

La expansión del cultivo sin suelo está propiciada por el aumento de costes de ejecución del enarenado tradicional y permite un mayor control sobre el desarrollo del cultivo y los patógenos del suelo.

Sistemas recirculantes y su interés en el cultivo de ornamentales

■ BLANCA M. PLAZA, S. JIMÉNEZ, M. PÉREZ, M. TERESA LAO

Dpto. de Producción Vegetal, Universidad de Almería, Carretera de Sacramento s/n 04120 Almería, España.



Se espera que en pocos años la Unión Europea obligue a la recirculación del drenaje, en consonancia con la legislación medioambiental restrictiva que en los últimos diez años se ha empezado a aplicar en el norte de Europa, principalmente Holanda.



De las aproximadamente 28000 ha de cultivos bajo plástico existentes en Almería en 1998, unas 4878 ha están ocupadas por cultivos sin suelo, usando como sustrato sobre todo perlita (10.4%) y lana de roca (8.8%) (Pérez et al., 2002).

La expansión de esta técnica está propiciada tanto por el aumento de los costes de ejecución del enarenado tradicional como por permitir un mayor control sobre el desarrollo del cultivo y sobre los patógenos del suelo. Con este sistema se consigue eliminar el efecto amortiguador del suelo y, de este modo, someter al cultivo a las condiciones deseadas de fertirrigación, lo que posibilita controlar la nutrición vegetal.

El cultivo convencional en sustrato (lana de roca, perlita, arena, etc.), ya sea en bancadas, en

sacos u otro tipo de contenedor, surgió originalmente para un manejo a solución perdida, es decir como un sistema abierto en el que el drenaje se elimina directamente al suelo, percolando hacia horizontes profundos. Sin embargo, los incrementos en el gasto de agua y fertilizantes asociados a esta técnica de cultivo y el efecto ambiental negativo de la lixiviación sobre suelos y acuíferos, hacen necesario el estudio del desarrollo de cultivos sin suelo en sistemas cerrados.

Hay que tener en cuenta que los sistemas de cultivo sin suelo que utilizan técnicas de fertirriego producen pérdidas de agua y fertilizantes por lixiviación o drenaje de la solución que alcanzan entre el 20% y el 50% del total de la solución nutritiva aportada, con la consecuente contaminación de las

aguas superficiales y profundas.

Esto resulta especialmente importante en áreas como el Sureste Peninsular, donde la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas es un factor limitante (aguas con altos contenidos en ciertos iones). Además, existen zonas donde el riesgo de contaminación es elevado, como es el caso de algunos países del centro y norte de Europa, que ya cuentan con normas que obligan a implementar sistemas de recirculación de la solución drenada.

De hecho, se espera que en pocos años la Unión Europea obligue a la recirculación del drenaje, en consonancia con la legislación medioambiental restrictiva que en los últimos diez años se ha empezado a aplicar en el norte de Europa, principalmente Holanda (Magán, 1998).

Holanda mantiene un área estable de producción en cultivos sin suelo durante los últimos cinco años, para vegetales, flores y plantas ornamentales. Tomates, pepinos, pimientos y berenjenas han cambiado a cultivos sin suelo cerrados (3000 ha) y el cultivo sin suelo de rosas, orquídeas (1000 ha) y plantas ornamentales (1000 ha) está aumentando. Esta tendencia se observa también en países como España, donde han proliferado rápidamente, principalmente en el Sudeste, destacando el cultivo de hortalizas. La expansión está siendo más lenta en Italia y Grecia. En Alemania, norte de Francia, Reino Unido y Bélgica, las hortalizas se suelen cultivar en sistemas hidropónicos abiertos.

Clasificación de los sistemas de cultivo sin suelo

Los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en función del medio en el que se desarrollan las raíces (Magán, 1999):

- Cultivos en sustrato. Según el manejo del sustrato, encontramos tres tipos:

- sistemas que funcionan por inundación periódica del sustrato mediante subirrigación y en los que posteriormente se realiza la recogida de los sobrantes.

- sistemas que utilizan un sustrato con baja capacidad de retención de agua y una elevada aireación. Requieren un aporte muy frecuente de solución nutritiva a nivel superficial para asegurar un suministro adecuado de agua y nutrientes.

- sistemas convencionales que emplean algún sustrato con alta capacidad de retención de agua (lana de roca, perlita, fibra de coco, arena, etc). Requieren el aporte de riegos puntuales en función de las necesidades hídricas del cultivo, con el fin de lograr una adecuada relación agua/aire en el mismo.

- Cultivos en agua o hidropónicos. El cultivo se realiza en la propia disolución nutritiva, lo que exige una recirculación constante de la misma, impidiendo una situa-



ción de anaerobiosis que causaría la muerte inmediata del cultivo.

- Cultivos en aire o aeropónicos. Las plantas se cultivan dentro de una cámara de PVC o cualquier otro material, con las paredes perforadas. Las raíces están al aire, crecen sin luz y la disolución nutritiva se distribuye por pulverización a media o baja presión.

Según García (1997) los cultivos sin suelo también pueden clasificarse según el uso del drenaje:

- Sistemas abiertos o sistemas a solución perdida. La disolución sobrante drena, percola y se infiltra en el subsuelo o simplemente surte escorrentía fuera del suelo fértil o contenedor de cultivo, sin que la planta pueda aprovecharla.

- Sistemas cerrados. La disolución sobrante vuelve a incorporarse, total o parcialmente, como suministro a la fertirrigación del mismo cultivo, es decir, se recircula. Con ellos se evita el despilfarro de agua y nutrientes.

■ **El cultivo convencional en sustrato surge originalmente para un manejo a solución perdida. Pero el incremento del gasto de agua y fertilizantes asociados a esta técnica y el efecto ambiental negativo de la lixiviación sobre suelos y acuíferos, hacen necesario el desarrollo de cultivos sin suelo en sistemas cerrados**

Clasificación y descripción de los principales sistemas recirculantes

Los sistemas cerrados se pueden clasificar:

- Cultivos en agua: sistemas de cultivo que no utilizan ningún anclaje sólido del sistema radical que le sirva para fijarse al mismo. Estos se clasifican a su vez en:

- Disolución más o menos estática. Éstos están en desuso y tienen una importancia histórica. Destacan el sistema Gericke, el sistema hidropónico flotante y el cultivo en agua reciclada.

- Disolución dinámica. Entre éstos destaca NFT (Nutrient Film Technique), con flujo continuo, NGS (New Groxing System) y PPH (Plant Plane Hydroponics).

- Cultivos en sustrato con reutilización del drenaje: Utilizan el sustrato como anclaje.

Las técnicas de recirculación se han difundido y son hoy en día operativas en algunos cultivos de hortalizas y de flor cortada, en los que se emplean la técnica NFT o sustratos minerales relativamente inertes y estables. El manejo de los cultivos en maceta, se puede adaptar con relativa facilidad.

En cuanto a los métodos de recirculación en cultivos de plantas en contenedor en invernaderos encontramos con (Marfá et al., 2000):

- Método de flujo y reflujo (ebb & flow) en banquetas o en el suelo. Consiste en humectar el sustrato mediante la inundación de la base de los contenedores de forma que el agua sea absorbida por capilaridad durante unos pocos minutos, siendo el flujo intermitente. Se realiza en banquetas con una ligera pendiente y el agua se suministra en cabecera, tras un periodo, el agua es evacuada a un tanque de almacenaje. Es uno de los sistemas más populares debido a su bajo mantenimiento y a su bajo coste. Es adecuado para cultivo de plántulas, trasplantes y plantas ornamentales en maceta. Permite llenado uniforme y completo drenaje durante el ciclo de riego, lo que conduce a la uniformidad de crecimiento de la planta. El manejo del sistema pue-

de automatizarse. El drenaje se recicla y hay que ajustar los nutrientes antes de que la solución nutritiva pueda ser reutilizada.

- Sistema de flujo en canales. Este sistema consiste en canales estrechos prefabricados con pendiente longitudinal, en el extremo de cada canal se coloca una válvula de desagüe. Los contenedores se disponen encima de los canales y, mientras el agua fluye por los canales, el agua asciende por capilaridad desde la base del sustrato hasta la superficie, reactivándose el flujo de forma automática o manual y reponiéndose la disolución nutritiva gastada, adicionando agua de riego y ajustando la C.E. y el pH.

Ventajas e inconvenientes de los sistemas cerrados

• Ventajas:

- 1) Control sobre la disolución nutritiva y sus componentes.
- 2) Posibilidad de ahorro de agua y fertilizante, al permitir un uso más eficaz de los mismos.
- 3) Disminución de emisiones al medio.
- 4) En cultivos hidropónicos, buena posibilidad de aireación de las raíces en la fase inicial del cultivo y una mayor duración de las raíces en fases posteriores.
- 5) Fácil desinfección entre campañas de cultivo.
- 6) En cultivos que requieran alta conductividad eléctrica del agua cabe esperar un aumento de la calidad de la producción, ligada a la propia salinización de la disolución de fertirrigación del sistema cerrado.

• Inconvenientes:

- 1) Desequilibrio de la disolución, que hay que paliar mediante el control de la misma con análisis frecuentes, realizando cambios en función de los resultados obtenidos.
- 2) Exclusión de las regiones donde las aguas son de mala calidad. No se recomienda la recirculación cuando la conductividad eléctrica (C.E.) del agua de riego sea superior a 2 dS m⁻¹.
- 3) Disponibilidad de oxigenación limitada en condiciones de verano en climas mediterráneos.

- 4) Coste y complejidad de las instalaciones. La instalación de un sistema de cultivo sin suelo recirculante normalmente resulta más cara, ya que hay que recoger el drenaje y desinfectarlo.

- 5) Posibilidad de problemas fitopatológicos.

- 6) Acumulación en el drenaje de iones aportados por el agua, lo que puede afectar negativamente a la producción. En parte esto puede paliarse con un buen manejo, entendiéndose éste como emplear una adecuada dotación de fertirriego, limitar el uso de los drenajes de alta CE y partir de una disolución nutritiva de menor CE que la usada en sistema abierto.

- 7) Las técnicas de recirculación encuentran más limitaciones al aumentar la conductividad eléctrica, alcalinidad del agua de riego y evapotranspiración del cultivo.

Según Raviv et al. (1995), en las zonas semi-áridas, los sistemas cerrados presentan los siguientes problemas específicos:

- Posible salinidad del agua de riego y gran evapotranspiración que conduce a un alto incremento de la salinidad en el agua de recirculación.
- El peligro de una extensión rápida de las enfermedades.

Infraestructura de los sistemas recirculantes

Cualquier sistema de cultivo sin suelo viene definido por tres componentes básicos:

- Las unidades elementales de cultivo (sacos, macetas, canales, etc).
- El equipamiento adecuado (automatismos, equipo de riego, etc).
- La tecnología necesaria para su correcto manejo.

En los cultivos en sustrato, cada unidad consta de dos elementos: el contenido o sustrato, que es el medio donde va a desarrollarse la raíz, y el contenedor o recipiente, que se encarga de aislar, dar forma y condicionar en gran medida las propiedades del contenido.

Además, debido a que en los sistemas cerrados hay que retornar la solución lixiviada, es necesaria la instalación de colectores (canales y tuberías) que recojan el drenaje. Además hay que invertir en una serie de componentes adicionales, para la filtración, desinfección y reconducción al circuito cerrado de los lixiviados, corrigiendo su composición, en la medida que sea técnicamente posible, y de forma automatizada. Para ello, a la salida del equipo de desinfección, el drenaje es conducido a un depósito de acumulación final, donde se almacena hasta el momento de volver a ser empleado en mezcla con agua de aporte exterior.

La mezcla del drenaje para su posterior reutilización puede realizarse directamente con agua exterior y añadir a continuación los fertilizantes suplementarios o preparando previamente solución nutritiva, a base del agua y los fertilizantes, para mezclarla después con el drenaje y hay instalar un sistema de mezcla del lixiviado con el agua exterior. También hay que instalar un equipo de filtrado y tratamiento y sondas de control y ajuste de drenajes.

La desinfección de los lixiviados se puede realizar por métodos físicos: tratamientos con rayos ultravioleta, pasteurización o filtración a través de membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración u ósmosis inversa). También pueden aplicarse tratamientos químicos como ozonización, agua oxigenada, cloración u otros métodos menos desarrollados (ácido peroxiacético, silicato de potasio).

Finalmente, pueden emplearse métodos biológicos consistentes en la utilización de microorganismos antagonistas de los microorganismos patógenos. En función del espectro de acción la desinfección la podemos clasificar en par-

■ **Se espera que, en pocos años, la Unión Europea obligue a la recirculación del drenaje en consonancia con la legislación medioambiental restrictiva que en los últimos diez años se ha empezado a aplicar en el norte de Europa, principalmente Holanda**

cial o total. Los sistemas más populares en los Países Bajos son los tratamientos con calor y UV, porque son los más fiables. La filtración lenta (por arena) elimina en parte los patógenos y mantiene la microflora del entorno radicular.

Aspectos económico, medioambiental y legislativo

Desde un punto de vista económico, cabe señalar que un cultivo sin suelo con recirculación requiere una inversión adicional, para poder reutilizar el lixiviado, aunque este coste puede ser compensado por el ahorro de agua y fertilizantes que puede llegar a ser de un 30 % y un 45 % respectivamente, pero la necesidad de incorporar un equipo de desinfección de drenaje encarece aún más dicha inversión.

La problemática medioambiental que provocan los sistemas abiertos es evidente, ya que tienen unas pérdidas muy importantes de nutrientes en comparación con los

sistemas cerrados. Estas pérdidas conllevan el vertido al medio de importantes volúmenes de lixiviado con un elevado poder contaminante, especialmente debido a la presencia de nitratos. Los sistemas recirculantes permiten una reducción casi total de la contaminación ambiental.

La reducción de la lixiviación de nitratos y fosfatos puede llegar a un 92.3 % y 96.7 % respectivamente. Para la mayoría de los elementos en el consumo de fertilizantes del 30-35 %. También hay que destacar que este

tipo de sistemas ejercen un papel de control sobre pesticidas aplicados, ya que parte de los fitosanitarios se aplican en la fertirrigación. La normativa comunitaria vigente relativa a la contaminación causada por la agricultura es:

- Directiva 91/676/CE sobre protección de aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.

- Programa Comunitario de Política de Actuación en Materia de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible [COM (92) 23 final, 27.3.1992].

- Política de Aguas de la Comunidad Europea [COM (96) 59 final, 21.2.1996].

Entre las medidas complementarias de la Política Agrícola Común, la UE desarrolla normativas específicas sobre política ambiental que se van implantando poco a poco a nivel estatal, como el Real Decreto 261/1996 mediante el que se transpone la Di-

■ De las aproximadamente 28000 ha de cultivos bajo plástico existentes en Almería en 1998, unas 4878 ha están ocupadas por cultivos sin suelo, usando como sustrato sobre todo perlita (10.4%) y lana de roca (8.8%)

PROJAR + KEKKILÄ =

SUSTRATOS A MEDIDA

ESPECIAL SEMILLEROS
DARK SPEEDLING MIX 70/30
ESPECIAL POINSETTIA CON COCO Y ARCILLA
ESPECIAL BOUGAMVILLEA
70/30 + 5-40 mm + 15% COCO + 20 KG/M3 ARCILLA

MEZCLAS ESPECIALES CON TURBA RUBIA,
TURBA PARDAS, ARCILLA, PERLITA, COCO,
VERMICULITA, CORTEZA DE PINO, ETC.

FLOWER MIX 200 POINSETTIA



Confianza para sus Cultivos



Central PROJAR VALENCIA.

Defegaciones:

MADRID.

MURCIA.

ALMERIA.

MALAGA.

Tel. 961 597 480 · Fax. 961 920 250 · Correo E.: projar@projar.es

Tel. 916 203 640 · Fax. 916 201 357 · Correo E.: projamadrid@teleline.es

Tel. 968 580 836 · Fax. 968 580 659 · Correo E.: PROJAR@terra.es

Tel. 950 570 726 · Fax. 950 480 708 · Correo E.: projar@inicia.es

Tel. 617 392 522

rectiva 91/676/CE sobre protección de aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.

Esta Directiva limita la concentración de nitratos en las aguas dedicadas al consumo en 50 mg L⁻¹, por lo que los vertidos no deberán exceder de 30 a 50 kg de nitratos por año y hectárea. Sin embargo, los vertidos producidos en cultivos sin suelo en invernaderos liberan al medio ambiente unas concentraciones de nitratos 56 veces por encima de los valores permitidos por las normativas europeas.

Por todas estas razones, la recirculación de las soluciones nutritivas en cultivos sin suelo se perfila como una técnica de obligada aplicación en un futuro cercano, siendo ya obligatoria en algunos países norte y centroeuropeos, para conseguir una reducción de la contaminación. En Holanda y en Francia, donde el desarrollo del cultivo sin suelo está muy avanzado, ya existen normativas que obligan a reciclar al 100% la solución nutritiva de drenaje desde el año 2000.

Según esta legislación, los agricultores debían cultivar sus productos en sistemas cerrados para el año 2000 aunque esto no se ha cumplido. En la actualidad está vigente el convenio de 1997 entre asociaciones de agricultores y el gobierno donde se establece un tramo de adaptación para el periodo 2000-2010.

Gestión de sistemas recirculantes

Desde un punto de vista técnico, la operatividad de un sistema de cultivo sin suelo con recircula-

Cuadro 1:

Rangos de nutrientes que debe presentar una solución nutritiva para su empleo en sistemas recirculantes.

Macroelementos		Microelementos	
Elementos	mmol L ⁻¹	Elementos	mmol L ⁻¹
Nitratos	8-15	Hierro	1-3
Fosfatos	1-2	Manganeso	0.6-1
Sulfatos	1-2.5	Cobre	0.05-0.1
Calcio	3.5-5	Zinc	0.2-0.5
Potasio	4-8	Boro	0.2-0.5
Magnesio	1-2.5	Molibdeno	0.04-0.05

ción viene condicionada por la calidad del agua. En general se recomienda la recirculación cuando se dispone de aguas para el riego de menos de 1 dS m⁻¹, ya que no afecta sustancialmente a la producción y evita la contaminación ambiental. Las limitaciones empiezan a surgir cuando la CE es superior a 2.0 dS m⁻¹.

- **Solución nutritiva.** La composición de la solución nutritiva debe ser equilibrada para cubrir las necesidades relativas y específicas de la planta. Los rangos en los que suelen oscilar las concentraciones de los distintos nutrientes en las soluciones de aporte empleados en el sureste peninsular son los que se describen en el Cuadro 1.

Para la aplicación de soluciones nutritivas se deben de utilizar soluciones madre concentradas, que se diluirán en el momento del empleo. La solución nutritiva debe diseñarse acorde con el consumo de nutrientes por la planta; por ello se debe basar en los requerimientos específicos de un cultivo en concreto.

Hay que diseñar la solución nutritiva en función de las condiciones de luz y temperatura, y utilizar datos adicionales, como contenido de nutrientes en planta o en savia e información del diagnóstico de la planta, en función de la etapa de desarrollo de la misma y las tasas de absorción radicular de nutrientes. También se deben considerar los elementos innecesarios en la solución nutritiva, así como los requerimientos específicos de la solución nutritiva bajo recirculaciones discontinuas.

La concentración de cada ión

en la solución de aporte se puede calcular matemáticamente mediante la siguiente expresión:

$$C_s = C_a \cdot (1 - FL) + C_d \cdot FL = \frac{C_a \cdot (1 - FL)}{1 - R \cdot FL}$$

donde C_s es la concentración del ión para el que se realiza el cálculo en la solución de aporte, C_a es la concentración de absorción para ese ión, C_d es la concentración del ión en el drenaje, FL es la fracción de lixiviación establecida y R es el cociente entre C_d y C_s .

- **Restitución de la solución nutritiva.** En los sistemas cerrados de cultivo sin suelo, mezclando el lixiviado y el agua de riego se obtiene una nueva solución de base, a partir de la cual se formula la nueva solución nutritiva. Los iones en exceso en el lixiviado tenderán a acumularse en la solución de base, sobre todo cloruro, sodio, calcio, magnesio y sulfato (dependiendo del agua de riego).

La mezcla del drenaje para su posterior reutilización, se puede realizar directamente con agua exterior y añadir a continuación los fertilizantes suplementarios, o bien preparando previamente la solución nutritiva, para mezclarla después con el drenaje. Según algunos autores, en la costa mediterránea, con aguas de peor calidad, resulta más conveniente la segunda técnica, ya que podemos mantener constante un aporte definido de cada nutriente.

Para mantener el equilibrio de nutrientes, los macro y microelementos deben ser añadidos a la solución en la misma cantidad en que son consumidos por la planta.

La recirculación de las soluciones nutritivas en cultivos sin suelo se perfila como una técnica de obligada aplicación en un futuro cercano, siendo ya obligatoria en algunos países norte y centroeuropeos, para conseguir una reducción de la contaminación

que puede variar según los distintos cultivos. Para optimizar el crecimiento, en la solución nutritiva requerida todos los nutrientes esenciales deben estar presentes en la planta en proporciones óptimas; la relación amonio/nitrato y la concentración total de iones (CE) también han de ser óptimas.

La concentración de un ión en la rizosfera será mayor o menor que en la solución del aporte dependiendo de la facilidad con que la planta absorba el ión y las necesidades del mismo. De este modo, los iones de fácil absorción (amonio, fósforo o potasio) pueden aportarse en una concentración inferior a su concentración de absorción, sin que afecte al cultivo.

En cambio, los iones absorbidos de forma pasiva y que presentan dificultad de absorción como el calcio, deben ser aportados en una concentración superior a su concentración de absorción, para que se acumulen en la rizos-

fera y se facilite la entrada en la planta, alcanzándose así su máximo potencial de absorción.

• **Tipos de gestión de sistemas recirculantes.** El cultivo en sustrato requiere un control muy preciso del suministro de agua y nutrientes. Para la formulación y gestión de la solución nutritiva hay que tener en cuenta la fracción de lavado aplicada, el nivel de reutilización del drenaje (parcial o completo) y el sistema de distribución de riego (por goteo o por subirrigación).

■ **Desde un punto de vista económico, un cultivo sin suelo con recirculación requiere una inversión adicional, para poder reutilizar el lixiviado, aunque este coste puede ser compensado por el ahorro de agua y fertilizantes**

En cuanto a la fracción de lavado en condiciones mediterráneas, se considera que en sistemas abiertos con aguas con un contenido salino moderado (0.6 mS cm⁻¹) el cultivo de tomate en perlita se puede llevar a cabo con un drenaje inferior al 20%, sin embargo, con agua de peor calidad (2.6 mS cm⁻¹) el drenaje requerido será del 50%. En cuanto a la gestión del agua, las técnicas de control de riego utilizadas se basan en:

a) *Estado hídrico del sustrato.* Medidas del potencial matricial del sustrato mediante tensiómetros; gravimetría mediante pesadas; sensores de nivel; control de volumen de solución lixiviada; contenido relativo de agua, calculado a través de constante dieléctrica.

b) *El estado hídrico de la planta.* Medida del potencial hídrico de la planta a través de sensores micropsicrométricos; termometría de infrarrojo; microvariaciones del diámetro del tallo.



Nuestro sistema de REDES DE SEGURIDAD permite realizar el montaje del invernadero sin riesgos.

ULMA

Agrícola

Gama de Equipamientos

- Pantalla térmica y de Sombreo
- Mesas de Cultivo Fijas y Móviles
- Calefacción
- Humidificación
- Extractores
- Removedores
- Fertirrigación
- Cámara Hinchable

Las mejores soluciones para cultivos bajo abrigo

Realizamos instalaciones integrales de invernaderos "llave en mano" con la equipación específica para cada cultivo.

ULMA Agrícola cumple con la normativa europea de diseño, fabricación y montaje con el objetivo de ofrecer productos con Calidad Total.



UNE EN 13031-1

ULMA C y E, S. Coop Ps. Otadui, 3-P.O. Box 13 • 20560 OÑATI (Guipúzcoa) SPAIN • Tel: +34 943034900 • Fax: +34 943716466 www.ulmaagricola.com

Cuadro 2:

Soluciones nutritivas ensayadas en cultivo recirculante de *Dieffenbachia amoena* "Tropic Snow" (concentración expresada en mmol L⁻¹ y C.E. en mS cm⁻¹).

Tratamiento	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	C.E.	pH
A	6.4	1.3	1.0	2,8	0.6	0.0	4.2	0.9	2.4	1.0	7.3
B	3.5	1.2	4.0	2,1	0.6	3.0	4.1	0.9	2.4	1.4	7.0
C	0.0	1.2	7.5	2,1	0.6	6.0	4.1	0.9	2.4	1.8	6.9
D	6.5	1.1	6.2	2,4	0.6	0.0	4.1	0.9	7.3	1.7	7.1
E	3.6	1.2	6.1	2,2	0.6	3.4	4.1	0.9	4.7	1.6	6.9
F	0.0	1.2	2.9	2,4	0.6	0.0	4.0	0.8	1.3	0.8	7.2

c) *La tasa de transpiración de la planta.* Balanza de líxímetro. La transpiración se traduce en una pérdida de peso; determinación del flujo de savia. Asociado al transporte de calor; modelos que estiman la transpiración.

- **Gestión nutricional.**

1. *Regulación inductiva.* Este tipo de gestión se lleva a cabo en sistemas abiertos y cerrados de cultivo sin suelo y podemos encontrar diferentes técnicas: regulación mediante CE, control de la concentración de sodio y utilización de electrodos selectivos.

2. *Regulación deductiva.* Ideal para optimizar el control de la nutrición del cultivo en invernadero.

- Deducción en función de condiciones ambientales. Mediante modelos que relacionen absorción o concentración de absorción de los iones con los parámetros climáticos. Los sensores climáticos necesarios ya existen en la mayoría de los invernaderos para regular el clima, por tanto no suponen una nueva inversión tecnológica.

- Regulación según concentración inicial, considerando la velocidad de absorción de un elemento en función de su concentración.

- Regulación mediante las concentraciones de absorción. Están basadas en relaciones lineales entre el consumo de nutrientes y el consumo de agua.

Cultivo sin suelo de plantas ornamentales con recirculación de la solución nutritiva

En la mayor parte de los cultivos sin suelo del área mediterránea, los líxivados pueden llegar al 50% para mantener una con-

centración de sales aceptable en el medio radicular cuando se emplean aguas de mediana calidad. Otra razón que justifica este volumen de drenaje son las altas tasas evapotranspirativas, que concentran las soluciones recirculadas.

En España se han realizado distintos trabajos para la puesta a punto de técnicas de recirculación en cultivos ornamentales entre los que cabe destacar:

El cultivo de clavel y gerbera, empleando una técnica de cultivo en bolsas de perlita con recirculación de la solución nutritiva. La solución nutritiva se reconstituye de forma automática, con un método en el que primero se mezclan el líxivado y el agua de riego para alcanzar una determinada CE en la mezcla y después se corrigen el pH (inyectando el ácido nítrico necesario) y la CE (inyectando mayor o menor cantidad de las distintas soluciones concentradas de fertilizantes, manteniendo la proporción mutua establecida) hasta alcanzar los valores de consigna de ambos parámetros. Las conclusiones son las siguientes:

- Esta técnica de cultivo, usando un agua de calidad media,

da como resultado un rendimiento alto (equiparable al que se obtiene con técnicas de cultivo sin suelo sin recirculación) y una alta calidad de las flores de clavel y gerbera (Marfá et al., 2000).

- La eficiencia de uso del agua y de los nutrientes son muy altas.

- Para un funcionamiento apropiado del sistema cerrado, son necesarios análisis semanales de la solución nutritiva y del drenaje.

- El uso de un radiómetro y un electro-lisímetro, trabajando simultáneamente y de forma complementaria, da buenos resultados para establecer la frecuencia de riego automatizado.

- La técnica de desinfección, con dos filtros y una lámpara de UV, empleada es eficaz.

Farina et al. (2003) realizaron varios experimentos en rosas destinadas a la producción de flor cortada cultivadas en pumita, determinando que es posible el reciclado de la solución nutritiva durante 18 meses, siendo el sistema apropiado para producir flores de buena calidad, con un rendimiento adecuado y de forma fiable; sin embargo, si se prolonga 6 meses más, la C.E. y la concentración de Na aumentan excesivamente. Sin embargo, si se usa un acolchado, disminuye el consumo de agua y la C.E. aumenta en menor medida, incrementando el tiempo de recirculación. En la práctica, la regeneración de la solución utilizada puede realizarse cuando su valor económico sea equivalente al coste del análisis químico.

En el caso de *Dieffenbachia amoena* "Tropic Snow", la evolución de la solución recirculante difiere profundamente de la forma de

El cultivo en sustrato requiere un control muy preciso del suministro de agua y nutrientes. Para la formulación y gestión de la solución nutritiva hay que tener en cuenta la fracción de lavado aplicada, el nivel de reutilización del drenaje y el sistema de distribución de riego

nitrógeno aportada. El aporte amoniacal produce una nitrificación importante, que lleva asociada una bajada de pH inicial, aunque posteriormente se estabiliza, generando una solubilización de sales del sustrato junto con la pérdida de bicarbonatos y su efecto tampón.

Además, en las soluciones estudiadas (Cuadro 2) hay un descenso de la concentración de cloruros, sin embargo hay un incremento de la concentración de sodio en condiciones estivales, que puede constituir el factor limitante para el mantenimiento de la solución recirculada (Jiménez, 2001).

Según Chaves (2003), el estudio de la evolución de los distintos parámetros nutricionales en condiciones climáticas de invierno y verano permite concluir que el cultivo de *Aglaonema commutatum* var. "Silver Queen" se puede llevar a cabo en sistema recirculante, aunque merece tener en consideración las alteraciones y acidificaciones

del medio producidas por el aporte de NH_4^+ , aunque no presentan ningún efecto negativo en los aspectos morfológicos y de desarrollo de la planta.

Perspectivas de la recirculación

En la actualidad resulta imprescindible introducir criterios agroambientales integrados en todos los aspectos de la actividad productiva para conseguir alcanzar una producción medioambiental sostenible.

Desde un punto de vista técnico, la operatividad de un sistema de cultivo sin suelo con recirculación viene condicionada por la calidad del agua. Se recomienda la recirculación cuando se dispone de aguas para el riego de menos de 1 dS m⁻¹. Las limitaciones surgen cuando la CE es superior a 2.0 dS m⁻¹

manteniendo tanto la calidad como la cantidad de la producción agraria.

El camino hacia este fin pasa por la I+D así como por "educar" a los integrantes del sistema productivo agrario en lo referente a valores medioambientales, promoviendo un uso más eficiente de los recursos naturales, racionalizando el uso de fitosanitarios y abonos y adoptando medidas para la recuperación y reutilización de las salidas del sistema.

En este sentido, la recirculación parece ser la solución más racional, junto con la agricultura orgánica, para disminuir la contaminación de acuíferos y aguas superficiales. Además, no podemos olvidar que posiblemente dentro de pocos años no se podrán seguir usando los sistemas abiertos, cuando la Unión Europea obligue a implantar la recirculación del drenaje en las explotaciones agrícolas.

LA GAMA LIDER DEL MERCADO DE CONTRAESTACION

EXELSO
Alta tolerancia a subida a flor,
excelente equilibrio raíz-hoja.

Timo
Supremo
Maestro

Vilmorin
®

www.vilmorin.com

■ Vilmorin Iberica S.A. - C/. Joaquín Orozco, 17 bajo
03006 ALICANTE - ESPAÑA
tel : 902 19 34 36 - fax : 96 592 20 44
E-mail : ibericalicante@vilmorin.es

JUNTOS INNOVAMOS PARA VOSOTROS

Aguirre, R. (2003). 100 años de la agricultura sin suelo. Documento de consulta.