

## 4

# El medio

Un medio de cultivo sin suelo, tal como el agua, espuma, grava, lana de roca, arena, serrín, turba, perlita, pumita, cáscara de arroz, tejido de poliéster o vermiculita, puede suministrar el oxígeno, agua, nutrientes y soporte para raíces de las plantas tan bien como lo hace el mismo suelo. La solución de nutrientes aportará agua, nutrientes e incluso un oxígeno suplementario. En los capítulos siguientes se expondrá cómo cada uno de los medios de cultivo sin suelo satisface las necesidades de las plantas.

### 4.1. Características del medio

La capacidad de retención del agua por un medio se determina a partir del tamaño de sus retículas, de su forma y de la porosidad. El agua se retiene en la superficie de las partículas y también en el espacio formado por los poros; mientras más pequeñas sean las partículas, estarán más cerca situadas unas de otras y, por tanto, mayor será el espacio de los poros y su superficie, y de aquí que mayor cantidad de agua pueda ser almacenada por éstas. Las partículas con forma regular tienen una mayor superficie que aquéllas que son lisas y redondas y, por tanto, poseen un mayor poder de retención para el agua. El material poroso puede almacenar agua en las mismas partículas; así pues, es muy alto su poder de retención de ésta. Es importante el tener en cuenta que el medio no solamente deberá ser capaz de poseer una buena retención para el agua, sino que también debe poseer un buen drenaje; según esto, deberemos evitar los materiales excepcionalmente finos, para así prevenirnos de una retención excesiva de agua y de una falta de movimiento del oxígeno dentro del medio.

La elección del medio deberemos determinarla según disponibilidades de éste, coste, calidad y el tipo de método de cultivo hidropónico que va a ser empleado. Un sistema hidropónico de subirrigación con grava puede usar un material relativamente grande, mientras que un sistema hidropónico en grava, pero con el riego por aspersión, deberá usar un material mucho más fino (ver capítulo 7). El medio no deberá contener ningún material tóxico. El serrín, por ejemplo, contiene a menudo una gran cantidad de

cloruro sódico, puesto que es frecuente que los troncos hayan permanecido en agua con sal por un largo período de tiempo. Así pues, deberemos testar el contenido en sales y, si aparece alguna cantidad apreciable de cloruro sódico, será necesario lavar el serrín con agua potable. Tanto la grava como la arena, si son de origen calcáreo, deberán ser evitadas, puesto que estos materiales tienen un alto contenido de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), el cual pasará desde el medio a la solución de nutrientes, obteniéndose de esta forma un pH muy elevado. Este incremento de la alcalinidad frena la absorción del hierro, causando la deficiencia de éste en las plantas; así pues, estos materiales deberán ser tratados con anterioridad a su uso lavándolos en agua, en ácido, o bien introduciéndolos en una solución de fosfato. Esto tendrá efecto de solución tampón en los iones carbonatos. No obstante, este procedimiento es solamente un remedio a corto plazo y, normalmente, tendrán lugar más adelante problemas nutricionales. Estos problemas hacen que el cultivo en grava y en algunas arenas sea muy difícil, tal es lo que ocurre en el Caribe, donde los materiales son todos de origen calcáreo. La mejor grava o arena será siempre aquella de origen ígneo (volcánico).

El medio deberá ser suficientemente duro en orden a poder durar bastante tiempo. Los agregados muy blandos que puedan desintegrarse fácilmente deberán evitarse, ya que pierden rápidamente su estructura y el tamaño de sus partículas va disminuyendo, lo cual trae como resultado una compactación que produce una pobre aireación de las raíces. Así pues, los agregados de origen granítico serán los mejores, especialmente aquellos que tienen un alto contenido de cuarzo, calcita y feldespato. Si va a instalarse un sistema de cultivo hidropónico, deberemos evitar las partículas que tengan bordes muy agudos, pues el viento, al moverlas, puede causar daños en los tallos de las plantas y en la corona de la raíz, siendo esto motivo no solamente de daños, sino como una puerta de entrada para muchos parásitos de las plantas. Si nos vemos obligados a utilizar un medio relativamente cortante, las primeras dos pulgadas (5 cm) de la superficie de este medio deberán consistir en otro medio mucho más suave, de forma que la parte donde la mayoría de las plantas efectúan su desarrollo esté protegida de la erosión.

Tanto la grava volcánica como la arena del mismo origen tienen muy poca influencia en el pH de la solución de nutrientes; no es así cuando utilizamos material calcáreo, pues éste tampona el pH de la solución de nutrientes a partir de 7,5. El tratamiento con soluciones fosfatadas puede llevar el pH hasta 6,8 (ver capítulo 7).

#### 4.2. Características del agua

La calidad del agua es de gran importancia en los cultivos hidropónicos. El agua con un contenido de cloruro sódico de 50 ppm o aún mayor no es aconsejable para poder obtener un desarrollo óptimo de las plantas. Conforme el contenido en cloruro sódico se va elevando, el desarrollo o crecimiento de las plantas va disminuyendo, muriendo, por último, las plantas cuando se alcanzan estos niveles en dicho cloruro. Además del contenido en cloruro sódico, deberá considerarse a la vez la cantidad total de solutos que se encuentran disueltos en la solución de nutrientes. La dureza del agua es una medida del contenido en ion carbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Como ya antes se ha mencionado, conforme aumenta la dureza (pH incrementa), ciertos iones, como, por ejemplo, el hierro, quedan bloqueados. En particular, las aguas subalveas que yacen en estratos calcáreos y de piedra dolomítica pueden contener altos niveles de carbonato cálcico y

hayan permanecido en agua con os testar el contenido en sales y, co, será necesario lavar el serrín de origen calcáreo, deberán ser contenido de carbonato cálcico nutrientes, obteniéndose de esta nidad frena la absorción del hie- ues, estos materiales deberán ser en ácido, o bien introduciéndolos ón tampón en los iones carbona- remedio a corto plazo y, normal- ales. Estos problemas hacen que alto, tal es lo que ocurre en el reo. La mejor grava o arena será

a poder durar bastante tiempo. fácilmente deberán evitarse, ya sus partículas va disminuyendo, induce una pobre aireación de las erán los mejores, especialmente a y feldespato. Si va a instalarse as partículas que tengan bordes daños en los tallos de las plantas mente de daños, sino como una Si nos vemos obligados a utilizar pulgadas (5 cm) de la superficie más suave, de forma que la parte esté protegida de la erosión.

origen tienen muy poca influen- do utilizamos material calcáreo, a partir de 7.5. El tratamiento con capítulo 7).

cultivos hidropónicos. El agua mayor no es aconsejable para informe el contenido en cloruro de las plantas va disminuyendo, estos niveles en dicho cloruro. derarse a la vez la cantidad total de nutrientes. La dureza del agua. Como ya antes se ha mencio- certos iones, como, por ejemplo, subalveas que yacen en estratos niveles de carbonato cálcico y

magnésico, los cuales a veces pueden ser mayores que los niveles normales que se usan en la solución de nutrientes.

Las aguas duras contienen sales de calcio y magnesio. Normalmente, dichas aguas tienen niveles aceptables para ser utilizadas en el cultivo hidropónico, pues tanto el calcio como el magnesio son elementos esenciales en la preparación de los nutrientes y, ordinariamente, la cantidad de ellos que se encuentra presente en las aguas duras es mucho menor que las que suelen usarse en dichas soluciones. La mayoría de las aguas duras contienen el calcio y el magnesio como carbonatos o sulfatos. Mientras que el ion sulfato es un nutriente esencial, el carbonato no lo es; no obstante, en bajas concentraciones, el carbonato no daña a las plantas. En efecto, algunos carbonatos y/o bicarbonatos del agua ayudan a estabilizar el pH de la solución de nutrientes. El carbonato o bicarbonato encontrado en la mayoría de las aguas provoca que el pH suba o permanezca elevado. Con la presencia de estos iones, el pH se resiste a bajar. Este efecto estabilizador se llama «capacidad tampón». Smith (1987) aconseja aprovecharse de esta acción tampón sobre el pH manteniendo los niveles de carbonato/bicarbonato aproximadamente en 30-50 ppm, que son suficientes para prevenir fluctuaciones repentinas del pH. Con aguas muy puras, que tienen poco o ningún carbonato o bicarbonato, sugiere que se debe añadir algún carbonato o bicarbonato potásico para obtener estos niveles que mejoran la capacidad tampón. Antes de utilizar cualquier tipo de agua es necesario efectuar un análisis de ésta, al menos para ver su contenido en calcio, magnesio, hierro, carbonato, sulfato y cloruro. Si está siendo planeado un cultivo hidropónico comercial, el agua que vayamos a utilizar deberá analizarse con relación a todos los elementos, tanto los considerados mayores como los menores. Una vez que el nivel de cada uno de los iones haya sido determinado deberemos añadir a la solución de nutrientes la diferencia que corresponda a la cantidad que deberá utilizarse de cada uno de ellos. Por ejemplo, en muchos casos, la concentración de magnesio en los pozos de agua potable es tan alta que no es necesario añadir dicho elemento a la solución de nutrientes.

Normalmente, las sales disueltas se van acumulando en el agua que se está utilizando, al ir añadiendo a ésta el agua que contiene la solución de nutrientes; así pues, es necesario cambiar dicha agua de forma periódica para evitar este exceso y poder disponer siempre de los niveles óptimos de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

La concentración de sales en una solución de nutrientes se debe especificar en términos de ppm, milimolar (mM) y miliequivalentes por litro (meq/l). Las partes por millón, como ya mencionamos en el capítulo 3, consisten en el número de unidades de peso de la sal que se encuentran en cada millón de partes de la solución. La unidad milimolar de concentración considera el peso molecular de la sustancia. Un mol de una sustancia es un peso en gramos numéricamente igual al peso molecular y comúnmente se llama a éste peso molecular en gramos. Una solución con una concentración monomolar es aquella que tiene un mol de la sustancia disuelta en un litro de la solución, mientras que una concentración será milimolar si es 1/1.000 de la concentración molar anteriormente indicada, y podríamos especificarla como la cantidad de un mol en 1.000 litros de solución.

Ambas soluciones ( $\text{KNO}_3$  y  $\text{KCl}$ ) tendrían el mismo número de iones de potasio, y los iones de cloruro de una de las soluciones tendrían el mismo número de los de nitrato de la otra. En la absorción de los nutrientes, la concentración de éstos, y no el peso del elemento o ion, es lo que realmente tiene importancia.

## CULTIVOS HIDROPONICOS

Cuando en un compuesto están presentes iones bivalentes, es siempre mejor el utilizar las medidas en miliequivalentes por litro. Los miliequivalentes por litro son semejantes a las unidades milimolares, pero tienen la ventaja de utilizar los equivalentes en gramo, en vez del peso en gramo de la molécula. El equivalente en gramos se puede definir como el peso molecular en gramos dividido por la valencia (número de cargas del ion). El equivalente gramo de una sal como KCl, la cual está formada por dos iones monovalentes ( $K^+$ ,  $Cl^-$ ), es numéricamente el mismo que el molar, pero donde existan iones bivalentes ( $SO_4^{2-}$ ), como en el sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), un equivalente gramo contendría numéricamente sólo la mitad de un molar. Estas dos soluciones de  $K_2SO_4$  y KCl, teniendo la misma concentración por litro de miliequivalentes, tendrían, no obstante, la misma concentración de iones potasio, pero la mitad de iones sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) que de iones cloruro ( $Cl^-$ ).

El miliequivalente por litro (ml/l) es el método más usado para expresar los constituyentes mayores del agua, siendo una medida del equivalente químico de un ion.

La concentración total de una solución de nutrientes, teniendo como base de dicha función el agua, se suele especificar algunas veces en términos de su presión o potencial osmótico. Es ésta una medida de la capacidad o actividad del agua. La presión osmótica que existe normalmente entre las células determina la dirección en la cual se irá moviendo el agua. La presión osmótica es proporcional al número de partículas de soluto que se encuentra en la solución, y depende principalmente del número de iones por unidad de volumen de material inorgánico. La presión osmótica suele darse normalmente en unidades de atmósfera, donde una atmósfera (atm) equivale a 14,7 libras por pulgada cuadrada.

En resumen:

$$1 \text{ molar (M)} = (M) = \frac{M \cdot W}{11}$$

p. ej.:  $KNO_3$

M.W. = 101

$$1 M = \frac{101 \text{ g}}{11}$$

p. ej.: KCl

M.W. = 74,6

$$1 M = \frac{74,6 \text{ g}}{11}$$

$$1 \text{ milimolar (mM)} = \frac{M \cdot W}{1.000 \text{ l}}$$

p. ej.:  $KNO_3$

$$1 mM = \frac{101 \text{ g}}{1.000 \text{ l}}$$

$$10 mM = \frac{1.010 \text{ g}}{1.000 \text{ l}}$$

valentes, es siempre mejor el utilizar equivalentes por litro son semejante de utilizar los equivalentes en equivalente en gramos se puede ver la valencia (número de cargas a cual está formada por dos iones que el molar, pero donde existan  $K_2SO_4$ ), un equivalente gramo. Estas dos soluciones de  $K_2SO_4$  y miliequivalentes, tendrían, no obstante la mitad de iones sulfato ( $SO_4^{2-}$ )

se usó para expresar los constituyentes químico de un ion. Estos, teniendo como base de dicha términos de su presión o potencia actividad del agua. La presión determina la dirección en la cual se refiere al número de partículas de principalmente del número de iones presión osmótica suele darse normalmente (atm) equivale a 14,7 libras por

p. ej.: KCl

$$1 \text{ mM} = \frac{74,6 \text{ g}}{1.000 \text{ l}} \quad 10 \text{ mM} = \frac{746 \text{ g}}{1.000 \text{ l}}$$

donde: M.W. = Peso molecular del compuesto.

$$1 \text{ equivalente (Eq)} = \frac{\text{M.W.}}{\text{Valencia}} \quad \text{e j.: } K_2SO_4; \text{ M.W.} = 174,3 \\ \text{Valencia} = 2$$

$$1 \text{ Eq. W.} = \frac{174,3}{2} = 87,5$$

$$1 \text{ miliequivalente (me)} = \frac{\text{Eq}}{1.000} \quad \text{e j.: } K_2SO_4; \frac{87,15}{1.000} = 0,08715$$

$$1 \text{ miliequivalente/l (me/l)} = \frac{\text{me}}{1 \text{ l}} = \frac{\text{Eq}}{1.000 \text{ l}}$$

$$1 \text{ me/l} = \frac{\text{pmm}}{\text{Eq}}; \text{ ej.: } 1000 \text{ ppm de } SO_4^{2-}; \text{ el equivalente } SO_4^{2-} \text{ es: } \frac{96}{2} = 48$$

$$\text{me/l} = \frac{100}{48} = 2,08$$

El uso de las aguas salinas para la obtención de cosechas en cultivo hidropónico ha sido investigada por muchos científicos (Víctor, 1973; Schwarz, 1968). Las posibilidades de usar agua salina de 3.000 ppm de sales totales fue investigada por Schwarz (1968). La tolerancia a las sales de las diversas variedades, el grado de desarrollo, la adición de aquellos nutrientes que no se encuentran en dicha agua y la frecuencia de los riegos son algunos de los factores que deberán considerarse al utilizar agua salina. La concentración expresada por 0,4 atm de presión osmótica fue recomendada como la mejor en las plantas de tomate en las áreas tropicales (Steiner, 1968).

Aguas salinas son aquellas que contienen cloruro sódico. Las aguas con un alto contenido salino pueden ser utilizadas en los cultivos hidropónicos, pero deberemos tener en cuenta un gran número de puntos importantes. Las plantas que pueden desarrollarse en dichas aguas están limitadas a aquellas denominadas como tolerantes a sales y moderadamente tolerantes a las sales, tales como los claveles, tomates, pepinos y lechugas. Incluso en las especies que sean tolerantes a las sales, algunas variedades pueden ser más tolerantes que otras, siendo de gran interés que los cultivadores efectúen sus propios ensayos con el material varietal que van a utilizar para determinar cuáles son las variedades más tolerantes a las sales.

La tolerancia a las sales depende también del momento de desarrollo de la planta. Los pepinos, sin estar desarrollados completamente, pueden adaptarse de forma gradual a las condiciones salinas; Schwarz (1968) demostró que los pepinos que empiezan a crecer en condiciones de aguas no salinas pueden irse regando con soluciones que

vayan incrementando su salinidad de forma gradual hasta que alcancen el nivel deseado; mientras más jóvenes son las plantas, más fácil es su adaptación a las condiciones salinas. Schwarz (1968) comprobó que los tomates y pepinos generalmente tardan cerca de un 20 por 100 más en germinar cuando se utilizan aguas salinas que cuando las condiciones de desarrollo son las de ninguna salinidad.

Según las especies y variedades que utilicemos, así como de la salinidad de la solución, puede reducirse la cosecha entre un 10 y un 25 por 100, si esta última es elevada. Schwarz (1968) informó cómo se había producido una reducción de la cosecha de un 10 a un 15 por 100 en tomates y lechugas, y de un 20 a 25 por 100 en pepinos, cuando éstos se desarrollaban en agua que contenía 3.000 ppm de salinidad.

La concentración total de solutos (presión osmótica máxima), al causar una reducción de la absorción de agua, será responsable del efecto de inhibición del crecimiento de las plantas en las soluciones salinas. Schwarz (1968) encontró que las presiones osmóticas extremadamente altas (por encima de 10 atm) durante cortos períodos de tiempo son menos peligrosas que las causadas durante largos períodos de tiempo con presiones moderadamente altas (4-5 atm). Los síntomas de toxicidad por sal son principalmente: una parada general en el crecimiento de la planta, hojas pequeñas y de color verde muy oscuro, quemaduras en los bordes de las plantas y, por último, un azulado o blanqueado del tejido de la planta. La salinidad puede inhibir la absorción de algunos iones. Concentraciones muy altas de sulfatos dan lugar a la absorción del sodio (causando la toxicidad por sodio); una disminución de la absorción de calcio, dando lugar a deficiencias (especialmente en las lechugas), y una interferencia con la absorción del potasio. Altas concentraciones de calcio en la solución de nutrientes afectan también la absorción del potasio. Altos contenidos en sales totales se piensa que pueden afectar la absorción del calcio, dando lugar a los síntomas denominados como «blossom-end-rot» en los tomates. Las condiciones salinas reducen la disponibilidad de ciertos microelementos; así pues, será precisa la adición de éstos. Además de la toxicidad causada por los cloruros y el sodio, la toxicidad motivada por el boro es relativamente frecuente en algunas aguas salinas. Schwarz (1968) informó que las aguas salinas tienen un efecto ligeramente favorable en los pepinos y tomates, dándoles un sabor un poco más dulce que aquellos que crecen en soluciones de agua potable. Los cogollos de las lechugas son generalmente más sólidos y los claveles tienen una mayor duración. Las plantas cultivadas en soluciones salinas tienen, aparentemente, una mayor tolerancia para el zinc y para el cobre, dando lugar a que niveles que podrían considerarse tóxicos de zinc y de cobre puedan alcanzarse en dichas soluciones sin causar ningún daño.

#### 4.3. Riego

La frecuencia de los ciclos de riego depende de la naturaleza de la planta, del estado de desarrollo de la planta, de las condiciones climáticas (invernaderos) —particularmente intensidad lumínica, longitud del día y temperaturas— y del tipo de medio de cultivo.

Las plantas más suculentas, con abundancia de hojas, requieren un riego más frecuente, pues pierden agua rápidamente a través de la evapotranspiración de sus hojas. Cuanto mayor sea el área foliar, más aguas consumirán. Cuando las plantas maduran, produciendo una gran cubierta de hojas y desarrollando el fruto, sus demandas de agua aumentan.

que alcancen el nivel de adaptación a las condiciones generalmente tardan más salinas que cuando las

de la salinidad de la solución, si esta última es elevada. Cantidad de la cosecha de un 10 por 100 en pepinos, cuando la salinidad.

(salina), al causar una reducción inhibición del crecimiento se encontró que las presiones durante cortos períodos de los períodos de tiempo con toxicidad por sal son principales hojas pequeñas y de color amarillo, por último, un azulado o marrón. La absorción de algunos nutrientes afectan también la absorción del sodio (causando déficit de calcio, dando lugar a una competencia con la absorción del sodio). Los nutrientes afectan también la salud de las plantas que pueden afectar la floración como «blossom-end-rot» y toxicidad de ciertos microelementos. La toxicidad causada por el sodio es relativamente frecuente en las salinas y tienen un efecto sabor un poco más dulce que los cogollos de las lechugas por duración. Las plantas tienen mayor tolerancia para el zinc que se considera tóxicos de zinc sin ningún daño.

raíz de la planta, del estado (celdas) —particularmente de medio de cultivo. Se requieren un riego más frecuente y una inspiración de sus hojas. Cuando las plantas maduran, sus demandas de agua

En condiciones de invernadero de alta intensidad lumínica, generalmente acompañada de elevadas temperaturas, especialmente durante los meses de verano, la tasa de evaporación de las plantas se incrementa grandemente, y como resultado la absorción de agua aumenta también significativamente. Como se ha señalado en el capítulo 3, en el apartado «Conservación del volumen de la solución», los investigadores han encontrado que una planta madura de pepino puede absorber hasta 230 ml de agua por hora durante las condiciones del mediodía.

La retención de agua del medio es un factor a tener en cuenta al determinar la frecuencia y la duración del riego. Los medios más finos, como la turba, espuma o lana de roca, retendrán más humedad que los más gruesos, como el serrín, perlita, vermiculita, arena o grava. Un sistema de cultivo en agua, como la técnica de flujo laminar de nutrientes (NFT), tiene que fluir continuamente para suministrar el agua necesaria. En este caso, sólo la capa de raíces de la planta contiene una pequeña cantidad de humedad residual, si se interrumpe el flujo de la solución. Los medios de cultivo gruesos pueden necesitar una frecuencia de un riego cada hora durante el día, mientras que un medio más fino, como la turba, podría precisar solamente uno o dos riegos por día en condiciones similares.

La frecuencia y la duración de los ciclos de riego son importantes. La frecuencia de los ciclos tiene que ser suficiente para impedir cualquier déficit de agua en las plantas entre los ciclos, pero éstos tienen que ser lo suficientemente largos para proporcionar un adecuado drenaje del medio, de forma que haya una apropiada oxigenación de las raíces de la planta. Sin embargo, la podredumbre de las raíces provocada por enfermedades, plagas o falta de oxígeno, puede causar también marchitamientos, por lo que la salud de las raíces se debe examinar siempre que se presenten estos marchitamientos. Las raíces sanas aparecerán blancas, fuertes y fibrosas. No se debe observar ningún ennegrecimiento de las partes o puntas de las raíces.

La duración de cualquier ciclo de riego dado tiene que ser suficiente para proporcionar un adecuado filtrado del medio. Con algunos medios más finos, como la espuma o la lana de roca, se necesita un 20 a 30 por 100 más de agua para que se puedan evacuar los nutrientes excesivos a través del substrato. Si no se hace esto, se formarán niveles de sal, causando un retraso en el crecimiento o incluso una toxicidad en las plantas. En los siguientes capítulos se darán detalles más específicos para cada tipo de cultivo hidropónico.

#### 4.4. Bombeo de la solución de nutrientes en las bancadas de cultivo

Como ya se ha indicado, la solución de nutrientes deberá proveer de agua, nutrientes y oxígeno a las plantas. La frecuencia de los riegos dependerá de la naturaleza del medio, del desarrollo de la cosecha y de las condiciones climáticas. Para suministrar a las plantas todo aquello que necesitan es importante obtener la mayor eficiencia durante cada uno de los ciclos de riego; así pues, la solución deberá mojar el lecho de las plantas uniformemente y el drenaje ser completo y rápido, de forma que el oxígeno esté a disposición de las raíces de éstas.

En los capítulos que se dedican a cada uno de los sistemas de cultivos sin suelo se comentan con más detalle los datos para la frecuencia del bombeo y, por tanto, del riego; de todas formas, cualquiera que sea el sistema, el agua no deberá permanecer en

el medio durante todo el tiempo. Los espacios de aire entre las partículas deberán poder llenarse con aire húmedo, no con agua, para de esta forma poder mantener la concentración de oxígeno a través de las raíces a un nivel alto. En la mayoría de los sistemas, los riegos deberán efectuarse solamente durante las horas de luz, con solamente varias o ninguna hora por la noche (dependiendo del medio de cultivo).

Los niveles ideales de humedad en el medio pueden mantenerse a través de un sistema automático; dicho sistema dispone de un medio de medida para la humedad, tal como un tensiómetro, que se debe colocar en el medio. Dicho aparato está conectado a un circuito eléctrico, el cual activa a una válvula o bomba que riega las plantas cuando la humedad baja de un nivel preestablecido, de esta forma las plantas siempre se mantienen bajo las condiciones óptimas de humedad, que podemos mantener dentro de una diferencia muy pequeña en la variación del tensiómetro.

En los cultivos de invernadero, la temperatura de la solución de nutrientes en contacto con las raíces nunca deberá ser inferior a la temperatura del aire en el recinto. En el tanque de nutrientes pueden colocarse calentadores por inmersión, pero debemos tener mucho cuidado de no usar elementos como el plomo, que puedan reaccionar electroquímicamente en la solución de nutrientes y dejar libre una cantidad de iones que pueda ser tóxica. Podrían utilizarse lámparas de calor en vez de calentadores por inmersión; en general, la solución de nutrientes deberá mantenerse entre 60°-65°F (15,5°-18°C).

Recientes experiencias han demostrado que calentando las soluciones de nutrientes se pueden bajar las temperaturas del aire para ahorrar calefacción en los invernaderos.

Algunas cosechas, como, por ejemplo, los tomates, crecen mejor si la temperatura del medio en que se encuentran las raíces se mantiene por encima de la temperatura media del aire durante las noches de la estación de invierno. En ningún caso deberán colocarse líneas eléctricas de calefacción o cables en el mismo lecho de las bancadas, ya que la colocación de estos cables o calentadores daría lugar a altas temperaturas alrededor de ellos, lo cual dañaría las raíces más próximas y también podría dar toxicidad por plomo si fuera utilizado dicho tipo de cables.

#### 4.5. Esterilización del medio de cultivo

Cuando las cosechas se cultivan durante períodos muy grandes de tiempo, sea cual fuere el medio de cultivo, se acumulan una serie de microorganismos patógenos en dicho medio y se eleva la posibilidad de que aparezca una enfermedad en cada una de las cosechas sucesivas; y, si bien puede ser posible cultivar un gran número de cosechas sucesivamente sin necesidad de esterilización entre ellas, es recomendable, no obstante, para obtener los mejores resultados del medio, el aplicar una esterilización entre cada una de ellas, para evitar cualquier posibilidad de transmitir las enfermedades de unas a otras. Los medios más frecuentes de esterilización son el vapor y los tratamientos químicos.

Si la calefacción de un invernadero está suministrada por una caldera central para agua caliente o vapor, la esterilización por vapor será la más económica; colocando un sistema de obtención de calor en la caldera, que, por medio de tuberías, llevará dicho vapor a los invernaderos, en los que se colocarán sistemas de salida en cada una de las bancadas. Una línea de vapor se extenderá por debajo del centro de cada uno de los lechos de las bancadas y se cubrirá con lonas o cualquier otro material resistente,

entre las partículas deberán poder a poder mantener la concentración la mayoría de los sistemas, los de luz, con solamente varias o cultivo).

mantenerse a través de un sistema para la humedad, tal Dicho aparato está conectado a una que riega las plantas cuando las plantas siempre se mantendrán dentro de una

solución de nutrientes en concentración del aire en el recinto. En por inmersión, pero debemos que, puedan reaccionar electrica cantidad de iones que pueda de calentadores por inmersión; entre 60°-65°F (15,5°-18°C). bido las soluciones de nutrientes efacción en los invernaderos. crecen mejor si la temperatura por encima de la temperatura exterior. En ningún caso deberán el mismo lecho de las bancadas, lugar a altas temperaturas alrededor también podría dar toxicidad

uy grandes de tiempo, sea cuales microorganismos patógenos en una enfermedad en cada una de un gran número de cosechas es recomendable, no obstante, una esterilización entre cada las enfermedades de unas a vapor y los tratamientos químicos.

da por una caldera central para la más económica; colocando un medio de tuberías, llevará sistemas de salida en cada una bajo del centro de cada uno de cualquier otro material resistente,

inyectando entonces el vapor a través de toda la longitud a una temperatura que deberá alcanzar los 180° F (82°C), al menos durante una hora. La superficie tratada por el vapor será desinfectada de forma efectiva hasta la profundidad de ocho pulgadas (20 cm) en las bancadas de serrín, pero solamente tendrá efectividad hasta cuatro pulgadas (10 cm) en el caso de que tengamos una mezcla en la proporción del 3:1 de arena y serrín. En aquellos puntos donde la aplicación de vapor en superficie no sea efectiva, se puede instalar una distribución permanente de dicho vapor, colocando una tubería rígida perforada en el fondo de cada una de las bancadas, a través de la cual se pueda introducir éste.

Algunos productos químicos pueden también utilizarse en lugar del vapor para la esterilización; no obstante, deberemos tener muy en cuenta que alguno de estos productos químicos, particularmente la cloropicrina y el bromuro de metilo, son muy tóxicos para los seres humanos y deberán aplicarse solamente por aquellas personas que estén entrenadas y tengan permiso para su uso. En cualquier caso deberán seguirse todas las precauciones que estén colocadas en las etiquetas.

El formaldehido es muy buen fungicida, pero no tiene buen resultado para matar insectos o nematodos. En su aplicación suele emplearse una mezcla de un galón (3,785 litros) de producto comercial de formalina (40 por 100 de pureza) con 50 galones (189 litros) de agua, aportando al medio de dos a cuatro cuartos de galón por pie cuadrado (20,4-40,7 litros por metro cuadrado). El área total deberá ser cubierta inmediatamente por un material que impida el paso del aire, al menos durante veinticuatro horas; a partir del momento del tratamiento deberemos esperar al menos dos semanas para que se seque el medio antes de plantar.

La cloropicrina se aplica como medio líquido, usando un inyector, el cual colocará de 2 a 4 ml dentro de unos boquetes de 3 a 6 pulgadas (8-15 cm) de profundidad, separados de 9 a 12 pulgadas (23-30 cm); o bien puede aplicarse en la cantidad de 5 ml por pie cúbico (5 ml por 0,0283 metros cúbicos) del medio. La cloropicrina pasa a gas en el momento de penetrar en el medio; este gas deberá retenerse por medio de una aspersión de toda la superficie con agua y, además, cubriendo ésta con cualquier material impermeable, al menos durante tres días. Antes de la plantación deberemos esperar al menos siete a diez días para una total aireación del producto. La cloropicrina es efectiva contra los nematodos, insectos y algunas semillas de malas hierbas, *Verticillium* y la mayoría de los hongos resistentes. Deberá tenerse muy en cuenta que el vapor de la cloropicrina es muy tóxico para el tejido de las plantas.

El bromuro de metilo matará la mayoría de los nematodos, insectos, semillas de malas hierbas y algunos hongos, pero no tendrá ningún efecto contra el *Verticillium*. Se inyecta a razón de 1 a 4 libras por 100 pies cuadrados (0,454-1,818 kg por 9,3 metros cuadrados), aplicándolo a través de una copa que se coloca sobre el medio a ser tratado, y que a su vez está cubierta por plástico; dicha cubierta deberá mantenerse sellada al menos durante cuarenta y ocho horas. Los sistemas de inyección que se utilizan son bombonas de alta presión, de las que salen tubos a alta presión que dispersan bajo la cubierta de plástico el gas a lo largo de toda la bancada. La penetración de este gas es muy buena, extendiéndose normalmente a una profundidad de 12 pulgadas (30,5 cm).

Existen preparados que contienen una mezcla de bromuro de metilo y cloropicrina; estas combinaciones son efectivas para controlar las malas hierbas, los insectos, nematodos y hongos. Despues de su aplicación es preciso esperar de diez a catorce días para obtener una buena aireación.

El Vapam, un fumigante soluble en agua, matará las malas hierbas, así como la mayoría de los hongos y nematodos. Se aplica extendiéndolo sobre la superficie del medio, bien a través de un sistema de riego o por medio de un equipo de inyecciones, en cantidad de un cuarto (0,95 l) de Vapam en 2 a 3 galones (7,6 a 11,4 l) de agua, que deberá ser repartida uniformemente sobre 100 pies cuadrados (9,3 metros cuadrados) de la superficie. Después de la aplicación deberá aplicarse un sellado de agua adicional, pudiendo efectuarse la plantación dos semanas después de la aplicación.

En los sistemas que utilizan el cultivo en grava pueden utilizarse como desinfectantes el hipoclorito cálcico o sódico, o bien el ácido clorhídrico, que se usa normalmente en las piscinas. Puede emplearse una concentración de 10.000 ppm de cloruro en el tanque de bombeo, y las bancadas deberán ser tratadas al menos media hora, de forma que queden completamente humedecidas. A continuación deberemos lavar con agua fresca hasta que estemos completamente seguros de que no queda ningún resto de cloruro que pueda dañar la plantación. De esta forma, un proceso completo de esterilización puede efectuarse en un corto período de tiempo. Después de cuatro o cinco años de utilizar este método se aconseja quitar toda la arena de las bancadas y limpiar de éstas todos los restos de raíces.

## Referencias

- CHAPMAN, H. D., y PRATT, P. F.: *Methods of analysis for soils, plants, and waters*. Univ. of Calif. Div. of Calif. Div. of Agr. Sc., 1961.  
SCHWARZ, M.: *Guide to commercial hydroponics*. Jerusalem: Israel Univ. Press, 1968.  
SMITH, D. L.: *Rockwool in horticulture*. London: Grower Books, 1987.  
STEINER, A. A.: «Soilless culture». *Proc. 6th Coll. Int. Potsh Inst.* Florence, 324-41, 1968.  
VICTOR, R. S.: «Growing tomatoes using calcareous gravel and neutral gravel with high saline water in the Bahamas». *Proc. 3rd Intern. Congr. on Soilles Culture*. Sasari, Italy, 213-17, May 7-12, 1973.  
WITHROW, R. B., y WITHROW, A. P.: *Nutriculture*. Lafayette, Ind.: Purdue Univ. Agr. Expt. Stn. Publ. S. C., 328, 1948.