

SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO CON SUSTRATO Y CERRADOS COMO ESTRATEGIA SUSTENTABLE PARA REGIONES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE MÉXICO.

MDI. Margarita Hernández Alvarado¹

Dr. Juan Manuel Peña Aguilar²

Dr. Alberto de Jesús Pastrana Palma³

RESUMEN

En México, la agricultura al interior de invernaderos supone la mejor opción para mantener los niveles de rendimiento y producción de cultivos, especialmente en zonas áridas y semiáridas, donde los altos cambios de temperatura suponen disminución del rendimiento y crecimiento vegetativo; no obstante, su uso representa un gasto energético e hídrico constante con un malgasto de recursos y contaminación del suelo y agua. Por lo que los sistemas de cultivo sin suelo cerrados representan una opción sustentable para el desarrollo económico de estas localidades, al ahorrar del 30% al 50% de agua e inversión económica, al reutilizar los lixiviados. Este artículo tiene como objetivo incorporar y evaluar diferentes tratamientos de acrilato de potasio (hidrogel) y fibra de coco; en primera instancia en condiciones controladas en un laboratorio y después con los cultivos de pimiento, jitomate y pepino al interior de un invernadero; con el fin de evidenciar una alternativa de sustrato que mejore los sistemas de cultivo sin suelo en zonas áridas y semiáridas

PALABRAS CLAVE: Sistema de cultivo sin suelo, Lixiviado, Sustrato

¹ Investigador Adjunto, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, mago.hernandez@uaq.edu.mx

² División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Contabilidad y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro, juan_manuelp@hotmail.com

³ División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Contabilidad y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro, alberto@apastrana.com

INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida se ha convertido en la mejor opción para el desarrollo de cultivos a nivel mundial, debido a la eliminación de pérdidas económicas y productivas como resultado de las variaciones por el cambio climático y a las ventajas que representa el uso de invernaderos; tales como incremento en el rendimiento y calidad de las cosechas, control de los ciclos de crecimiento, aumento de la sanidad e inocuidad de los productos obtenidos, ampliación del acceso comercial y rentabilidad económica (Al- Adwan y Munaf, 2012). Sin embargo, esta tendencia incorpora a una inversión económica alta, dependencia energética constante, nivel de especialización y capacitación indispensable (Galán Saúco, 2015; Moreno Reséndez, *et al.*, 2011). Estos factores son riesgos inherentes que los productores deben considerar pero cuya magnitud se agrava en países en vías de desarrollo.

En México, la agricultura protegida supone 20 mil hectáreas (60% invernaderos y el resto representado por casas - sombra) (Ponce, 2013) y anualmente se amplía su cobertura con una Tasa Media de Crecimiento Anual de 34.5; no obstante, la mayor parte de los invernaderos instalados en el país son de mediana y baja tecnología; ya que el nivel de tecnificación es directamente proporcional a la inversión inicial⁴, siendo inasequibles para la mayoría de los agricultores nacionales. Por lo que, sólo 49 por ciento de los invernaderos presentan algún grado de tecnificación (Moreno Reséndez, *et al.*, 2011: 764); sin embargo, la inclusión de tecnología simboliza la mejor alternativa en zonas áridas y semiáridas⁵, donde el agua es insuficiente para la agricultura.

En México, las zonas destinadas a la agricultura es sólo el 10 por ciento del territorio nacional, mientras que las zonas áridas y semiáridas son 50 por ciento. Este porcentaje aumenta

⁴ La inversión inicial por metro cuadrado de un invernadero de baja tecnología es 70 pesos, de tecnología media es 250 pesos y de alta tecnología es de 1500 pesos.

⁵ Las zonas áridas reciben precipitación anual menor a 350 mm y las semi- áridas reciben entre 350 y 600 mm; lo que equivale a un déficit hídrico al presentar mayor evaporación potencial máxima que precipitación pluvial anual.

anualmente, originando inseguridad alimentaria y falta de desarrollo económico debido al empobrecimiento del suelo y mala gestión de recursos naturales, principalmente del agua (Tarango Arámbulo, 2005).

El agua es el principal limitante para la productividad de los cultivos; de ahí que, un estrés hídrico constante limita el crecimiento vegetativo e inhibe funciones propias de las plantas, generando disminución del tamaño celular, mengua del desarrollo de la hoja, y reducción del área foliar, transpiración foliar y conductancia estomática (Celaya- Michel y Castellanos-Villegas, 2011; Gao, *et al.*, 2007; Méndez, *et al.*, 2007; Rada *et al.*, 2005). Aunque, una aminoración controlada de la humedad en los cultivos puede mejorar el rendimiento de los mismos cultivo y eficientizar el uso del agua (González, 2000).

En contraparte, un exceso de riego da lugar a enfermedades radiculares y presencia de lixiviados (con una pérdida aproximada del 50 por ciento de los nutrientes) que saturan y contaminan suelo, fuentes de agua y mantos freáticos; por su alta concentración iónica. Lo que significa pérdidas económicas importantes por la baja calidad de los frutos y el gasto innecesario de agua, principalmente en zonas con poca precipitación pluvial anual y el recurso hídrico es escaso (Bar- Yosef, 2008).

Por lo que, una alternativa para aprovechar eficientemente, el agua, en la agricultura protegida es el uso de sistemas de cultivo sin suelo (CSS), que además encarnan ventajas importantes: mejor nutrición mineral, posibilidad de utilizar aguas salinas, mayor rendimiento y calidad del producto, control de la sanidad e inocuidad de la producción, entre otros (Vélez Carvajal *et al.*, 2014; Raviv y Loeth, 2008: 111). Esta eficiencia, se presenta específicamente, en los cultivos sin suelo cerrados que utilizan sustratos y permiten un control de riego, ahorro importante del agua (del 30% al 50%) menor adquisición de insumos y fertilizantes; al reutilizar la solución

drenada después de haber pasado por un proceso esterilización y reajuste de pH, conductividad eléctrica, macronutrientes (NPK) y micronutrientes, (Vélez Carvajal *et al.*, 2014). Sin embargo, sólo se puede reutilizar los lixiviados, un par de veces, por el aumento de conductividad eléctrica derivada de la concentración iónica (nitratos y sulfatos principalmente). Con concentraciones muy altas se afecta la absorción de nutrientes y la amenaza de propagación de enfermedades radicales es mayor (Marfá, 2006).

No obstante, estos sistemas cerrados representan una alternativa congruente con el medio ambiente fundamentalmente en zonas áridas y semiáridas; al disminuir significativamente el impacto ambiental, al desechar una menor cantidad de lixiviados y con ello, reducir la contaminación del agua y suelo (FAO; 2003). Además, su uso supone un gasto económico menor derivado de la compra de fertilizantes e insumos agrícolas (Duarte, 2010; Huang, 2009).

A pesar de que, los sistemas cerrados representan una alternativa sustentable, es necesario considerar factores que podrían limitar su uso: salinidad del agua de riego, alta evapotranspiración y rápida extensión de enfermedades (Raviv *et al.*, 1995). Además se debe considerar el equipamiento y tecnología necesaria para su manejo; así como, los contenedores o unidades de cultivo básicas a utilizar y el mejor sustrato para desarrollar la raíz.

Por tal motivo, los cultivos CSS que utilizan sustrato (Figura 1), deben seleccionar adecuadamente el mismo, no sólo por las características que debe proveer a la planta: a) asegurar, proteger y airear las raíces, b) proveer nutrición adecuada, cosecha abundante y de buena calidad; sino se debe propender a seleccionar subproductos o materiales residuales de nulo o escaso valor comercial que permitan reducir tiempos de producción, presentar un impacto ambiental depreciable y estar ubicados dentro de una regionalización biogeográfica (Abad *et al.*, 2005). Con el fin de ampliar constituir alternativas sustentables, con amplio acceso

y uso para los agricultores regionales, satisfacer las particularidades de cada cultivo y representar una opción económicamente viable (Pineda- Pineda, *et al.*, 2012).

Figura 1. Clasificación de los cultivos sin suelo.



La caracterización física, química y biológica de los mismos es fundamental, ya que presentan una correlación con el fertirriego aplicado durante el desarrollo de la planta. Las propiedades físicas son las más importantes y se relacionan con el transporte y manejo de sustrato (densidad real y aparente, cantidad de agua absorbida, distribución de tamaño de partícula, porosidad y retención de agua y aire), y una vez establecido el cultivo difícilmente pueden manipularse, debiendo mantenerse constantes durante el ciclo de cultivo (Blok *et al.*, 2008); mientras que las químicas caracterizan la transferencia de materias entre el sustrato y la solución del mismo por medio las reacciones de disolución, intercambio de iones y reacciones de biodegradación (Quintero, *et al.*, 2012).

Finalmente, se debe considerar la retención de agua y capacidad de aireación (FAO, 2002); siendo necesario que el sustrato tenga un buen drenaje, para desechar el exceso de agua de riego, permitir un intercambio gaseoso adecuado, renovar el oxígeno y evitar que las raíces se asfixien o se presenten enfermedades (Mendoza y Torres, 2009). Estas características se mejoran con el uso de hidrogeles, ya que, por su composición química permiten una mayor

retención de agua y nutrientes en terrenos desérticos, mejorando características del suelo como aireación y compactación (Benítez *et al.*, 2015; Katime, 2004). Incluso, al ser polímeros hidrófilos, no permite la solubilidad del agua, mejorando drenaje y rendimiento del cultivo (Pattanaaik, *et al.*, 2015). Asimismo, permite absorber un gran volumen de agua y proporcionarla a las raíces, después de días; logrando disminuir el consumo del agua hasta un 50 por ciento (Plaza, 2006).

Con base en lo anterior, el objetivo de este artículo es incorporar y evaluar diferentes tratamientos de acrilato de potasio (hidrogel) y fibra de coco; en primera instancia en condiciones controladas en un laboratorio y después con los cultivos de pimiento, jitomate y pepino al interior de un invernadero; con el fin de evidenciar una alternativa de sustrato que mejore los sistemas de cultivo sin suelo en zonas áridas y semiáridas

METODOLOGÍA

Fase 1: Experimentación en Laboratorio

Figura 2. Desarrollo de la fase 1 de la experimentación



Los criterios para seleccionar el sustrato fueron bajo peso para poder desplazar las bolsas si existía esa necesidad y el reuso de algún residuo vegetal y/o animal. Los sustratos

seleccionados fueron pencas de aloe vera, gabazo de agave, huesos de borrego, fibra de coco y cascarilla de arroz, los cuales fueron caracterizados física y químicamente. Con base en los resultados de esta caracterización se determinó que la fibra de coco era el sustrato que proporcionaba los valores más altos de ligereza, aeración, retención de agua y de nutrientes; no obstante, su aportación de nutrientes es bajo. Por lo que, es muy importante la correcta fertirrigación de los cultivos con la solución nutritiva seleccionados. Mientras que el acrilato de potasio se escogió después de una búsqueda de los polímeros más absorbentes y su frecuencia de uso, este polímero formado por monómeros $\text{—CH}_2\text{CH}(\text{CO}_2\text{Na})\text{—}$ puede aumentar su volumen hasta mil veces si se le agrega agua.

El experimento se desarrolló en dos partes, la primera en el laboratorio de AgroBioingeniería, campus Amazcala en la Universidad Autónoma de Querétaro, se prepararon 10 bolsas de cultivos por cada tratamiento, cuya variación se debe a los diferentes porcentajes de volumen de fibra de coco y acrilato de potasio $T_1 = 20\% - 80\%$, $T_2 = 25\% - 75\%$, $T_3 = 30\% - 70\%$, $T_4 = 40\% - 60\%$, $T_5 = 50\% - 60\%$, $T_6 = 100\% - 0\%$. y $T_7 = 0\% - 100\%$.. Las bolsas se saturaron con agua y se dejaron escurrir durante 24 horas; posteriormente se depositaron en bandejas y se regaron 10 veces con 150 ml, con espacio de media hora entre uno y otro riego por tres días (Figura 2). Finalmente, al final de cada día se medía el volumen drenado de agua de cada uno de los tratamientos.

Fase 2: Experimentación en el invernadero

Se seleccionó el invernadero experimentales Ie-3 (Figura 3) del campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería; ubicado en la comunidad que lleva el mismo nombre, perteneciente al municipio del Marqués. Las coordenadas geográficas son latitud norte $20^\circ 42'$, longitud oeste de $100^\circ 16'$, con temperatura media anual de 19°C , precipitación total anual entre 450 y 630 mm y oscilación térmica de 7 a 14°C . El invernadero está orientado de norte a sur, tipo Gótico con

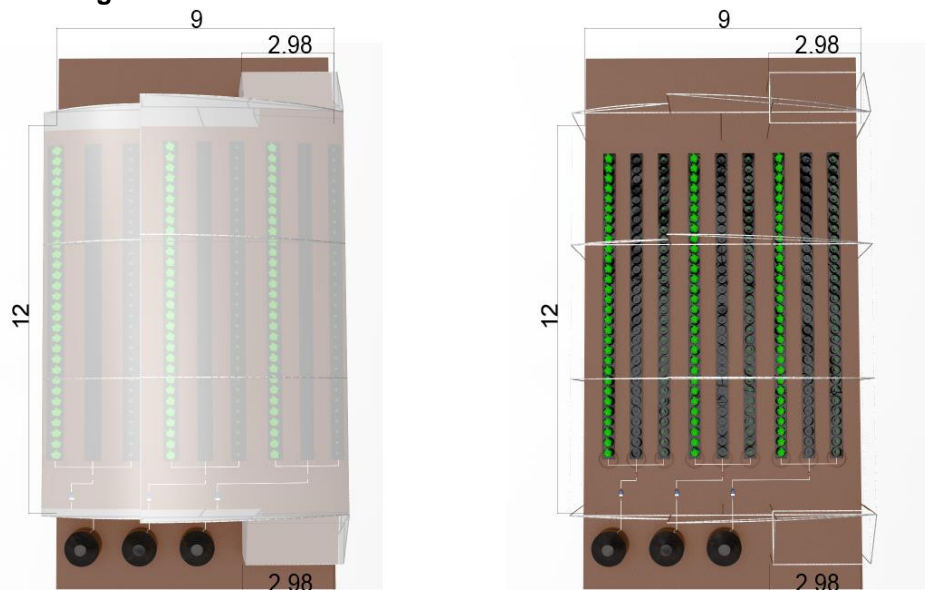
una nave y 108 m² con ventanas laterales y una ventana cenital de .9 m de ancho por 12 m de largo.

Figura 3. Invernaderos experimentales le-3



Se realizó un diseño del acomodo del invernadero con nueve líneas, tres por cada especie consideradas en el experimento jitomate (*Lycopersicum esculentum*), chile pimiento (*Capsicum* spp.) y pepino (*Cucumis sativus*) (Figura 4); con el fin de evaluar tres tratamientos diferentes y determinar la capacidad de drenaje y su eficiencia como sustrato de un sistema de cultivo sin suelo cerrado con sustrato.

Figura 4. Acomodo de las líneas de los cultivos en el invernadero



Para el transplante se utilizaron 90 plántulas de 40 días de edad de jitomate, pimiento y pepino , sembradas en charolas de 200 cavidades (Figura 5) en peat moss con la incorporación de humus sólido (85% - 15%).

Figura 5. Germinación de las primeras plantas de pepino



Se regaron dependiendo de la especie y la etapa fenológica (Tabla 1) con una solución nutritiva propuesta por Sánchez del Castillo y Escalante (1988) N=140 mg/L, P = 40 mg/L, K = 175 mg/L, Ca = 140 mg/L, Mg = 40 mg/L, S = 140 mg/L, Fe = 1.5 mg/L, Mn = 0.5 mg/L, B = 0.5 mg/L, Cu = 0.1 mg/L, y Zn = 0.1 mg/L.

Tabla 1. Riego de cada especie considerando su etapa fenológica

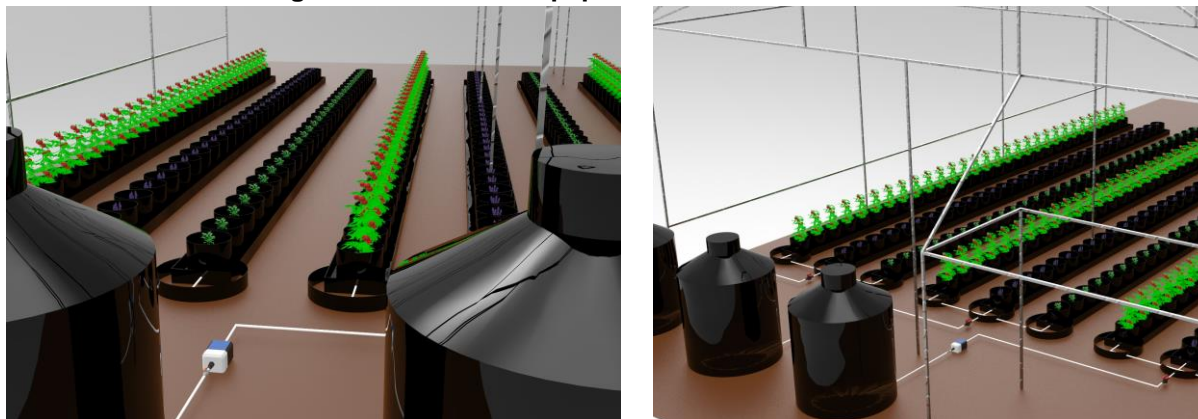
Pimiento		
Días	Etapa (INIFAP)	Litros por planta (Infoagro)
1 a 49	Vegetativa	0.9
50 a 113	Reproductiva/Maduración	1.5
Tomate		
Días	Etapa (INIFAP)	Litros por planta (Infoagro)
40	Transplante y floración	1.1
≥ 40	Llenado fruto	2.7
Pepino		
Días	Etapa (INIFAP)	Litros por planta (Infoagro)
1 a 34	Guías y floración	0.9833
35 a 50	Cosecha	1.4

Para lo cual se utilizaron los fertilizantes nitrato de potasio soluble, nitrato de calcio soluble, nitrato de magnesio soluble, nitrato de amonio estándar. Fosfato monoamónico MAP granular y

ácido sulfúrico al 98 por ciento. Al agua que se utilizó para el riego se le hizo una determinación de conductividad eléctrica 0.5 dS/m.

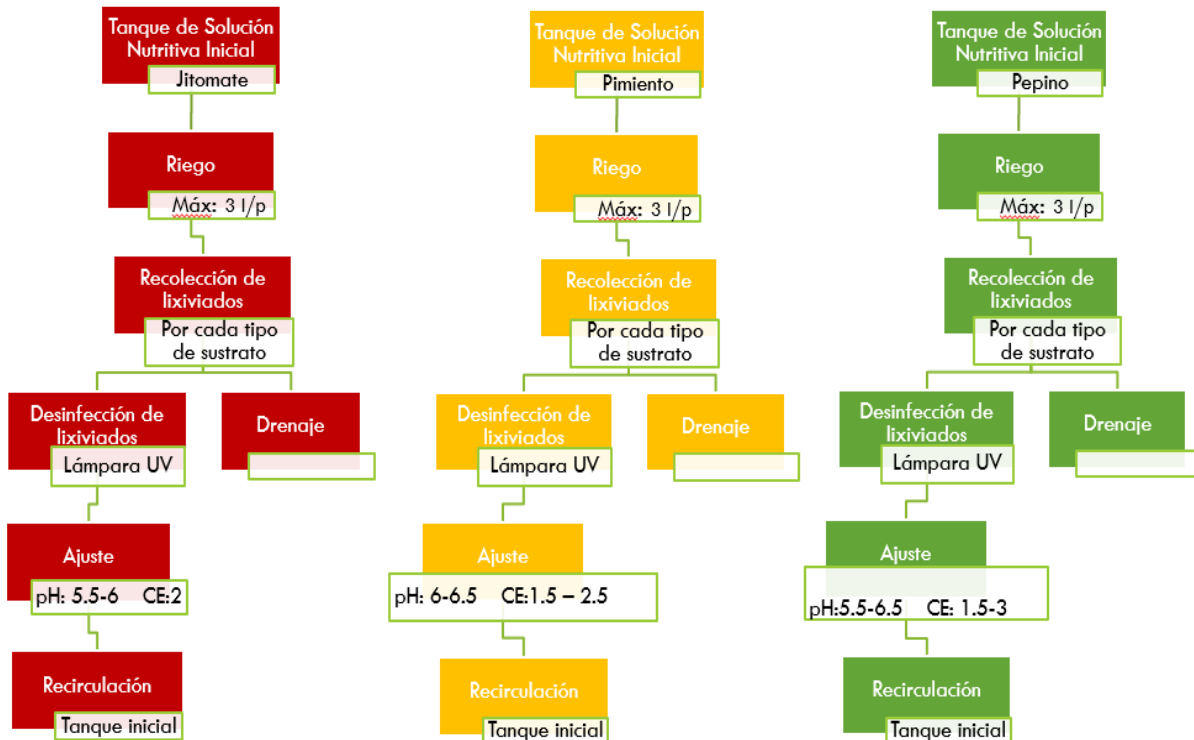
Además, en cada fila se colocaron tinacos de 20 litros de capacidad (Figura 6) con los que se regaban y recolectaban los lixiviados. Cada tercer día se medía la concentración de nitratos, calcio, fósforo y potasio para determinar si se desechaba o se utilizaba. En el último caso se pasaba por una lámpara UV y dos filtros de carbón activado para sanitizar previo su reutilización, por una tubería de 1" que conectaba en cada fila a un medidor de flujo, con ayuda de bombas de ½ HP.

Figura 6. Diseño del equipo al interior del invernadero



En el tinaco se ajustaban las concentraciones iniciales de N, P, K y CE; con el fin de equiparar las de la solución nutritiva de Sánchez del Castillo y Escalante (1988), mediante la adición de algún fertilizante comercial o agua. Este procedimiento fue diseñado para cada cultivo (Figura 7) con base en su fase de desarrollo fenológico y las particularidades necesarias para su desarrollo vegetativo adecuado.

Figura 7. Diagrama de bloques de los cultivos



RESULTADOS

Fase 1: Resultados en Laboratorio

Una vez realizadas la experimentación al interior del laboratorio se registró el promedio del volumen diario de las 10 bolsas por cada tratamiento (Tabla 1) y se determinó que el T₁ representado por la mezcla de 20% de acrilato de potasio (hidrogel) con 80% de fibra de coco (sustrato) fue el tratamiento que drena menos con un 5.893 %; mientras que los otros tres tratamientos no son estadísticamente diferentes.

No obstante, estos resultados deben de ser comparados al interior del invernadero con los cultivos seleccionados: pepino, jitomate y pimiento; con el fin de determinar si la capacidad de drenaje se modifica.

Tabla 2. Volumen de drenado de agua

	<i>Composición bolsas</i>		<i>Promedio del volumen drenado</i>			<i>Promedio</i>	<i>(%)</i>
	AP (%)	FC (%)	Día 1 (ml)	Día 2 (ml)	Día 3 (ml)		
T ₁	20	80	875	826.6	850	883.9	5.893
T ₂	25	75	1120	1081.6	1020	1073.9	7.159
T ₃	30	70	1080	1115	1076.6	1096.6	7.27
T ₄	40	60	1160	1120	1068.3	1111.1	7.407
T ₅	50	50	1230	1109	1074.4	1137.8	7.58
T ₆	100	0	1835	1710	1605	1716	11.4
T ₇	0	100	2178	2521	2350	2350	15.65

Las pruebas realizadas son sumamente importante porque permiten conocer las capacidades de drenaje de un sustrato específico, lo que permite pronosticar el nivel estable de nutrientes y evitar la alta concentración iónica del sustrato. No obstante, ésta no depende exclusivamente del drenaje sino de la calidad y salinidad del agua, se recomienda una corriente eléctrica entre 1 y 2 dS/m.

Los porcentajes de drenaje varían dependiendo del autor entre el 10 al 30 (Rodríguez, 2009) o de 25 al 30 (Sanz, 2003). La diferencia ente los porcentajes referidos en la literatura y los obtenidos durante la experimentación se debe a que en esta etapa de la investigación no se aplicó un aumento en la temperatura del laboratorio ni se consideró la etapa fenológica de las plantas. Ambos factores son decisivos en el porcentaje de drenaje.

Estos porcentajes también nos permiten inferir vislumbrar la acumulación de sales en el sustrato, ya que dependen de la mayor o menor cantidad de lixiviados. Por lo que, es necesario realizar nuevos estudios que consideren diferente tipos de hidrogeles diferente al acrilato de potasio, con el fin de documentar si el drenaje se ve modificado.

Fase 2: Resultados en el invernadero

El sector agrícola consume más agua que el resto de los sectores industriales y a nivel global representa 69 por ciento de toda la extracción de agua, siendo el riego la actividad de mayor consumo (frecuentemente la mitad o más) como resultado de la evaporación, incorporación a los tejidos de las plantas y transpiración de los cultivos. Por lo que la recuperación de lixiviados de riego, representa una opción adecuada para el problema hídrico, porque permite volver a utilizar agua y nutrientes aplicados a la producción bajo invernadero; de otra manera, los lixiviados serían desechados y llegarían a contaminar el medio ambiente.

Por lo tanto, este proyecto permite la recuperación del riego y realizar compensaciones automáticas en la nutrición del cultivo. Actualmente, el experimento se encuentra en el día 50 después del trasplante; por lo que aún no se puede hablar sobre resultados específicos; no obstante se han encontrado algunas metainferencias durante el proceso de sistema de cultivo cerrado con el uso de sustrato de acrilato de potasio con fibra de coco con los tratamientos T₁ (20% - 80%), T₂ (25% - 75%) y T₃ (30% - 70%).

El primero es que el uso de sistema cerrado mediante la recirculación de los lixiviados ha supuesto que no se desechen lixiviados sino hasta cada 20 días; aun así, se trabaja en protocolos para evitar la contaminación que supone el drenaje vertido en el suelo y la búsqueda de nuevas aplicaciones para reutilizar el lixiviado que ya no es funcional para el riego del tomate, pepino y jitomate. Se estima que la reducción de lixiviación de nitratos en un 92.3 por ciento y de fosfatos en 96.7 por ciento.

Además, los ahorros en la adquisición de fertilizantes comerciales es otro factor fácilmente apreciable; en diversos estudios se hace la referencia de un porcentaje disminución de consumo del 30 al 35 por ciento. Aunque, durante toda la investigación se ha monitoreado la

conductividad eléctrica y pH para evitar la presencia de desequilibrios químicos que pueden afectar el desarrollo vegetativo de alguno de los cultivos; sobre todo por la diferencia de CE necesario para cada cultivo; el jitomate requiere de un CE igual a 2 dS/m, el pimiento entre 1.5 y 2.5 dS/m y el pepino entre 1.5 a 3 dS/m.

Con respecto a los métodos seleccionados para la sanidad de los lixiviados, la luz ultravioleta y los filtros de carbón activado han funcionado; aunque no se tiene la certeza de contaminación biológica del lixiviado; por lo que tendrán que realizarse análisis a profundidad.

Asimismo, el porcentaje de drenaje se modificó con respecto a los porcentajes obtenidos en el laboratorio, debido a los cambios bruscos de clima a lo largo del día. Finalmente, la solución nutritiva se equilibraba cada tercer día con el fin de brindar los nutrientes necesarios.

CONCLUSIONES

En México se apuesta cada vez más a la industria protegida por las ventajas económicas y productivas, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, que representan la mitad del territorio nacional y cuyo desarrollo económico muchas veces está mermado por la mala gestión de los escasos recursos existentes, especialmente el recurso hídrico, y la contaminación del suelo y agua.

Por lo tanto, es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas sustentables que eficienten el uso de los recursos, considerando el factor social, económico y ecológico, y permitan mejorar el desarrollo económico de estas regiones, tratando de disminuir los niveles de inseguridad alimentario y pobreza.

Una de estas alternativas con los sistemas de cultivo sin suelo con sustrato y cerrados porque permite generar cultivos sin la necesidad de utilizar el suelo de la región (no apto para la agricultura), el uso de un desecho de bajo costo como sustrato (abriendo el acceso para los productores regionales) y cerrado con la reutilización de los lixiviados con un elevado poder contaminante por la cantidad de nitratos y sulfatos disueltos, que en otro tipo de sistema supondría su desecho.

Además, estos sistemas consiguen un ahorro notable del agua (entre el 30 y 50 por ciento) y un menor uso de fertilizantes comerciales al aprovechar los iones disueltos en los lixiviados, como fuente de nutrición vegetativa. En esta investigación se propuso el uso de un sustrato derivado de la mezcla de acrilato de potasio y fibra de coco para cultivar pimiento, pepino y jitomate.

Los porcentajes de drenaje de los resultados son mayores a los que indica la literatura, esto se puede entender porque las condiciones de laboratorio no son las mismas que en un invernadero, por lo que la radiación solar y el consumo de la planta influyen en la cantidad de drenaje. Resulta interesante que en los tratamientos que contienen un 25% o más de acrilato de potasio, el porcentaje del drenaje no tenga mucha variación, por lo que se pueden tener condiciones similares sin usar más cantidad de acrilato de potasio, por lo que se necesitaría menos cantidad de agua por su mayor retención. Sin embargo, no se sabe cómo se comportaría el cultivo, ya que puede haber un exceso de humedad, porcentaje de aireación o acumulación de sales en el sustrato, lo que provocaría daños al cultivo. Con el tratamiento 20-80% los costos disminuyen más y se tiene un porcentaje de drenaje adecuado, por lo que resulta ser el tratamiento con mejores condiciones de drenaje de acuerdo a la literatura.

El uso de estos sistemas no se presente a nivel masivo en Latinoamérica, pero resulta imprescindible el uso de estrategias agroambientales que consideren instalaciones, técnicas de

cultivo y gestión de las instalaciones. En países de la Unión Europea se tiende a implantar el uso de sistemas que recirculen el drenaje en explotaciones agrícolas.

BIBLIOGRAFIA

CAPÍTULO DE LIBROS

Bar-Yosef, B. (2008). *Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses*. En Raviv, M. and J.H. Lieth (Eds.), *Soilless culture: theory and practice* (pp. 383-388). Londres: Elsevier

Blok, C., de Kreij C., Baas, R. y Wever, G. (2008). *Analytical Methods Used in Soilless Cultivation*. En Raviv, M. and J.H. Lieth (Eds.), *Soilless culture: theory and practice* (pp. 245-290). Londres: Elsevier

Marfà, O., Casdesús, J. y Cáceres, R. (2006). *Recirculación en cultivos sin suelo*. En Alarcón, A. L. (Ed.), *Cultivos sin suelo, Compendios de Horticultura*, 17 (pp. 175- 190). Cataluña: Ediciones de Horticultura.

Raviv M. y Lieth, H. (Eds.) (2008) *Significance of soilless culture in agriculture*. En *Soilless Culture Theory and Practice* (pp. 111). Amsterdam: Elsevier.

LIBROS

Katime-Amashta, I. A., Katime-Trabanca, O. y Katime Trabanca, D. (2004). Los materiales inteligentes de este milenio: Los hidrogeles macromoleculares. Síntesis, propiedades y aplicaciones. *Universidad del País Vasco*. Primera edición, 336 p.

REVISTAS CIENTÍFICAS

Abad, M, Fornes, F., Carrión, C., Noguera, P., Maquieira, A. y Puchades, R. (2005). Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience*, 40(7), 2138- 2144.

Al-Adwan and Munaf S.N. Al- D. (2012). The Use of ZigBee Wireless Network for Monitoring and Controlling Greenhouse Climate, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2 (1),35- 39.

Benítez, J.L., Lárez Velásquez, C. y Roas de Gáscue, B. (2015). Cinética de absorción y transporte del agua en hidrogeles sintetizados a partir de acrilamida y anhídrido maleico. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 35 (2), 242-253.

- Celaya-Michel, H., Castellanos - Villegas, A.** (2011) Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas, *Terra Latinoamericana*, 29 (3), 343-356
- Duarte Díaz, C., Ajete Gil, M., González Robaina, F., Bonet Pérez, C., y Sierra Castellanos, L. O.** (2010). Dosificación de fertilizante para el fertirriego del tomate protegido en Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3), 12-16.
- Galán Saúco, V.** (2015). Ventajas y desventajas del cultivo del mango (*Mangifera indica*) en zonas subtropicales y potencial del cultivo bajo invernadero. *Acta Horticulturae*. 1075, 167-177.
- Gao J. P., Chao, D.Y. y Lin, H- X.** (2007) Understanding abiotic stress tolerance mechanisms: recent studies on stress response in rice, *J. Integrative Plant Biol.* 49 (6), 742-750.
- González Meza, A. y Hernández Leos, B. A.** (2000) Estimación de las necesidades hídricas del Tomate. *Terra Latinoamericana*. 18 (1), 45-50.
- Méndez Natera, J. R., Lara, L. y Gil Marín, J. A.** (2007) Efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.), *Idesia* 25 (2), 7-15.
- Mendoza-Castillo, C. y 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.
- Moreno Reséndez, A., Aguilar Durón, J., Luévano González, A.** (2011) Características de la agricultura protegida y su entorno en México, *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. XV (29), 763-774.
- Pattanaaik, S. K., Singh, B., Wangchu, L., Debnath, P., Hazarika, B. N., y Pandey, A. K.** (2015). Effect of hydrogel on water and nutrient management of *Citrus limon*, *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3 (5), 1555 -1558.
- Pineda- Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., y Moreno-Pérez, E. C.** (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo, *Revista Chapingo serie horticultura*, 18 (1), 95-111.

Quintero, M. F., Guzmán J. M. y Valenzuela; J. L. (2012). Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 76- 87.

Rada, F., Jaimes, R. E., García Núñez, C., Azócar, A. y Ramírez. M. E. (2005) Water relations and gas exchange in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water déficit, *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22 (2), 112-120.

Tarango Arámbula, A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México, *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4 (2), 17- 22.

Vélez Carvajal, N. A., Flórez Roncancio, V. J. y Flórez Rivera, A. F. (2014). Comportamiento de variables químicas en un sistema de cultivo sin suelo para clavel en la sabana de Bogotá, *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*,67(2), 7281-7290.

PÁGINAS DE INTERNET

Ponce C. P. (2013) *Panorama de la agricultura protegida en México*. Consultado el 20 de junio de 2016, página web especializad en Hortalizas: <http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/panorama-mexicano-revision-de-datos-de-la-industria-de-invernadero-en-mexico/>

INFORMES

FAO (2003). *Development of a framework for good agricultural practices*. (Informe de la Sesión 17, Food and Agriculture Organization of the United Nations), Rome: Committee on Agriculture . Consultado el 3 de junio de 2016, : <http://www.fao.org/docrep/meeting/006/y8704e.htm>

FAO (2002). El cultivo protegido en Clima Mediterráneo. (Manual preparado por el Grupo de Cultivos Hortícolas), Roma: Dirección de Producción y Proyección Vegetal. Consultado el 15 de junio de 2016, <http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s00.htm>

Huang W. Y. (2009) Factors Contributing to the Recent Increase in U.S. Fertilizer Prices, 2002-08. Agricultural Resources Situation and Outlook Number AR-33. U.S. Washington, DC: Department of Agriculture, Economic Research Service, pp. 21. Consultado el 16 de junio del 2016, <http://www.ers.usda.gov/media/184258/ar33.pdf>

Sánchez-del-Castillo F. y R. E. Escalante (1988) Hidroponía. (Informe de un estudio de un Sistema de Producción) México: Ed. Universidad Autónoma Chapingo. México. 194 p.