

HUERTO COMERCIAL HIDROPÓNICO:

UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN INVERNADERO

Moreno-Pérez, E.C.¹, Sánchez del Castillo, F.¹, Blancas, C.M.E.¹, Vásquez, S.A.¹,
González-Molina L.¹, Montalvo-Hernández, D.¹

¹Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, México. C.P. 56230. México.

Autor responsable: fsanchezdelcastillo@yahoo.com.mx

RESUMEN

Se describen resultados de un sistema de producción comercial hidropónico en condiciones de invernadero, cultivando al mismo tiempo dos unidades con una misma solución nutritiva para producción continua, a diferentes densidades de población y concentraciones de la solución nutritiva. Se utilizaron especies de hortalizas de hoja, bulbo e inflorescencia. Se midieron variables morfológicas y componentes del rendimiento en experimentos independientes, utilizando un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y unidad experimental de 1 m². Se analizó con la varianza y comparaciones de medias (Tukey P=0.05). Es posible producir diferentes especies de hortalizas de hoja, bulbo e inflorescencia, con la misma solución nutritiva base al 75% de su concentración, compartiendo el mismo espacio de invernadero.

Palabras clave: Huerto, Invernaderos, Hidroponía, hortalizas.

INTRODUCCIÓN

Considerando algunas limitantes para la agricultura, tales como topografía, precipitación insuficiente o errática, heladas, salinidad, mal drenaje, contaminación agotamiento de mantos freáticos en zonas de riego y, en general, poca superficie agrícola por productor, se plantea que el futuro de la agricultura de especies de alto valor económico puede sustentarse en el uso de tecnologías de producción intensivas apropiadas para predios pequeños que reduzcan el riesgo de producir en condiciones limitantes de suelo o clima (Sánchez y Ponce, 1998).

Debido a los beneficios que la agricultura protegida ofrece, tales como altos rendimientos y calidad, mayores niveles de sanidad e inocuidad en los productos obtenidos, mayor seguridad de la producción, independencia del suelo, clima, acceso a mejores mercados y potencial de alta rentabilidad económica (Hanan, 1998; Von Zabeltitz, 2011), en México este sector está creciendo significativamente, alcanzando superficies de 20,000 ha⁻¹ bajo cubierta, de las cuales 12,000 son de invernaderos (AMPHAC, 2013; Ponce, 2013). En condiciones de invernadero, la técnica de la hidroponía o cultivo sin suelo gana más aceptación cada año con respecto a la producción en suelo, sobre todo por su eficiencia en el control de riego, nutrición mineral, ausencia inicial de plagas (insectos, microorganismos y malezas) y facilidad de esterilización de los sustratos, entre otros (Alarcón, 2006; Raviv y Lieth, 2008).

De acuerdo con Ponce (2013), 75% de la superficie de invernaderos se cultiva con jitomates (*Solanum lycopersicum*), sobre todo en regiones geográficas del sur y sureste de México, donde cerca de 86% de los productores de hortalizas en invernadero cuentan con menos de media hectárea. Lo

anterior genera un crecimiento explosivo de la superficie de invernadero que, a su vez, ocasiona aumento en la producción anual de jitomate, afectando a productores pequeños y medianos, debido principalmente a la competencia con la producción de campo abierto, afectando los índices de rentabilidad y espacios y ventanas de oportunidad en el mercado. Para que los pequeños y medianos productores en invernadero obtengan beneficios económicos, es necesario contar con sistemas de producción alternativos a los que manejan las grandes empresas de invernaderos que se basan generalmente en un solo cultivo en grandes superficies. En función de lo anterior, se ha desarrollado un sistema de producción intensiva de hortalizas bajo condiciones hidropónicas (HCH) en invernadero, que consiste en cultivar al mismo tiempo y hasta en dos invernaderos, con una solución nutritiva, mismo sustrato y sistema de riego, diversas especies de hortalizas, lo cual facilita cosechar de manera continua, todo el año (Figura 1). Esta tecnología está orientada para que los pequeños y medianos produc-

tores de invernadero puedan abastecer los mercados regionales o locales, ofreciendo precios de venta de consumidor final.

Además de las ventajas propias del uso de la hidroponía bajo invernadero (Hanan, 1998; Urrestarazu, 2004; Castilla, 2005; Alarcón, 2006), el HCH facilita que el usuario planifique su producción en función de lo que puede vender de acuerdo con su mercado, con-

siderando las especies más rentables; asimismo, al involucrar diversidad, se logra mayor estabilidad financiera debido a que la fluctuación de precios se compensa entre las diversas hortalizas. El HCH permite fomentar el desarrollo regional, el autoempleo, activa los mercados locales y reduce el arrastre por transporte de los productos a largas distancias (Ucán *et al.*, 2005; Vázquez *et al.*, 2007), (Sánchez *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2009) (Cruz *et al.*, 2005; Reséndiz *et al.*, 2010). Para contribuir en lo anterior, usando el HCH se evaluaron diferentes densidades de población



Figura 1. Huerto comercial hidropónico, mostrando diferentes especies, creciendo en el mismo espacio y tiempo.

y concentraciones de soluciones nutritivas en especies de hortalizas de hoja, bulbo e inflorescencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia, ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Se establecieron experimentos independientes para evaluar diferentes densidades de población y concentraciones de solución nutritiva para las siguientes especies: acelga (*Beta vulgaris* var, *Cycla*), variedad Fordhook; betabel (*Beta vulgaris* L.), variedad Crosby egyptian; cebolla cambray (*Allium cepa* L.), variedad Blanca de cojumatlán; cilantro (*Coriandrum sativum*), variedad canadiense; frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad Strike; lechuga tipo europea (*Lactuca sativa*), variedad Corbera; rábano (*Raphanus sativus*), variedad Champion; brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), variedad Hy-liberty; col (*Brassica oleracea* var. *capitata*), variedad Copenhagen market; chícharo (*Pisum sativum* L.), variedad Early perfection; y espinaca (*Spinacea oleracea*), variedad Viroflay. Como contenedores de sustrato se utilizaron camas de 1.2 m de ancho por 22 m de largo, elevadas sobre el terreno a 0.3 m rellenas con arena de tezontle rojo con partículas de 2 a 4 mm de diámetro en promedio, y sistema de riego por goteo basado en cintillas con emisores a cada 20 cm (Figura 2).

En todos los experimentos, las plantas fueron irrigadas con una solución nutritiva al 100% que contenía en 200 mg L⁻¹ de nitrógeno, 60 mg L⁻¹ de fósforo, 250 mg L⁻¹ de potasio, 250 mg L⁻¹ de calcio, 60 mg L⁻¹ de magnesio, 200 mg L⁻¹ de azufre, 3 mg L⁻¹ de hierro, 0.5 mg L⁻¹ de boro, 0.5 mg



Figura 2. Panorámica de camas de cultivo, sustrato y sistema de riego usado en las evaluaciones del huerto (HCH).

L⁻¹ de manganeso, 0.01 mg L⁻¹ de cobre y 0.01 mg L⁻¹ de zinc (Sánchez y Escalante, 1988). Además del anterior, para el caso de los experimentos de concentración de soluciones nutritivas se usaron tratamientos con concentraciones al 75% y 50%. Las siembras fueron directas o de trasplante, dependiendo de la especie cultivada. En este último caso, las plántulas fueron obtenidas en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizándose como sustrato una mezcla de peat moss® y perlita® en proporción volumétrica 2:1. Para cada una de las especies consideradas, se evaluó el efecto sobre el crecimiento y rendimiento de tres densidades de población como plantas m² útil⁻¹: acelga (16, 20 y 30), betabel (30, 42 y 56), cebolla cambray (132, 198 y 396), cilantro (1575, 1750 y 1925), frijol ejotero (20, 30 y 54), lechuga tipo mantequilla (30, 42 y 56) y rábano (81, 99 y 126).

En otros experimentos con las mismas especies, excepto acelga, cilantro y frijol ejotero, se evaluó el efecto sobre el crecimiento y rendimiento de tres concentraciones de solución nutritiva al 100%, 75% y 50% de la antes mencionada, y en cada experimento se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y la unidad experimental fue de 1 m² útil. Las densidades de población para cada especie fueron: acelga, 30; betabel 56; cebolla cambray, 396; cilantro, 1925; rábano, 126; frijol ejotero, 30; lechuga mantequilla, 30; lechuga orejona, 14; espinaca, 110; brócoli, 10; col, 8; y chícharo, 63. Se evaluaron variables morfológicas que diferían según la especie, así como variables de rendimiento y sus componentes. En cada variable se hicieron análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey (P=0.05) con el paquete estadístico SAS (1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidades de población

El Cuadro 1 presenta la comparación de medias del rendimiento obtenidas en cada especie bajo estudio. Con excepción de la col y chícharo, el mayor rendimiento se obtuvo con la densidad más alta evaluada, atribuido a mayor aprovechamiento por las plantas de la radiación solar desde etapas tempranas del

desarrollo (Janick *et al.*, 1981). Lo anterior es coincidente con lo registrado por autores como Mack y Varseveld (1982), Martinac y Borosic (1986) y Russo (2008), quienes señalan que, dentro de cierto rango, las plantas manejadas en alta densidad en un ambiente sin limitaciones climáticas, como las que se dan en invernadero, incrementan su rendimiento por unidad de superficie. El mismo Cuadro 1 indica que al aumentar la densidad, en la mayoría de las especies hubo una disminución en el rendimiento por planta, indicativo de cierto grado de competencia por radiación fotosintéticamente activa (RFA), producto de un mayor índice de área foliar (IAF); sin embargo, este decremento no fue tan importante, de manera que el rendimiento por unidad de superficie aumentó por mayor número de plantas.

Los resultados concuerdan con lo registrado por Gardner *et al.* (1986), Cebula (1995) y Jolliffe y Gaye (1995), en el sentido de que, dentro de un cierto rango, los aumentos en densidad de población se traducen en menor rendimiento por planta, pero mayor por unidad de superficie. Cruz *et al.* (2005) reportan una disminución del orden de 50% en rendimiento por planta, y un incremento en el mismo porcentaje sobre el rendimiento por m² al variar la densidad de 3 a 15 plantas m⁻² de chile pimiento despuntadas por arriba de la tercera bifurcación, atribuyendo a que con ese manejo de despunte, la competencia por RFA entre las plantas en alta densidad no era tan fuerte, pues el dosel apenas alcanzó un IAF de tres a la densidad de 15 plantas m⁻². De manera similar, trabajando con plantas de pepino (*Cucumis sativum*), despuntado a 1 m de altura, Ortiz *et al.* (2009) encontraron

Cuadro 1. Rendimiento de diferentes especies hortícolas con base en altas densidades de población.

Plantas m ⁻²	Acelga (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Betabel (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Cebolla cambray (g m ⁻²)
30	4509.0 a	56	5078.4 a	396	18040.0 a
20	3344.2 b	42	4054.7 ab	198	13860.0 ab
16	3140.9 b	30	3520.7 b	132	11440.0 b
DMS	1339.2	DMS	1517.3	DMS	5144
Plantas m ⁻²	Cilantro (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Rábano (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Frijol ejotero (g m ⁻²)
1925	6688.0 a	126	2851.2 a	30	4100.0 a
1750	5414.0 ab	99	2371.1 b	25	2534.0 ab
1575	3588.0 b	81	2068.7 c	15	1429.0 b
DMS	3110	DMS	272	DMS	1826.6
Plantas m ⁻²	Lechuga mantequilla (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Lechuga orejona (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Espinaca (g m ⁻²)
56	6346.7 a	16	7880.0 a	110	9830.0 a
42	4020.0 b	14	7870.0 a	55	5010.0 b
30	4232.5 b	12	6800.0 b	35	3390.0 b
DMS	841.5	DMS	760	DMS	1930.0
Plantas m ⁻²	Brócoli (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Col (g m ⁻²)	Plantas m ⁻²	Chicharo (g m ⁻²)
14	3600.0 a	17	12780.0 a	125	4480.0 a
10	3080.0 b	11	12760.0 a	63	3810.0 a
7	2200.0 b	8	12590.0 a	42	3660.0 a
DMS	850	DMS	4200	DMS	2020.0

DMS=Diferencia Mínima Significativa.

Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey P=0.05).

que el rendimiento por planta disminuyó 45%; sin embargo, el rendimiento por unidad de superficie fue igual al aumentar la densidad de población de nueve a 16 plantas m^{-2} útil.

La comparación de medias para densidad de población (datos no presentados) indicaron que en acelga no hubo diferencias significativas en peso fresco ni en diámetro de planta; en betabel el peso y el diámetro de bulbo fueron el mismo; en cilantro no hubo diferencia en altura de planta; en frijol ejotero el peso seco de planta y el área foliar fue la misma; en brócoli se tuvo el mismo diámetro de inflorescencia. En lechuga mantequilla, tanto el ancho como el peso fresco de planta fue mayor con 30 plantas m^{-2} , respecto a 56 plantas m^{-2} ; no obstante, el rendimiento por unidad de superficie fue mayor en esta última debido al mayor número de plantas establecidas. En col, tanto el diámetro como el peso de cabeza fueron mayores con ocho plantas m^{-2} respecto a 17 plantas m^{-2} . En espinaca la longitud de hoja

aumentó con 100 plantas m^{-2} respecto a 33 plantas m^{-2} , posiblemente como efecto de etiolación y no del crecimiento.

Experimentos de concentraciones de la solución nutritiva

El Cuadro 2 muestra que para la mayoría de las hortalizas evaluadas no existieron diferencias significativas en rendimiento por unidad de superficie al usar soluciones nutritivas entre 50 y 100% de concentración. Sólo en betabel y rábano se registró mayor rendimiento con la solución nutritiva al 100%, aunque sin diferencias estadísticas respecto a la solución al 75%, ya que el peso de bulbo de betabel y rábano fue semejante con ambas soluciones.

En cebolla cambray y lechuga europea bastó una solución nutritiva de 50% para alcanzar el mayor rendimiento. Incluso se observó un aumento de la concentración de la solución nutritiva; el rendimiento disminuyó de manera significativa, atribuible a que estas especies son poco tolerantes a

la salinidad (Maynard y Hochmuth, 2007), la cual se puede acrecentar a nivel de rizosfera entre un riego y otro, pues la transpiración y sobre todo la evaporación en las camas y con un sustrato rugoso, como el te-zontle, ocasionan que la humedad del riego se evapore con mayor rapidez, dejando mayor concentración de sales (Lieth y Oki, 2008; Silber y Bar-Tal, 2008).

Considerando que la solución nutritiva representa un porcentaje importante en el costo de producción y que el rendimiento no se ve afectado al disminuir 25%, se sugiere usar la concentración de la solución madre o base al 75% en el manejo del sistema de producción de huerto comercial hidropónico (HCH) para todas estas especies de hortalizas. Los resultados obtenidos de esta investigación han sido validados con éxito de manera comercial, al utilizar las densidades de población que mejor resultaron según la especie y manejando la solución nutritiva al 75% de su concentración normal (Figura 3).

Cuadro 2. Comparaciones de medias del rendimiento entre diferentes concentraciones de la solución nutritiva para distintas especies del huerto.

Concentración de la solución nutritiva	Betabel (Kg m^{-2})	Cebolla cambray (Kg m^{-2})	Lechuga europea (Kg m^{-2})	Lechuga orejona (Kg m^{-2})	Rábano (Kg m^{-2})
100	10.9 a	2.13b	6.88b	4.27 a	3.31a
75	9.02ab	2.11b	7.29ab	4.98 a	2.99ab
50	8.10b	3.17a	9.00a	4.39 a	2.32b
DMS	2.3	0.85	2.09	1.85	0.87
Concentración de la solución nutritiva	Brócoli (kg m^{-2})	Chícharo (kg m^{-2})	Col (kg m^{-2})	Espinaca (kg m^{-2})	
100	2.08 a	3.69 a	10.85 a	11.88 a	
75	1.96 a	2.92 a	12.18 a	11.33 a	
50	1.92 a	2.99 a	9.49 a	8.91 a	
DMS	0.74	1.10	4.53	5.67	

DMS=Diferencia Mínima Significativa.

Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey $P=0.05$).



Figura 3. A: Huerto comercial hidropónico en Tecamac, Estado de México, México. B: Huerto comercial hidropónico en Acatzingo, estado de Puebla, México.

CONCLUSIONES

LOS resultados hasta ahora obtenidos permiten concluir que es posible producir especies hortícolas de hoja y bulbo, usando una sola solución nutritiva base al 75% de su concentración, compartiendo el mismo espacio de invernadero, y que las densidades de población (plantas m⁻² útil) sugeridas son: acelga, 30; betabel, 42; cebolla cambray, 198; cilantro, 1,750; rábano, 126; frijol ejote-ro, 25; lechuga tipo mantequilla, 56; lechuga orejona, 14; espinaca, 110; brócoli, 14; col, 8; y chícharo, 42.

LITERATURA CITADA

- Alarcón V.A. 2006. Proyectos en cultivo sin suelo ¿Cómo empezar? In: Alarcón, V. A. (Coordinador). Cultivos sin Suelo. Compendios de Horticultura 17. Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España. pp: 11-21.
- AMPHAC. 2013. México boasts nearly 21 thousand hectares under protected agriculture. <http://www.houseofproduce.com/news/production/?storyid=141>. (página web soportada por AMPHAC y SAGARPA).
- Castilla N. 2005. Invernaderos de Plástico. Tecnología y Manejo. Mundi-Prensa. Madrid. España. 462 p.
- Cebula S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Hort.* 412:321-329.
- Cruz-Huerta N., Ortiz-Cereceres J., Sánchez-del Castillo F., Mendoza-Castillo, M. C. 2005. Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivado en altas densidades. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 287-293.
- Gardner F., Pearce R., Mitchel L. 1986. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. EUA. 327 p.
- Hanan J.J. 1998. *Greenhouses. Advanced Technology for Protected Horticulture*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA. 684 p.
- Janick J., Schery R.W., Woods F.W., Ruttan V.W. 1981. *Plant Science. An Introduction to World Crops*. 3ª edición. W. H. Freeman and Company. New York, USA. 868 p.
- Jolliffe P.A., Gaye, M.M. 1995. Dynamics of growth and yield components of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) to row covers and population density. *Sci. Hort.* 62:153-164.
- Maynard D., Hochmuth G. 2007. *Knott's Handbook for Vegetable Growers* (Fifth edition). John Wiley and Sons. New Jersey. EUA. 621 p.
- Lieth H., Oki L. 2008. Irrigation in soilless production. In: Raviv, M. and Lieth H. (editors). *Soilless Culture Theory and Practice*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp: 117-156.
- Mack H.J., Varseveld G.W. 1982. Response of bush snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to irrigation and plant density. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:286-290.
- Martinac V., Borosic J. 1986. The Effect of Plant Density on the Lettuce Yields Growing in the Glasshouse. *Acta Horticultura* 176:125-131.
- Ortiz C.J., Sánchez del C.F., Mendoza C.C., Torres G.A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(4): 289-294.
- Ponce C.P. 2013. Panorama de la Agricultura Protegida en México. <http://www.hortalizas.com/articulo/35512/panorama-de-la-agricultura-protegida-en-mexico>.
- Raviv M., Lieth H. 2008. Significance of soilless culture in agriculture. In: Raviv, M. and Lieth H. (eds.). *Soilless Culture Theory and Practice*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp: 1-11.
- Reséndiz M.R.C., Moreno P.E. del C, Sánchez, del C.F., Rodríguez P.J.E., Peña L.A. 2010. Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 16(3):223-229.

- Russo V.M. 2008. Plant density and nitrogen fertilizer rate on yield and nutrient content of onion developed from greenhouse-grown transplants. HortScience 43:1759-1764.
- Sánchez del C.F., Escalante R.E.R. 1988. Un sistema de producción de plantas: hidroponía principios y métodos de cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. 3ra Ed. Dirección de difusión cultural. Dirección de Patronato Universitario. México. pp. 194.
- Sánchez del C.F., Ponce O.J., 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Revista Chapingo, Serie Horticultura 4(2):89-94.
- Sánchez del C.F., Moreno P.E., Contreras-Magaña E., Vicente G.E. 2006. Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo mediante trasplante tardío. Revista Fitotecnia Mexicana 29 (2):87-90.
- SAS. 1998. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, South Central Agricultural Research Laboratory, 911 Highway 3W, Lane, OK 74555, EUA.
- Silber A., Bar-Tal A. 2008. Nutrition of substrate-grown plants. In: Raviv, M. and Lieth H. (editors). Soilless Culture Theory and Practice. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp: 291-342.
- Ucán CH.I., 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.
- Vázquez R.J., 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.
- Von Zabeltitz CH. 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer. Heidelberg, Alemania. 366 p.

