

# Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía (I)

Análisis de las ventajas e inconvenientes de la utilización de los distintos sistemas



Cultivo tradicional de lechuga al aire libre en la provincia de Segovia.

*Frente a los cultivos hortícolas tradicionales, instalados sobre un suelo normal, realizados frecuentemente al amparo de un sistema de protección (túneles o invernaderos), los cultivos sin suelo (hidropónicos o aeropónicos) aparecen como una alternativa imprescindible, para optimizar los beneficios que normalmente se consiguen con el empleo de estructuras que mejoran las condiciones medioambientales.*

**José M. Durán<sup>(1)</sup>, Evaristo Martínez<sup>(1)</sup> y Luis M. Navas<sup>(2)</sup>.** <sup>(1)</sup> Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. <sup>(2)</sup> Departamento de Ingeniería Rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

**E**s evidente que, cuando un empresario decide acometer una instalación costosa, que le permite controlar las condiciones medioambientales bajo las cuales se desarrolla un cultivo [por ejemplo, una plantación de tomate de larga vida, realizada bajo un invernadero con una estructura metálica, provista de una cubierta

con una lámina de plástico flexible (1.500 pts./m<sup>2</sup>), o un invernadero de cristal para flor cortada (15.000 pts./m<sup>2</sup>)], no puede depender de los problemas que normalmente presenta un suelo poco profundo, con una textura inadecuada para tal o cual cultivo, con mayor o menor fertilidad, con exceso o falta de calcio, a veces con marcados desequilibrios

nutricionales (C/N, Na/K, Ca/Mg), normalmente contaminado por parásitos procedentes de cosechas anteriores; en definitiva, frecuentemente desconocido o inapropiado para llevar a cabo la producción controlada que pretende. De ahí, la necesidad de prescindir de todo aquello que le ocasiona problemas y buscar soluciones en los denominados cultivos hidropónicos, aeropónicos o cultivos sin suelo.



Cultivo de calabacín, bajo invernadero de tipo parral, en un enarenado típico de Almería.



Tomate bajo invernadero tipo parral en enarenado (Almería). La canaleta de riego sirve para inundar las parcelas de cultivo para lavar las sales y evitar que se acumulen.

## Ventajas e inconvenientes de los cultivos sin suelo

En el XXIV Congreso Internacional de la Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas, celebrado en Kyoto (Japón) en 1994, Benoit y Ceustemans, presentaron a modo de decálogo las principales ventajas que ofrecen los sistemas de cultivo hidropónicos; estas ventajas son las siguientes:

- Permiten obtener cultivos más homogéneos y, de forma especial, favorecen el desarrollo de un sistema radicular más homogéneo.
- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por los denominados hongos del suelo (*damping off*), lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes, algunas de las cuales (bromuro de metilo) están siendo cada vez más cuestionadas y prohibidas.
- Reducen el consumo de energía empleado en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación.
- Mayor eficiencia del agua utilizada, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida.
- Respecto a los cultivos establecidos sobre un suelo normal, los cultivos hidropónicos utilizan los nutrientes minerales de forma más eficiente.

• El desarrollo vegetativo y productivo de las plantas se controla más fácilmente que en cultivos tradicionales realizados sobre un suelo normal.

- Mayor cantidad, calidad y precocidad de cosecha.
- Permiten una programación de actividades más fácil y racional.
- Admiten la posibilidad de mecanizar y robotizar la producción.

En un sistema hidropónico no todo son ventajas. Los inconvenientes más importantes que se presentan en este momento son los siguientes:

- El coste elevado de la infraestructura e instalaciones que configuran el sistema.
- El coste añadido que representa el mantenimiento de las instalaciones.
- El coste de la energía consumida por las instalaciones.
- La producción de residuos sólidos, a veces, difíciles de reciclar.
- La acumulación de drenajes cuando se riega con aguas de mala calidad.
- La contaminación de acuíferos cuando se practican vertidos improprios.
- El coste de las instalaciones y de la energía necesaria para reutilizar parte de los drenajes producidos.



Arriba, detalle de los racimos que pueden obtenerse en una plantación de tomate cultivada en un enarenado típico de Almería. Abajo, detalle de una planta de pepino a los pocos días de haber sido instalada en un enarenado de Almería.

## Sustratos y contenedores

En un cultivo hidropónico se denomina sustrato a un medio material, normalmente sólido, en el cual se desarrollan las raíces del cultivo. Con objeto de optimizar las propiedades de las que luego hablaremos, los sustratos suelen estar confinados en contenedores que pueden adoptar distintas formas (abiertas o cerradas), volúmenes (cubos, prismas, cilindros) y aspectos (a granel, bolsas, sacos). Por lo tanto, los sustratos deben proporcionar al cultivo todo lo que el cultivo requiere y que normalmente toma por la raíz: agua, nutrientes minerales y oxígeno, son los componentes más importantes que los vegetales normalmente absorben por la raíz.

Dada la estrecha relación que los sustratos guardan con la raíz, también deben contribuir a proporcionarle otras cuatro propiedades que normalmente se olvidan cuando se habla de sustratos: 1) oscuridad absoluta para el buen desarrollo del sistema radicular; 2) temperatura óptima para que la raíz pueda llevar a cabo todas las funciones que tiene encomendadas (absorción de nutrientes minerales, transpiración y movimiento de la savia bruta por el xilema, respiración celular íntimamente relacionada con la absorción y transporte de nutrientes, acumulación de sustancias de re-

serva en algunos cultivos y síntesis de fitohormonas, en otros); 3) un ambiente propicio para el establecimiento de una microflora favorable para el cultivo (rizosfera) y 4) un ambiente desfavorable para el desarrollo de microorganismos u otros agentes que puedan actuar como transmisores o reservorio de plagas y enfermedades.

Atendiendo a su origen, los sustratos pueden ser orgánicos e inorgánicos. Dentro del primer grupo encontramos: turbas (negra, rubia, neutralizada, enriquecida, etc.), *sphagnum*, fibra de coco, subproductos agroindustriales (cascarilla de arroz), residuos forestales (acículas de coníferas y corteza de pino) y subproductos orgánicos compostados. Los sustratos inorgánicos pueden ser de origen natural, poco o nada transformados (grava, arena, picón) o transformados (arilita, lana de roca, perlita, vermiculita). Según Abad, un buen sustrato debe reunir las siguientes propiedades físico-químicas:

- Gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, con objeto de que la planta extraiga el agua necesaria para sus funciones, con el menor gasto energético posible.
- Aireación suficiente, con el fin de que el oxígeno disuelto en el agua no sea un factor limitante para el crecimiento y el buen funcionamiento del sistema radicular.
- Una granulometría (tamaño de partículas) equilibrada, que garantice el cumplimiento de las propiedades anteriormente mencionadas. El hecho de que la granulometría de un sustrato cambie con el tiempo, obliga a la renovación del sustrato después de un determinado número de años.
- Una densidad aparente baja, lo que hace que el sustrato sea un producto ligero.
- Una porosidad elevada, de forma que permita una buena aireación y una elevada capacidad de retención de agua.
- Una estructura estable, que impida la dilatación o contracción del medio.
- Una capacidad de intercambio catiónico compatible con el tipo de fertirrigación aplicado al cultivo: alta, si la fertirrigación es intermitente, y baja, si es permanente.
- Baja salinidad y alta disponibilidad de sustancias nutritivas asimilables.
- Poder tampón (capacidad de amortiguamiento), especialmente para mantener el pH del medio.
- Velocidad de descomposición lenta.
- Que esté libre de semillas o reservorios de plagas (insectos, larvas o huevos), enfermedades (hongos, bacterias), nematodos y otros patógenos o sus vectores.
- Que sea fácil de desinfectar y estable ante los agentes que se pueden utilizar para desinfectarlo (vapor de agua, solarización, productos fitosanitarios).

• Estable frente a cambios físicos (temperatura), químicos (pH) y ambientales.

### Sistemas de cultivo sin suelo

Dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: 1) cultivos en sustrato; 2) cultivos en agua (hidropónicos) y 3) cultivos en aire (aeropónicos).

Los cultivos realizados en un sustrato, según el manejo al que se ven sometidos, pueden funcionar por inundación periódica del sustrato, ya sea por subirrigación, con recogida del retorno en la misma balsa donde se guarda la solución nutritiva, o distribuyendo la solución nutritiva mediante sistemas de goteo. Los sustratos que se caracterizan por su baja capacidad para retener el agua y los nutrientes (grava, arlita) requieren un aporte de agua y soluciones nutritivas casi continuo. Los sistemas más utilizados (lana de roca, perlita, fibra de coco, arena), que se caracterizan por su mayor capacidad de retención de agua, permiten utilizar riegos menos frecuentes. De los tres sistemas descritos, los dos primeros trabajan en circuito cerrado, mien-

tras que el tercero puede trabajar en circuito abierto o cerrado.

En el mercado nacional y especialmente en las zonas donde los cultivos sin suelo son más importantes (Andalucía, Murcia, Valencia, Barcelona, Islas Canarias) existe una gran cantidad de materiales y sustratos que permite realizar multitud de combinaciones a la hora de instalar un sistema de cultivo sin suelo. A título orientativo, enumeramos seguidamente algunos de los sistemas más tradicionales:

- Cultivo en grava mediante subirrigación.
- Cultivo en arlita (material ligero, utilizado como aislante en la construcción), un material con baja capacidad de retención de agua, con aporte superficial de solución nutritiva.
- Cultivo en bancadas, con un sustrato (arena, perlita, turba, fibra de coco) confinado entre muretes o contenedores construidos con distintos materiales (ladrillo, hormigón, fibra de vidrio, PVC, polipropileno).
- Cultivo en sacos rellenos con un sustrato orgánico (turbas, cortezas de árboles, serrín, fibra de coco), mineral poco transformado (grava, arena, picón) o mineral muy transformado (lana de roca, perlita) y sintéticos (poliestireno).

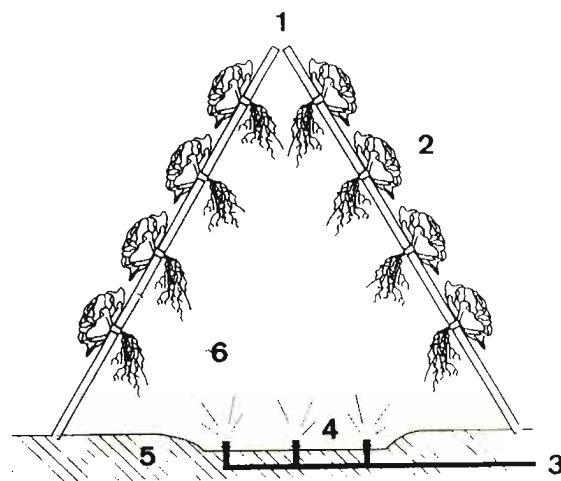
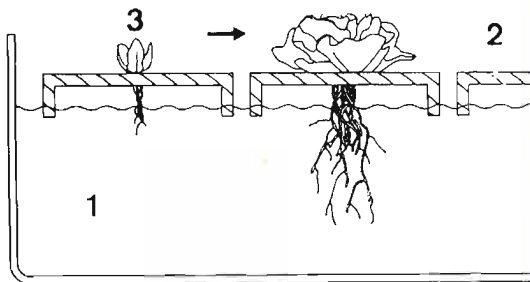
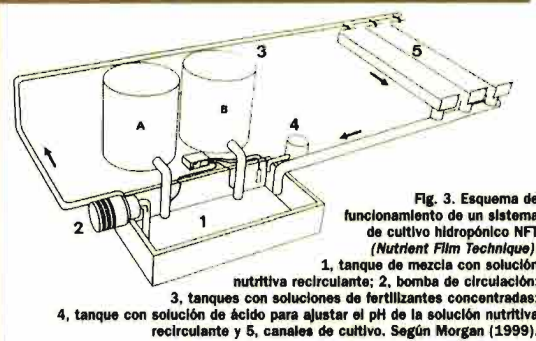
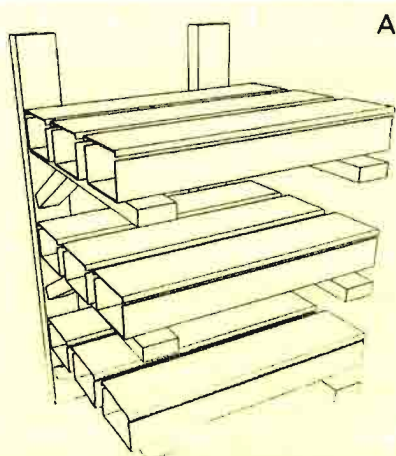
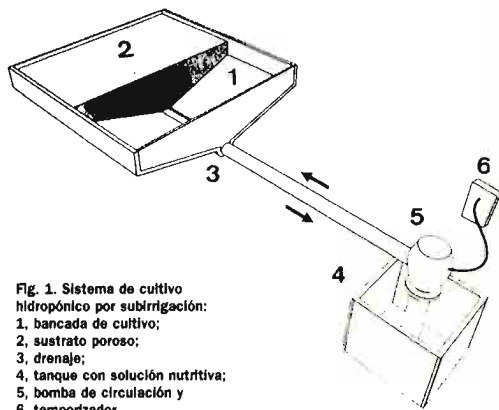
• Cultivo en contenedores de múltiples capacidades (1-100 L), formas (cúbicas, cilíndricas, troncopiramidales) y materiales (polietileno, PVC, poliestireno expandido, fibra de vidrio, cerámicos).

• Sistemas cerrados con recuperación de lixiviados, mediante tuberías o canaletas de retorno, sobre cualquier tipo de sustratos (fig. 1).

• Sistemas hidropónicos puros como: NFT (*Nutrient Film Technic*), cuyos esquemas montaje y funcionamiento se ilustran en las fig. 2 y 3; DFR (*Dynamic Floating Root*) y las bandejas flotantes (fig. 4), utilizados con gran éxito en los semilleros de tabaco (Extremadura).

### Sistema NGS (New Growing System)

Se trata de un sistema de cultivo nuevo, recientemente desarrollado e implantado en Almería. Consiste en un canalón formado por varias capas de un film de polietileno, que se mantiene suspendido sobre el suelo, a baja altura (20-40 cm), por medio de dos alambres tensados y unas grapas. Las plantas, enraizadas normalmente sobre un sustrato (lana de roca), convenientemente separadas (40-50





Izda. Cultivo hidropónico de tomate sobre perlita, con solución nutritiva recirculante. La zanja central practicable puede servir para la recogida de los drenajes procedentes de cada línea de cultivo y conducción de tuberías. Dcha. Plantación de pimiento sobre perlita, con solución nutritiva recirculante.

cm), se introducen en el canalón superior o primer canalón. Las raíces, guiadas por la corriente de agua que suministran los goteros (4-8 L/h), distribuidos a razón de un gotero por planta, van pasando de un canalón al siguiente por medio de las hendiduras practicadas en la lámina de polietileno, hasta llegar al último canalón, que actúa a modo de colector. La solución nutritiva, impulsada por una bomba de circulación, a baja presión (2-4 kg/cm<sup>2</sup>), se distribuye por una tubería portagoteros que, si se desea, puede pasar por una de las cámaras donde se encuentran las raíces, con el fin de calentar o refrigerar el ambiente circundante.

### Aeroponía

La aeroponía (fig. 5) es el sistema hidropónico más moderno. El primer sistema aeropónico fue desarrollado por el dr. Franco Massantini en la Universidad de Pia (Italia), lo que le permitió crear las denominadas "columnas de cultivo". Una columna de cultivo consiste en un cilindro de PVC, u otros materiales, colocado en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento de realizar el trasplante. Las raíces crecen en oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire, de ahí el nombre de aeroponía. Por el interior del cilindro una tubería distribuye la solución nutritiva mediante pulverización media o baja presión.

La principal ventaja que aporta la aeroponía es la excelente aireación que el sistema proporciona a las raíces, uno de los factores limitantes con los que cuenta la hidroponía. Basta tan solo considerar que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se mide en mg/L, o partes por millón (ppm), siendo de

5-10 mg/L a 20 °C, mientras que la cantidad de oxígeno disuelto en el aire se mide en porcentaje (21%), lo que nos indica que la concentración de oxígeno en el aire es del orden de 20.000 veces más elevada que la concentración del mismo gas disuelto en el agua. Los principales inconvenientes que presentan los sistemas aeropónicos tradicionales son: el coste elevado de la instalación y las obstrucciones de las boquillas de pulverización que pueden producirse si no se dispone de presión suficiente y una instalación adecuada.

Los sistemas aeropónicos que se utilizan actualmente difieren considerablemente del que inicialmente utilizó el dr. Massantini en Italia. En Israel, por ejemplo, investigadores de la *Agricultural Research Organisation* pusieron a punto un sistema comercial que denominaron *Ein-Gedi System* (EGS). En realidad, se trata de un sistema aero-hidropónico, que consiste en sumergir la mayor parte de las raíces en el seno de una solución nutritiva que se halla constantemente en circulación; la solución nutritiva se pulveriza sobre la parte alta de las raíces proyectando aire a alta presión por medio

de una tubería finamente perforada mediante tecnología láser, en contracorriente con la solución nutritiva circulante. De esta forma, se consigue que una parte de la raíz esté permanentemente en contacto con la solución nutritiva recirculante y la otra se halle bien aireada.

Desde hace algunos años, investigadores australianos han puesto a punto nuevos sistemas aeropónicos comerciales, uno de ellos recibe el nombre de *Schwabach System* (SS). El sistema consiste en un tanque de plástico de 200 L de capacidad que alimenta una cámara de crecimiento en la que se encuentran las raíces en completa oscuridad. Una bomba se encarga de distribuir y pulverizar finamente la solución nutritiva, lo que permite atender simultáneamente 60 puntos de distribución, por cada uno de los cuales se pulveriza la solución nutritiva a razón de 10 L/h.

La innovación aeropónica más recientemente desarrollada en Australia recibe el nombre de *Aero-Gro System* (AGS). Se caracteriza y distingue fundamentalmente de los demás sistemas aeropónicos porque incorpora tecnología ultrasónica, lo que permite proyectar la solución nutritiva a baja presión, con gotas finamente pulverizadas y sin problemas de obstrucciones en tuberías y boquillas de pulverización. Se trata de una tecnología basada en los principios que se utilizan en clínicas y hospitales para tratar pacientes que sufren determinados problemas asmáticos, la pulverización ultrasónica de agua vaporizada, a temperatura ambiente y a baja presión.

La aeroponía también se ha utilizado con gran éxito en la propagación vegetal y, más concretamente, en la propagación de estaquillas de especies herbáceas (crisantemo) o leñosas (ficus) difíciles de enraizar. ■



Contenedores de poliestireno expandido (corcho blanco), rellenos con arlita, preparados para recibir un cultivo hidropónico en un invernadero de tipo parral en Almería.