a partir de mudas obtidas em bandejas com diferentes números de células. Horticultura Brasileira 24, 414-420.
- Rodrigo LJ, Hernández AJM, Pérez RA, González HJF. 1992. Riego Localizado. Ediciones Mundi-Prensa.
- Sánchez C., F., E. C. Moreno P., E. Contreras M. y E. V. González. 2006. Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo mediante trasplante tardío. Revista Fitotecnia Mexicana 29, 87-90.



- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., & Contreras- Magaña, E. 2012. Development of alternative crop systems for commercial production of vegetables in hydroponics - I: tomato. *Acta Horticulturae*, 947, 179-187.
- Scholberg J, McNeal BL, Jones JW, Boote KJ, Stanley CD, Obreza TA 2000. Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. *Agronomy Journal* 92, 152-159.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Agricultura protegida 2012. En <http://www.sagarpa.gob.mx>. Fecha de consulta: 12 de noviembre 2014.
- Snyder, G. R. and W. L. Bauerle. 1985. Watering frequency and media volume affect growth, water status, yield, and quality of greenhouse tomatoes. *HortScience* 20, 205-207.
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer. New York. 431 p.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates Inc. Sunderland, MA, USA. 764 p.
- Urrestarazu G., M. 2004. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo, pp. 3-47. En: *Tratado de Cultivos sin Suelo*. Urrestarazu G., M. (ed.). 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- United States Department of Agriculture. (USDA). 2012. En www.ers.usda.gov Fecha de consulta: Noviembre de 2012.
- Walters, S. A., R., H. A. Riddle and M. E. Schmidt (2005). Container cell volume and transplant age influences muskmelon development and yield. *Journal of Vegetable Science* 11, 47-55.
- Yoshida, C., Y. Iwasaki, A. Makino and H. Ikeda. 2011. Effects of irrigation management on the growth and fruit yield of tomato under drip fertigation. *Horticultural Research (Japan)* 3, 325-331.
- Zitter, T. A., D. L. Hopkins and C. E. Thomas. 2004. *Plagas y enfermedades de las cucurbitáceas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 88 p.