



Abajo, vista de un ensayo de melón sobre lana de roca con recirculación de lixiviados. En la fotografía superior, ejemplo de sistema hidropónico cerrado con flujo continuo (NGS)



diendo por desarrollo sostenible aquél que permite a la generación actual satisfacer sus necesidades sin comprometer el porvenir de las generaciones futuras. En consecuencia nos encontramos en la actualidad con dos grandes vías de avance técnico

Automatizar la nutrición vegetal

Tendencias de la fertirrigación española

El objetivo de la fertirrigación es aproximarse al máximo al rendimiento potencial del cultivar empleado, manteniendo un respeto al medio ambiente

Antonio L. Alarcón

aalarcon@ediho.es

Tendencias en la agricultura intensiva actual

La tendencia tecnológica en la agricultura intensiva española actual va encaminada hacia el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos por parte

de la planta, así como a mantener una nutrición mineral ajustada y acorde con cada estado fenológico del cultivo y unas condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del mismo. El objetivo pasa por aproximarnos al máximo rendimiento potencial del cultivar empleado, manteniendo un desarrollo técnico y tecnológico respetuoso y sostenible con el medio, enten-

y tecnológico:

- Creación o adaptación de técnicas de cultivo que permitan el mejor aprovechamiento de los recursos y la mejora de producción y calidad de las cosechas, como es el caso de la hidroponía en España.

- Gran expansión de la electrónica y la informática aplicadas a la agricultura (equipos automáticos de fertirrigación, controladores climáticos, sondas y medidores de múltiples parámetros de control, etc.).

Equipos automáticos de fertirrigación: importancia y estimaciones actuales

La importancia adquirida en la expansión de las técnicas de fertirrigación y la automatización de las mismas, en los 2-3 últimos años en España, es impresionan-

te. Según estimaciones personales, en la actualidad puede haber en nuestro país unas 400.000 ha de cultivo fertirrigadas (aplicación conjunta y simultánea de agua de riego y fertilizantes).

Cultivos tan típicamente de secano o extensivos hasta hace poco tiempo, como el olivo o el algodón, están siendo convertidos en superficies con riego localizado. Cada día son más las fincas de frutales, de horticolas o de cultivos industriales que instalan sus gomas o sus cintas de goteo.

La aplicación localizada y frecuente del agua y los nutrientes supone múltiples ventajas desde los puntos de vista de

La tendencia tecnológica en la agricultura intensiva española actual va encaminada hacia el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos por parte de la planta, así como a mantener una nutrición mineral ajustada y acorde con cada estado fenológico del cultivo y unas condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del mismo

aprovechamiento de recursos y mejora de rendimientos agronómicos, además es la solución práctica donde el riego es complicado por razones de accesibilidad, topografía del terreno, calidad del agua de riego, etc. Consecuentemente nos encontramos con una expansión de la superficie fertirrigada buscando esos aspectos ventajosos; ahora bien, el proceso se presta a una automatización que asegura de manera eficaz y fiable la consecución de tales ventajas y que proporciona al agricultor una autonomía y ahorro de trabajo importantes. Surge así la automatización como una segunda línea



Ensayo de tomate cv. Rambo sobre perlita con recirculación. Se realizó un ensayo con tres cultivos sobre tres tipos de sustratos: perlita, arlita y fibra de coco

expansiva tras la implantación de las técnicas de fertirrigación que comenzaron en nuestro país en los años 70.

La instalación de equipos automatizados se ha visto incrementada año tras año, siendo este último especialmente importante. Según estimaciones personales, unos 1300 equipos automáticos de fertirrigación se han instalado en el territorio español en la última campaña, aproximadamente el doble de controladores o equipos semiautomáticos y una cantidad superior de pequeños programadores.

Aún así, sólo el 20-25% de la actual superficie con fertirrigación se encuentra automatizada, si bien es cierto, que esta automatización es imprescindible en determinados sistemas de cultivo como la hidroponía.

Recirculación de soluciones nutritivas

Resulta difícil encontrar un

aspecto relacionado con la fertirrigación en general o con la hidroponía en particular, que sea verdaderamente novedoso e interesante para la gente implicada en el tema. Uno de esos aspectos, quizá hoy día el que más interés despierta en nuestro país, sea la aplicación a nivel comercial de los sistemas cerrados o recirculantes en cultivo hidropónico. A continuación se exponen algunas consideraciones a tener en cuenta sobre ellos y los resultados de diversos ensayos experimentales efectuados a tal efecto.

Justificación

A partir de los años 80, en Europa Occidental empieza a crecer la preocupación por las consecuencias sobre el medio ambiente de las políticas agrícolas propugnadas hasta entonces, y se empiezan a tomar una serie de iniciativas encaminadas a frenar la producción de excedentes y a reducir el impacto ambiental de la agricultura.

La producción hortícola en invernaderos, e intensiva en general, se presenta concentrada en ciertas áreas. Debido a esta concentración, la lixiviación de nutrientes puede representar un impacto medioambiental localmente importante. Un ejemplo es el Sureste de la Península Ibérica, que constituye una de las más importantes zonas productoras de hortalizas a nivel mundial, con una gran densidad explotaciones de cultivo intensivo.

Las presiones económicas y unos patrones de respeto al medio ambiente cada vez más severos, han forzado a los agricultores de hidroponía, y en general a todos los horticultores, a minimizar su vertido de lixiviados y a un ajuste del control hídrico, lo que conlleva modificaciones en las tradicionales prácticas de cultivo.

La superficie dedicada a cultivo hidropónico crece de forma progresiva debido a las ventajas que presenta sobre el cultivo en suelo. Además, el desarrollo de los cultivos hidropónicos se verá reforzado en un futuro inmediato no sólo por los



probados incrementos que supone en cuanto a producción, calidad y precocidad de las cosechas, sino también por el agotamiento, la salinización y la contaminación por patógenos de los suelos y por la inminente prohibición del uso de bromuro de metilo como desinfectante de los mismos.

El cultivo sin suelo o hidropónía permite mantener una nutrición hídrica y mineral ajustada a las necesidades de la planta en cada momento de su desarrollo. Aún así, es preciso mantener un porcentaje de lixiviación o drenaje (20-50 % respecto a la solución nutritiva entrante) para evitar una excesiva concentración salina (total o específica de algún determinado ion) en el entorno radicular que se traduciría en pérdidas de rendimientos (Smith, 1987; Alarcón, 1996). Los lixiviados de técnicas hidropónicas presentan dos claras ventajas respecto a los correspondientes del cultivo en suelo:

- generan cuantitativa y cualitativamente un menor impacto ambiental ya que, llevados adecuadamente, se efectúa un

Cultivos tan típicamente de secano o extensivos hasta hace poco tiempo, como el olivo o el algodón, están siendo convertidos en superficies con riego localizado. Cada día son más las fincas de frutales, de hortícolas o de cultivos industriales que instalan sus gomas o sus cintas de goteo

más estricto ajuste del riego y la fertilización de las plantas. Pese a que pueda inducir a error el hecho de ser estos drenajes perfectamente visibles mientras que en el tradicional cultivo en suelo, los lixiviados percolan en profundidad contaminando en mayor medida suelos y acuíferos subterráneos, aunque, en general, no son directamente observables.

- Permiten su recogida sin

La importancia adquirida en la expansión de las técnicas de fertirrigación y automatización es impresionante

grandes inversiones infraestructurales y su posterior reutilización mediante un adecuado tratamiento, generando así sistemas cerrados en los que se minimiza el impacto ambiental, sobre todo, el debido a la contaminación por nitratos, que en sistemas convencionales puede alcanzar valores muy elevados (Uronen, 1995; Alarcón y col., 1996).

En España, la práctica totalidad de las parcelas con cultivo hidropónico están bajo invernadero y son, hoy en día, sistemas abiertos a solución perdida, es decir, los lixiviados se dejan percolar en el suelo, bien en el mismo emplazamiento de los sustratos, o bien son canalizados fuera del invernadero donde se desechan. Sin embargo, es cierto que en el último año se ha puesto en funcionamiento una superficie considerable de cultivo hidropónico bajo sistemas cerrados, fundamentalmente



Atlántica Agrícola, s.a.

BIO CAT 15

NUTRICAT

PLANTIFOL **HUMICOP**

AMINOCAT **OLIGOMIX** **KELIK**

FOLISUR **SODIAL**

ATLANTE **KELKAT**

AMINOCAT-S

FOLICAT CALCIO **LIQUOFER**

SOLUCAT **KELKAT MIX-EDTA**

CUPROCAT **BIOCAT-S**

AGRONUTRIENTES

consecuencia de iniciativas particulares. Lo que parece claro es que cada día se impone con más fuerza la necesidad de regenerar y reutilizar de estas aguas de drenaje, por motivos tales como:

- la escasez de recursos hídricos en las principales zonas de cultivo hortícola que obliga al máximo aprovechamiento de los mismos.

- La posibilidad de tener un sistema cerrado de fertilizantes donde son aprovechados al máximo los abonos empleados.

- La posibilidad, de igual forma, de mantener un sistema cerrado de productos de quimi-gación (fungicidas, insecticidas, desinfectantes, ácidos húmicos o cualquier producto corrector o

punto de vista económico y medioambiental. Origina un incremento del contenido en nitratos y fosfatos en acuíferos, contaminándolos y promoviendo procesos de eutrofización. Esto ha inducido la promulgación de directivas comunitarias y normativas¹ encaminadas a la reducción o eliminación de esta fuente de contaminación, que ya son una imposición en países de nuestro entorno como Dinamarca y Holanda, y que fuerzan a los agricultores de invernaderos a invertir en sistemas de fertirrigación cerrados (Baars, 1992; Bolusky y Regelbrugge, 1992; Van Meggelen - Laagland, 1993).

En zonas semiáridas como el Sureste español, hay además

2.000 kg/ha y año de nitrógeno (McAvoy, 1994; Alarcón y col., 1997).

Todos estos factores justifican la importancia que tiene la reducción de las cantidades de drenajes libres o incontrolados, siendo la recirculación de los mismos la mejor alternativa, y que, adecuadamente llevada, no supone merma alguna de la productividad frente a sistemas sin recirculación (Zekki y col., 1996).

Nutrición mineral en sistemas cerrados

Existen dos tipos de sistemas de cultivo sin suelo: los sistemas abiertos o a solución perdida, donde los drenajes son desechados y los sistemas cerrados, en los que los lixiviados se reciclan. A su vez, existen dos tipos de sistemas hidropónicos cerrados, aquellos con flujo continuo, como sucede en los sistemas NFT, o los que establecen un flujo intermitente de recirculación, como ocurre en los sistemas con almacenaje y utilización posterior de drenajes.

Los sistemas recirculantes presentan múltiples ventajas; sin embargo, uno de sus principales problemas es la dificultad del manejo de la nutrición. Esta es la razón de que a nivel mundial, alrededor del 90% sean sistemas abiertos.

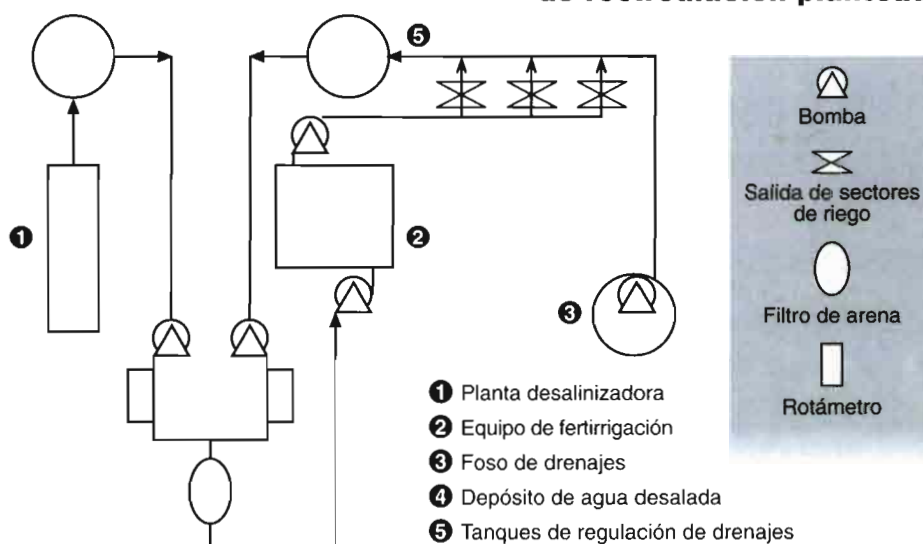
Si comparamos entre sí los sistemas abiertos y cerrados, encontramos que los riegos y el manejo de la CE son frecuentemente más fáciles en los sistemas cerrados, mientras que el manejo de la nutrición resulta generalmente más difícil en los sistemas cerrados.

Los cambios de CE en sistemas cerrados, referidos tanto a la intensidad del cambio como a la rapidez del mismo, vendrán condicionados por una serie de factores tales como (Donnan, 1994):

- la CE inicial o de partida.
- Las condiciones climáticas y su influencia sobre la absorción mineral.
- El volumen total de solución nutritiva empleado por planta.

Además, en sistemas cerra-

Figura 1: Diagrama simplificado del funcionamiento del sistema de recirculación planteado



mejorante apto para ser utilizado en fertirrigación).

- Evitar el problema medioambiental de contaminación de acuíferos, debida sobre todo a la acumulación de nitratos, fosfatos y plaguicidas.

- Las normativas europeas, que en países como Holanda ya obligan a establecer una recogida y reutilización de los drenajes y que en años próximos estarán vigentes en nuestro país.

En definitiva, el vertido de drenajes de cultivos hidropónicos directamente al suelo es una práctica indeseable desde el

otra razón de peso para reutilizar los drenajes agrícolas: la escasez de agua. El exceso de solución fertilizante es eliminado por drenaje libre, dependiendo su volumen de las características del sistema de cultivo, de la calidad del agua de riego y del sustrato, pudiendo oscilar entre 2.000 y 3.000 m³/ha y año (Van Widen, 1988). Además en sistemas intensivos, es práctica habitual la sobredosis de fertilizantes que provoca un aumento de la concentración de nutrientes en los lixiviados. Se pueden llegar a producir pérdidas superiores a

dos de flujo intermitente, existen factores adicionales:

- la frecuencia de los ciclos de riego.

- Los volúmenes relativos en el tanque o embalse de recogida de drenajes y en el medio de cultivo.

- El grado de mezcla existente entre los drenajes recogidos y la nueva solución aportada al sistema.

Obviamente, el control automático del pH y la CE ofrece un comportamiento excelente, tanto para los sistemas de flujo continuo, como para los de flujo intermitente. En cualquier caso, existen una serie de factores que pueden hacer que la CE de la solución recirculante se eleve progresivamente, alguno de los cua-

mas de flujo intermitente.

- Pobre mezcla de solución nueva y recirculada dentro del sistema.

- Pequeños volúmenes de solución por planta o tanque de almacenaje de escasa capacidad.

La calidad del agua de partida nos va a condicionar el cultivo a implantar, el sistema a aplicar y su modo de manejo. Dependiendo del cultivo, la calidad del agua puede resultar suficientemente baja como para que la recirculación resulte imposible sin un tratamiento previo del agua de riego, generalmente me-

ciable de iones fitotóxicos o con nutrientes en cantidad superior a la que la planta pueda asimilar, nos encontraremos con una elevación progresiva en la concentración de los mismos con cada una de las etapas de recirculación de la solución nutriente, ya que el resto de nutrientes es absorbido y la proporción relativa de los iones que se encuentran en exceso se va elevando, siendo, por tanto, imposible mantener unas óptimas condiciones de nutrición durante la totalidad del ciclo de cultivo.

Por encima de ciertos límites, dependiendo del cultivo, los sistemas recirculantes bajo esta situación, empiezan a ser inmanejables. Ello conduce a la necesidad de un control y tratamiento de las aguas de partida a utilizar mediante el empleo de desaladoras, si se pretende una recirculación total y efectiva de los drenajes generados (Alarcón, 1996).

Si partimos de agua de riego con cierto contenido salino, cabe la posibilidad de efectuar una recirculación parcial de la solución nutriente, es decir, se realiza una recirculación de los drenajes hasta que un determinado ion presente en el agua de riego (Na⁺, generalmente) alcanza tal concentración que pueda mermar de manera apreciable el rendimiento del cultivo, llegado este punto, en el que el se ha roto el adecuado balance nutritivo, se desecha la solución y se vuelve a reiniciar el proceso.

El punto crítico que se ha de alcanzar para efectuar la renovación de la solución, si bien existen algunas consideraciones generales al respecto, es diferente para cada sistema, ya que el balance nutritivo dentro de un sistema individual depende de numerosos factores (climáticos, calidad de agua, geometría del sistema, cultivo y estado fenológico, idoneidad o estabilidad de la solución nutritiva, etc.) que frecuentemente escapan a recomendaciones generales. En cualquier caso, es de esperar que este punto crítico tarde más en alcanzarse en invierno que en verano, ya que los volúmenes de solución

La aplicación localizada y frecuente del agua y los nutrientes supone múltiples ventajas desde los puntos de vista de aprovechamiento de recursos y mejora de rendimientos agronómicos; además es la solución práctica donde el riego es complicado por razones de accesibilidad, topografía del terreno, calidad del agua de riego, etc



Detalle del vertido de drenajes procedentes de las líneas de un cultivo de tomate cv. Brillante, sobre la canal colectora de los mismos

les puede ser:

- pobre calidad del agua de riego empleada.

- Temperaturas elevadas, que favorecen la absorción hídrica en mayor proporción relativa que la absorción de nutrientes.

- Espacios de tiempo muy extensos entre chequeos y ajustes sucesivos de la solución nutriente.

- Ciclos demasiado largos entre la recogida de drenajes y su posterior utilización en siste-

dante el empleo de desalinización por ósmosis inversa.

La recirculación total de los lixiviados exige partir de agua de riego de alta calidad, exenta o con mínimas cantidades de elementos que puedan resultar fitotóxicos tales como sodio, cloruros o boro (frecuentemente el ion Na⁺ es el limitante). Si partimos de agua con presencia apre-

manejados son menores.

Existe la posibilidad de ir desechando de manera continua, o al menos diaria, una cantidad mínima de drenajes equivalente a la renovación total de la solución recirculada una vez alcanzado el punto crítico. De esta manera, se puede completar el ciclo de cultivo sin alcanzar este punto y evitando los bruscos cam-

Unos 1300 equipos automáticos de fertirrigación se han instalado en el territorio español en la última campaña, aproximadamente el doble de controladores o equipos semiautomáticos y una cantidad superior de pequeños programadores

bios generados en el balance nutritivo cada vez que se establece una renovación total de la solución nutritiva. Este más que interesante sistema rara vez es usado de forma deliberada, pero frecuentemente se efectúa de manera no intencionada. Efectivamente, las pérdidas inherentes a cada sistema pueden hacer que



Detalle de la recogida de drenajes procedentes de un cultivo de melón Cantaloup, sobre la canal colectora de los líbviados

el agricultor solvente inconscientemente muchos problemas relativos a la nutrición del cultivo.

En sistemas donde se efectúa una recirculación total, los únicos nutrientes a suministrar son los que la planta absorbe, de tal manera que si la solución nutritiva en el entorno radical no muestra un correcto balance de nutrientes, los aportes fertilizantes deben redirigir la solución hacia el mismo balance de nutrientes que la planta demanda.

La nutrición mineral en sistemas cerrados difiere respecto a la de sistemas abiertos, debido a que unos nutrientes son absor-

bidos más rápidamente (K, P, NH_4^+) que otros, conviene incrementar la concentración en la solución recirculante de aquéllos que se absorben más lentamente (Ca, Mg, S), para así forzar su relación de absorción.

Ensayos experimentales: consumos y ahorros

Para un cultivo determinado, la cantidad de agua necesaria dependerá de la zona, cultivo, condiciones climáticas, época del año, control climático del invernadero, tipo de sustrato y su contenedor, nivel salino del agua de riego (sobre todo en zonas áridas), etc. (Jensen y Malter, 1995). El grado de transpiración del cultivo es el factor más determinante a la hora de establecer el consumo de agua por parte de la plantación (Stanghellini y Van Meurs, 1989).

A continuación se describe una experiencia de cultivo hidropónico con sistema de recircula-



Recogida de drenajes para su recirculación mediante canales de poliestireno forradas con plástico blanco, de un cultivo de tomate sobre lana de roca



FERTILIZANTES NATURALES, S.A.

**EXPERIENCIA Y CALIDAD
EN NUTRICION VEGETAL**

FERTILIZANTES ESPECIALES PARA CULTIVO INTENSIVO (GRANULADOS)

**SUPRAMIX NPK 12-10-18+1,5% MgO
(100% proveniente de Nitrato Potásico)**



NITRATO DE CHILE 16-0-0



NITRATO POTASICO 13-0-45

N. POTASICO + MAGNESIO 12-0-43+4% MgO

FERTILIZANTES ESPECIALES PARA FERTIRRIGACION Y F. FOLIAR

**NITRATO POTASICO (cristal)
13-0-46**

**FOSFATO MONOPOTASICO (cristal)
MKP 0-52-34**

**FOSFATO MONOAMONICO (cristal)
MAP 12-61-0**

**SULFATO POTASICO (cristal)
0-0-51**

**NITRATO DE MAGNESIO MAGNIT-6 (prill)
11-0-0+15%**



ROTEM-AMFERT-NEGEV



FERTILIZANTES NATURALES, S.A.
(Filial SOQUIMICH EUROPEAN HOLDING)
Pravença, 251 08008 BARCELONA
Teléfonos: (93) 487 78 06 - Fax: 487 23 44

GRUPO



Figura 4:
Consumos hídricos acumulados (l/m²) del pimiento cvs Cuzco y Castelo durante la totalidad del ciclo de cultivo

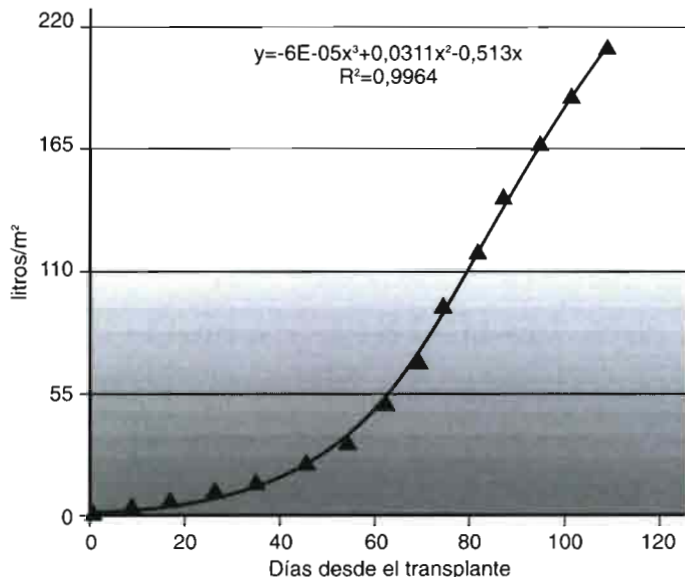
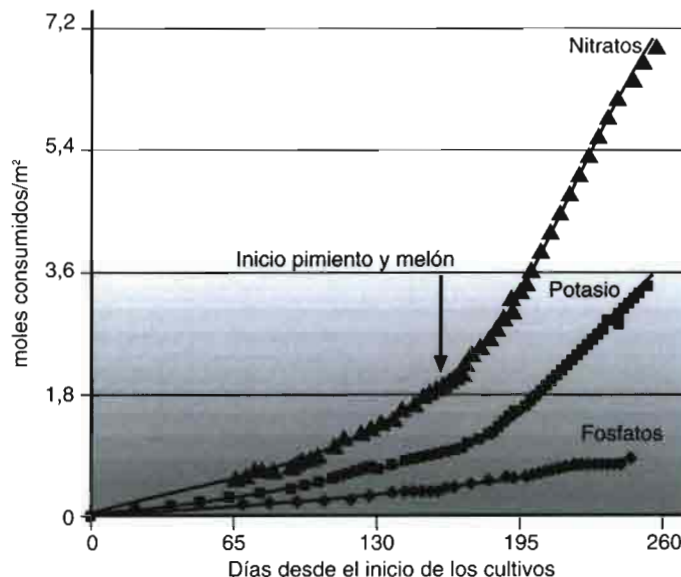


Figura 5:
Evolución de los consumos de nitratos, fosfatos y potasio (moles/m²) durante el desarrollo de los ensayos



ción total de drenajes, que sirve para valorar el alcance medioambiental del uso de esta tecnología.

En la figura 1 se representa un esquema que muestra de manera simplificada el funcionamiento del sistema planteado, para el caso de una recirculación total con agua desalada.

Con este sistema se pretende que la totalidad de los drenajes de los cultivos, que contienen exclusivamente elementos esenciales para las plantas, se reutilicen mediante su recirculación aportando los nutrientes consumidos por la plantación, mediante los fertilizantes correspondientes para restablecer la solución nutritiva adecuada según cultivo y estado fenológico del mismo, y restableciendo, mediante aporte de agua pura (agua desalada), el consumo hídrico del sistema (debido fundamentalmente a la evapotranspiración de los cultivos). De esta forma mantenemos un sistema cerrado de fertilizantes y agua con lo que preservamos al exterior de cualquier tipo de contaminación debida a efluentes de procedencia agrícola.

Bajo el diseño de este sistema, se ha llevado a cabo un ensayo donde se estudia el comportamiento técnico y agronómico

El desarrollo de los cultivos hidropónicos se verá reforzado en un futuro inmediato no sólo por los probados incrementos que supone en cuanto a producción, calidad y precocidad de las cosechas, sino también por el agotamiento, la salinización y la contaminación por patógenos de los suelos y por la inminente prohibición del uso de bromuro de metilo

co de una parcela de cultivo sin suelo que consta de tres sectores de fertirriego diferenciados, con desarrollo de tres especies hortícolas de sensibilidad creciente a la salinidad: tomate, melón y pimiento, sobre tres sustratos: perlita, arlita y fibra de coco, respectivamente. El cuadro 1 muestra diferentes datos de interés para los tres cultivos. Partimos de agua de riego

desalinizada mediante ósmosis inversa; los lixiviados procedentes de los tres cultivos son recogidos en su totalidad y mezclados con el agua de riego para establecer las soluciones nutritivas correspondientes.

El modelo puesto en práctica mostró una perfecta viabilidad desde el punto de vista técnico y agronómico, estableciendo un sistema cerrado de agua y fertilizantes durante la totalidad de los ciclos de cultivo. Las figuras 2, 3 y 4 muestran los consumos hídricos acumulados de los tres cultivos durante la totalidad de su ciclo. En tomate se consume un total de 406 l/m², en melón el consumo total asciende a 200 l/m² y en pimiento el consumo hídrico total fue de 210 l/m². Reseñar que en el cultivo de pimiento un severo ataque del virus TSWV mermó sensiblemente la producción y provocó el levantamiento prematuro de la plantación.

Para un mejor seguimiento de los consumos hídricos, su evolución acumulada durante el ciclo, se ajusta a curvas polinómicas de tercer grado, que presentan un coeficiente de regresión cercano a la unidad.

El consumo total de nitratos, fosfatos y potasio (NPK) en

el sistema planteado se muestra en la figura 5, este consumo coincide con el aporte ya que se trata de un sistema cerrado sin salida de elementos nutritivos al exterior, por lo que permite la estimación del gasto fertilizante. El consumo total de nitratos asciende a 7.08 moles/m², el de fosfatos a 0.84 moles/m² y el de potasio a 3.40 moles/m².

Teniendo en cuenta porcentajes y composición de drenajes usuales según la calidad de agua empleada, el sistema de recirculación planteado supone aproximadamente un ahorro de unos 160 l/m² de agua (supo-

Cuadro 1:
Datos de interés de los tres cultivos integrantes del ensayo experimental

| Ensayo | Sustrato | Marco (p/m ²) | P. total (Kg/m ²) | Transplante | Duración (días) |
|------------------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------|
| Tomate cv. Rambo | Perlita | 2.3 | 19.3 | 3 Nov | 231 |
| Melón cv. Radical | Arlita | 2.0 | 8.3 | 8 Abr | 90 |
| Pimiento cvs Cuzco y Castelo | Fibra de coco | 2.1 | 6.5 | 24 Mar | 104 |

niendo un 35% de drenaje para un cultivo sin suelo convencional y teniendo en cuenta el 15% del flujo de salmuera del equipo de ósmosis inversa) y 285 l/m², si no consideramos el rechazo de la desaladora.

En cuanto a los fertilizantes, suponiendo concentraciones medias normales en drenajes de 17 mM de nitratos, 1.5 mM de fosfatos y 8 mM de potasio, se ahorran 4.85 moles de nitratos por m² (3.009 kg/ha), es decir, más de la mitad de lo consumido y que hubiese ido directamente a contaminar acuíferos. El ahorro de fosfatos asciende a 0.43 moles/m² (415 kg/ha) y el de potasio a 2.28 moles/m² (89 kg/ha).

Tras esta primera experiencia, se han seguido realizando

ensayos empleando lana de roca y perlita como sustratos, y partiendo de agua con cierto contenido salino. Se ha logrado efectuar recirculación completa durante la totalidad del ciclo en cultivos de tomate y melón Cantaloup, partiendo de agua de CE 1.1 mS/cm y 3-3.5 mM de sodio, sin merma aparente de producciones, llegando a ahorros del 30% de agua y 50% en unidades fertilizantes. Además, los sistemas recirculantes aumentan el grado de aprovechamiento de otros productos de quimigación (fungicidas, desinfectantes, etc.), resultando mucho más efectivos, pudiendo utilizarse con total garantía a dosis mucho menores de las recomendadas.

Se están promulgando directivas comunitarias y normativas encaminadas a la reducción o eliminación de contaminación como la del vertido de drenajes de cultivos hidropónicos directamente al suelo, que ya son una imposición en países de nuestro entorno como Dinamarca y Holanda

Figura 2:
Consumos hídricos acumulados (l/m²) del tomate cv. Rambo durante la totalidad del ciclo de cultivo

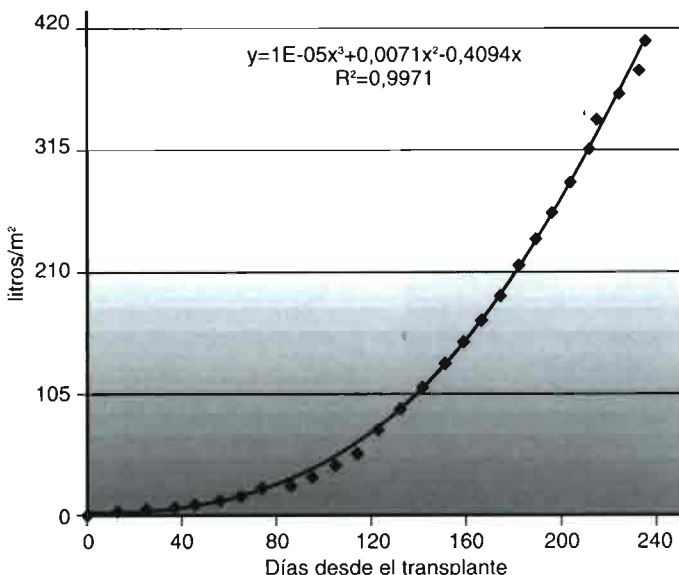
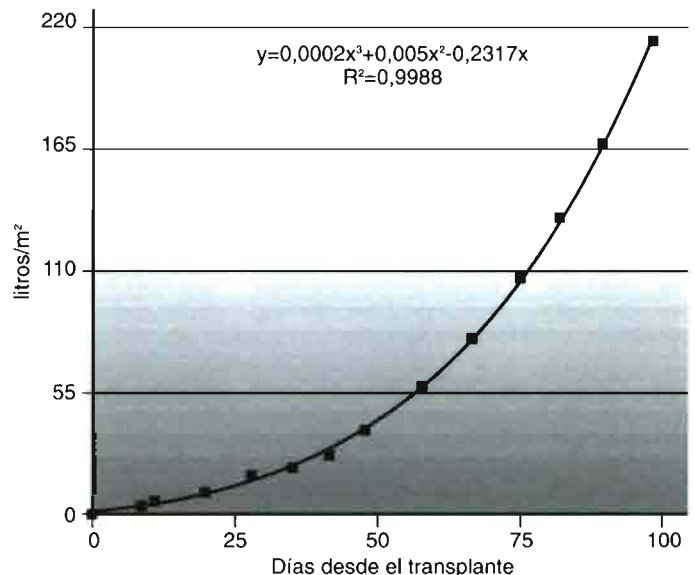


Figura 3:
Consumos hídricos acumulados (l/m²) del melón cv. Radical durante la totalidad del ciclo de cultivo





Cultivo en lana de roca

En la actualidad, se está a punto de completar cultivos de judía de enrame y pepino (muy sensibles a contenidos salinos excesivos) partiendo de agua de riego de CE 0.8 mS/cm y contenido en sodio 2.5 mM. Puede resultar muy interesante el establecimiento de sectores de riego con cultivos de diferente tolerancia a la salinidad, de esta manera los drenajes procedentes de un cultivo sensible, podrían utilizarse sin perjuicio alguno para otro cultivo de mayor resistencia al contenido salino.

Desinfección de soluciones

Los sistemas recirculantes presentan un riesgo añadido frente al cultivo hidropónico a solución perdida. La reutilización

del agua de drenaje puede servir de vehículo para la transmisión de enfermedades vía radicular, es, por tanto, recomendable una desinfección de los lixiviados a recircular, si se pretende evitar este riesgo. Las esporas de hongos de los géneros *Phytophthora*, *Phytium* y *Fusarium*, son las formas que más problemas de este tipo pueden generar en los sistemas recirculantes de nuestro país.

A continuación se comenta brevemente los fundamentos de los diferentes sistemas de desinfección de empleo factible en sistemas hidropónicos cerrados, así como sus posibilidades de

uso. Cada empresa debería previamente estudiar sus necesidades de desinfección y su calidad de agua, y, en base a esto, elegir el método de desinfección más apropiado.

Desinfección mediante radiación ultravioleta

La luz UV ha sido extensamente empleada como desinfectante de aguas a lo largo del presente siglo, su empleo decayó por la aparición de alternativas

La recirculación total de los lixiviados exige partir de agua de riego de alta calidad, exenta o con mínimas cantidades de elementos que puedan resultar fitotóxicos tales como sodio, cloruros o boro. De lo contrario, nos encontraremos con una elevación progresiva en la concentración de los mismos con cada una de las etapas de recirculación de la solución nutriente



más baratas tales como la cloración. Sin embargo, en los últimos años, se ha renovado el interés por su utilización, debido a la posibilidad de obtener precios mucho más ajustados y, sobre todo, por constituir un método con ausencia total de efectos residuales y respetuoso con el medio ambiente.

Un esterilizador por radiación UV consiste, generalmente, en una lámpara incandescente de cuarzo o de vapor de mercurio, alojada en una carcasa, por la que circula el agua a tratar y donde es expuesta a la dosis apropiada de

En la fotografía se muestra un ensayo de pimiento en fibra de coco con recogida y recirculación de drenajes

SI LO QUE COSECHAS, NO ENCAJA CON LO QUE SIEMBRAS...



 **gro|dan**®



El único sustrato de estructura compacta

La pieza que te falta para un éxito total. Una gran decisión, fructífera y rentable. Con GRO|DAN conseguirá productos altamente desarrollados, fuertes y seguros. Contará con el líder indiscutible en España, de sustratos para un cultivo precoz y de alto rendimiento. Haga suya la experiencia de cientos de agricultores en diferentes áreas de cultivo, los

excelentes resultados obtenidos, campaña tras campaña, le garantizan al más espectacular de los éxitos; es decir, cosechar más y más kilos, mucho antes y con mucho menos esfuerzo. Así es GRO|DAN, el sustrato de lana de roca más apreciado por los profesionales del campo. GRO|DAN, para cosechar más.



Cultivo de sandía en perlitita. Cada día son más las fincas de frutales, de hortícolas o de cultivos industriales que instalan sus gomas o sus cintas de goteo

radiación UV para asegurar la esterilización del fluido.

El tratamiento por radiación UV es único en su modo de acción, no necesariamente mata los microorganismos patógenos, la radiación UV altera el ADN esterilizando el microorganismo, de tal forma que éste no puede proliferar y causar enfermedad algu-

vos de nemátodos y algas (Carruthers, 1998).

Hay que destacar un aspecto a tener en cuenta, las aguas turbias reducen la efectividad de esterilización por radiación UV, ya que esta radiación es fácilmente absorbida por partículas finas y materia orgánica suspendidas en el agua, e incluso por las incrustaciones depositadas sobre la carcasa que protege la lámpara. En el caso que nos interesa, es decir, en sistemas de cultivo hidropónico con recirculación de drenajes, la esterilización mediante radiación UV debe combinarse con otros métodos tales como filtros de arena, filtros de carbón activo, ósmosis inversa, para lograr una adecuada claridad del agua.

Para alcanzar la práctica esterilización total de bacterias y hongos, bastaría con una radiación de 100-150 mJ/cm², mientras que serían necesarios 250 mJ/cm², para el control efectivo de virus, ahora bien, esto considerando un nivel mínimo de transparencia del agua del 20%. Para hacernos una idea, el agua de drenaje típica de un cultivo sobre lana de roca viene a tener una transparencia entre el 20% y el 40%, esta transparencia desciende para otro tipo de sustratos y, de forma más acentuada, si se emplean sustratos orgánicos, por lo que se impone el em-

El tratamiento por radiación UV es único en su modo de acción, no necesariamente mata los microorganismos patógenos. La radiación UV altera el ADN esterilizando el microorganismo, de tal forma que éste no puede proliferar y causar enfermedad alguna

na. Los microorganismos que no pueden reproducirse, simplemente mueren. La radiación UV es considerada letal para la mayoría de microorganismos, incluyendo bacterias, esporas de hongos, virus, protozoos, hie-

pleo de algún sistema de filtración o clarificación previo a la aplicación de la radiación UV. La utilización de una filtración a 20 micras previa a la exposición a la radiación UV del agua a tratar, puede incrementar enormemente la efectividad de la misma.

La resistencia de las diferentes esporas de hongos a la radiación UV, es, en general y en orden creciente, *Phytophthora* < *Phytium* < *Fusarium* < *Alternaria*.

Ozono

El ozono es el oxidante más potente disponible para la desinfección de aguas. Las bacterias son más sensibles al ozono que las esporas de hongos, y dentro de estas *Phytophthora* y *Phytium* ofrecen una similar resistencia, mientras que *Alternaria* es más resistente y *Fusarium* es más fácil de controlar. El ozono no genera ningún tipo de residuo químico.

Conviene considerar algunos aspectos antes de adoptar el tratamiento con ozono como método de desinfección de soluciones recirculantes. El ozono se degrada rápidamente en aguas de pH elevado o con elevadas concentraciones de materia orgánica, hierro, manganeso o bicarbonatos. Las aguas con estas características necesitan un aporte extra. En cualquier caso, el ozono en disolución es poco estable, manteniéndose durante 2-20 minutos en función de la calidad del agua. Además corroe muchos tipos de plástico, por lo que conviene instalar válvulas antirretorno de acero inoxidable para aislar el volumen de solución en contacto con ozono.

También en determinadas condiciones puede escapar a la atmósfera constituyendo un riesgo para la salud, el límite de seguridad se sitúa en 0.1 ppm de ozono en el aire. Se trata de un método actualmente bastante

caro, pero cuyo precio bajará probablemente en el futuro.

Cloración

Existen diversas técnicas para desinfectar el agua mediante cloración, las principales son:

- Adición de hipoclorito sódico o cálcico: el aporte de estos compuestos generan ácido hipocloroso en soluciones neutras o ácidas, producto que tiene un elevado poder de desinfección. Sin embargo, a pH elevado (> 7.5) su efectividad disminuye drásticamente, ya que en su lugar, se genera el ion hipoclorito que es cien veces menos efectivo. La materia orgánica presente consume ácido hipocloroso, por lo que su presencia implica un aporte extra.

**Los sistemas
recirculantes presentan
un riesgo añadido frente
al cultivo hidropónico
a solución perdida.
La reutilización del agua
de drenaje puede servir
de vehículo
para la transmisión
de enfermedades vía
radicular, es, por tanto,
recomendable una
desinfección de los
lixiviados a recircular,
si se pretende evitar este
riesgo**

- Tratamiento con dióxido de cloro (ClO₂): este compuesto es más estable en agua que el ácido hipocloroso, y además no es consumido por la materia orgánica presente. Se trata de un método excelente pero que exige un elevado costo de capital.

- Clorobromación: esta técnica proporciona la acción de dos agentes oxidantes, el ácido hipocloroso y el ácido hipobromoso, para la desinfección de las soluciones. El primero es más

efectivo a pH bajo y el segundo a pH más elevado. Su puesta en funcionamiento es relativamente barata, aunque presenta elevados costos de operación y mantenimiento.

Otros métodos

Existen además otros métodos alternativos que pueden ofrecer ciertas garantías de cara a la desinfección de soluciones recirculantes en sistemas hidropónicos cerrados, cabe mencionar los siguientes:

- Filtración lenta en lecho de arena: tiene las ventajas de su barato costo y de no adicionar compuesto alguno. En su contra decir que para ser efectiva necesita velocidades de filtrado muy lentas, que frecuentemente hacen inviable el sistema, además no ofrece demasiadas garantías en el control de Fusarium.

- Filtración mediante membranas: se trata de un método caro y con un mantenimiento, en principio, dificultoso. Tampoco requiere la adición de producto alguno.

- Tratamiento térmico: muestra el gran inconveniente de su precio de operación al requerir elevados aportes energéticos.

- Aporte de productos químicos: existen numerosos compuestos químicos, más o menos oxidantes, cuyo suministro puede ofrecernos una desinfección adecuada de la solución, ahora bien, hay que prever los posibles efectos fitotóxicos de los productos a emplear.

¹ Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación por nitratos originados en la agricultura.

Directiva 75/440/CEE, de 16 de junio de 1975, relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros.

Real Decreto 261/1996 de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

BIBLIOGRAFIA

- Alarcón, A. L. 1996. El cultivo hidropónico de hortalizas tempranas. 4ª Ponencia del FITECH'96. Valencia
- Alarcón, A. L., Madrid, R., Egea, C. & Rincón, L. 1997. Respuesta del melón Galia (cv. Revigal) sobre lana de roca, a diferentes aguas de riego y zonas de cultivo. Actas de Horticultura 16: 91-97.
- Baars, B. 1992. Water works. Grower. May:15-16.
- Bolusky, B. & Regelbrugge, C. 1992. Political perspective on water quality impact. Hort. Technology 2, 80-82.
- Carruthers, S. 1998. Ultraviolet light disinfection. Practical Hydroponics and Greenhouses, nº 38.
- Donnan, R. 1994. Nutriente management in hydroponic system. Practical Hydroponics and Greenhouses, nº 16.
- Jensen, M. H. & Malter, A. J. 1995. Protected Agriculture: A Global Review. World Bank Technical Paper nº 253.
- McAvoy, R. J. 1994. Nitrate nitrogen movement through the soil profile beneath a containerized greenhouse crop irrigated with two leaching fractions and two wetting agent levels. Hort. Science 119, 446-451.
- Smith, D. L. 1987. Rockwool in horticulture. Grower Books. London: 55.
- Stanghellini, C. & Van Meurs, W. T. M. 1989. Crop transpiration: a greenhouse climate control parameter. Acta Horticulturae, 254: 384-388.
- Uronen, K. R. 1995. Leaching of nutrients and yield of tomato in peat and rockwool with open and closed system. Acta Horticulturae 401: 443-449.
- Zekki, H.; Gauthier, L. & Gosselin, A. 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(6): 1082-1088.