

# 8

## Cultivo en arena

### 8.1. Introducción

El cultivo en arena fue el método hidropónico más comúnmente utilizado en zonas del mundo que tienen abundancia de arena, habiéndose adaptado particularmente bien a zonas desérticas como las existentes en el Medio Oriente y norte de África. Sin embargo, actualmente los sistemas NFT y de cultivo en lana de roca están sustituyendo a los cultivos en arena, debido a su capacidad para recircular la solución nutritiva y poder controlar automáticamente la nutrición gracias al uso de ordenadores.

Puesto que la alta calidad del agua es rara en la mayoría de estos sitios desérticos, para tener éxito es imperativo alguna forma de purificación a través de la destilación o de la inversión por ósmosis. Desde el punto de vista económico, son esenciales los sistemas de recirculación hidropónica que utilizan eficientemente al agua purificada.

Algunas de las mayores instalaciones de cultivo en arena han sido:

- *Superior Farming Company*, Tucson, Arizona (11 acres) (4,4 hectáreas) (fig. 8.1).
- *Quechan Environmental Farms*, Fort Yuma Indian Reservation, California (5 acres) (2 hectáreas).
- *Kharg Environmental Farms*, Kharg Island, Irán (2 acres) (0,8 hectáreas) (fig. 8.2).
- *Arid Lands Research Institute*, Sadiyat, Abu Dhabi, Emiratos Arabes Unidos (5 acres) (2 hectáreas) (fig. 8.3).
- *Sun Valley Hydroponics*, Fabens, Texas (10 acres) (4 hectáreas).

El Environmental Research Laboratory, una rama de la Universidad de Arizona, ha colaborado en muchos de estos proyectos, habiendo desarrollado los cultivos en arena en esta zona. En 1966, el laboratorio comenzó un proyecto piloto en Puerto Peñasco, México, para probar la posibilidad de cultivo en arena y establecer más tarde centros comerciales en el suroeste de Estados Unidos y en el Medio Oriente, basados en la experiencia conseguida en dicho proyecto.

CULTIVOS HIDROPONICOS

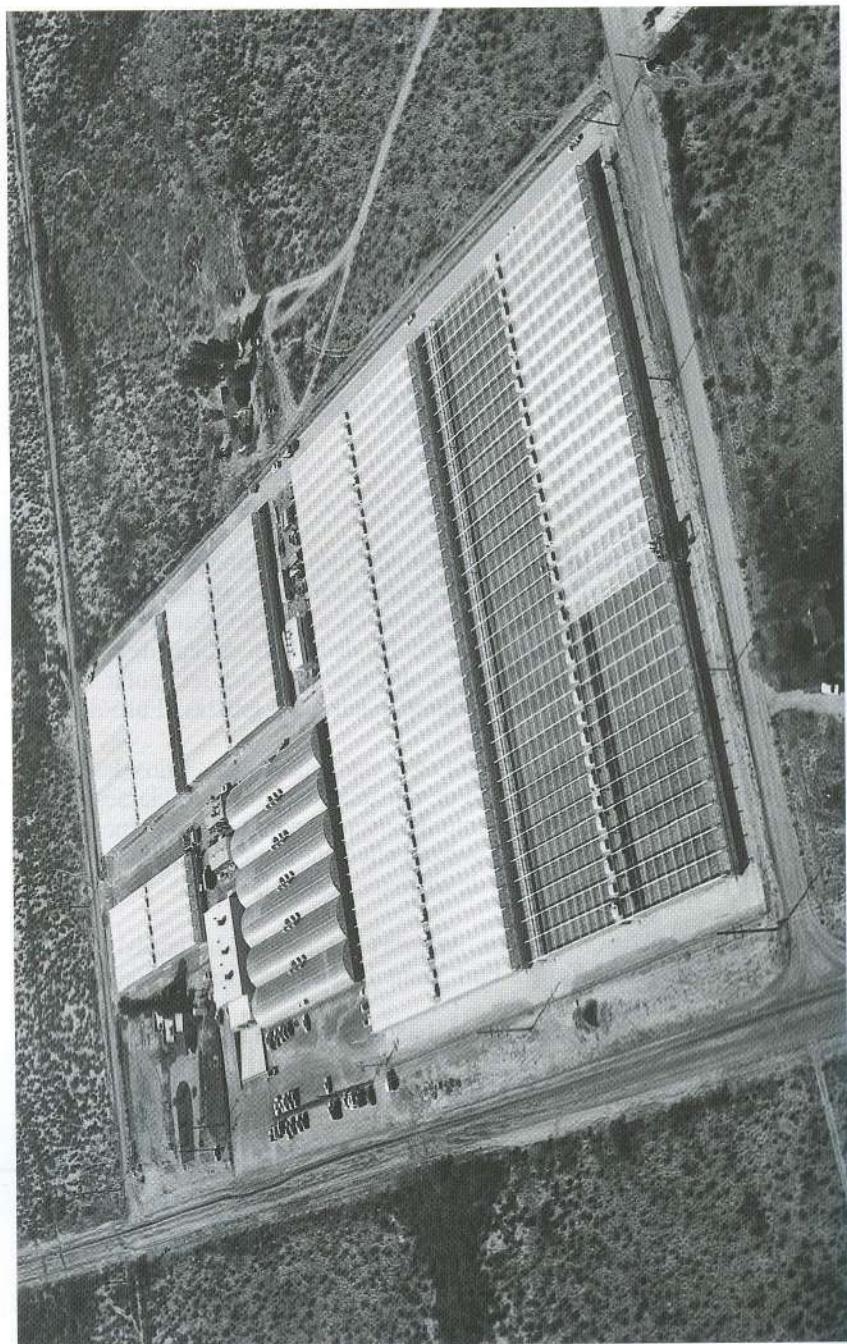


Fig. 8.1. Vista aérea de un complejo de 11 acres de invernaderos con cultivo en arena, de la Superior Farming Company, Tucson, Arizona. Cuando se hizo la fotografía, los invernaderos inflados por aire, en primer plano, estaban siendo cubiertos con polietileno. (Cortesía de Superior Farming Company, the Environmental Research Laboratory and Manley, Inc., Tucson, Arizona).



Fig. 8.1. Vista aérea de un complejo de 11 acres de invernaderos con cultivo en arena, de la Superior Farming Company, Tucson, Arizona. Cuando se hizo la fotografía, los invernaderos inflados por aire, en primer plano, estaban siendo cubiertos con polietileno. (Cortesía de Superior Farming Company, the Environmental Research Laboratory and Manley, Inc., Tucson, Arizona).

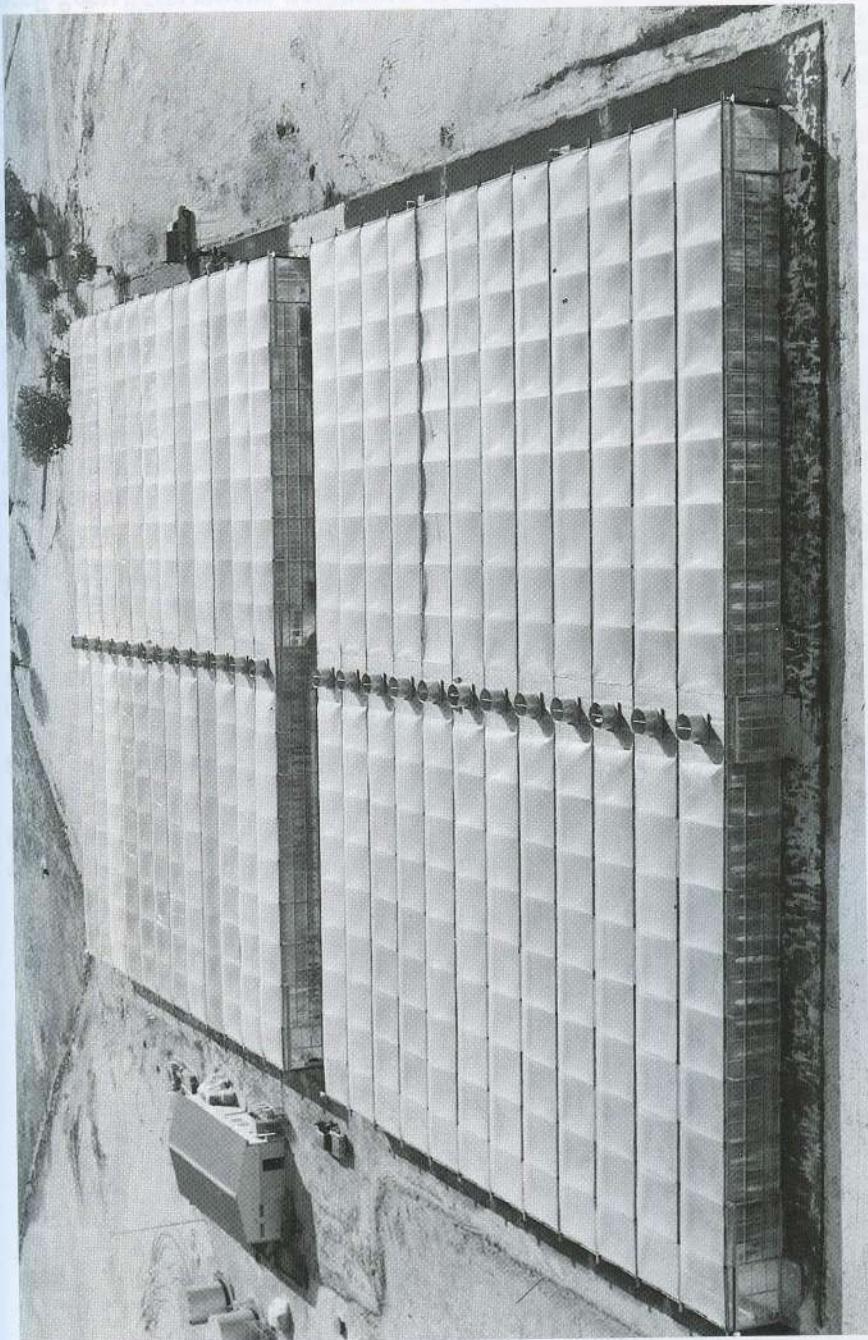


Fig. 8.2. Vista aérea de un complejo de 2 acres de invernaderos con cultivo en arena en la isla de Kharg, Irán. (Cortesía de The Environmental Research Laboratory and Manley, Inc., Tucson, Arizona).

CULTIVOS HIDROPONICOS

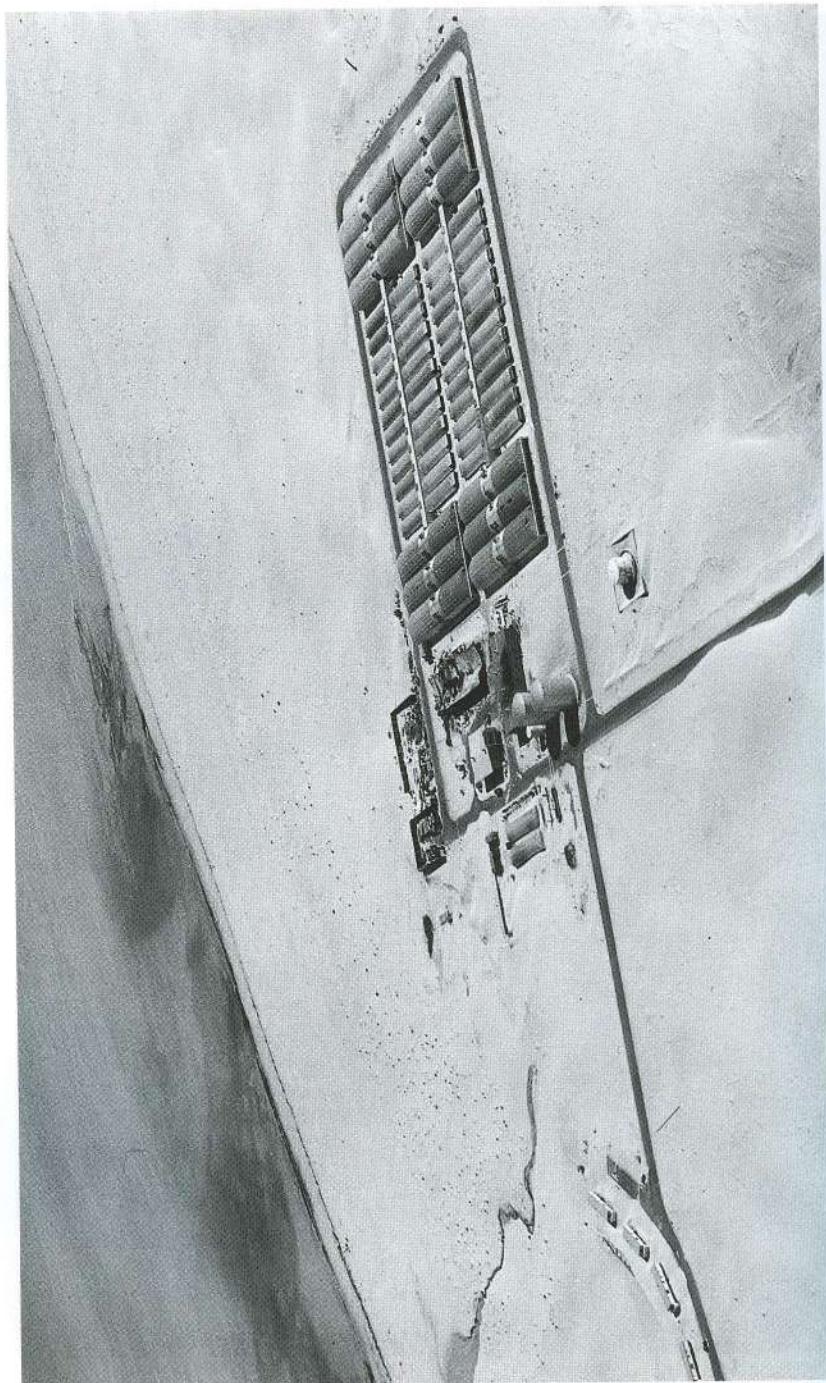


Fig. 8.3. Vista aérea de un complejo de 5 acres de invernaderos en Abu-Dhabi. Obsérvense las dunas estériles y la proximidad del mar desde donde se desalinizaba el agua para usarla en los cultivos de invernadero. Cuando se tomó la fotografía, un fuego había causado daños a las instalaciones de envasado, en la parte trasera de los invernaderos. (Cortesía del gobierno de Abu-Dhabi, The Environmental Research Laboratory, Tucson, Arizona, Y Gulf Aviation, Bahrain).

## 8.2. Características del medio de cultivo

En México y en los países del Medio Oriente, donde los proyectos de invernadero se establecieron en la costa, la arena normal de playa fue la utilizada como medio de cultivo. Una vez que dicho medio (arena) estuvo lavada y libre de los excesos de sales, se procedió bien a la siembra directa, bien al trasplante. En el suroeste de USA se utiliza arena lavada de río, procurando que no sea la arena usada para mortero, puesto que ésta es demasiado fina y suele sedimentarse formando barros, originados por la vibración de la arena al paso del agua desde la superficie, motivados por la existencia de un alto porcentaje de limo y arena fina. El agregado a utilizar deberá lavarse para dejarlo libre del limo más fino y arcilla. Deberá también estar relativamente libre de partículas mayores de 1/16 pulgada (2 mm) de diámetro o menores de 1/40 de pulgada (0,6 mm). Una arena para cultivo cernida propiamente deberá drenar con facilidad y no embarrarse fácilmente después de un riego con gran cantidad de agua.

Deberán evitarse los agregados blandos y con tendencia a desintegrarse; no obstante, es imposible evitar el uso de estas partículas en la zona donde solamente existe arena caliza. En estos casos deberá efectuarse diariamente la adición de nutrientes y el ajuste de pH, como ya se ha tratado en el capítulo 7.

## 8.3. Detalles de construcción

Dos métodos de utilización de la arena como medio de cultivo han sido probados satisfactoriamente. En uno de ellos se utilizan bancadas cubiertas de plástico, mientras que en el segundo se extiende la arena sobre la totalidad de la superficie del invernadero.

### 8.3.1. Bancadas forradas de plástico

Las bancadas de cultivo pueden construirse según se ve en la figura 8.4 y se describió para el cultivo en grava en el capítulo 7, por medio de unas trincheras paralelas abiertas en el suelo del invernadero con paredes de madera que sobresalgan de éste y

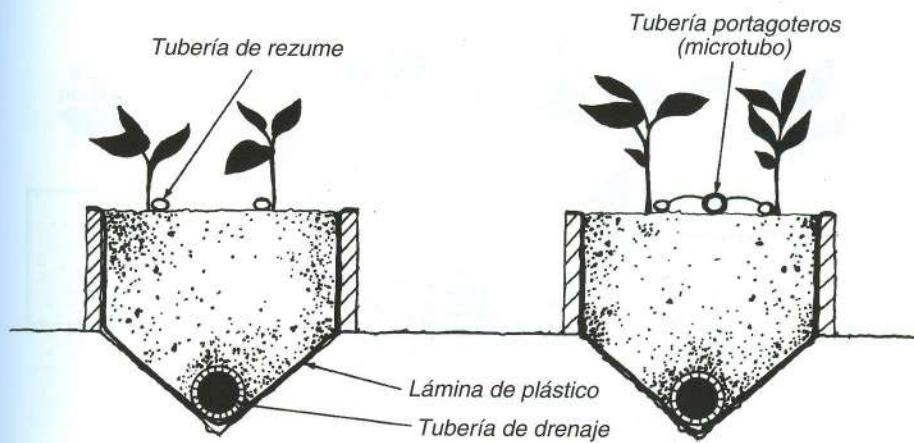


Fig. 8.4. Sección de una bancada de cultivo en arena.

Fig. 8.3. Vista aérea de un complejo de 5 acres de invernaderos en Abu-Dhabi. Obsérvense las dunas estériles y la proximidad del mar desde donde se desalinizaba el agua para usarla en los cultivos de invernadero. Cuando se tomó la fotografía, un fuego había causado daños a las instalaciones de envasado, en la parte trasera de los invernaderos. (Cortesía del gobierno de Abu-Dhabi, The Environmental Research Laboratory, Tucson, Arizona, y Gulf Aviation, Bahrain).

## CULTIVOS HIDROPONICOS

forradas con plástico en todo su interior, pudiendo utilizarse polietileno negro de 6 milésimas de pulgada, aunque es preferible el vinilo de 20 milésimas de pulgada. El fondo de la trinchera deberá tener una ligera pendiente de 6 pulgadas (15 cm) por cada 200 pies (61 metros), que nos permita el drenaje o lavado si fuera necesario.

La tubería de drenaje deberá estar colocada en el fondo a todo lo largo de la bancada. Una tubería de 2 pulgadas (5 cm) de diámetro es suficientemente ancha, puesto que en el cultivo en arena solamente se drena el sobrante de la solución (aproximadamente el 10 por 100 de lo añadido). Las tuberías de drenaje de todas las bancadas deberán conectarse a otra terminal que lleve los excesos de agua de todas las bancadas fuera del invernadero.

De forma semejante al cultivo en grava, los boquetes de drenaje deberán cortarse transversalmente con una sierra, a un tercio aproximadamente y a lo largo de la tubería dada 18 pulgadas (46 cm). Los cortes deberán estar contra el fondo de la bancada para evitar que las raíces de las plantas entren por ellos. También, al igual que el cultivo en grava, uno de los terminales de cada una de las tuberías deberá encontrarse sobre el suelo de forma que podamos utilizar un cortarraíces para limpiar las tuberías. Una alternativa a la instalación de estas tuberías de drenaje, que es muy laboriosa, es comprar la tubería de drenaje, de plástico negro enrollable, en un proveedor de riego. Esta tubería de drenaje está previamente agujereada.

El ancho de las bancadas podrá ser de 24-30 pulgadas (61 a 76 cm) y la profundidad de 12 a 16 pulgadas (30,5 a 40,6 cm). El fondo de éstas podrá ser plano, circular o en forma de «V», llevando siempre en el centro la tubería de drenaje.

Otra forma alternativa de construir estas bancadas podría consistir en construir unas trincheras con dos alambres tensados a ambos lados y a dos pulgadas (5 cm) del suelo, de forma que al introducir en ellos un tubo de polietileno de 6 milésimas de pulgada se forme una doble capa entre la arena del medio y el suelo (fig. 8.5).

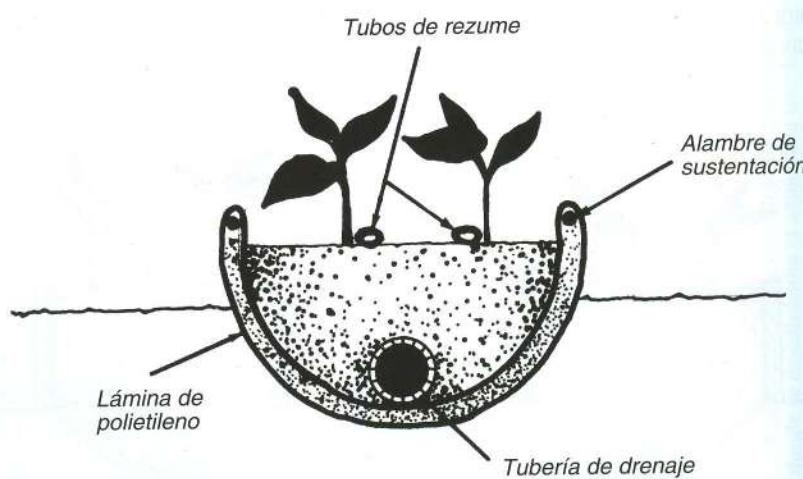


Fig. 8.5. Sección de una bancada utilizando soportes de alambre.

arse polietileno negro de 6 milésimas de pulgada. El 6 pulgadas (15 cm) por cada 1 fuera necesario.

o a todo lo largo de la ban-  
ficientemente ancha, puesto  
de la solución (aproximada-  
de todas las bancadas debe-  
de todas las bancadas fuera

de drenaje deberán cortarse  
nte y a lo largo de la tubería  
el fondo de la bancada para  
n, al igual que el cultivo en  
deberá encontrarse sobre el  
mpiar las tuberías. Una alter-  
uy laboriosa, es comprar la  
edor de riego. Esta tubería

(61 a 76 cm) y la profundidad  
s podrá ser plano, circular o  
e drenaje.  
odría consistir en construir  
a dos pulgadas (5 cm) del  
eno de 6 milésimas de pul-  
uelo (fig. 8.5).

La elevación de los bordes de la bancada sobre el nivel del suelo evitara que entre en la arena la tierra de los pasillos. Los lados de la trinchera y los alambres soportarán conjuntamente los lados de la bancada de polietileno, reemplazando la madera, que es normalmente muy cara en la mayoría de las regiones desérticas.

### 8.3.2. Suelo de invernadero cubierto con polietileno

Los costes de construcción pueden reducirse en aquellas zonas donde la madera es muy cara o difícil de obtener, cubriendo el suelo del invernadero con polietileno negro de 6 milésimas de pulgada y llenando éste con 12 ó 16 pulgadas (30,5 a 40,6 cm) de arena. El suelo deberá tener una ligera pendiente de 6 pulgadas (15 cm) por cada 100 pies (30,5 metros), de forma que la superficie pueda drenarse o lavarse cuando sea necesario, normalmente pueden utilizarse dos capas de plástico de 6 milésimas de pulgada para cubrir la totalidad del suelo.

Antes de colocar el polietileno, el suelo deberá ser nivelado y refinado, superponiéndose algunos pies (0,6 metros) las láminas de polietileno cuando sea preciso utilizar más de una a causa de la anchura del invernadero. Las tuberías de drenaje, de 1/4 a 2 pulgadas (3,1 a 5 cm) de diámetro, se colocarán a continuación directamente sobre el polietileno, separadas entre sí uniformemente de 4 a 6 pies (1,2 a 1,8 metros), según la naturaleza de la arena.

Mientras más finas sean las partículas, más cerca deberemos colocar las tuberías de drenaje, las cuales deberán ir paralelas a todo lo largo de las bancadas, uniéndose al final en la parte más baja de la pendiente a una tubería colectora que las corta transversalmente. El agua del drenaje puede ir a un depósito exterior y reutilizarse en otros cultivos. Los cortes de la tubería de drenaje se pueden efectuar tal como se ha indicado en el apartado anterior, colocándose la arena sobre las tuberías de drenaje, hasta una altura de 12 pulgadas (30,5 cm), una vez que éstas están bien distribuidas sobre la totalidad de la superficie (figs. 8.6 a 8.8).

Si la arena del cultivo tuviese menos de 12 pulgadas (30,5 cm) de altura, existirían bastantes probabilidades de que la humedad no fuera uniforme y las raíces tenderían a

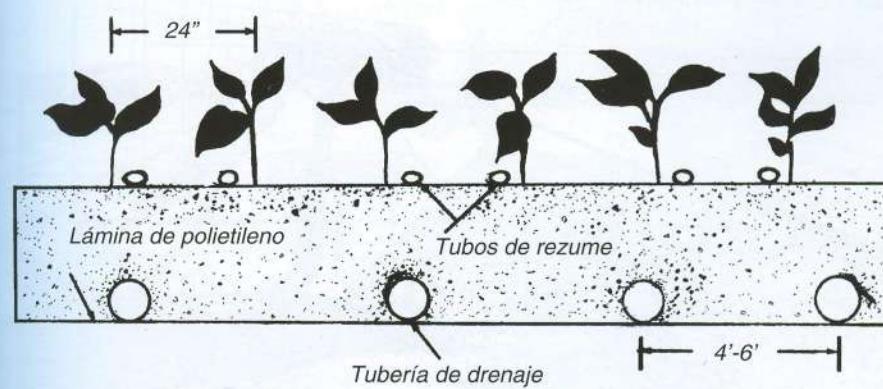


Fig. 8.6. Sección de un suelo de invernadero diseñado para cultivo en arena.

## CULTIVOS HIDROPONICOS



Fig. 8.7. Fondo de polietileno y tuberías de drenaje. (Cortesía de Superior Farming Company and the Environmental Research Laboratory, Tucson, Arizona).

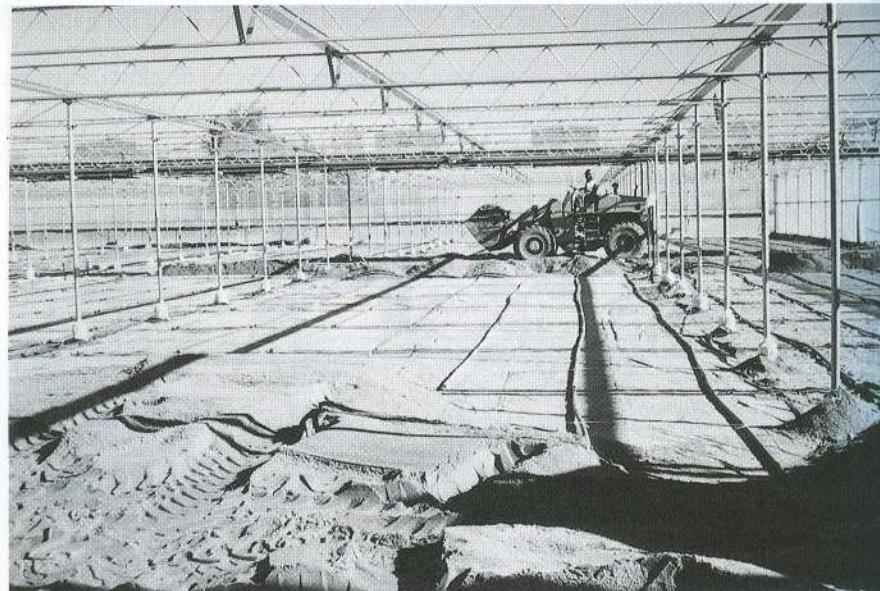


Fig. 8.8. Relleno con 12 pulgadas de arena. (Cortesía de Superior Farming Company and the Environmental Research Laboratory, Tucson, Arizona).



Cortesía de Superior Farming Company, Tucson, Arizona).



Superior Farming Company  
Tucson, Arizona).

crecer dentro de las tuberías de drenaje. La superficie de las bancadas deberá estar nivelada con la misma pendiente que el suelo de éstas.

#### 8.4. Riego por goteo

La técnica del riego por goteo deberá utilizarse en el cultivo en arena, y los excedentes de la solución de nutrientes (aproximadamente el 10 por 100 de lo aplicado) no deben ser reciclados. Un sistema de este tipo se denomina «abierto», ya que es opuesto al sistema de reciclado o «cerrado» del cultivo en grava. El sistema de goteo alimenta cada planta directamente, bien por medio de un microtubo, bien por goteros o tubos de rezume (fig. 8.9). Si se utiliza el sistema Chapin Twin-Wall de rezume, se recomienda distanciar éstos unas 4 pulgadas (10 cm).

Cuando la superficie de la bancada esté a nivel, casi sin pendiente, la longitud de las tuberías no deberá sobrepasar los 50 pies (15 metros) y, si la pendiente llegase a las 6 pulgadas (15 cm), esta longitud podría llegar a los 100 pies (30,5 metros), con el correspondiente tubo distribuidor en el extremo más elevado.

En las bancadas a nivel, la tubería de distribución puede correr por el centro de una bancada de 100 pies (30,5 metros) de longitud, con líneas de 50 pies (15 metros) a ambos lados. El objetivo de un sistema de riego por goteo deberá ser siempre la aplicación uniforme de agua a las plantas con un nivel óptimo.



Fig. 8.9. Instalación de las tuberías de rezume en un sistema automático de riego.  
(Cortesía de Superior Farming Company and the Environmental Research Laboratory, Tucson, Arizona).

#### 8.4.1. Planificación de un sistema de riego por goteo

Se dividirá el invernadero, en primer lugar, en partes iguales de cultivo o en secciones individuales de invernaderos. El sistema de riego se planificará, a continuación, de forma que cada una de las zonas o secciones puedan ser regadas independientemente (fig. 8.10) y que el bombeo de cada una de ellas sea capaz de distribuir de 1,6 a 2,40 galones (6 a 9 litros) por minuto por cada 1.000 pies cuadrados (93 metros cuadrados), o bien, de 8 a 12 galones (30 a 45 litros) por minuto por cada 5.000 pies cuadrados (465 metros cuadrados) de cultivo.

El número y duración de cada uno de los ciclos de riego estará en función del tipo de cultivo, su madurez, condiciones ambientales y la hora del día. En cualquier caso se recomienda la utilización de un sistema de tensiómetro de forma que no se pierda por percolación más del 8 al 10 por 100 de la solución de nutrientes aplicada en cada uno de los ciclos. Esto puede conseguirse controlando la cantidad de agua que fluye en la tubería de distribución y la que sale a la de drenaje.

El volumen de agua que puede entrar a cada una de las secciones del invernadero deberá regularse por medio de una válvula de caudal, que estará calculada para controlar las necesidades de agua que se estiman para cada una de dichas secciones. Estas válvulas

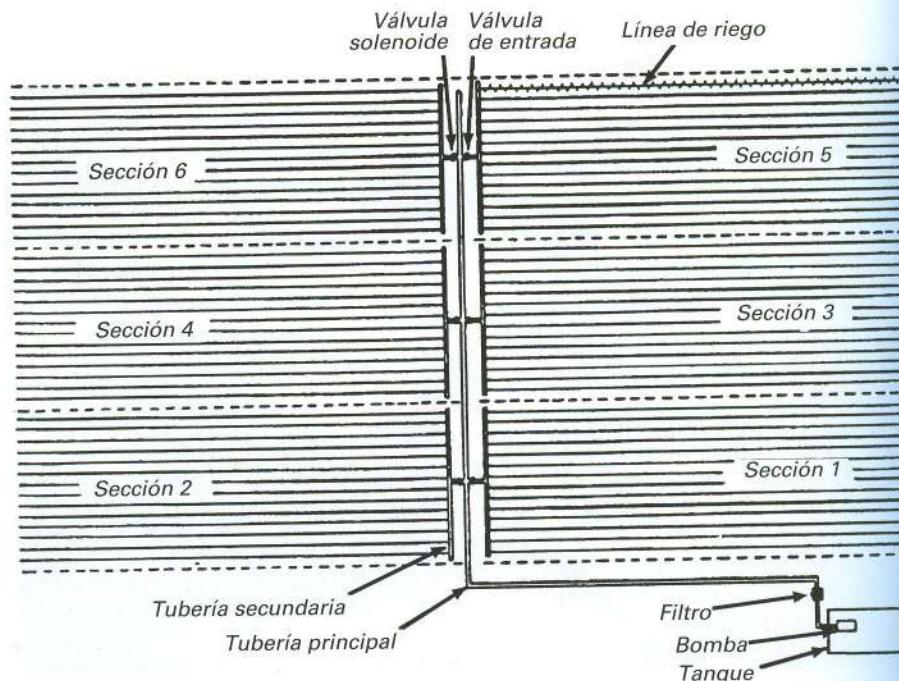


Fig. 8.10. Sistema típico de riego por goteo para secciones de invernadero, que pueden ser regadas automáticamente de forma independiente.

## CULTIVO EN ARENA

se comercializan con 1 a 2 galones (3,8 y 7,6 litros) por minuto de escala según tamaños y se pueden acoplar a tuberías de 3/4 a 1 pulgada (1,9 y 2,5 cm). La válvula deberá colocarse en la zona de entrada de agua cerca de la válvula solenoide que controla automáticamente el ciclo de riego. Si bien es precisa una presión de 15 libras por pulgada cuadrada (103,5 kiloPascal o kPa) en el agua de riego para que funcionen adecuadamente la mayoría de las válvulas de control, para una mayor seguridad la presión del agua en la tubería principal deberá situarse entre las 20 y 40 libras por pulgada cuadrada (138 y 276 kPa).

Las válvulas de control de caudal aseguran una cantidad constante de agua y reducen la presión en el sistema de riego, consiguiendo de 2 a 4 libras por pulgada cuadrada (13,8 a 27,6 kPa) en las tuberías portagoteros, que es la más adecuada para los denominados de baja presión.

La tubería principal deberá ser de PVC de 2 a 3 pulgadas (5 a 7,5 cm) de diámetro, según el área de la mayor de las secciones a regar en una sola vez. Al no tenerse que regar todas las secciones al mismo tiempo, la capacidad en volumen de dicha tubería deberá satisfacer lo exigido por el mayor de los riegos. Las tuberías de reparto deberán ser de 1 pulgada (2,5 cm) de diámetro de PVC, en secciones de 5.000 pies cuadrados (465 metros cuadrados) de invernadero. Superficies mayores necesitarán mayores diámetros.

Las líneas secundarias están unidas a la principal con una «T» por el centro, para dividir de esta forma el agua por igual (fig. 8.10). Una válvula de entrada, con una válvula solenoide en la conexión entre la tubería principal y la secundaria, hace funcionar el ciclo de riego. A partir de estas líneas salen las tuberías de 1/2 pulgada de polietileno negro a lo largo de cada fila de plantas. Los goteros van colocados en estas tuberías al pie de cada planta (fig. 8.11). Las tuberías laterales usadas para ello suelen ser de polietileno flexible (normalmente de 80-90 libras por pulgada cuadrada). Cuando se utilizan goteros manufacturados, una tubería de 1/2 pulgada proporcionará la misma distribución de agua uniformemente a lo largo de los 100 a 150 pies (30,5 a 46 metros) que pueda tener el invernadero.

La mayoría de los goteros pueden dar de 1/2 a 3 galones (2 a 11 litros) por hora, según la presión del agua en la tubería lateral; un sistema de riego por goteo en invernadero deberá estar diseñado de forma que los goteros emitan de 1 a 1 1/2 galones (4 a 6 litros) por hora.

Si bien los microtubos son más económicos que los goteros manufacturados, también es precisa más mano de obra para su instalación y mantenimiento. Las tuberías perforadas se instalan más fácilmente, pero son menos duraderas (normalmente deben reemplazarse con cada cosecha).

Goteros, tuberías y conexiones deberán ser negros para evitar que las algas puedan crecer dentro del sistema de tuberías.

El agua deberá filtrarse antes de llegar al sistema de goteros. Filtros del tipo y conteniendo mallas al menos de 100 espacios por pulgada lineal, y equipados con sistemas de limpieza por inversión, deberán instalarse con los filtros de arena y las válvulas de flotación. El (los) filtro (s) deberá (n) colocarse en la cabecera de la línea principal, a continuación del inyector de fertilizantes, siendo también aconsejable el instalar otro antes de dicho inyector.

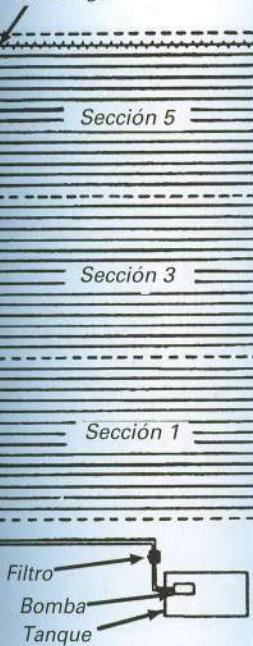
El inyector de fertilizantes proporciona automáticamente en cada ciclo de riego las cantidades de éstos calculadas previamente. Los tipos disponibles más frecuentemente en el comercio son los inyectores de bomba, los Venturi y los dosificadores por flujo intermitente (fig. 8.12).

iguales de cultivo o en sección planificará, a continuación, de regadas independientemente paz de distribuir de 1,6 a 2,40 cuadrados (93 metros cuadrados), cada 5.000 pies cuadrados (465

riegos estará en función del tipo de día. En cualquier caso se de forma que no se pierda porrientes aplicada en cada uno de la agua que fluye en la tube-

las secciones del invernadero estará calculada para controlar dichas secciones. Estas válvulas

Línea de riego



es de invernadero, que pueden independiente.

## CULTIVOS HIDROPONICOS

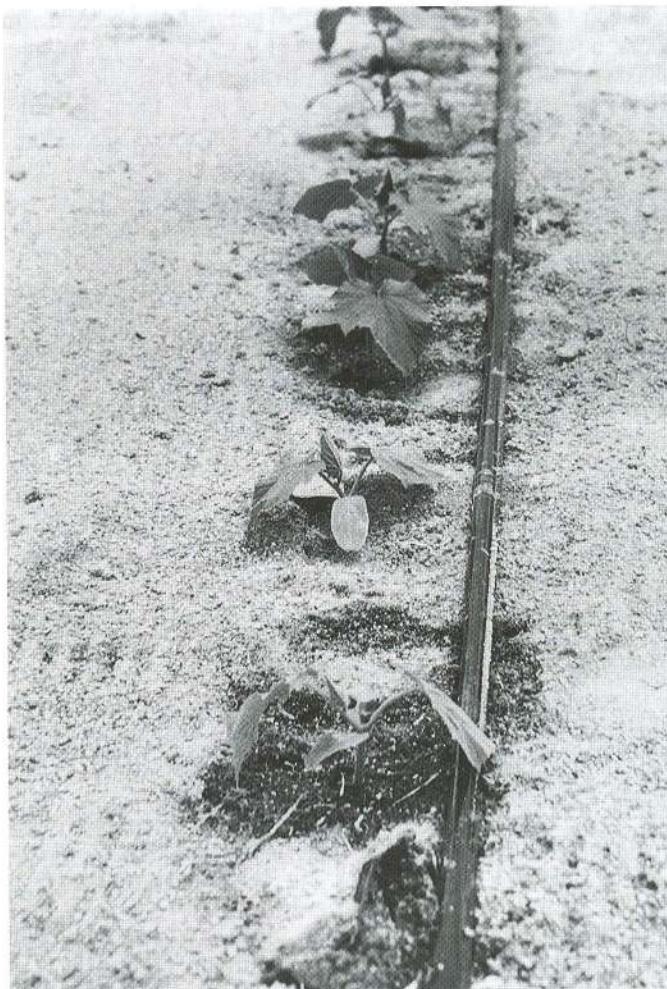


Fig. 8.11. Colocación de los tubos de rezume junto a los pepinos. (Cortesía de Superior Farming Company, Tucson, Arizona).

Fi

Si  
ción,  
dos so  
otra co  
sulfato

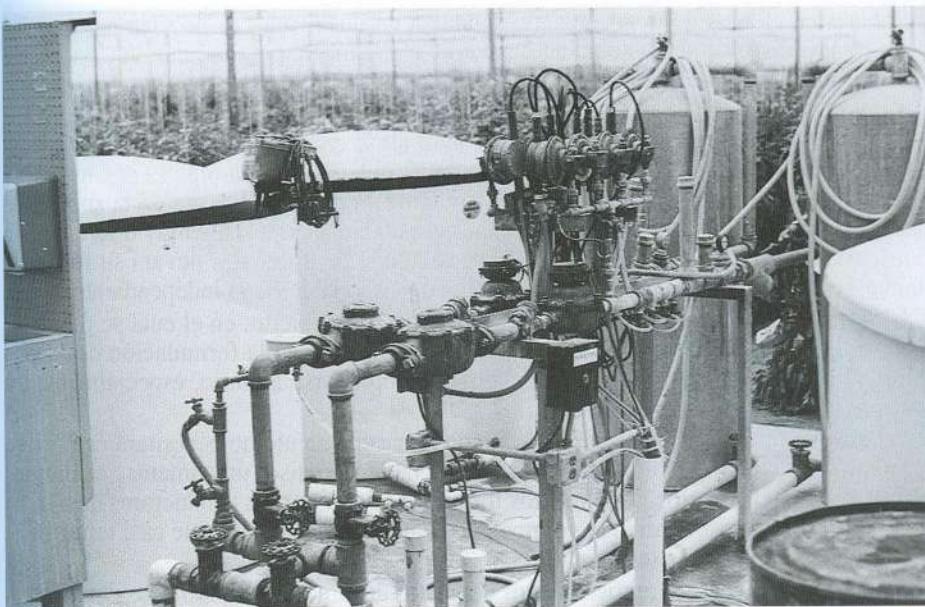
El  
cabeza  
de agu  
inicial  
dos so

## 8.5.

Como alternativa, la solución de nutrientes puede ser bombeada al sistema de goteo directamente desde un gran depósito de almacenamiento, siendo muchos los cultivadores que prefieren este método, puesto que conocen previamente la formulación de la solución y no existen posibles errores o roturas en los inyectores. No obstante, los fabricantes de grupos inyectores aseguran que sus productos son mucho más exactos.

Todos los riegos deberán controlarse con programadores de tiempo o con tensímetros en el sistema de alimentación, como ya se ha descrito. Estos controlarán las válvulas solenoides y así la activación del inyector de fertilizantes o bomba del depósito permitirá regar solamente una sección del invernadero.

S  
veces  
anterio  
8 a un  
una m  
alcanz  
piarla  
pueden  
pias p



**Fig. 8.12.** Distribuidor automático de fertilizantes por inyección utilizado por la Superior Farming Company, Tucson, Arizona.

Si se utiliza arena calcárea deberá incrementarse la cantidad de quelatos en la solución, como ya se ha explicado. En caso de utilizar dosificadores, deberán prepararse dos soluciones distintas; en una se añadirá el nitrato cálcico y la solución de hierro, y la otra contendrá el sulfato de magnesio, el fosfato monopotásico, el nitrato potásico, el sulfato potásico y los micronutrientes.

El dosificador deberá ser del tipo de dos cabezas; por ejemplo, si cada una de las cabezas inyecta un galón (3,785 litros) de la solución en cada 200 galones (757 litros) de agua aportada a las plantas, la concentración final de la solución será 200 veces la inicial, o sea, la proporción 1:200. Dos fabricantes de dosificadores en los Estados Unidos son Anderson y Smith.

### 8.5. Riego

Si se utiliza un programador horario, los cultivos deberán regarse de dos a cinco veces por día, según la edad de las plantas, clima y época del año. Como ya se ha indicado anteriormente, se deberá aportar el agua suficiente como para que la percolación sea de un 8 a un 10 por 100 del agua exigida por las plantas. Dos veces por semana se deberá tomar una muestra del agua drenada para conocer las sales totales disueltas. Si el total de ellas alcanza las 2.000 ppm, la totalidad de la bancada deberá lavarse con agua pura para limpiarla de sales. No obstante, si no hay sales extrañas presentes, como las de sodio, se puede proceder al riego del cultivo con agua pura durante varios días, hasta que las propias plantas bajen el nivel de éstas hasta un punto en el cual se puedan volver a añadir

os. (Cortesía de Superior

nutrientes en el agua de riego. Cuando se utiliza un dosificador se deberán analizar las sales totales disueltas en la solución dos veces por semana, para asegurarnos de que el inyector funciona adecuadamente. También deberán comprobarse si cada una de las bombas inyectoras están aportando la cantidad prevista de solución en el agua de riego.

Si se utiliza un depósito de nutrientes para almacenar la solución de fertilizantes, deberá ser lo suficientemente grande como para contener el agua precisa por los cultivos durante una semana; no obstante, el tamaño dependerá realmente de la superficie del invernadero. Si algunas de las cosechas necesitan dosificaciones muy diferentes de nutrientes, deberán utilizarse dos depósitos, cada uno de los cuales llevará su formulación específica, estando cada uno conectado a un sistema de riego independiente.

Como un sistema de cultivo en arena es un sistema abierto, en el cual se pierde el exceso de solución, deberán aparecer muy pocos cambios en la formulación del depósito de nutrientes. El pH, no obstante, deberá comprobarse a diario, especialmente en las zonas que tengan aguas muy alcalinas.

La solución de nutrientes del depósito de almacenamiento no necesitará cambiarse regularmente como en los cultivos de grava, siendo preciso, únicamente, el limpiar periódicamente los barros y sedimentos formados en ella por los conductores inertes de las salas fertilizantes. Cuando el volumen de solución del depósito esté casi terminado, será preciso preparar una nueva mezcla.

Muchos cultivadores prefieren estos depósitos de almacenamiento a los dosificadores, puesto que ellos mismos preparan sus soluciones y conocen exactamente su formulación. No obstante, los inyectores de fertilizantes tienen algunas ventajas sobre ellos: 1) necesitan menos espacio; 2) el desembolso de capital inicial para la compra de un inyector es menor que el necesario para un gran depósito de almacenamiento; 3) puede conseguirse con ellos un rápido cambio en la solución de nutrientes que compense los cambios en las exigencias de las plantas a causa de variaciones climáticas. Por ejemplo, durante un período nuboso, la cantidad de nitrógeno puede reducirse fácilmente, mientras que en un sistema con depósito de almacenamiento sería preciso cambiar la totalidad del volumen de fertilizantes (normalmente, por lo menos, el aporte de una semana).

## 8.6. Esterilización de las bancadas de arena entre cosechas

Mientras que la fumigación puede limpiar la arena de algunos insectos y larvas, así como de los nematodos que se hayan introducido, no tendrá efecto sobre el virus del mosaico del tabaco (TMV) o con el virus II del mosaico del pepino (CMV II). Uno o dos fumigantes pueden utilizarse: Vapam, que se añade con el sistema de riego, o bromuro de metilo, que se inyecta a presión a través del sistema de drenaje. En ambos casos deberá estar cubierta con polietileno la totalidad de la superficie del suelo antes de la aplicación del fumigante. El bromuro de metilo se comercializa también en latas con un dispositivo especial que perfora ésta inyectando el gas bajo la cubierta de polietileno. En este caso, el polietileno deberá estar inflado con aire y sellado por los bordes con una capa de arena que no permita salir el aire desde antes de la inyección del gas (fig. 8.13). Después de cuarenta y ocho horas, se quitará la cubierta y se lavará la zona con agua, que eliminará los remanentes de gas y las sales. Si se añade el Vapam a través del sistema de riego, deberá lavarse éste con agua después de la aplicación. Las bancadas podrán replantarse cuatro o cinco días después de la fumigación.



**Fig. 8.13. Inyección de bromuro de metilo bajo una cubierta inflable de polietileno.**

Para limpiar la arena de TMV o CMV II deberá utilizarse la esterilización por vapor. Si la calefacción del invernadero es con caldera de agua caliente, la caldera deberá poder unirse a un sistema de vapor que produzca el suficiente como para desinfectar las bancadas de cultivo. El vapor puede inyectarse a través del sistema de drenaje, procurando que las tuberías no se dañen por las altas temperaturas. De forma alternativa podría utilizarse una tubería con su extremo a pocas pulgadas de la arena y estando cubiertas las bancadas con lona pesada o polietileno, cambiando dichas tuberías a lo largo de las bancadas conforme se va completando la desinfección de cada una de las secciones de ésta.

### 8.7. Manejo y productividad de los invernaderos de cultivo en arena en las zonas áridas

Un ejemplo de cómo pueden utilizarse los cultivos en arena en un desierto costero es el complejo comercial para producción de agua y alimentos de Abu-Dhabi (fig. 8.3). El ERL (Laboratorio de Investigaciones y Experiencias) de la Universidad de Arizona instaló en 1972 dicho complejo, con una ayuda económica del Gobierno de Abu-Dhabi, en el que se utiliza agua de mar desalinizada para el riego de las hortalizas que se cultivan en grandes invernaderos de ambiente controlado.

## CULTIVOS HIDROPONICOS

Con pluviometrías medianas inferiores a los 50 mm anuales y frecuentes vientos muy fuertes, los cultivos al aire libre están muy limitados. Invernaderos con estructura inflable de polietileno y una planta de desalinización permiten afrontar estas dificultades, obteniendo muy buenas cosechas. La mitad del complejo de cinco acres de superficie fue construido con invernaderos inflables de polietileno unidos a dos corredores centrales con estructura metálica, tal como se ve en las figuras 8.3 y 8.14. En estos invernaderos inflados por aire se pueden cultivar especies de porte bajo, tales como nabo (fig. 8.15), lechuga, pimientos, berenjenas, rábanos, etc., mientras que aquellas otras como tomates, pepinos y judías de enrame, que necesitan de entutorado, pueden cultivarse en las zonas centrales con estructura metálica.

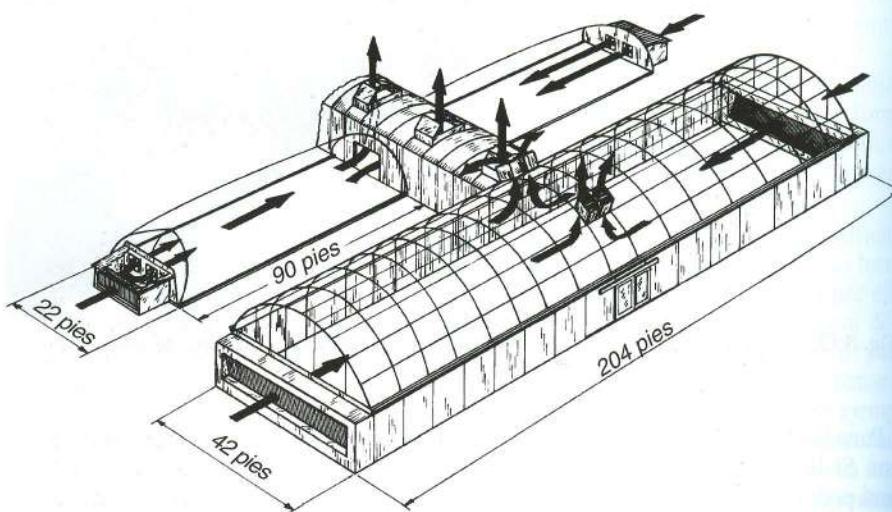


Fig. 8.14. Dibujo esquemático de un sistema de invernaderos inflables, mostrando el recorrido del aire. (Cortesía de The Environmental Research Laboratory and Manley, Inc., Tucson, Arizona).

Los invernaderos se refrigeran con un sistema de paneles de evaporación colocados en el fondo de cada una de las unidades. En la parte superior de éstos se aporta agua de forma continua, con más frecuencia de mar que potable, la cual discurre a través de los paneles, y al extraer aire a través de éstos, por medio de unos ventiladores colocados a continuación, tal como se muestra en la figura 8.14, refrigerarán los invernaderos al penetrar dicho aire húmedo a presión en éstos hasta salir por las ventanas situadas en la parte superior de la estructura de los invernaderos centrales, salidas que a su vez disponen de ventiladores que ayudan a la introducción de aire por los paneles y extracción por ellos mismos, como ya se ha dicho.

Los invernaderos protegen las plantas de los vientos de arena, de los aires secos y de los cambios bruscos de temperatura, así como del alto grado de humedad originado por el sistema de refrigeración por agua de mar, que reduce el consumo de agua.

## CULTIVO EN ARENA

recuentes vientos muy fuertes con estructura inflable para combatir estas dificultades, que ocupa 40 acres de superficie en los corredores centrales. En estos invernaderos se cultiva lechuga, pimientos, tomates, pepinos y judías de verano en las zonas centrales con

El cultivo se efectúa en los suelos originales de arena, arenas que están compuestas esencialmente por carbonato cálcico puro, siendo, por consiguiente, el pH del medio de 8,3. El agua y los fertilizantes se aplican a intervalos regulares, disolviendo los fertilizantes en el agua de mar destilada, que va a parar a cada una de las plantas por medio de un sistema de goteo, ejecutándose el aporte de nutrientes a dicho sistema por medio de un inyector semejante al de la figura 8.12.

Algunas bancadas forradas con plástico y con un sistema de riego por goteo semejante al ya descrito en este capítulo se utilizan también para el cultivo.

Fontes (1973) informa que la producción esperada para las dos hectáreas de invernaderos de Abu-Dhabi fue de una media de una tonelada por día de hortalizas, lo cual se consiguió hacia mediados de 1972. Los rendimientos en t/ha/día de algunas especies vegetales obtenidas en 1972 están reflejados en la tabla 8.1.

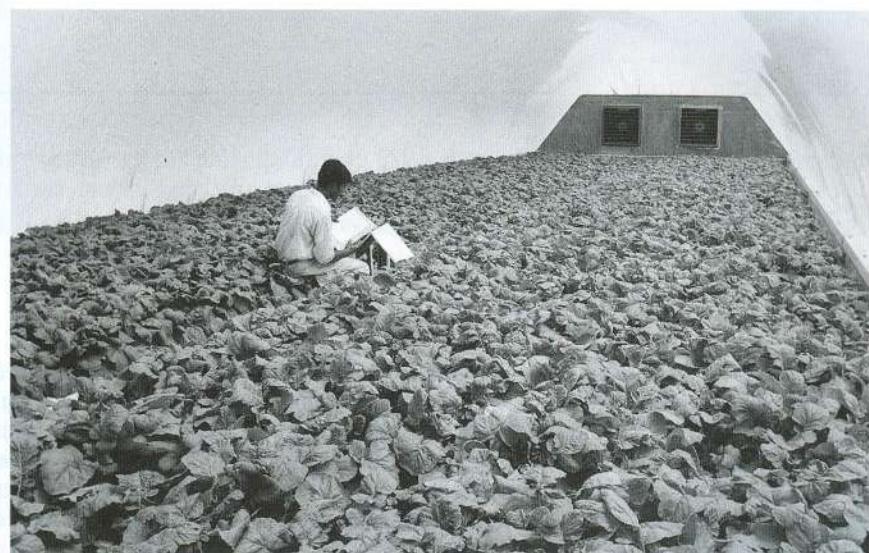


Fig. 8.15. Los invernaderos inflables son especialmente apropiados para cultivos bajos como el nabo. (Cortesía de The Environmental Research Laboratory and Manley, Inc., Tucson, Arizona).

**TABLA 8.1**  
Comparación de los rendimientos obtenidos  
en los invernaderos de Abu-Dhabi con diversas hortalizas

<i>Tipo de hortaliza</i>	<i>t/ha/día</i>
Coles	1,4
Pepino	2,8
Berenjena	1,3
Lechuga	1,5
Okra	0,4
Tomate	1,2
Nabo	2,4

## CULTIVOS HIDROPONICOS

Durante los primeros seis meses de 1973 se comercializaron 230 t de hortalizas, mostrándose en la tabla 8.2 los rendimientos de algunas de las cosechas obtenidas en los invernaderos de Abu-Dhabi.

**TABLA 8.2**  
Rendimiento de las cosechas obtenidas en los invernaderos de Abu-Dhabi

	Rendimiento cosecha (en t)	Cosechas/año	Rendimiento total por acre por año (en t)
Brécol	13,0	3	39,0
Judías enanas	4,6	4	18,4
Coles	23,0	3	69,0
Coles chinas	20,0	4	80,0
Pepino	70,0	3	210,0
Rábano	9,0	8	72,0
Tomate	45,0	2	90,0

Solamente la producción de tomates de 1972 excedió de 150.000 kg, siendo suficiente para cubrir las necesidades de 29.000 personas con un nivel de consumo como el de USA.

### 8.8. Cultivo de hierbas en arena

Cebollinos, albahaca, salvia y menta han sido cultivados con éxito en bancadas de cultivo en arena en California Watercress, Inc., en Fillmore, California. En un invernadero de  $30 \times 156$  pies ( $9 \times 47,5$  metros) se construyeron en un lado diecisiete bancadas de  $8 \times 12$  pies ( $2,4 \times 3,65$  metros), y en el otro lado diecisiete bancadas de  $8 \times 14$  pies ( $2,4 \times 4,27$  metros), utilizando madera tratada de  $1'' \times 6''$ . Las bancadas, de 6 a 8 pulgadas (15-20 cm) de profundidad, fueron forradas con polietileno negro de 6 milésimas de pulgada. El fondo de las bancadas tenía un desnivel de 2 pulgadas (5 cm) de uno a otro lado para facilitar el drenaje.

En un segundo lugar, se construyó un invernadero de medio acre (0,2 hectáreas) para cultivar hierbas. En este invernadero, las dimensiones utilizadas fueron  $30 \times 165$  pies ( $9 \times 50$  metros) para cultivar salvia y menta en arena. Antes de construir las bancadas, se instaló el sistema de riego. Se colocó una tubería principal de PVC, de 2 pulgadas, con un elevador de  $3/4$  de pulgada para cada bancada. Una válvula solenoide en la tubería principal, manejada por un controlador de riego, activaba los ciclos de alimentación de un sistema inyector. Todo el suelo del invernadero se cubrió con una lámina contra las malas hierbas para impedir el crecimiento de éstas (fig. 8.16). El suelo subyacente era muy arenoso y con muchas piedras, lo que proporcionaba un excelente drenaje. Las bancadas, de las mismas dimensiones que en el otro invernadero, se colocaron sobre la lámina. Sin embargo, a diferencia de las otras bancadas, éstas no fueron forradas con polietileno. Las planchas tratadas que formaban las bancadas se colocaron simplemente en la parte superior de la lámina contra las malas hierbas, pues ésta permite que el agua se mueva libremente a través de ella, pero las raíces no la pueden penetrar fácilmente.

## CULTIVO EN ARENA

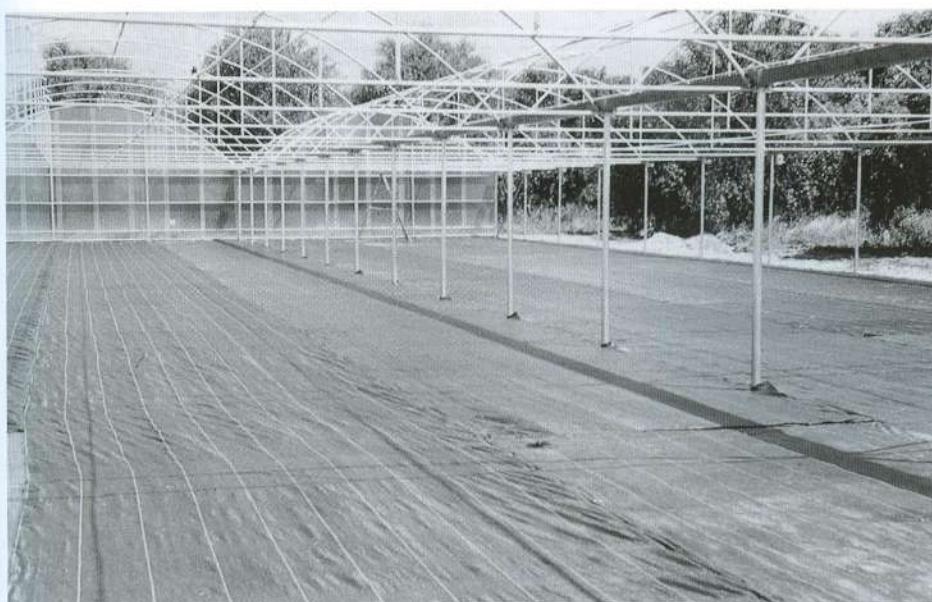
230 t de hortalizas,  
sechas obtenidas en

.bu-Dhabi

Rendimiento total  
por acre por año  
(en t)

39,0
18,4
69,0
80,0
210,0
72,0
90,0

000 kg, siendo sufi-  
de consumo como el



**Fig. 8.16.** Suelo de invernadero cubierto con una lámina contra las malas hierbas.  
(Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

xitó en bancadas de arena. En un invernadero diecisiete bancadas adas de 8 × 14 pies cada una, de 6 a 8 pulgadas de color negro de 6 milésimas de pulgadas (5 cm) de

acre (0,2 hectáreas) as fueron 30 × 165 pies para construir las bancadas de PVC, de 2 pulgadas de diámetro, con válvula solenoide en la parte superior. Se cubrió con una capa de arena gruesa (fig. 8.16). El sistema de riego proporcionaba un riego constante al otro invernadero. Las bancadas, éstas se separan las bancadas se cubren con una lámina contra las malas hierbas, pues las raíces no la pue-

Se utilizó una arena gruesa de río de origen granítico como medio de cultivo. En el invernadero mayor, las bancadas de arena se cubrieron con una mezcla de turba y perlita, de 1 pulgada (2,5 cm), para mejorar el movimiento lateral de la solución. Más tarde se encontró que la arena tenía demasiado limo, pues se formaron posos con el agua dura de la zona. Para mejorarla, se quitó aproximadamente un tercio y se sustituyó por una mezcla de turba y perlita, que se incorporó a la arena.

Las otras bancadas del invernadero más pequeño tenían una mejor calidad de arena de diferente origen, y se cultivaron cebollinos y albahaca.

Se colocaron las líneas de riego por goteo a todo lo largo de las bancadas, desde la tubería principal de 3/4 de pulgada y a una distancia de 12 pulgadas (30,5 cm) (fig. 8.17). Una «T-tape», que tenía pequeños agujeros cada 12 pulgadas (30,5 cm), proporcionaba 38 galones por hora (gph) por 100 pies a 10 psi de presión, lo que equivale a 144 litros por hora por 30,5 metros a 69 kPa (kilopascal) de presión. La «T-tape» se acopló a un adaptador unido al emisor de polietileno negro de 1/4 de pulgada, que a su vez se insertó en la tubería de 3/4 de pulgada y se impermeabilizó con goma de silicona (fig. 8.18). Los terminales de la «T-tape» se impermeabilizaron doblándolos varias veces y pegándolos con cinta de tubería.

La salvia se sembró en un medio «peat-lite», en bandejas de 98 celdas, y más tarde se trasplantó a las bancadas (fig. 8.19). Los esquejes de menta enraizaron en macetas de plástico de 2 1/4 × 3 pulgadas (6 × 7,5 cm) de profundidad, con un medio «peat-lite» antes del trasplante. Los cebollinos se trasplantaron desde pleno campo, después de lavar la tierra de sus raíces. La albahaca se cultivó desde semilla. La menta estaba lista para la primera recolección a las 6 semanas (fig. 8.20), con recolecciones conti-

## CULTIVOS HIDROPONICOS

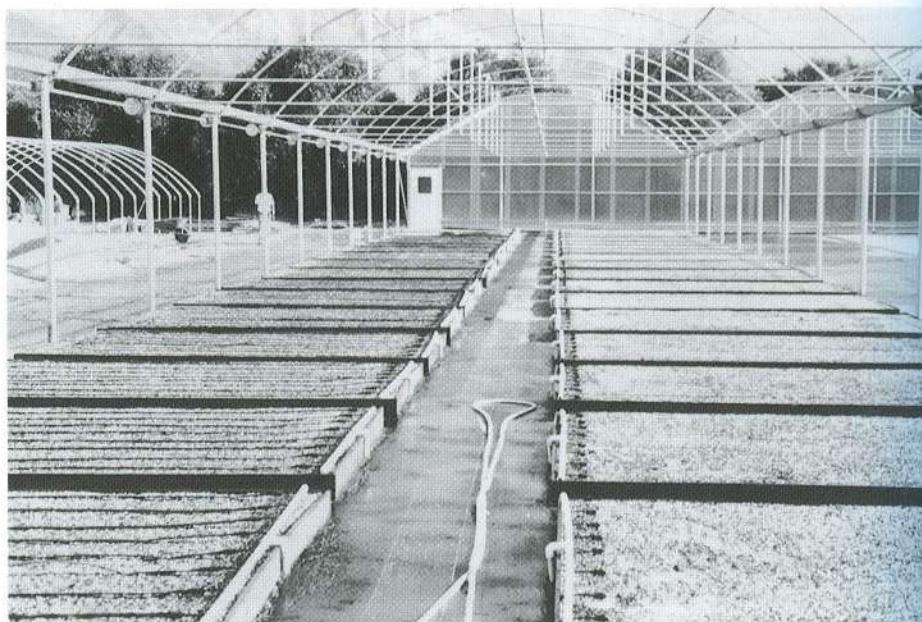


Fig. 8.17. Sistema de riego por goteo para un cultivo en arena de hierbas. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 8.18. Unión de una línea de goteo «T-tape» al adaptador de polietileno, que a su vez se une a la tubería de 3/4 de pulgada. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

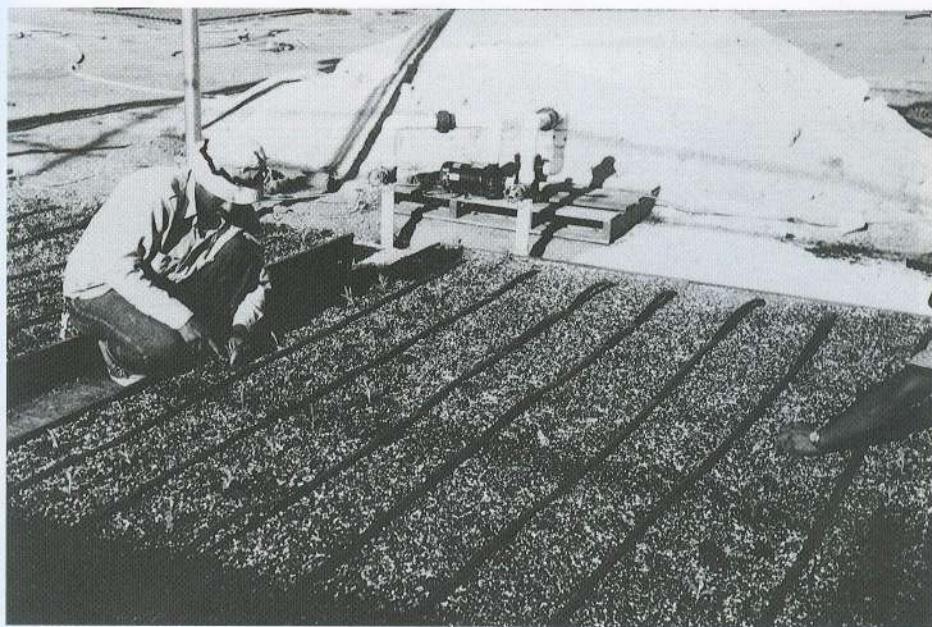


Fig. 8.19. Trasplante de hierbas a las bancadas de cultivo en arena. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 8.20. Menta lista para recolección, 6 semanas después del trasplante de las plántulas. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

## CULTIVOS HIDROPONICOS



Fig. 8.21. Albahaca en cultivo en arena, recolectada cada 3 semanas. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

nuas cada 4 a 5 semanas, dependiendo de la estación. La albahaca se recolectó cada tres semanas (fig. 8.21) y los cebollinos en un ciclo de 30 a 35 días, dependiendo de la longitud del día y las condiciones de luz (figs. 8.22-8.24). Se cortaron 2 a 4 bancadas



Fig. 8.22. Cebollinos 7 días después de la recolección. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

## CULTIVO EN ARENA

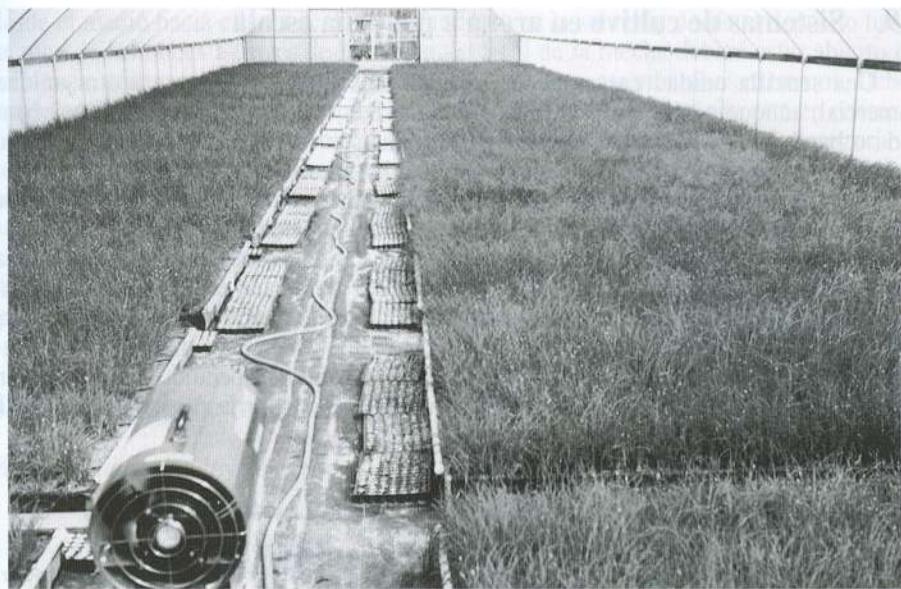


Fig. 8.23. Cebollinos 33 días después de la corta, listos para otra cosecha. Obsérvese el calentador en primer plano. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

cada día durante un período de recolección de dos semanas. Del mismo modo que para el berro, estas hierbas se recogían en manojo con cintas elásticas o cuerdas, y se vendían por docenas de manojos.



Fig. 8.24. Cebollinos recién cosechados en las cuatro bancadas de la derecha. El resto de las bancadas a la derecha están listas para recolección a los 23 a 25 días después de la anterior cosecha. Las bancadas de la izquierda, de delante hacia atrás, tienen 2 a 4 días después de la cosecha. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

### 8.9. Sistemas de cultivo en arena a pequeña escala

Una sencilla unidad casera puede diseñarse de forma semejante a otra unidad comercial, aunque a escala mucho más reducida. Básicamente, consistirá en una bandeja de cultivo, un depósito de nutrientes y un sistema de riego por goteo operado por una bomba conectada a un programador horario (fig. 8.25).

La bandeja de cultivo podrá tener pequeños boquetes en el fondo del soporte de plástico, o bien utilizar una tubería de plástico perforada para drenaje.

Uno de los sistemas de cultivo hidropónico más antiguo que se utiliza aún hoy día para las plantas en macetas individuales es el sistema de mecha; este sistema está compuesto por una doble maceta; una de las cuales contiene el medio de cultivo y la planta y la otra la solución nutritiva. Una mecha fibrosa se coloca en la primera, aproximadamente a un tercio de su altura, quedando el otro extremo suspendido en la solución nutritiva (fig. 8.26). Conforme el agua se va evaporando por la planta y se traslada



Fig. 8.25. Sistema sencillo de cultivo en arena con goteo a escala reducida.

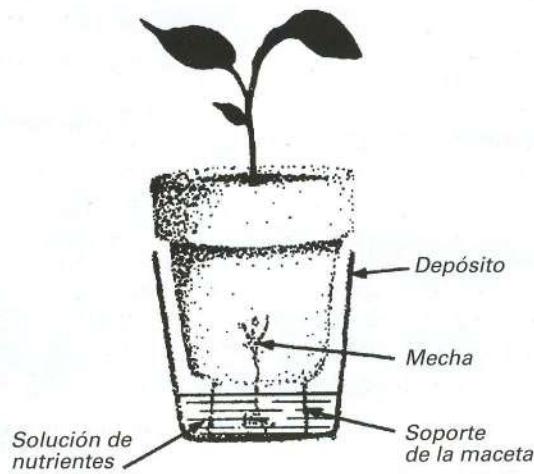


Fig. 8.26. Cultivo en arena con maceta independiente y sistema de absorción por mecha.

## CULTIVO EN ARENA

desde el medio hacia ella, la acción capilar conduce la solución desde el depósito hasta la zona de las raíces a través de la mecha. El final de la mecha deberá estar abierto de forma que sea un tejido o fibra desliada la que está presente en ambos extremos. Debemos asegurarnos de que en ningún momento la solución del depósito esté en contacto con el fondo de la maceta de cultivo, pues en este caso el exceso de agua alcanzaría la zona radicular, causando un encarcamiento. Una batería de macetas con mechadas podría colocarse en una bandeja-depósito de ventana. El depósito debería estar cubierto para evitar las pérdidas por evaporación, aunque como es natural deberán existir perforaciones debajo de cada maceta que permitan llegar las mechadas a la solución (fig. 8.27). Aunque no es fundamental, sí es útil disponer de un marcador por flotación que nos indique el nivel de líquido en el depósito.

### 8.10. Ventajas e inconvenientes del cultivo en arena

#### Ventajas sobre el cultivo en grava

1. Es un sistema abierto, o sea, la solución de nutrientes no se recicla, de forma que las posibilidades de difundirse en el medio las enfermedades del tipo de *Fusarium* o *Verticillium* son muy pequeñas.
2. Existen menos problemas de obturación por las raíces de las tuberías de drenaje, puesto que la mayor densidad del medio de arena favorece el desarrollo lateral de las raíces.
3. Las partículas de arena, al ser más finas, permiten un movimiento lateral del agua motivado por la acción capilar, de forma que la solución aportada en cada planta se distribuye uniformemente a través de la zona radicular.
4. Una selección acertada de arena, junto con un sistema de riego por goteo, proporciona una adecuada aireación a las raíces.
5. Cada planta se alimenta individualmente con una solución de nutrientes completamente nueva durante cada uno de los ciclos de riego, no apareciendo ningún cambio en el balance de fertilizantes.
6. Los costes de construcción son menores que los de un sistema de cultivo en grava con subirrigación.
7. El sistema es más simple, fácil de mantener y servir, así como más a prueba de fallos, que un sistema de cultivo en grava con subirrigación.
8. Debido al menor tamaño de las partículas de la arena, la retención del agua es alta y solamente son precisos algunos riegos diarios.

En caso de ocurrir alguna avería, dispondremos de más tiempo para reparar el sistema, antes de que las plantas hayan consumido el agua existente en el medio y comiencen a experimentar los daños correspondientes.

9. Los depósitos de nutrientes o inyectores serán de menor capacidad, y podrán construirse agrupados fuera de la zona del cultivo del invernadero.
10. La arena suele ser fácil de conseguir en la mayoría de los sitios; cuando se utiliza arena calcárea la formulación deberá ajustarse cada día para compensar los cambios del pH y la disminución del hierro y/u otros elementos.

#### Inconvenientes del cultivo en arena comparados con el cultivo en grava

1. Uno de los mayores inconvenientes es la necesidad de fumigar, bien con productos químicos, bien con vapor, después de cada cosecha. No obstante, dichos

CULTIVOS HIDROPONICOS

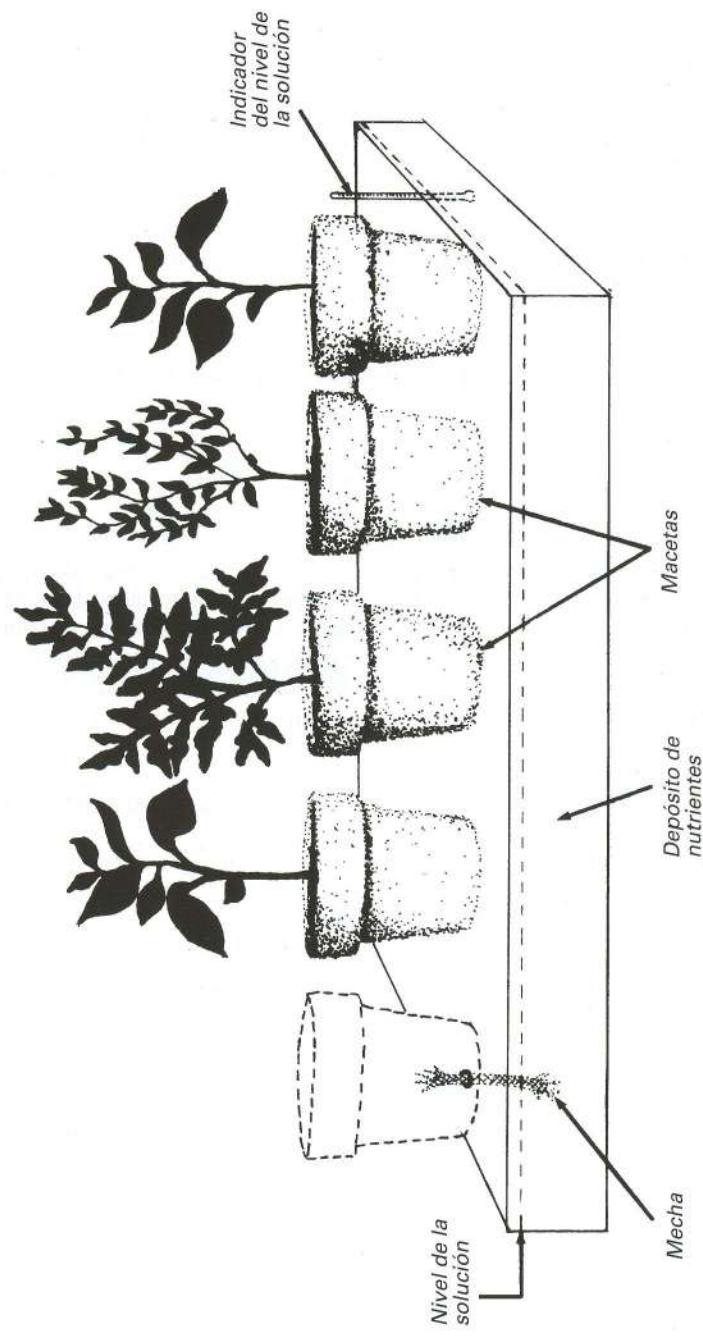


Fig. 8.27. Cultivo en arena con sistema de absorción por mecha, formado por algunas macetas en una caja-depósito de ventana.

## CULTIVO EN ARENA

- métodos son efectivos, aunque necesiten un poco más de tiempo que el uso del hipoclorito cálcico con el producto en grava.
2. Las tuberías de riego por goteo pueden obturarse con los sedimentos; esto, no obstante, puede ser evitado utilizando filtros (in-line) de 100 a 200 espacios por pulgada lineal, que pueden limpiarse diariamente.
  3. Se dice que el cultivo en arena utiliza más agua y fertilizantes que un sistema cíclico de cultivo en grava; no obstante, esto puede evitarse con un manejo apropiado. Los sobrantes deberán ser controlados y los aportes de solución ajustados, de forma que no se drene más de un 7 u 8 por 100 de éstos. En el cultivo en grava las pérdidas pueden ser iguales o mucho mayores, puesto que es necesario cambiar la solución de nutrientes de forma periódica.
  4. La formación de sales puede ser frecuente en la arena durante el período de cultivo; esto puede corregirse lavando el medio periódicamente con agua pura. A pesar de ello, un manejo apropiado con control de la acumulación de sal en el agua de drenaje es muy importante para evitar los problemas causados por un exceso de ésta.

## Referencias

- FONTES, M. R.: «Controlled-environment horticulture in the Arabian desert at Abu Dhabi». *HortScience* 8:13-16, 1973.
- HOWES, C. N. y HODGE, C. O.: «An integrated system for providing power, water and food for desert coasts». *HortScience* 6:30-33, 1971.
- JENSEN, M. H.: «The use of polyethylene barriers between soil and growing medium in greenhouse vegetable production». *Proc. 10th National Agr. Plastics Conf.*, Chicago, III., Nov. 2-4, 1971. Ed. J. W. Courter, pp. 144-50, 1971.
- JENSEN, M. H., e HICKS, N. G.: «Exciting future for sand culture». *Am. Veg. Grower*, pp. 33, 34, 72, 74, Noviembre 1973.
- JENSEN, M. H., H. M. EISA y M. FONTES: «The pride of Abu Dhabi». *Am. Veg. Grower*, Noviembre, 1973. pp. 35, 68, 70.
- JENSEN, M. H. y A.J. Malter.: Protected agriculture – a global review. *World Bank Tech. Paper* N° 253. The World Bank, Washington, D.C. 157 p. 1995.
- JENSEN, M. H., y MARCO ANTONIO TERÁN, R.: «Use of controlled environment for vegetable production in desert regions of the world». *HortScience* 6:33-36, 1971.
- MASSEY, P. H., JR., y YASIN KAMAL.: «Kuwait's greenhouse oasis». *Am. Veg. Grower*, pp. 28, 30, Junio 1974.
- NEW, L., y ROBERTS, R. E.: «Automatic drip irrigation for greenhouse tomato production». Texas A & M Univ. Ext. bulletin MP-1082, 1973.

Fig. 8.27. Cultivo en arena con sistema de absorción por mecha, formado por algunas macetas en una caja-depósito de ventana.

Macetas

Depósito de nutrientes

Mecha