

[QUÍMICA AGRÍCOLA]

Fertirrigación en cultivos sin suelo con recirculación de la solución nutritiva

María del Carmen Salas Sanjuán

Profesora del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Almería

Coordinadora del Curso Internacional de Especialización en Cultivo sin Suelo

El término Cultivos sin suelo incluye a todos los sistemas que hacen crecer las raíces de las plantas fuera de su ambiente natural, el suelo. La clasificación es variada y depende de las características elegidas, entre ellas destaca la clasificación que considera la existencia o no de recuperación y recirculación de la solución drenada (drenaje)

Aquellos sistemas en los que la solución nutritiva sobrante drena y no se reincorpora al agrosistema se conocen como Sistemas Abiertos o A Solución Perdida. Y como Sistemas Cerrados se definen a los sistemas que recuperan y reincorporan la disolución sobrante, total o parcialmente como solución de fertirriego (Foto 1).



Foto 1. Detalle de la recogida de drenaje de una línea de cultivo en sacos de perlita.

[Sistemas recirculantes de cultivo sin suelo

Existen sistemas de cultivo que incluyen la recirculación de los drenajes en la definición del mismo. Como ejemplos más destacados están el sistema de la disolución nutritiva recirculante conocido como NFT (Nutrient Film Technique), y el sistema NGS desarrollado completamente en Almería (España) por la empresa New Growing System S.L. (**Foto 2**). En ambos casos no se utiliza sustrato como medio para el crecimiento del sistema radical.

Sin embargo, en los sistemas de cultivo que incorporan sustrato en contenedor (**Foto 3**) no es indispensable la recirculación, y en general la mayoría de las recomendaciones de manejo son similares en sistemas abiertos y cerrados. Como característica diferenciadora, en los sistemas recirculantes cobra mayor importancia la capacidad de aireación del sustrato para poder regar frecuentemente sin producir asfixia radical, y que la capacidad de intercambio catiónico sea baja para evitar el aumento rápido de la CE o una retención excesiva de iones (Lesaint y Coïc, 1983).

[Emisiones desde los sistemas cerrados y abiertos

Se entiende por emisiones del sistema a los lixiviados o drenajes que se producen desde el medio de cultivo hacia fuera del agrosistema. Estas emisiones pueden ser las mismas sean sistemas cerrados o abiertos, sin embargo en los segundos se consideran a su vez pérdidas del sistema, mientras en los sistemas cerrados se contempla la posibilidad de la reutilización.

Producir un volumen de drenaje



Foto 2. Cultivo de fresa en Sistema recirculante sin sustrato, NGS.



Foto 3. Cultivo en sacos de perlita con recogida de drenaje mediante bandejas colectoras.

(excedente de fertirriego) desde el medio radical (contenedor) es necesario para mantener un equilibrio nutricional y potencial osmótico adecuado (Foto 4).

Este drenaje supone en primer lugar, la pérdida de agua y fertilizantes. La cantidad de disolución nutritiva que se drena en función del sistema de cultivo y de las características del sustrato, puede oscilar entre los 2000 y 3000 m³ ha⁻¹ (Van Widen, 1988). Y en segundo lugar, los drenajes producen una importante contaminación fundamentalmente por los nitratos y fosfatos contenidos en la solución de drenaje (Tabla 1).

En cualquier caso, no hay que olvi-

Tabla 1:

Agua total aplicada con el fertirriego (AT), agua incorporada o consumida por el cultivo (AI) y producción en función del sistema empleado: abierto (SA), intermedio (SI) y cerrado (SC) con la reutilización del 50% y 100% de los drenajes, respectivamente

| Cultivo | | | AT (L m ²) | AI (L m ²) | Producción (kg m ²) | Fuente |
|---------|---------------|----|------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Tomate | Fibra de coco | SA | 298,0 | 245,0 | 15,4 | Salas <i>et al.</i> , 2000 |
| Tomate | Perlita | SA | 557,0 | 390,0 | 9,3 | García <i>et al.</i> , 2000 |
| | | SI | 466,0 | 385,0 | 9,1 | |
| | | SC | 289,0 | 289,0 | 8,7 | |
| Pepino | Fibra de coco | SA | 304,2 | 234,0 | 12,0 | Urrestarazu <i>et al.</i> , 2003 |
| Melón | Perlita | SA | 352,8 | 304,0 | 4,5 | Salas <i>et al.</i> , 2005 |
| Melón | Lana de roca | SA | 315,6 | 260,0 | 6,6 | Mazuela <i>et al.</i> , 2005 |



Foto 4. Detalle del sistema de conducción final de los drenajes de una línea de cultivo.

Los sistemas cerrados muestran un uso más eficiente de los nutrientes disminuyendo los gastos en fertilizantes y las emisiones al medio ambiente

dar el sobre coste económico que estas pérdidas tienen sobre el sistema, ya que no es despreciable el incremento del coste de los fertilizantes de un 27% en la campaña 2007-08 con respecto a la 2006-07 (Cajamar, 2008).

En este sentido, dependiendo del manejo los sistemas cerrados muestran un uso más eficiente de los nu-

Tabla 2:

Emisiones de NO₃ y H₂PO₄, producción y g NO₃ emitido por kg producido para diferentes cultivos y sustratos

| Cultivo | Sustrato | Emisiones g m ⁻² | | Producción kg m ⁻² | g NO ₃ emitido kg producido | Fuente |
|---------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------------|
| | | NO ₃ | H ₂ PO ₄ | | | |
| Tomate | Fibra de coco | 315,0 | 47,0 | 15,4 | 20,5 | Salas <i>et al.</i> , 2000 |
| | Perlita | 147,7 | 25,1 | 12,1 | 12,2 | Alarcón <i>et al.</i> , 2001 |
| Tomate cherry | Lana de roca | 40,9 | 6,7 | 3,6 | 11,4 | Salas y Urrestarazu, 2001 |
| Pepino | Fibra de coco | 97,0 | 16,0 | 12,0 | 8,1 | Urrestarazu <i>et al.</i> , 2003 |
| Melón | Perlita | 93,2 | 33,1 | 4,5 | | Salas <i>et al.</i> , 2005 |
| Pimiento | Perlita | 61,8 | 9,4 | 8,3 | 7,5 | López <i>et al.</i> , 2005 |

trientes disminuyendo los gastos en fertilizantes y las emisiones al medio ambiente. En la **Tabla 2** se recogen datos de emisiones de nitratos y fosfatos que pueden alcanzar valores elevados como 300 y 47 g m⁻² (Salas *et al.*, 2000) respectivamente, y mínimos menores de 41 y 7 g m⁻² (Salas y Urrestarazu, 2001). Estas emisiones están en función del tipo y ciclo de cultivo y características del sistema. En este caso la posibilidad de recircular total o parcialmente la disolución de fertirrigación se presenta como una opción para disminuir la contaminación de los sistemas hortícolas intensivos. En trabajos de recirculación sobre tomate en el sudeste español se recogen pérdidas de NO₃ y H₂PO₄ (g m⁻²) durante todo el ciclo de producción en el sistema abierto de 109 y 20 g m⁻² respectivamente; 50 y 9,7 g m⁻² recirculando el 50% de los drenajes, mientras que en sistema cerrado no se produjo lixiviado alguno (García y Urrestarazu, 1998).

Parece conveniente el control de las emisiones y la recomendación de la re-

circulación total o parcial de los drenajes en los cultivos sin suelo, ya sea por consideraciones medioambientales como económicas.

Efectos de la recirculación sobre el crecimiento y producción de los cultivos

Los estudios que comparan la biomasa producida en sistemas abiertos con cerrados obtienen un menor peso fresco y seco en las plantas cuando se recirculan los drenajes como se observa en la **Tabla 3** (Urrestarazu y Salas, 2004). Cabe mencionar estudios que demuestran que el aparato radical posee tal flexibilidad de adaptación que con un desarrollo diferente de este órgano consigue el mismo del crecimiento del vástago (Sonneveld y Vogt, 2001). El efecto sobre el crecimiento de las plantas es mayor cuando se recircula sobre plántulas de semillero.

Con respecto a la producción, parece que la recirculación implica una

pérdida de producción más o menos acentuada en función de factores como el clima, la calidad del agua, tipo de sistema, ciclo, etc. Como características que condicionan la producción destacan el aumento de CE y el desequilibrio iónico que se produce en la solución nutritiva cuando se recircula la solución nutritiva. En condiciones de cultivo semiárido, los experimentos durante varios años han demostrado que se produce una significativa y moderada pérdida de producción (Urrestarazu y Salas, 2004).

Parámetros para el manejo de la recirculación en cultivo sin suelo

Agua y fertilizantes

El uso eficiente del agua y fertilizantes al 100% resulta desde un punto de vista práctico imposible (Van Os, 1995). Sin embargo es una exigencia de la sociedad moderna obtener productos de calidad pero con la menor injerencia sobre el medio ambiente para ello se debería considerar la recirculación de los lixiviados.

Sin embargo debemos cuestionarnos hasta cuanto es posible la recirculación de los drenajes en un sistema de cultivo competitivo y que factores deben ser considerados.

Es necesario tener en cuenta la calidad del agua disponible y el equilibrio nutricional elegido. En esta línea se producen pérdidas de productividad provocadas por la variación del equilibrio de macro y micronutrientes aplicados en la disolución nutritiva; y los problemas derivados por la alta concentración de algunos iones como (cloruros, sodio, sulfatos, etc.) sobre todo en aguas con CE superiores a 2 dS m⁻¹; y por un desequilibrio osmótico producido por un aumento continuo de la CE de la solución de fertirrigación.

Son numerosos los experimentos que demuestran que al recircular la disolución nutritiva se produce un aumento de la CE como consecuencia de la diferencia de absorción de agua respecto de sales, provocando un desajuste en el equilibrio de iones con el paso del tiempo. La absorción diferencial de iones sumado a al comportamiento de la CE de la disolución ha llevado a algunos autores como Sonneveld y Straver (1994) a experimentar con éxito y reco-

Tabla 3:

Efecto del uso de la recirculación de la solución nutritiva sobre diferentes parámetros de desarrollo y calidad de plántulas de tomate y pimiento en semillero en función del sistema empleado: abierto (SA) y cerrado (SC)

| | Tomate | | Pimiento | |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | SA | SC | SA | SC |
| Diámetro del tallo (mm) | 4,27 | 4 | 4,47 | 3,69 |
| Altura planta (cm) | 23 | 19,9 | 13,6 | 10,2 |
| Peso fresco (g planta ⁻¹) | | | | |
| Foliar | 4,74 | 3,74 | 4,12 | 2,33 |
| Caulinar | 3,26 | 2,38 | 2,55 | 1,34 |
| Radical | 1,68 | 1,16 | 2,19 | 1,16 |
| Peso seco (g planta ⁻¹) | | | | |
| Foliar | 0,44 | 0,28 | 0,42 | 0,22 |
| Caulinar | 0,2 | 0,13 | 0,17 | 0,08 |
| Radical | 0,13 | 0,08 | 0,15 | 0,08 |

Fuente: Urrestarazu y Salas (2004).

mendar diferentes equilibrios nutricionales en la disolución de fertirrigación para el caso de la disolución nutritiva aplicada a un sistema cerrado diferente al recomendado para esos mismos cultivos en sistemas abiertos (Tabla 4).

Elección del material vegetal

Hay que esperar un comportamiento muy distinto si utilizamos plantas muy sensibles a la salinidad como la judía (Handreck y Black, 1994), sensible como la lechuga o tolerante como el tomate.

Estado fenológico del cultivo y su relación con el manejo

Normalmente valores altos de CE en los estadios iniciales es más perjudicial que si aparecen al final del cultivo, incluso en ocasiones es beneficioso como ocurre con el tomate y melón. Incluso los cultivares presentan un comportamiento diferencial. Como norma general no se recomienda recircular los drenajes si las CE son elevadas en las fases de semillero y crecimiento vegetativo o rebrote.

Para evitar la salinización del sustrato o de la disolución nutritiva recirculante de los sistemas cerrados, en la práctica se ha utilizado la eliminación total o parcial de la solución nutritiva a lo lar-



Sistema de recogida de drenaje de cultivo con sustrato en canaletas

go del ciclo de cultivo. El criterio establecido para la renovación es diverso, puede basarse en los valores alcanzados por la CE (en general mayor de 4-6 dS m⁻¹), o cuando algún ión alcanza valores fitotóxicos (valores mayores de 15 mmol L⁻¹ para Cl y Na).

Para reducir el número de veces que se elimina solución de drenaje se recomienda aumentar el volumen de riego promoviendo mayores porcentajes de drenaje que disminuyen el riesgo de salinización del fertirriego aunque pueden suponer otras desventajas.

Bibliografía

Alarcón, A.L., Faz, A., Egea, C., Brañas, F.J. 2001. Macroelements uptake and ionic interrelationships of a tomato soilless crop in recirculating system.

Acta Horticulturae 559, 529-534.

García, M., Escobar, I., Salas, M.C., Urrestarazu, M. 2000. Effect of fertigation management on nutrient solution consumption and yield in closed agrosystem in relation to open system under Mediterranean plastic house conditions. Acta Horticulturae 511: 151-156.

García, M., Urrestarazu, M. 1998. La recirculación de la disolución nutritiva en el área mediterránea. Caja Rural de Granada. 171 págs.

Handreck, K.A., Black, N.D. 1994. Growing Media for ornamental plants and turf. University of New South Wales Press, Australia, 48 págs.

Lesaint, C., Cöic, Y. 1983. Cultures Hydroponiques. La maison Rustique. Paris.

Salas, M.C.; Urrestarazu, M. 2001. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo, Manuales de la Universidad de Almería, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Almería. España. pp. 280.

Salas, M.C., Urrestarazu, M., Bretones, A., Sánchez-Romero, J.A. 2005. Melón Crop Response to Different Levels of Calcium in the Nutrient Solution. Acta Horticulturae 697: 487- 492.

Sonneveld, C.; Straver, N. 1994. Nutrient solutions for vegetables and flower grow in water o substrates. 10^o ed. Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk. N^o 8.

Urrestarazu, M.; Salas, M.C.. 2004. Sistemas con sustratos y recirculación de la disolución nutritiva. En: Tratado de cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. pp. 369-420.

Urrestarazu, M., Salas, M.C., Gómez, A., Valera, D. 2003. Cucumber crop response to heated nutrient solution in soilless culture. Acta Horticulturae.

Urrestarazu, M., Salas, M.C., Rodríguez, R., Elorrieta, M. A., Moreno, J. 2001. Evaluación agronómica del uso del compost de residuos hortícolas como sustrato alternativo en cultivo sin suelo en tomate. Actas de Horticultura 32 (V), 327-332.

Van Os, E.A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. Acta Horticulturae 396:25-32.

Van Widen, M. 1988. Soilless culture technique and its relation to the greenhouse climate. Acta Horticulturae 229:125-132. •

Tabla 4:

Disoluciones nutritivas recomendadas para diversos cultivos hortícolas sobre lana de roca en función de utilizar sistemas abiertos (SA) y cerrados (SC). D diferencia en porcentaje.

| | Pepino | | | Pimiento | | | Tomate | | | Rosa | | |
|---|--------|-------|-----|----------|-------|-----|--------|-------|----|------|------|----|
| | SA | SC | D | SA | SC | D | SA | SC | D | SA | SC | D |
| CE (dS m ⁻¹) | 2,2 | 1,75 | 2,2 | 2,2 | 1,7 | 2,3 | 2,3 | 1,6 | 30 | 1,6 | 0,7 | 56 |
| mmol L ⁻¹ | | | | | | | | | | | | |
| NO ₃ ⁻ | 16 | 11,75 | 27 | 15,5 | 12,75 | 18 | 13,75 | 10,75 | 22 | 11 | 4,3 | 61 |
| H ₂ PO ₄ ⁻ | 1,25 | 1,25 | 0 | 1,25 | 1 | 20 | 1,25 | 1,25 | 0 | 1,25 | 0,5 | 60 |
| SO ₄ ²⁻ | 1,38 | 1 | 27 | 1,75 | 1 | 43 | 3,75 | 1,5 | 60 | 1,25 | 0,5 | 60 |
| NH ₄ ⁺ | 1,25 | 1 | 20 | 1,25 | 1,25 | 0 | 1,25 | 1 | 20 | 1,5 | 0,85 | 43 |
| K ⁺ | 8 | 6,5 | 19 | 6,5 | 5,75 | 12 | 8,75 | 6,5 | 21 | 4,5 | 2,15 | 52 |
| Ca ²⁺ | 4 | 2,75 | 31 | 4,75 | 3,25 | 32 | 4,25 | 2,75 | 35 | 3,25 | 0,9 | 72 |
| Mg ²⁺ | 1,38 | 1 | 27 | 1,5 | 1,13 | 25 | 2 | 1 | 50 | 1,13 | 0,5 | 56 |
| Si | 0,75 | 0,75 | 0 | | | | | | | | | |
| µmol L ⁻¹ | | | | | | | | | | | | |
| Fe | 15 | 15 | 0 | 15 | 15 | 0 | 15 | 15 | 0 | 25 | 15 | 40 |
| Mn | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 0 |
| Zn | 5 | 5 | 0 | 5 | 4 | 20 | 5 | 4 | 20 | 3,5 | 2 | 42 |
| B | 25 | 25 | 0 | 30 | 25 | 17 | 30 | 20 | 33 | 20 | 15 | 25 |
| Cu | 0,75 | 0,75 | 0 | 0,75 | 0,75 | 0 | 0,75 | 0,75 | 0 | 0,75 | 0,5 | 33 |
| Mo | 0,5 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 |

Fuente: Sonneveld y Straver (1994)