

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
COORDINACIÓN DE POSTGRADO  
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN MENCIÓN: ENSEÑANZA DE LA GEOGRAFÍA  
CÁTEDRA: AMBIENTE Y SOCIEDAD

# CULTIVOS SIN SUELO

Integrantes:

Cedeño, Lisbeth

Peña, Beatriz

Pérez, Johanna

Roso, Iris

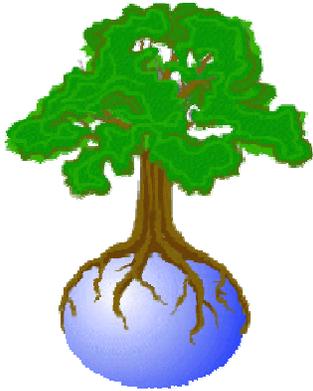
IX Cohorte

San Cristóbal, Marzo del 2006

Desde el punto de vista hortícola, la finalidad de cualquier medio de cultivo es conseguir una planta de calidad en el más corto período de tiempo, con costes de producción mínimos. En este sentido los cultivos sin suelo, también denominados cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la Agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las características del suelo, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas.

Término aplicado al cultivo de plantas en soluciones de nutrientes sin emplear la tierra como sustrato. El cultivo sin tierra de plantas cultivadas comenzó en la década de 1930 como resultado de las técnicas de cultivo empleadas por los fisiólogos vegetales en experimentos de nutrición vegetal. Los métodos más recientes de cultivo sin tierra difieren en algunos detalles, pero tienen dos rasgos comunes: los nutrientes se aportan en soluciones líquidas y las plantas se sostienen sobre materiales porosos, como turba, arena, grava o fibra de vidrio, las cuales actúan como mecha y transportan la solución de nutrientes desde su lugar de almacenamiento hasta las raíces.

La Ciencia de los Sustratos alternativos tiene como base el cultivo de plantas sin utilizar el suelo, de forma que las raíces de las mismas se encuentren suspendidas en un soporte inerte (grava, arena, turba) -lo que se conoce con el nombre de **hidroponía**-, en la propia disolución nutritiva, lo que exige una recirculación constante de la misma, impidiendo un proceso de anaerobiosis que causaría la muerte inmediata del cultivo-**hidroponía pura**- o en el interior de una cámara de PVC o cualquier otro material, con las paredes perforadas, por donde se introducen las plantas; en tal caso, las raíces están al aire, crecen en la oscuridad y la disolución nutritiva se distribuye por pulverización a media o baja presión-este sistema recibe el nombre de **aerponía**-. Existen variantes más sofisticadas de la aerponía tradicional como el **Schwalbach System (SS)** y el **Aero-Gro System (AGS)**, desarrolladas ambas en Australia.



El término HIDROPONIA deriva de las palabras griegas *Hydor* (agua) y *Ponos* (trabajo) "agua trabajando", haciendo referencia al empleo de soluciones de agua y sales minerales para el cultivo de plantas sin tierra ni otra materia orgánica.

La notable versatilidad de los cultivos hidropónicos, combinada con los excelentes resultados que se obtienen en cualquier latitud y en todo tipo de espacio, ha hecho de este sistema el ideal para un amplio espectro de situaciones.

Con un mínimo suministro de agua y fertilizantes, las unidades de cultivo hidropónico, tanto grandes como pequeñas, pueden ser utilizadas por las personas que viven en zonas desérticas o en otras regiones áridas cultivando plantas sanas a pesar de las adversas condiciones que provocan la infertilidad del suelo.



### [Un poco de historia](#)

#### Un poco de historia

Hace aproximadamente tres siglos John Woodward hizo sus primeros experimentos para determinar la forma en que las plantas obtenían su alimento. Trató de establecer si era el agua o las partículas de tierra las que las nutrían, pero por falta de equipamiento no pudo realizar grandes progresos. Recién a principios del siglo XIX, con los avances en el campo de la química, Nicolás de Saussure demostró que las plantas necesitan sustancias minerales para alcanzar un óptimo desarrollo. Más adelante Jean Boussingault logró cultivos en recipientes con arena y carbón, a los cuales agregaba soluciones químicas de composición conocida. A comienzos de los años 30, el profesor W.F.Gericke trató de convertir

estas técnicas de laboratorio a escala comercial cultivando primero todo tipo de hortalizas y luego extendió su labor a flores, tubérculos, cereales y árboles frutales. En 1939, el ejército norteamericano y la fuerza aérea británica instalaron unidades hidropónicas en sus bases militares, por lo cual las tropas consumieron toneladas de verduras cultivadas con este sistema

## La Hidroponia

### Cómo crecen las plantas

El jardín o la huerta sin tierra es un mundo creado por el ser humano y mantenido por sistemas de control balanceados. En las unidades hidropónicas las plantas se desarrollan porque reciben una nutrición óptima y condiciones ideales. Estas condiciones son válidas tanto para instalaciones hogareñas como para las de escala comercial. Existen varios métodos de cultivo hidropónico pero todos ellos basados en los mismos principios: la utilización de agua y fertilizantes químicos para nutrir las plantas.

Para asegurar un buen crecimiento todas las plantas requieren *agua, luz, aire, sales minerales y sustentación para las raíces*. Para desarrollarse necesitan absorber una parte de los elementos nutritivos de los gases atmosféricos (dióxido de carbono) y otra de las sales inorgánicas disueltas en el agua. Estas sustancias químicas son transformadas con ayuda de la energía luminosa.

Cuando las plantas crecen en suelo, la tierra provee la sustentación para la raíces, pero en los cultivos hidropónicos se hace imprescindible proveer otro medio de sustentación. Por otro lado, debe haber suficiente humedad y nutrientes para evitar que la planta se seque y muera.

### Recipientes

Puede utilizarse todo tipo de recipientes de cualquier tamaño y por lo menos 20cm de profundidad para que las raíces tengan suficiente lugar para desarrollarse. Generalmente los recipientes más adecuados son los de material

plástico, ladrillo o cemento. Si son de metal deben pintarse con barniz o pintura, y los de madera deben forrarse con tela impermeable o plástica.

Las medidas dependerán de las necesidades particulares de cada uno, pero el largo máximo debe ser de 6 metros y el ancho máximo de 90 cm.

Es importante que los recipientes tengan perforaciones en su base para el drenaje y aireación. Los cultivos hidropónicos necesitan que los orificios estén abiertos en el momento de drenaje pero que puedan ser obturados por medio de tapones. Para asegurar un buen drenaje es necesario que los recipientes tengan una pendiente entre el 3% y el 5% que dependerá del sustrato utilizado.

Si el recipiente no es opaco podrá originar el desarrollo de algas que competirán por los nutrientes, el oxígeno y alteran el pH de la solución. Otra condición esencial es que debe ser inerte químicamente para evitar reacciones o cambios en la solución nutritiva.

## El Sustrato

Se denomina *sustrato* a un medio sólido inerte que cumple 2 funciones esenciales :

Anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar y por otro lado, contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan.

Los gránulos componentes del sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos aquellos que permiten la presencia entre 15% y 35% de aire y entre 20% y 60% de agua en relación con el volumen total.

Muchas veces es útil mezclar sustratos buscando que unos aporten lo que los falta a otros, teniendo en cuenta los aspectos siguientes :

- Retención de humedad.

- Permitir buena aireación
- Estable físicamente
- Químicamente inerte
- Biológicamente inerte.
- Tener buen drenaje
- Tener capilaridad
- Ser liviano.
- Ser de bajo costo
- Estar disponible.

## El Agua

El agua que se encuentra en la mayor parte de las fuentes normales de suministro es apta para los cultivos. El primer requisito es que el agua sea apta para el consumo humano o de animales, y por lo tanto también será apta para las plantas.

Las aguas con gran contenido de sal pueden ser utilizadas pero teniendo en cuenta que las plantas a desarrollarse en ellas sean tolerantes a la sal, por ejemplo el tomate, el pepino, la lechuga o los claveles.

Las aguas "duras" que contienen concentraciones de calcio pueden ocasionar un problema ya que el calcio se deposita y puede taponar orificios en las instalaciones de riego.

Otro factor muy importante a tener en cuenta es la calidad microbiológica del agua. Si se sospecha que el agua está contaminada, la cloración, en sus diferentes modalidades, constituye el proceso de desinfección más utilizado y el más barato (hipoclorito de sodio o de calcio, 2 a 5 partes por millón de Cloro).

## La Nutrición

La adición de los elementos nutritivos es un procedimiento de control y balance. Los elementos considerados esenciales para el crecimiento de la

mayoría de las plantas son : Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Azufre, Magnesio (macronutrientes) y Hierro, Manganeso, Boro, Zinc, Cobre, Molibdeno, Cobalto y Cloro (micronutrientes).

Cada elemento es vital en la nutrición de la planta, la falta de uno solo limitará su desarrollo, porque la acción de cada uno es específica y ningún elemento puede ser reemplazado por otro. Todos estos elementos le sirven para la construcción de la masa de tejido vegetal.

Es necesario aclarar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno experimente con óptimos resultados.

La fórmula más sencilla para iniciarse es la siguiente :

- Nitrato de calcio.....118 gr.
- 
- Sulfato de Magnesio..... 49 gr.
- 
- Fosfato Monopotásico..... 29 gr.
- (PARA 100 LITROS DE AGUA)

## La Siembra

Una buena siembra ayudará considerablemente a las plantas a desarrollarse bien tanto al comienzo como durante la floración y fructificación. Para esto debemos asegurarnos de que las semillas sean frescas y con un alto poder germinativo.

Un semillero se compone de una serie de elementos destinados a brindarle a la semilla todas las condiciones necesarias para su germinación. Entre los métodos más adecuados para realizar semilleros con destino a cultivos hidropónicos, están el de los cubos de espuma plástica, los almácigos o la siembra directa en el recipiente hidropónico.

Toda semilla contiene, en potencia, una planta viva completa en forma latente que está esperando los estímulos necesarios para iniciar una vida activa. Para que la semilla germine debe absorber suficiente cantidad de agua para que la corteza exterior se abra y el pequeño embrión que está dentro empiece a desarrollarse.

La luz puede estimular o inhibir la germinación de acuerdo a la variedad de planta. Las semillas respiran durante la germinación, por lo tanto si no existe aire en abundancia se asfixian, por eso hay que tener cuidado con la cantidad de agua que se suministra y con el tipo de medio en el cual se siembra. La nueva raíz se abre camino hacia abajo para afirmarse en su *base de sustentación*, y el pequeño tallo crece hacia arriba buscando la *luz*.

## La Luz

La luz es un elemento vital para el crecimiento de las plantas, pero no todas necesitan la misma cantidad de luz. Es conveniente que los cultivos reciban la mayor cantidad posible, especialmente en invierno, por lo que es aconsejable colocarlos cerca de ventanas y en habitaciones pintadas de colores claros.

En lugares de poca luz se puede instalar un tubo fluorescente que no emite tanto calor como las lámparas de filamento.

Si se elige un lugar abierto debe procurarse que no dé el sol a pleno durante todas las horas del día. No debemos olvidarnos que existen especies que desarrollan mejor a la sombra.

## El Aire

La ventilación de los cultivos hidropónicos es muy importante, especialmente los instalados en lugares cerrados, donde debe haber una buena circulación de aire fresco. Sin embargo las corrientes de aire, el humo, los gases y el polvo son muy perjudiciales.

Si el ambiente es muy seco debe humedecerse colocando recipientes con agua o rociando las hojas. El exceso de humedad provocará el desarrollo de enfermedades.

En lugares abiertos debe protegerse a los cultivos de vientos fuertes pues afecta la polinización de las flores secándolas e impide el vuelo de los insectos. Sin embargo, los vientos moderados suelen favorecer la circulación de la savia, facilitan la fecundación transportando el polen y renuevan el aire en el medio ambiente de la planta.

### La Temperatura

Entre los varios factores que afectan a las plantas, la temperatura es de los más importantes. Para la mayoría de las plantas hortícolas la temperatura óptima para el crecimiento está entre los 15 y 35 grados. El grado de adaptación de una planta a temperaturas cambiantes varía según la especie.

Las plantas que se establecen en un clima diferente al que las caracteriza, pueden presentar ciertos cambios de comportamiento. La modificación diaria de la temperatura es cosa corriente y no tiene efectos adversos sobre las plantas, mientras que los vientos fuertes y los cambios estacionales ejercen influencias decisivas.

El congelamiento es uno de los fenómenos más destructivos de las plantas, como también lo es el sol pleno durante el verano en lugares de clima muy cálido.

### Limpieza y Mantenimiento

La tarea principal consiste en mantener el cultivo hidropónico libre de polvo y desperdicios vegetales, pues estas condiciones antihigiénicas provocan enfermedades y la aparición de insectos.

Se debe verificar regularmente las condiciones del agregado , controlar la humedad y observar el vigor con que crecen las plantas. El agregado deberá tener

el grado de humedad exacto pues si es excesiva no permitirá la aireación de las raíces y la planta morirá.

No se debe olvidar el control de la luz y la temperatura. Cuando los cultivos se hacen al aire libre deberán cubrirse en épocas de mucho calor y protegerlos de las lluvias excesivas para evitar que el agregado se anegue. Las lluvias moderadas no son problemáticas pues riegan los canteros pero deberá observarse que la solución nutritiva no se diluya demasiado.

Es muy útil registrar las fechas de siembra y cosecha. Al acercarse el período de cosecha se debe inspeccionar con frecuencia las condiciones en que se encuentran las plantas para decidir el momento en que se recogerán.

El transplante y la poda se harán en la forma acostumbrada, aunque el tutorado es conveniente hacerlo con hilo y atar las plantas a un alambrado que se colocará por encima de los recipientes de cultivo.

Después de la cosecha, si las plantas no prestan ninguna utilidad, se retirarán de los recipientes para desecharlas. Luego se lavará el agregado con abundante agua clara para que pueda ser utilizado nuevamente.

### **Condicionantes externos para el desarrollo de los cultivos: la fertirrigación**

**Ventajas • Inconvenientes • Proceso**

En los países mediterráneos, la mayoría de los invernaderos son simples estructuras recubiertas con films de plásticos provistos de equipos sencillos que controlan la temperatura y el riego. En estos países, existen grandes diferencias climáticas, no solo estacionales, sino regionales. Esta situación ocasiona problemas que afectan a la producción y a la calidad de los productos. El control de determinados factores como la temperatura, ventilación, radiación, concentración de CO<sub>2</sub> y nutrición mineral de la planta es de suma importancia si queremos optimizar los resultados. Sin embargo, uno de los factores más importantes en los cultivos sin suelo lo constituye la fertirrigación. Por fertirrigación

se entiende el suministro o dosificación de fertilizantes, repartidos durante todos los días del ciclo de cultivo, lo que permite hacer frente a los problemas que pueda originar un exceso transitorio de fertilizantes en el sustrato. El sistema de fertirrigación es, hoy en día, el método más racional de que disponemos para realizar una fertilización optimizada. A continuación señalaremos sus principales ventajas e inconvenientes:

#### **a. Ventajas de la fertirrigación**

- Dosificación racional de los fertilizantes
- Ahorro considerable de agua
- Utilización de aguas incluso de mala calidad
- Nutrición del cultivo optimizada y por lo tanto aumento de rendimientos y calidad de frutos
- Control de la contaminación
- Mayor eficacia y rentabilidad de los fertilizantes
- Adaptación de los fertilizantes a un cultivo, sustrato, agua de riego y condiciones climáticas determinadas, durante todos y cada uno de los días del ciclo

#### **b. Inconvenientes de la fertirrigación**

- Coste inicial de las infraestructuras. No obstante la duración del cabezal de riego puede amortizarlo totalmente
- Obturación de los goteros
- Necesidad del manejo por personal especializado

#### **c. Proceso de fertirrigación**

Resulta esencial la preparación adecuada del sustrato para que la aplicación de fertilizantes en el riego tenga la máxima eficacia. Desde que se fabrica una disolución concentrada, lo que en el argot se conoce con el nombre de *disolución madre*, en un cabezal de riego, hasta que la planta absorbe los

nutrientes de la disolución del sustrato, resultado de la interacción entre la disolución que llega a los goteros y dicho sustrato, transcurren una serie de etapas en el proceso de fertirrigación que puedan provocar un gran número de problemas. El sistema de cabezal de riego consta de diferentes módulos, distribuidos según una secuencia lógica de mezcla de fertilizantes y agua de riego. En primer lugar están los tanques de fertilizantes y de las disoluciones concentradas de fertilizantes y las de lavado (frecuentemente ácidas), alternativamente, según el programa establecido de tiempos y las concentraciones optimizadas. El agua de riego, convenientemente filtrada, se mezcla con las disoluciones extraídas por el inyector en la proporción dispuesta. Así, se obtiene la disolución fertilizantes que, después de filtrada, llega a los goteros. Esta disolución reacciona con el sustrato y da lugar a la disolución nutritiva definitiva, de la que realmente se alimenta la planta.

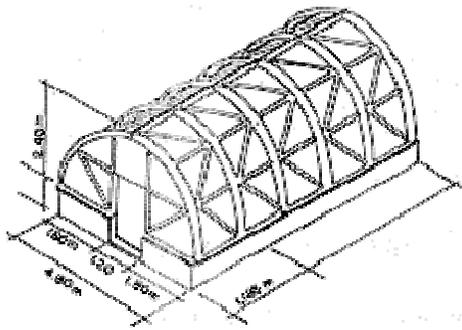
### **Métodos de cultivo hidropónico**

Se emplean varias técnicas de cultivo. El método comercial más práctico es la subirrigación, en la que las plantas se cultivan en bandejas llenas de grava, escoria u otros materiales de grano grueso, que sufren una inundación periódica con una solución de nutrientes. Después se drena la solución, con lo que es posible reutilizarla mientras conserve suficientes minerales. El método de cultivo en agua es muy utilizado en la experimentación botánica. Un tipo común de cultivo en agua emplea frascos de porcelana vidriada llenos de solución; las plantas se asientan sobre lechos de fibra de vidrio o un material similar, que se sustenta sobre la superficie del líquido. Las raíces de las plantas atraviesan estos lechos y penetran en la solución. El método menos exacto es el más fácil de emplear. Se utiliza arena gruesa y limpia en vez de tierra, y se vierte sobre ella la solución nutritiva a intervalos regulares y en cantidades más o menos iguales. Una versión más refinada es el método del goteo, en el que se mantiene una aportación lenta y constante de nutrientes. El exceso de solución de nutrientes se drena en ambos métodos.

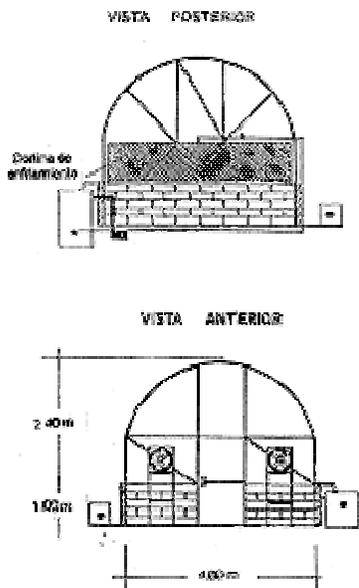
Los métodos de cultivo hidropónico se están usando con éxito para producir plantas fuera de estación en invernaderos y para cultivar plantas donde el suelo o el clima no son adecuados para una especie determinada; también se utilizan en zonas muy áridas, en suelos pobres o en aquellos susceptibles al ataque de parásitos. Durante la II Guerra Mundial, por ejemplo, se cultivaron con éxito verduras por este procedimiento en varias bases de ultramar. En la década de 1960, el cultivo hidropónico se desarrolló a escala comercial en las regiones áridas de Estados Unidos donde se emprendieron también investigaciones en las universidades estatales. En otras regiones áridas, como el golfo Pérsico y los estados árabes productores de petróleo, está en marcha el cultivo hidropónico de tomates y pepinos; estos países continúan investigando sobre otros cultivos susceptibles de ser explotados por este método, dado que sus tierras cultivables son limitadas.

## **MATERIALES Y METODOS**

Como estructura de estudio se utilizó un módulo "SICUP 1" donado al efecto por la empresa Tecnidec, de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Central de Venezuela, el cual estaba constituido, básicamente por una cubierta de resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, de color neutro y traslúcida, colocada sobre una base de bloques de concreto (Figuras 1 y 2). Por tratarse de un cobertizo cerrado se hizo necesario instalar un sistema dinámico de regulación climática, el cual constaba de una cortina de enfriamiento (Figura 1) y dos extractores de aire, dotado cada uno de tres aspas de 10" de longitud y motor de 1/2 HP, con velocidad de giro de 1759 rpm. y capacidad total de extracción de 56.14% del volumen de aire del SICUP1 (80 m<sup>3</sup>), por minuto. El sistema de climatización fue automáticamente controlado por un termostato cuyas temperaturas de arranque y parada fueron fijadas en 32 y 28°C, respectivamente. Se esperaba, con este sistema, contrarrestar apropiadamente el efecto invernadero, tan dañino en ambientes tropicales (Rosenberg, 1974; Walker y Duncan, 1973).



**FIGURA 1. Vista general del cobertizo. Dibujo cortesía de Tecnidec, C.A.FIGURA 2. Vistas anterior y posterior del cobertizo. Nótese los extractores en la vista anterior y la cortina de enfriamiento en la posterior. (Morales, 1990).**



**FIGURA 2. Vistas anteriores y posterior del cobertizo. Nótese los extractores en la vista anterior y la cortina de enfriamiento en la posterior (Morales, 1990.).**

El costo de instalación y mantenimiento del SICUP1 equipado ha sido calculado en Bs. 4000/m<sup>2</sup> x año (cálculos en base a los precios actuales de mercado).

Para evaluar el efecto de las condiciones generadas dentro del cobertizo se cultivaron hidropónicamente cuatro especies de plantas ornamentales: begonia de flor

(*Begonia* sp.), café de jardín (*Aglaonema conmutatum* Schott), caoba (*Swietenia macrophylla* King) y peperonia (*Peperomia sandersii*), las cuales fueron sembradas en materos plásticos de 17 cm de altura rellenos con arcillas expandidas previamente curadas. Penningsfeld y Kurzmann (1983) han obtenido excelentes resultados con este material en el cultivo de plantas ornamentales. Se plantó una planta por matero.

Para la realización del ensayo se utilizaron cuatro bandejas plásticas de 2.06 m de longitud, 1.30 m de ancho y 0.1 m de profundidad, en cada una de las cuales se colocaron, en forma completamente aleatorizada, dos hileras de cinco plantas de cada especie estudiada. Se dió un período de adaptación de 45 días previo al inicio del período experimental propiamente dicho.

La solución nutritiva utilizada contenía, en ppm, los siguientes elementos: N: 89.7; P: 14.4; K: 100; Ca: 50; Mg: 25; S: 15; Fe: 2; Mn: 1.4; Cu: 0.01; Zn: 0.01; B: 1 y Mo: 0.05. Esta solución tenía una conductividad eléctrica de 1.0 mS/cm y su pH se mantuvo entre 5.5 y 6.5 durante todo el período experimental.

La solución se complementaba con N-P-K-Fe al alcanzar el 50% de su CE inicial (0.50 mS/cm) por primera vez. Luego, al alcanzar de nuevo la solución un valor de CE de 50% de la inicial se descartaba, aplicando entonces solución fresca. Alt (1980) utilizando esta técnica fue capaz de mantener por dos meses la solución nutritiva en claveles de corte (*Dianthus caryophyllus* L.).

Para la evaluación de las variables climáticas en la duración del experimento y durante un período de tiempo previo a éste se utilizaron dos termohigrógrafos para registrar la temperatura y la humedad relativa dentro y fuera del SICUP1, un radiómetro, dotado de los sensores apropiados para determinar la radiación total y radiación fotosintéticamente activa (PAR) y termómetros de laboratorios para medir la temperatura del aire y de la solución nutritiva.

En las plantas se evaluó, como media de su adaptabilidad al sistema, el incremento en altura y diámetro del tallo, la producción de hojas y la apariencia general.

## **1. En cuanto a ventajas**

En los últimos años, se ha publicado un gran número de artículos donde se describen las ventajas de este tipo de cultivos. Sin embargo, es preciso resaltar que estas ventajas no son extensibles a todos los cultivos sin suelo, sino que existen diferencias apreciables de acuerdo con el grado de sofisticación del sistema que se considere e, indudablemente, del tipo de cultivo a estudio.

### **a. Incremento de la productividad**

En general, un control preciso de la nutrición de las plantas, que crecen en los cultivos sin suelo, favorece un mayor rendimiento y una mejora cualitativa de los productos, pero ésto no significa necesariamente que el rendimiento en los cultivos tradicionales sean muy inferior. Es evidente que en zonas con suelos excesivamente salinos, agotamiento de nutrientes o toxicidad por metales pesados, etc..los cultivos sin suelo producirían cosechas muy superiores. En los últimos 15 años la Bibliografía recoge numerosos artículos que presentan un estudio comparativo de estos cultivos respecto a los convencionales, donde se muestran las ventajas de los primeros sobre los segundos; ventajas que engloban varios aspectos como la reducción del trabajo, rendimientos más elevados y uniformidad en la calidad de los productos. Es importante mencionar que en muchos de los experimentos la gestión de cultivos convencionales no estaba realmente controlada.

### **b. Nutrición controlada de las plantas**

El control del aporte nutricional a las plantas es una de las principales ventajas de los cultivos hidropónicos. La disolución nutritiva debe "diseñarse a la carta"; la investigación en Química Agrícola ha centrado sus esfuerzos, en los últimos años, en optimizar disoluciones nutritivas ideales para cada tipo de cultivo, sin olvidar que una nutrición ideal debe respetar las necesidades de la planta en cada estadio de su desarrollo, esto es, mantener un balance nutriente evolutivo. De esta forma, se le da a la planta lo que necesita en cada momento, evitando

lixiviaciones contaminantes y posibles toxicidades. En los cultivos convencionales resulta mucho más difícil calcular la dosis fertilizante adecuada, dado que se tiene que llegar a un equilibrio entre los nutrientes del suelo y los fertilizantes añadidos, sin olvidar los procesos antagónicos, la fijación a los coloides arcillosos o el mayor o menor grado de disponibilidad de los nutrientes en función de las condiciones físico-químicas y climatológicas del medio en que se desarrolla.

Cabe destacar, asimismo, la uniformidad de los productos obtenidos, mucho mayor en sistemas de hidroponía pura y alta sofisticación, y algo menor cuando se utilizan sistemas de riego más sencillo como el goteo.

### **c. Prácticas de esterilización**

El suelo de los invernaderos deben encontrarse libre de organismos patógenos antes de plantar una cosecha. La operación de esterilización es difícil y costosa pero necesaria y de gran importancia. Los invernaderos requieren altas inversiones en estructuras, instalaciones, materiales, etc.. y es necesario obtener el máximo rendimiento para que resulte rentable. El procedimiento más efectivo para esterilizar el suelo es mediante chorros de vapor pero se trata de un método caro (debido a la energía que se consume). La esterilización química es menos costosa, pero cuenta con algunos inconvenientes (generalmente son problemas de toxicidad tanto por el manejo como por la generación de residuos tóxicos)

En los cultivos sin suelo abiertos, no hay necesidad de esterilización cuando los materiales y los sustratos no se van a reutilizar. Para los cultivos cerrados, la necesidad de esterilización varía dependiendo de si se trata de hidroponía pura o sistemas NFT con reemplazamiento del film . Cuando se utilizan sustratos sólidos, es habitual aplicar una esterilización en vapor o química para volver a reutilizar el soporte. En cualquier caso la esterilización de los cultivos sin suelo resulta más sencilla que la fumigación del suelo tradicional.

### **d. Control del pH**

Otra de las ventajas de estos cultivos es la posibilidad de controlar el pH de la disolución nutritiva, de acuerdo con los requerimientos óptimos del cultivo y de las condiciones ambientales. El pH idóneo suele oscilar en 5.5 y 6.5, de forma que el especialista puede ajustar su disolución nutritiva a estos valores mediante la adición de NaOH (sosa) para aumentar el pH, o HCl (ácido clorhídrico) para disminuirlo. En los cultivos tradicionales el ajuste de pH resulta bastante más complicado, un suelo con pH ácido puede corregirse con caliza dolomítica y la utilización de aguas duras, con un exceso de Ca (calcio) y Mg (magnesio). Suelos con valores altos de pH, requieren de cultivos capaces de adaptarse a esta situación con cierta facilidad.

#### **e. Ahorro de agua**

El agua es el factor más importante en la producción de cosechas. En zonas muy cálidas y en zonas áridas el gasto de agua es tal que se convierte en el factor limitante para el desarrollo agrícola. La ventaja de los cultivos sin suelo estriba en la facilidad para emplear técnicas de irrigación con un consumo moderado del agua, como en el caso de los hidropónicos puros donde las raíces de las plantas están sumergidas en la disolución nutritiva, como mencionábamos anteriormente, o empleando la subirrigación en los sustratos (existen variaciones de acuerdo con el tipo de sustrato que se utilice). Además, en el caso de los cultivos cerrados, el agua se recicla, y posteriormente se aprovecha para otros riegos, pero existe una marcada desventaja, se consume gran cantidad de tiempo y de recursos en el control de la red de riego. Por ejemplo, en aguas duras (con excesiva cantidad de carbonato cálcico), existe un peligro evidente de obturación de las boquillas. Este problema se minimiza utilizando aguas ácidas de lavado (disoluciones de ácido nítrico) que disuelven los precipitados formados (costras salinas).

#### **f. Reducción del trabajo**

Estos cultivos no necesitan de las tareas habituales llevadas a cabo en los cultivos tradicionales: esterilización del suelo, preparación previa del suelo,

períodos de barbecho, etc. En cualquier caso dentro de los cultivos sin suelo, existen grandes diferencias que afectan al grado de automatización y semiautomatización, al tipo de sustrato o al número de cosechas susceptibles de cultivarse en cada sustrato.

#### **g. Control de factores ambientales y nutricionales que afectan al desarrollo del cultivo**

La hidroponía consigue optimizar aquellos factores que afectan directamente al desarrollo de la planta: i) la temperatura -valores elevados, fundamentalmente en épocas secas, resultan poco favorables para el crecimiento de la planta, a consecuencia de la intensa evapotranspiración-, ii) la iluminación artificial que habitualmente acelera el crecimiento, iii) el contenido de humedad, en este sentido es preciso recordar que la mayoría de los cultivos requieren de un aporte regular y suficiente de agua, que a su vez actuará sobre la tasa de transporte de N (nitrógeno) y su traslocación desde la corteza radicular hasta el vástago y iv) por último, un factor fundamental: la concentración y forma química en la que se presentan los diferentes nutrientes. En el apartado anterior **control de nutrición de las plantas** se hacía alusión a la necesidad de un control exhaustivo sobre la acidez del cultivo; en este caso nos centramos en la competitividad -antagonismo- o aprovechamiento -sinergia- de elementos nutritivos; por poner un ejemplo claro, se ha podido comprobar que la presencia de  $K^+$  (catión potasio) favorece la absorción de  $NH_4^+$  (catión amonio), mientras que el molibdeno (absorbido por la planta como  $MoO_4^{2-}$ ) dificulta la absorción de hierro en su forma  $Fe^{2+}$ .

Un ejemplo muy ilustrativo lo encontramos en el nitrógeno; de las formas de N inorgánico (macronutriente esencial) que la planta puede incorporar a su metabolismo el  $NH_4^+$  resulta ser la más tóxica ya que al parecer interrumpe la fotofosforilación cíclica, paso clave en el proceso fotosintético, lo que reduce la capacidad para capturar la energía luminosa. Podríamos pensar que el problema se solucionaría añadiendo el nutriente en forma de  $NO_3^-$ , pero generalmente los

mayores rendimientos se obtienen con el aporte conjunto de las dos formas nitrogenadas. Por tanto lo ideal es lograr un equilibrio entre ambas formas, algo relativamente sencillo de realizar en cultivos hidropónicos.

#### **h. Mayor número de cosechas por año**

El empleo de de la hidroponía favorece un incremento en el número de cosechas al año por área de producción debido, naturalmente, a que no existe necesidad de que transcurra un tiempo limitado de descanso entre cosechas.

#### **i. Sustitución efectiva de suelos agotados o no apropiados.**

En este aspecto, la hidroponía ofrece una alternativa única, ya que se puede aprovechar el espacio de estos suelos no productivos con la posibilidad de duplicar e incluso triplicar el número de cosechas por año.

Fuente: Cahiers Options Méditerranéennes vol. 31, 1999

## **2. En cuanto a sus inconvenientes..**

### **a. Inversiones altas**

De forma general, los cultivos sin suelo requieren inversiones más altas que las necesarias para los cultivos convencionales. Es evidente, que el coste depende del tipo de cultivo sin suelo, del grado de perfección, de las medidas de control del sistema adoptado y de la disponibilidad de los materiales en la zona geográfica en que se ubique. Por esa razón existe bastante diferencia entre los costes de estos cultivos en función del país en que se desarrolle. Asimismo es necesario contar con las inversiones propias para la construcción de invernaderos, contenedores, sistemas de reciclado para la disolución nutritiva, electricidad, agua o aparatos de destilación..

## **b. Mayor conocimiento técnico**

Para que el cultivo sin suelo se desarrolle correctamente, es necesario tener conocimiento sobre la nutrición esencial de las plantas, factores que influyen en su crecimiento, química elemental, familiaridad con los sistemas de control, etc. Es evidente que éstos cultivos requieren de una formación técnica algo más avanzada que los convencionales y por tanto se necesita personal técnico cualificado; no obstante, cabe decir que la familiarización con los cultivos hidropónicos resulta sencilla y atractiva.

## **c. Riesgo de infecciones**

En los sistemas abiertos, el riesgo de infecciones es sensiblemente más bajo que en los cerrados, en los que el exceso del agua drena por las raíces de las plantas. En este caso, si se declara una infección, todas las plantas de la instalación resultarían infectadas.

## **d. Otros**

Existen otras desventajas asociadas a los cultivos sin suelo, como la necesidad de una mayor frecuencia de riego, con el problema añadido de un fallo en el sistema, una mayor necesidad de agua, una mínima reserva de nutrientes -derivada de la incapacidad de algunos sustratos para fijar nutrientes-, dependencia de sustratos que en ocasiones no son locales sino importados y, por último, el riesgo de un mayor impacto ecológico negativo ante un fallo humano o mecánico. No debemos olvidar que el suelo tiene capacidad amortiguadora, pero con los sustratos un error se paga caro.

## **Calidad del agua de riego**

La calidad del agua empleada para los cultivos hidropónicos debe ser la misma que para el consumo humano o animal. Uno de los factores más importante para que los cultivos se desarrollen correctamente es el control cualitativo del agua (Van Assche and Vangheel, 1994); aniones, cationes, pH,

conductividad eléctrica, concentración de nitratos, boro y carbonatos o la salinidad definen claramente la calidad del agua de riego. La demanda de agua tiene una oscilación similar a la temperatura, tanto diariamente como a lo largo del ciclo vegetativo. Cabe señalar que las raíces pierden su capacidad de asimilación, por falta de oxígeno, cuando se encuentran saturadas de agua; si la situación de asfixia se alarga más de 12 horas, esta incapacidad se torna irreversible. En cuanto a la calidad, conviene disponer del análisis de las aguas empleadas durante el verano -la época más salina-, de forma que si nos encontramos con un agua blanda podamos utilizar sulfatos y fosfatos como fertilizantes; en caso contrario, si el agua es dura (exceso de sales calcio y magnesio) el empleo de estos fertilizantes originaría incrustaciones en los canales, siendo imprescindible el uso de sales en disolución de carácter ácido. Respecto a la calidad biológica del agua, conviene recordar que su almacenamiento en estanques, a plena luz, favorece la multiplicación de bacterias y algas.

### **Enfermedades de las plantas en los cultivos sin suelo**

Inicialmente se pensaba que la técnica de los cultivos sin suelo iba a evitar las infecciones que habitualmente ocurrían en los cultivos convencionales. Sin embargo ésto no ha sido así. Al transferir una planta que crece en un suelo y por tanto desarrolla un equilibrio frente a acciones fisico-químicas y biológicas, a un medio donde existe un vacío biológico, se ha incrementado la posibilidad de epidemias (Van Assche and Vangheel, 1989). Por tanto, la mayoría de los agentes patógenos que afectan a la raíz en los cultivos con suelo, existen también en los cultivos sin suelo.

El problema de las enfermedades puede ser diferente o tener distinta extensión en los cultivos sin suelo. Por ejemplo algunos patógenos como Pythium, Phytophthora, cucumber Green Mottle Mosaic Virus y tomato Mosaic Virus que afectan menos a los cultivos tradicionales pero pueden ser importantes en hidroponía. Otro agravante, es la facilidad de transmisión a través de la recirculación del agua. Estos problemas, como sugieren Van Assche y Vangheed

(1994), pueden resolverse optimizando las condiciones de crecimiento de las plantas (incremento del efecto buffer, añadiendo ácidos húmicos o introduciendo bacterias antagonistas dentro del sustrato o el contenedor de aeroponía).

Otra forma de combatir estas infecciones es por medio de productos químicos. Esta técnica debe usarse con mucha precisión, ya que errores en la dosificación de los productos, para el caso de los cultivos sin suelo, es mucho más importante que en los convencionales. Por tanto, es necesario realizar un exhaustivo análisis de la disolución nutritiva (solubilidad, fitotoxicidad). Asimismo, debe medirse el nivel residual de los productos químicos en las plantas y en los frutos. La desinfección de la disolución nutritiva en los sistemas cerrados resulta vital. Los métodos empleados con más frecuencia son: ultrasonidos, ozonificación y radiación UV. Los sustratos reutilizables como la lana de roca y el poliuretano pueden desinfectarse por chorro de vapor entre 100-100°C durante 10 minutos.

En principio, parece razonable suponer que las diferencias en la incidencia de las enfermedades causadas por hongos y bacterias que se desarrollan sobre las plantas cultivadas en un sistema hidropónico serán mínimas con respecto a aquellas que lo hacen sobre los cultivos que crecen en el suelo. No obstante, muchas enfermedades que están ligadas a ciertos desordenes nutritivos o incluso a determinadas condiciones medioambientales, pueden manifestarse con distinta intensidad según el medio en que son cultivadas.

Por ejemplo, si se trabaja con un sistema cerrado, recirculando la solución nutritiva, tenemos menos humedad relativa en el ambiente de la que tendríamos en el mismo invernadero si se cultivara en el suelo.

En general admitiendo que las plantas reciben una nutrición más equilibrada en hidroponía, podemos afirmar que están mejor preparadas frente a la posibilidad de ser infectadas por patógenos que pueden causar daños importantes en horticultura.

Tengamos en cuenta que muchos hongos penetran en la planta sana a través de la cutícula, de heridas o por los estomas. Cuando lo hacen a través de los estomas o directamente atravesando la epidermis, las esporas de estos hongos, una vez que han germinado sobre la superficie del huésped y se han fijado sobre él, desarrollan una clavija en la hifa (tubo de germinación de la espора) que penetra hasta los tejidos situados debajo de la superficie de la epidermis. En algunos casos, esta penetración puede realizarse por simple presión, pero otras veces esta clavija es capaz de producir enzimas que digieren la cutícula. Cuando la cutícula es fuerte o resistente esta penetración no es posible y, salvo que tengamos heridas en la superficie del huésped, la colonización no tiene éxito.

La concentración de asimilados solubles, azúcares y aminoácidos, bajo la epidermis de la planta es un factor que facilita las fases de penetración y crecimiento del parásito. En las hojas, la concentración de asimilados solubles aumenta considerablemente cuando se produce el siguiente tipo de desequilibrios: exceso de nitrógeno y carencias de calcio, potasio o boro.

La actividad de las enzimas que el hongo es capaz de segregar para facilitar la penetración a través de la epidermis de la planta, es fuertemente inhibida por el calcio. Tanto este factor, como la resistencia que ofrece la epidermis a la penetración del parásito, están muy ligados a este elemento que es responsable de la firmeza de la pared celular y de la estructura de los tejidos de la planta

El silicio también tiene efectos inhibidores para el desarrollo de enfermedades. Por ejemplo, el oidio del pepino (Adatia y Besford, 1986; Samuels et al., 1991) y otros hongos (Cherif et al., 1994). A pesar de no estar reconocido como un elemento esencial para la nutrición mineral de las plantas, hay autores que recomiendan añadir silicio en la solución nutritiva. Así, Lynette Morgan recomienda añadir 21 ppm de silicio en la solución nutritiva para melón, pepino y lechuga en forma de silicato potásico. Otros elementos que también se consideran

beneficiosos son el selenio y el cobalto, que al igual que el silicio, pueden encontrarse tanto en el agua como en los fertilizantes minerales en forma de impurezas. Parece necesario investigar más sobre los efectos que estos elementos producen en las plantas y las dosis necesarias que eventualmente habría que incorporar a las soluciones nutritivas.

### **Enfermedades parasitarias causadas por hongos que afectan a la raíz**

Se conocen con el nombre de enfermedades del suelo y, en principio, en un cultivo sin suelo, podemos pensar que, al no estar las plantas en contacto con él, no le afectan. Incluso hay autores que mencionan la ausencia de este tipo de enfermedades como una de las ventajas de los cultivos sin suelo. Desafortunadamente, esto no es exactamente así.

Cuando se emplean como sustratos materiales de origen natural que no sufren procesos que aseguren su desinfección, por ejemplo las turbas, cabe la posibilidad que contengan patógenos. Solamente en el caso de otros materiales que se someten a altas temperaturas, incluso superiores a 1000 °C en el curso de su fabricación, se puede afirmar que están exentos de microorganismos patógenos. Pero esto es únicamente cierto al terminar el proceso de fabricación, ya que, una vez instalados en el campo, se pueden contaminar.

En el caso que se utilicen materiales estériles, la aparición de enfermedades depende exclusivamente de la introducción del patógeno en el sustrato. Pero tengamos en cuenta que una vez que el patógeno está presente, dispone de un medio estéril y por tanto carece de competencia para colonizarlo. De ahí, la importancia que tiene la aplicación de métodos preventivos.

El grado de facilidad o dificultad que encuentra un patógeno para colonizar el medio de cultivo dependerá de varios factores:

- Condiciones del medio. Sanitarias y climatológicas.
- La forma de diseminación del patógeno.
- Sistema hidropónico empleado.
- Según el potencial de infección que representan, podríamos dividir las contaminaciones en dos grandes grupos: puntuales y generales. Las primeras sólo tienen capacidad para afectar a un número reducido de plantas, mientras que las segundas podrían llegar a afectar a todo el cultivo.

Las fuentes de inóculo más comunes son:

- El agua puede producir contaminaciones generales por medio del riego. Cuando las balsas que se utilizan para almacenar el agua de riego no están cubiertas o reciben el agua por medio de canalizaciones abiertas, pueden contaminarse; sobre todo cuando estamos en zonas de altas densidades de cultivo. En Almería, *Pythium* spp. se ha aislado del polvo depositado en los techos de los invernaderos y en el agua almacenada en las balsas de riego (Gómez, 1993). Asimismo, cuando se recoge el agua de lluvia del techo del invernadero para utilizarla en el riego de los cultivos, se corre el riesgo de introducir patógenos en el cultivo. El agua también puede ocasionar contaminaciones puntuales, cuando mediante salpicaduras introducimos el inóculo en un contenedor de cultivo.

- El viento produce contaminaciones puntuales, depositando el inóculo en el medio de cultivo y también generales, depositándolo en la balsa de riego o en el techo de los invernaderos.

- Las labores de poda, recolección y limpieza, realizadas por operarios, cuando no se toman medidas preventivas de desinfección.

- Las herramientas de trabajo

- Las semillas y los semilleros, expidiendo plantas enfermas.

- El suelo de los invernaderos puede ser otra fuente de contaminación. En el caso que contenga patógenos, estos pueden llegar a las plantas sirviéndose de alguna de las fuentes de inóculo mencionadas y colonizar las raíces del cultivo. Un buen ejemplo son los hongos de la especie *Fusarium oxysporum*. Estos hongos pueden mantenerse durante años en los invernaderos, no solamente en el suelo, sino también en los soportes de madera u otros albergues en forma de esporas resistentes (clamidosporas) a las condiciones más adversas y así son capaces de resistir varios años hasta que el medio vuelve a ser favorable para su desarrollo.

### **Enfermedades parasitarias causadas por virus**

Si tenemos en cuenta que las enfermedades causadas por virus en las plantas se transmiten por insectos, contacto, semillas u otros microorganismos, solamente en el caso de aquellas que fueran transmitidas por hongos del suelo cabría esperar algunas diferencias en la manifestación de estas enfermedades con respecto a las que afectan a los cultivos que se desarrollan sobre suelo. Esta diferencia ocurrirá siempre y cuando, mantengamos el sustrato libre de organismos transmisores.

### **Enfermedades no parasitarias**

Son aquellas que se producen en función de la presencia de determinados desordenes fisiológicos y, de la misma forma que sucede con las enfermedades parasitarias, también se ven favorecidas o perjudicadas según sea el medio de cultivo empleado.

Producen síntomas apreciables tanto en la parte aérea como en el sistema radical. Estos últimos se agrupan bajo la denominación común de "perdida de raíz" ("root death"). Normalmente, estos desordenes influyen negativamente en los síntomas de las enfermedades causadas por patógenos y están directamente relacionados con:

- Toxicidad debida a tratamientos fitosanitarios

- Régimen de riego inadecuado. –

Altas concentraciones salinas. –

-Desequilibrios nutritivos, carencias o toxicidades.

- Temperaturas extremas. - pH muy bajos.

También producen diversos problemas en los frutos de las plantas afectadas. Algunos de los más comunes son: "Blotchy ripening" (zonas que no viran a rojo al madurar), "Sunscorch o Sunscald" (golpe de sol), "Blossom end rot" (podredumbre apical), "Hollowness o Boxiness" (fruto hueco) y "Cracking" (presencia de grietas en la piel).

### **Cultivos sin suelo y medio ambiente**

Durante los últimos años se viene mostrando un marcado interés por el medio ambiente, lo que ha facilitado el estudio del impacto ambiental de la actividad agraria sobre la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y de escorrentía. Los cultivos sin suelo presentan unas características diferenciales importantes en comparación con el cultivo en suelo natural, entre ellas cabe citar: a) el control riguroso de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes, especialmente cuando se trabaja en sistemas cerrados y b) la capacidad de acogida de residuos y subproductos para ser utilizados como sustratos de cultivo.

No obstante la industria de los cultivos sin suelo genera una serie de contaminantes procedentes de: a) la lixiviación de los nutrientes, especialmente en sistemas abiertos, a solución perdida, b) el vertido de materiales de desecho, c) la emisión de productos fitosanitarios y gases y d) el consumo extra de energía, consecuencia de los sistemas de calefacción y mantenimiento del nivel higroscópico adecuado, la desinfección del medio de cultivo, etc-

Si nos centramos en el desarrollo de estos cultivos en Europa, podemos decir que Holanda mantiene un área estable de producción durante los últimos cinco años, para vegetales, flores y plantas de ornamentación. Todas las hortalizas (tomates, pepinos, pimientos y berenjenas) han cambiado a cultivos sin suelo cerrados (3.000 ha). Otros vegetales como los rábanos y las lechugas aun se cultivan tradicionalmente (1000 ha). Cultivos de rosas, orquídeas (1000 ha) y plantas de ornamentación (1000 ha) están creciendo en cultivos sin suelo. Esta tendencia se puede observar también en otros 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 cultivan principalmente en sistemas hidropónicos abiertos (Fuente: **Horticultural Engineering** ACESYS IV International Conference, 2001). Se estima que la normativa medioambiental es la principal motivación para adoptar este tipo de cultivos en los países del noroeste de Europa, mientras que en los países de la cuenca mediterránea priman las motivaciones económicas

## Conclusiones

La transición de los cultivos tradicionales a aquellos sin suelo no resulta sencilla para la mayoría de los países mediterráneos. Este cambio trae consigo una serie de problemas añadidos, entre los que podríamos citar un mayor conocimiento técnico por parte de los agricultores o una mejora en las instalaciones existentes.

A continuación se señalan los puntos básicos a tener en cuenta y las mejoras que llevan implícitas:

- Control de los factores climáticos. Se traduce en una mejora tanto de las estructuras como de la eficacia del equipo (control de la temperatura, pH, humedad, ventilación, concentración de CO<sub>2</sub>, intensidad luminosa, etc.).
- Mejora del entorno radicular. Conlleva un control exhaustivo del agua de riego y de la disolución nutritiva que se le suministra a la planta (composición de la disolución nutritiva, equilibrio de nutrientes para evitar antagonismos o sinergias indeseables, pH, temperatura óptima de la disolución y control de gérmenes patógenos (esterilización))
- Formación técnica de los agricultores con el fin de que puedan utilizar los equipos de manera sencilla y aprendan a controlar los parámetros físico-químicos.
- La elección de los sustratos. Hemos visto que la mayoría pueden ser utilizados con un elevado porcentaje de éxito, siempre y cuando mantengan unas excelentes cualidades físicas y químicas y exista un equilibrio agua de riego-disolución nutritiva que garantice un aporte de nutrientes preciso en cada estadio del ciclo vegetativo.
- Respecto a los problemas medioambientales debemos tener muy presente los residuos originados por los materiales utilizados como sustratos. Una excelente solución sería su reutilización aunque los procesos de

degradación, inherentes a algunos, hacen que no siempre sea posible. Asimismo, sería muy interesante limitar los sistemas abiertos dado que el agua sobrante pasa a los acuíferos con la consiguiente contaminación. Por supuesto, un ajuste de la disolución nutritiva a las necesidades metabólicas de la planta, minimiza el riesgo de vertidos, pero en ocasiones existen pérdidas inevitables. Una solución alternativa pasa por la utilización de sistemas cerrados, donde se reutiliza tanto el agua como los nutrientes; en tal caso, debe ajustarse la concentración de elementos nutritivos -no se debe olvidar que la planta ya ha consumido nutrientes previamente- a las necesidades del ciclo.