

## 6

# Técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT)

### 6.1. Introducción

La NFT es una técnica de cultivo en agua en la cual las plantas crecen teniendo su sistema radicular dentro de una lámina de plástico, a través de la cual circula continuamente la solución de nutrientes.

El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glasshouse Crops Research Institute, en Littlehampton (Inglaterra), en 1965. El término *Nutrient Film Technique* fue utilizado en dicho Instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario. Otros trabajos (Schipers, 1977) llamaron a esta técnica «técnica del flujo de nutrientes», puesto que la solución de nutrientes circula de forma continua.

### 6.2. Primeros sistemas NFT

En los primeros sistemas de NFT se excavaba una zanja a todo lo ancho del centro del invernadero, y desde dicha zanja hasta los extremos de éste se disponía la tierra formando pendientes hacia ambas partes, la cual variaba normalmente de un 1/100 a 1/25, lo cual favorecía una reducción del efecto de las depresiones que se localizaban normalmente en los tubos de cultivo. Esta zanja se rellenaba con polietileno expandido que se cubría con un film de polietileno. Los canales de polietileno en los cuales se iba a efectuar el cultivo se colocaban sobre bandas de cartón de 8 pulgadas de ancho (20 cm), situadas a lo largo de ambas partes del invernadero y separadas unas de otras a una distancia normal de las líneas del cultivo correspondiente (fig. 6.1).

Los canales de 14 pulgadas (35,5 cm) de anchura se preparaban abriendo boquetes a lo largo de uno de los bordes del tubo de plástico no rígido que constituía dicho canal, separados unos de otros a la distancia normal del cultivo, tal como se muestra en la

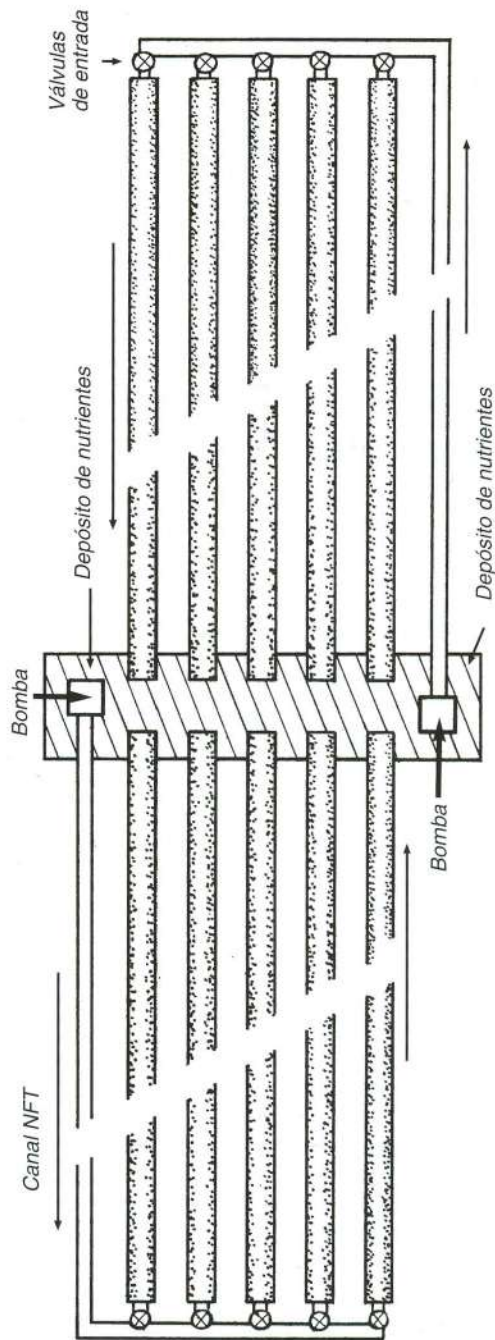


Fig. 6.1. Diseño de un sistema NFT en invernadero. (Tomado de The Grower, Londres).



figura 6.2.A. Esta línea de boquetes se volvía a colocar a continuación en el centro del canal, tal como se ve en la figura 6.2.B, así como la sección que nos muestra la 6.2.C. Los bordes de esta tubería se volvían hacia arriba, hacia el centro de ella, asegurados entre sí con una pequeña banda de PVC a intervalos de 10 pies (3 metros) (fig. 6.2.D).

En la parte superior de la tubería de plástico se efectuaban pequeños cortes, para de esta forma poder evitar la formación de etileno, el cual podría causar un envejecimiento prematuro de las raíces. El terminal inferior de cada una de las líneas de tubería de plástico colgaba hacia dentro de la zanja, mientras que el terminal superior de cada línea estaba vuelto hacia arriba y sellado con una cinta de PVC para prevenir la pérdida de la solución de nutrientes.

La solución de nutrientes se bombeaba desde la zanja colocada en el centro del invernadero hasta las cabezas de cada uno de los canales de cultivo por medio de dos bombas sumergidas que se encuentran en dicha zanja y que llevaban la solución hasta la tubería conectada con la entrada de los canales (fig. 6.1). En las cabezas de cada uno de los canales se colocaban válvulas de compuerta, las cuales regulaban la cantidad del flujo de nutrientes que debía circular en cada línea. Las raíces de las plantas se colocaban dentro de los canales a través de los boquetes de plantación, tal como se muestra en la figura 6.2, soportando el conjunto de planta una serie de cuerdas y cables que se instalan en la parte superior del invernadero.

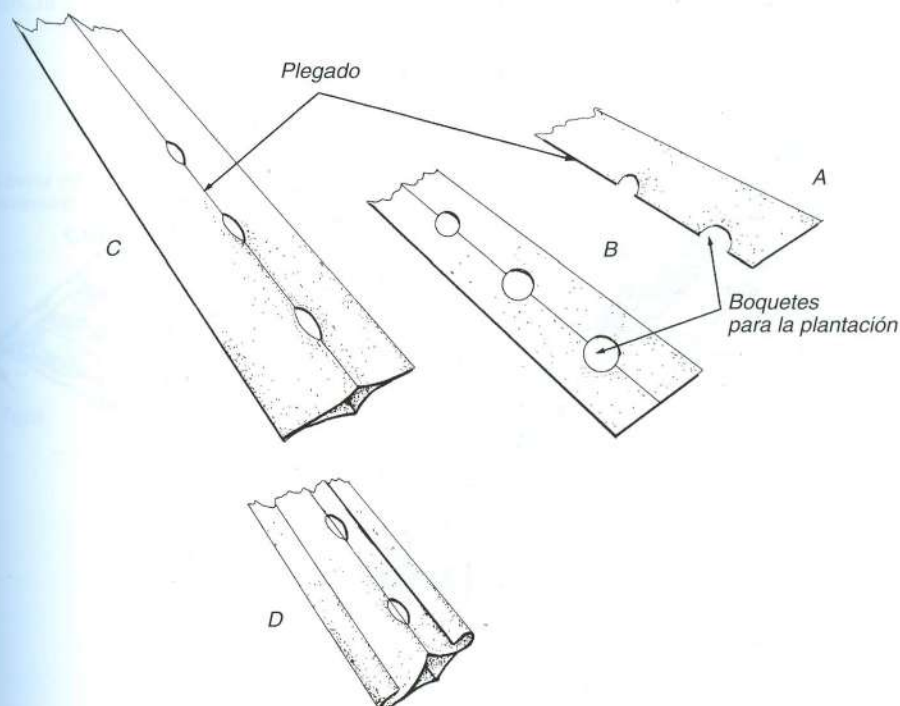


Fig. 6.2. Detalles de la preparación de los canales de polietileno en un sistema NFT. (Tomado de The Grower, Londres).

### 6.3. Nuevos sistemas NFT

Aunque se obtenían muy buenas cosechas con los primeros sistemas NFT, la experiencia ha demostrado que la formación de etileno dentro de los canales daba lugar a daños en las raíces, reduciendo esencialmente las cosechas de los tomates. Esta formación de etileno hacía precisa una modificación en la técnica para mejorar la ventilación.

Los canales se sustituyeron por unas hojas estrechas y largas de polietileno negro que se colocaban sobre el suelo en cada una de las líneas correspondientes al cultivo, colocando en el sitio que correspondería a la posición de cada una de las plantas de la fila, bien macetas de turba, bien discos de turba (jiffy-7) o cubos de lana de roca. Los bordes del polietileno se doblaban hacia arriba alrededor de los sitios donde se encontraban las macetas o tubos para el cultivo y se unían entre sí formando un canal a través del cual podría circular el flujo de la solución de nutrientes, como se muestra en la figura 6.3.

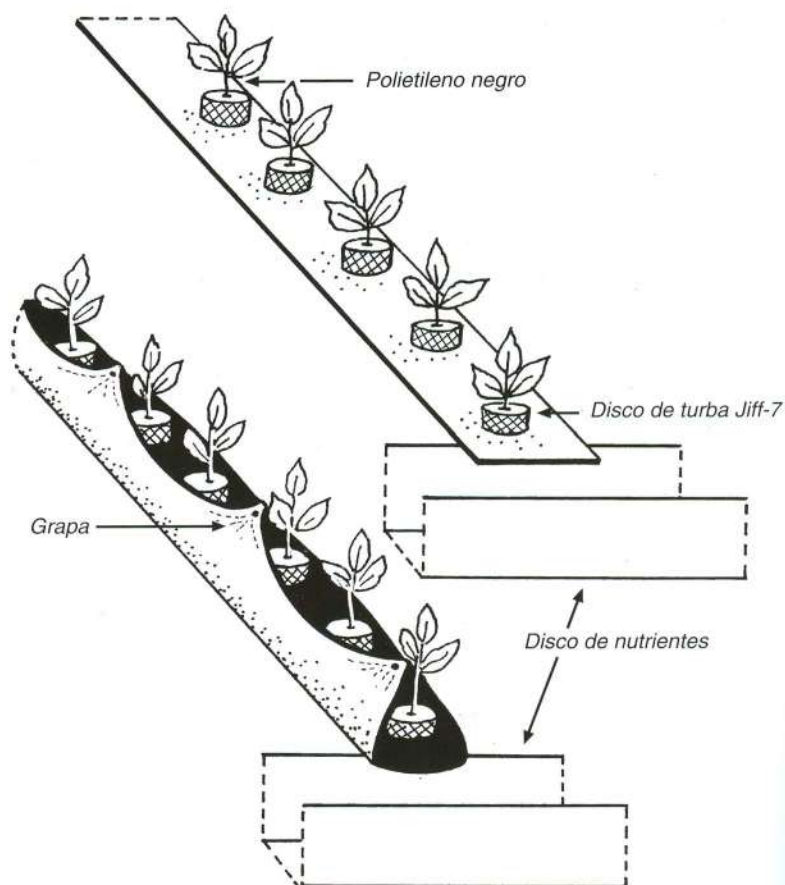


Fig. 6.3. Canal NFT con macetas o cubos de cultivo que soportan a éste y a las plantas. (Tomado de The Grover, Londres).



Las plantas se sembraban directamente en los cubos o macetas y, una vez que habían desarrollado algunas hojas, se colocaban junto con sus recipientes directamente en el polietileno, como ya se ha indicado, a la vez que se formaba el canal de cultivo.

El uso de las macetas de cultivo servía a un gran número de propósitos. Primero, era soporte del film de polietileno, de forma que, cuando los bordes de éste se unían, quedaba formado el canal de circulación de la solución de nutrientes. Segundo, al ser, como se ha dicho, el soporte de ambos lados de la lámina de polietileno, ésta permanecía separada, con lo cual se conseguía una buena depuración de aire a través del canal, reduciendo de esta forma la formación de etileno, y servían como soporte en los primeros estados de crecimiento de las plantas. Esta técnica puede también extenderse a la producción de plantas en macetas, ya que puede conseguirse que dichas plantas sean regadas y abonadas automáticamente por un sistema simple y barato. En el invernadero se colocan los canales sobre el suelo, siguiendo la pendiente hasta la zanja, que sirve de depósito de recepción de nutrientes, tal como muestra la figura 6.4, y así como en los primeros sistemas NFT, se utiliza una bomba sumergida que desde el fondo del depósito con la ayuda de una cañería tipo ABS o PVC conduce la solución de nutrientes de forma constante hasta la parte superior de los canales. Suspendiendo la tubería de recirculación de nutrientes algunas pulgadas (5 cm) por encima de la entrada de los canales y perforando pequeños boquetes en cada uno de éstos, la solución de nutrientes podrá pasar a ellos fácilmente; esto, además, facilita el

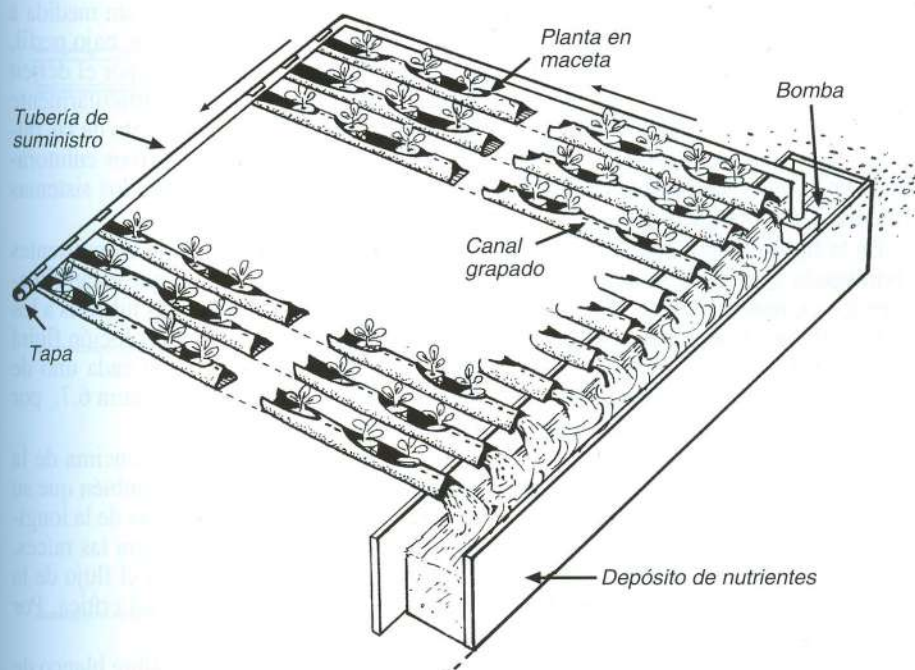


Fig. 6.4. Plan de canales en serie NFT y el depósito de la solución de nutrientes. (Tomado de The Grower, Londres).



poder comprobar si las entradas están bloqueadas, y a la vez airea la solución conforme va cayendo en ella. El extremo de cabeza de cada uno de los canales puede cerrarse enrollando algunas pulgadas (5 cm) la parte final del polietileno y colocando un poco de suelo encima de él.

La parte más baja del canal termina en forma de tubo, que sobrepasará un poco el borde superior de la zanja de recepción de nutrientes y que se formará uniendo las 18 últimas pulgadas (46 cm) de las láminas del canal por su parte superior. De esta forma, una mayor rapidez de la descarga airea la solución conforme va cayendo dentro de la zanja, consiguiéndose en ella una cantidad constante en el volumen del nutriente por medio de una válvula de flotación, que puede ser de plástico.

Las raíces crecerán rápidamente a través de las macetas o cubos y se extenderán por toda la superficie inferior de los canales siguiendo el flujo de la solución. De esta forma llegarán a formar una capa continua y espesa en dicho fondo, que servirá como soporte a las plantas conforme se vayan desarrollando.

#### 6.4. Sistemas comerciales NFT

A finales de los años 70, los cultivos NFT han sido ensayados, o utilizados en forma comercial, en más de 68 países (Cooper 1976). En 1991 se cultivaron 100 acres (40 hectáreas) de tomates con el sistema NFT en el Reino Unido. En la última década, los cultivos en lana de roca se han hecho más populares en la producción de cultivos entutorados, como tomates, pepinos y pimientos, habiendo sustituido en gran medida a los cultivos NFT. El sistema NFT se utiliza principalmente para cultivos de bajo perfil, como lechugas y hierbas. La razón es que los cultivos entutorados sufren por el déficit de oxígeno en el sistema NFT durante las fases de su crecimiento, particularmente cuando empiezan a fructificar densamente. Este problema de marchitamiento de las raíces ha hecho que la gestión del sistema NFT sea muy difícil con los cultivos entutorados. Como consecuencia de ello, la lana de roca y la perlita, que soportan los sistemas radiculares, mejoran la oxigenación y simplifican así el cultivo.

En la figura 6.5 aparece un esquema de un sistema NFT. La solución de nutrientes es bombeada a través de una tubería principal de PVC hasta las tuberías que están situadas en los extremos altos de los canales NFT. La solución pasa desde estas tuberías a los canales a través de una pequeña tubería de plástico flexible (fig. 6.6). La solución fluirá por gravedad a través de los diversos canales, descargándose al final de cada uno de ellos en una tubería de desagüe de gran diámetro, como se muestra en la figura 6.7, por la cual, también por gravedad, irá a pasar a la cisterna.

La lámina de la solución de nutrientes no deberá nunca elevarse por encima de la masa radicular. Esto asegurará que todas las raíces estén húmedas, pero también que su superficie superior esté en contacto con el aire. Así pues, con independencia de la longitud del canal, nunca podrá ocurrir una reducción del aporte de oxígeno para las raíces. Sin embargo, como el tejido de las raíces continúa creciendo, se dificulta el flujo de la solución y a muchas de ellas les falta el oxígeno después de una longitud crítica. Por esta razón, es mejor mantener los canales moderadamente cortos.

Los canales NFT se construyen normalmente con polietileno negro sobre blanco de 6 a 10 milésimas de pulgada (0,15-0,25 mm) de grosor. El polietileno más grueso proporciona una superficie más lisa e igualada para una difusión más uniforme de la solu-



vez aerea la solución con-  
uno de los canales puede  
del polietileno y colocando

que sobrepasará un poco el  
se formará uniendo las 18  
te superior. De esta forma,  
e va cayendo dentro de la  
volumen del nutriente por

s o cubos y se extenderán  
ujo de la solución. De esta  
o fondo, que servirá como

ensayados, o utilizados en  
91 se cultivaron 100 acres  
nido. En la última década,  
la producción de cultivos  
ustituido en gran medida a  
ara cultivos de bajo perfil,  
orados sufren por el déficit  
cimiento, particularmente  
marchitamiento de las raí-  
con los cultivos entutora-  
que soportan los sistemas

La solución de nutrientes  
as tuberías que están situa-  
a desde estas tuberías a los  
fig. 6.6). La solución fluirá  
se al final de cada uno de  
uestra en la figura 6.7, por

elevarse por encima de la  
edas, pero también que su  
independencia de la longi-  
de oxígeno para las raíces.  
se dificulta el flujo de la  
una longitud crítica. Por

tos.  
eno negro sobre blanco de  
polietileno más grueso pro-  
más uniforme de la solu-

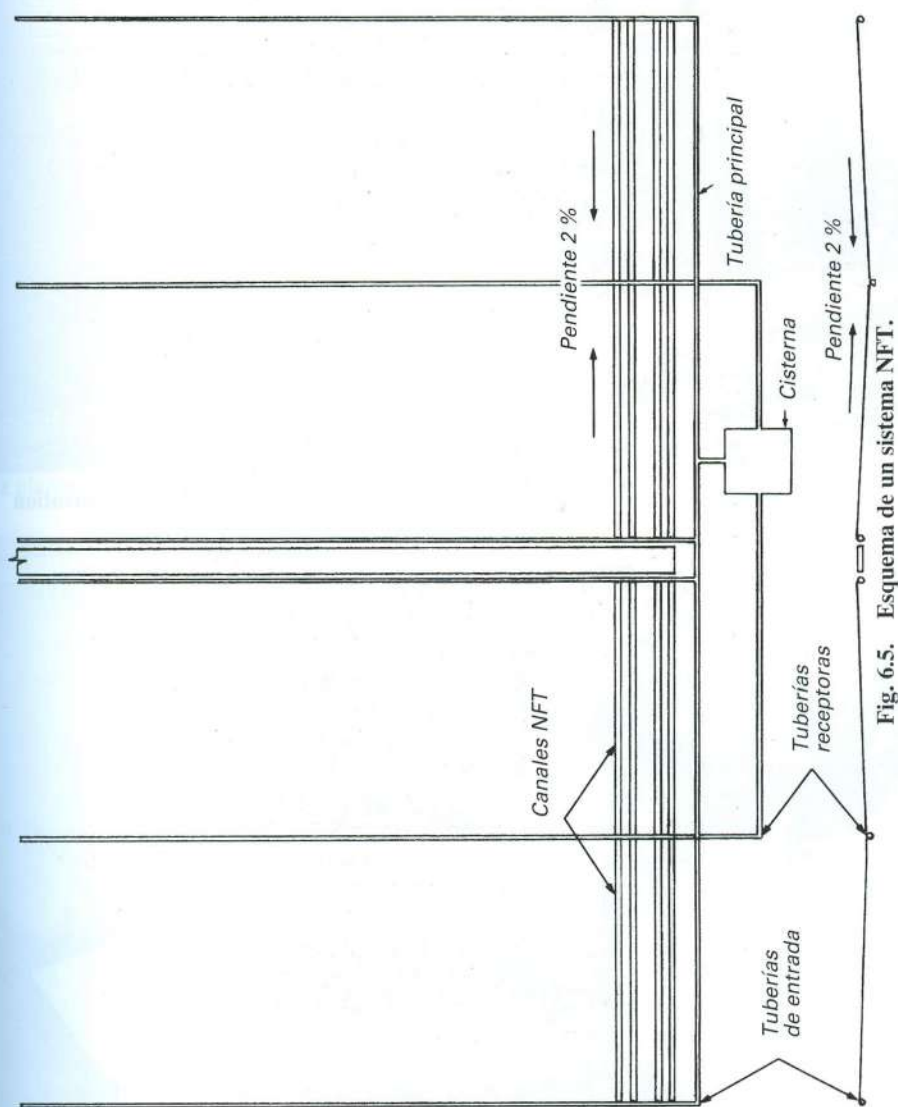


Fig. 6.5. Esquema de un sistema NFT.



Fig. 6.6. Sistema básico en tierra Hidrocanal 100. (Cortesía de Soil-Less Cultivation Systems Ltd., Aldershot, Inglaterra).



Fig. 6.7. Receptor terminal del hidrocanal con plantas de tomate. (Cortesía de Glasshouse Crops Research Institute, Littlehampton, Inglaterra).





de Soil-Less Cultivation

ción. La lámina se coloca con la cara blanca hacia fuera para reflejar la luz y reducir la insolación. Los bordes se levantan y se sujetan con grapas entre las plantas, formando un canal. El uso de planchas de styrofoam, de una pulgada de espesor, debajo de los canales NFT de polietileno negro sobre blanco es una práctica corriente para evitar la pérdida de calor del fondo de los canales, como se muestra en la figura 6.8. Estas planchas proporcionan también una pendiente uniforme a los canales y eliminan cualquier depresión localizada.

El ancho de los canales debe ser de 15 a 30 centímetros (6 a 12 pulgadas), dependiendo del cultivo. Generalmente, los canales más estrechos son aptos para plantas pequeñas, como lechugas, mientras que los más anchos son apropiados para cultivos entutorados, como tomates, pepinos y pimientos. Los canales anchos para estos últimos cultivos ayudarán a evitar que se desarrollen masas radiculares densas en el canal, que pueden dificultar la circulación de la solución nutritiva. Ésta debe fluir a una velocidad de 1-2 litros (1/4-1/2 galones) por minuto. Generalmente, con una pendiente del 2 por 100, la longitud de los canales no debe superar los 20-25 metros (65-80 pies) o los gradientes de los nutrientes pueden llegar a ser considerables y reducirse la oxigenación de la solución. Tratándose de canales largos, existe un riesgo de falta de oxígeno y de acumulación de temperaturas, por lo que, cuando sea posible, la solución se introducirá en los canales por varios puntos a lo largo de los mismos.

Para evitar que las plantas se sequen durante el trasplante, se debe colocar directamente debajo de la planta una estrecha franja de 5 cm (2 pulgadas) de estopa capilar atravesada en el canal. Así se asegura que la solución de nutrientes no pase de largo por la planta cuando fluya por el canal.

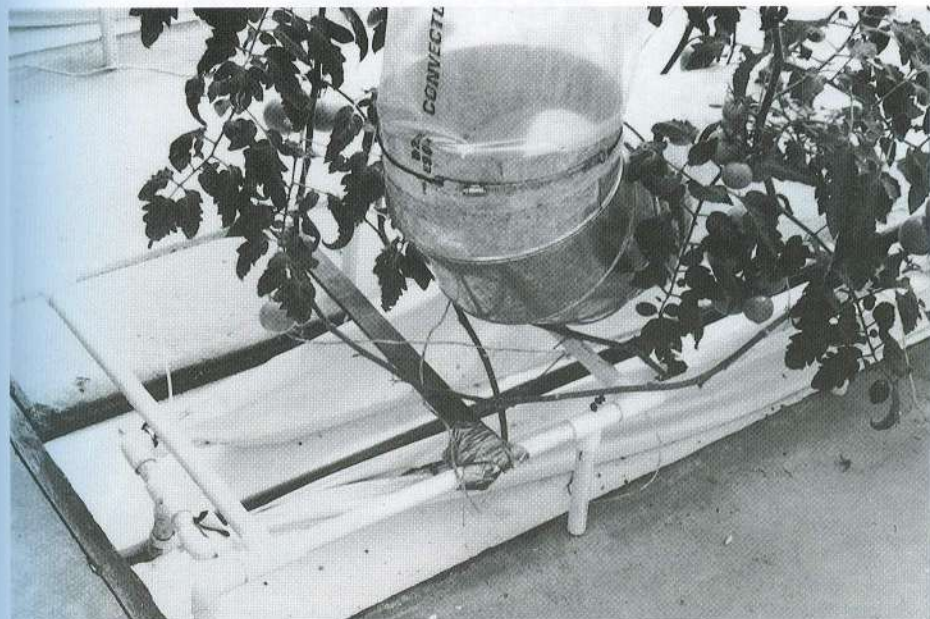


Fig. 6.8. Uso de planchas de styrofoam debajo de los canales NFT. Obsérvese la tubería de calefacción que lleva aire caliente a la base de las plantas de tomate. (Cortesía de R&P Hydrofarm, McMinnville, Oregón).



Los tomates, que se bajan durante su continuo crecimiento, necesitan que sus tallos sean mantenidos por encima del canal de cultivo. Varios métodos se utilizan para mantener los tallos unas 12 pulgadas (30 cm) por encima de los canales. Uno consiste en utilizar un alambre de gran calibre, y otro usar soportes de tuberías de PVC de 1 pulgada (fig. 6.9). Se colocan unos travesaños cerca de cada planta de forma que sus centros sean los mismos que los del espacio de la planta.

La estructura de PVC soporta también las tuberías de calefacción (figs. 6.8 y 6.9) y, mediante unos ganchos metálicos, las conexiones superiores de los canales NFT (fig. 6.10). Se colocan dos canales NFT uno al lado del otro, con la estructura de soporte del tallo abarcando ambos canales. La solución de nutrientes entra en el canal NFT por el extremo más alto, a través de una tubería de PVC de 1 pulgada, y desemboca en una tubería receptora de PVC de 4 pulgadas que la lleva al tanque de 2.000 galones USA (7.570 litros) (figs. 6.8 y 6.11).

Otsuki Greenhouses Ltd. de Surrey, B.C., cultiva casi 2,5 acres (1 hectárea), produciendo tomates y pepinos. Los tomates se cultivan en un sistema NFT modificado que usa planchas de lana de roca (fig. 6.12). Utilizando varios métodos de NFT desde 1979, los bloques de lana de roca ofrecieron un crecimiento más consistente, con cierta garantía contra la desecación en el caso de que fallara la recirculación de la solución de nutrientes por una avería mecánica. Los canales NFT de 82 pies (25 m) tienen una pendiente del 2 por 100. Las semillas se siembran en cubos de lana de roca de 1 pulgada (2,5 cm), y después de 2 semanas se trasplantan a bloques de lana de roca de 3 pulgadas (7,5 cm). Tres o cuatro semanas después, las plántulas son colocadas en la parte superior de una sección de la plancha de lana de roca colocada dentro del canal NFT



Fig. 6.9. Los tallos de tomate son mantenidos por encima de los canales NFT por una estructura de tubería de PVC de una pulgada de diámetro. Estos travesaños soportan también los tubos de calefacción. (Cortesía de R&P Hydrofarm, McMinnville, Oregón).



nto, necesitan que sus tallos  
étodos se utilizan para man-  
os canales. Uno consiste en  
tuberías de PVC de 1 pul-  
lanta de forma que sus cen-

cafección (figs. 6.8 y 6.9)  
riores de los canales NFT  
otro, con la estructura de  
nutrientes entra en el canal  
VC de 1 pulgada, y desem-  
la lleva al tanque de 2.000

2,5 acres (1 hectárea), pro-  
a sistema NFT modificado  
os métodos de NFT desde  
más consistente, con cierta  
rculación de la solución de  
pies (25 m) tienen una pen-  
lana de roca de 1 pulgada  
e lana de roca de 3 pulga-  
son colocadas en la parte  
ada dentro del canal NFT

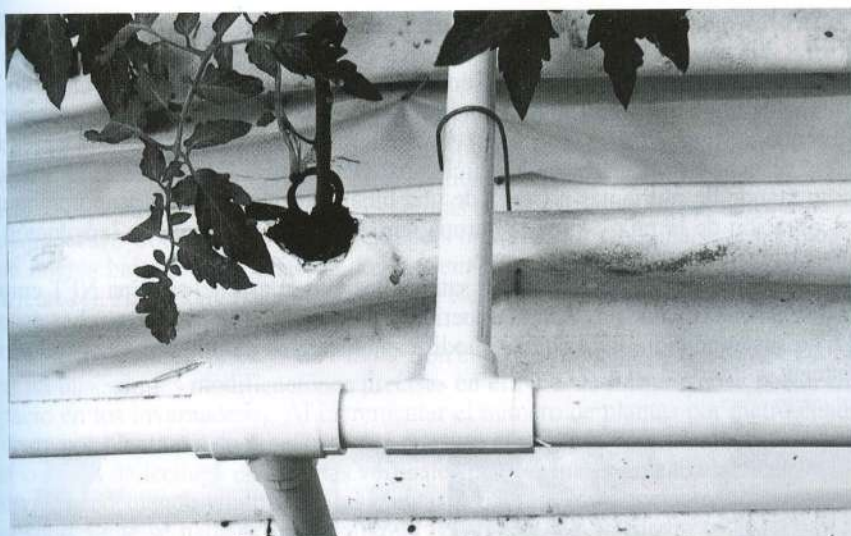


Fig. 6.10. Unos ganchos metálicos, acoplados al bastidor de las tuberías mantienen las conexiones superiores del canal NFT. (Cortesía de R&P Hydrofarm, McMinnville, Oregón).



os canales NFT por una  
os travesaños soportan  
McMinnville, Oregón).



Fig. 6.11. Los extremos de salida de los canales NFT desembocan en la tubería receptora de PVC de 4 pulgadas de diámetro. La tubería de entrada (a la derecha) discurre entre los canales NFT hasta el extremo superior de entrada. (Cortesía de R&P Hydrofarm, McMinnville, Oregón).



(fig. 6.27). La plancha de lana de roca mide aproximadamente  $4 \times 4 \times 8$  pulgadas ( $10 \times 10 \times 20$  cm).

Igual que con el sistema de cultivo en lana de roca, como se verá en el capítulo 10, un sistema de riego por goteo suministra la solución de nutrientes a la parte superior de cada bloque de lana de roca (fig. 6.12). La solución drena verticalmente a través del bloque y plancha de lana de roca hasta el canal NFT (fig. 6.13), donde es recirculada hasta un tanque de nutrientes a través de una tubería receptora. Esto proporciona una mejor aireación de la raíz y sitúa la corona de la planta por encima de la solución de nutrientes.

Los agricultores que se encuentran satisfechos con el uso del sistema NFT empiezan a diseñarlo básicamente. Con la experiencia adquirida al cultivar cosechas específicas bajo sus condiciones climáticas, modifican el sistema para lograr una producción consistente.



**Fig. 6.12.** Tomates cultivados en planchas parciales de lana de roca en un sistema NFT. Obsérvese el suelo de polietileno blanco sobre negro y la posición de los tubos de calefacción de agua caliente. (Cortesía de Otsuki Greenhouses Ltd., Surrey, B. C., Canadá).



**Fig. 6.13.** Canal NFT abierto de polietileno blanco sobre negro mostrando pequeñas planchas y bloques de lana de roca, en los que están enraizados los tomates. Obsérvese el sistema de riego por goteo, con un emisor en la parte superior de cada bloque de lana de roca. (Cortesía de Otsuki Greenhouses Ltd., Surrey, B. C., Canadá).



lamente  $4 \times 4 \times 8$  pulgadas

mo se verá en el capítulo 10, nutrientes a la parte superior de la verticalmente a través del (Fig. 6.13), donde es recirculada por una bomba. Esto proporciona una solución de la solución de

uso del sistema NFT empieza al cultivar cosechas específicas para lograr una producción



Canal NFT abierto de plástico sobre negro mostrando las plantas y bloques de lana de roca que están enraizados los cuales se ve el sistema de riego por goteo en la parte superior de la columna de lana de roca. (Cortesía de Greenhouses Ltd., Surrey, B.C., Canadá).

## 6.5. Técnica del flujo de nutrientes: tuberías verticales, sistemas de estructura en A o en cascada

Desde 1978 se han efectuado grandes progresos para desarrollar comercialmente el NFT. Un texto publicado por el Dr. Allen Cooper, titulado «The ABC of NFT» («El abecedario del NFT») proporciona una gran cantidad de información técnica del NFT, así como se especula con las posibilidades futuras de este sistema. Independientemente del trabajo del Dr. Cooper, el Dr. P. A. Schippers ha llevado a cabo una serie de trabajos de gran interés bajo la denominación de *Nutrient Flow Technique* («Técnica del flujo de nutrientes»), en el Long Island Horticultural Research Laboratory, de la Universidad de Cornell, en Riverhead (New York).

Ante los costes crecientes de calefacción en los invernaderos en USA, el Dr. Schippers ha buscado las modificaciones precisas en el NFT de forma que se pueda ahorrar espacio en los invernaderos. Al incrementar el número de plantas por metro cuadrado, el coste por planta puede rebajarse. Así pues, se efectuaron un gran número de ensayos con cultivos de lechuga en tuberías verticales por las cuales goteaba la solución fertilizante, humedeciendo y nutriendo las plantas. El sistema es semejante al del «cultivo en sacos», del que se hablará en el capítulo 11, aunque sin un medio sólido. De 25 a 30 plantas se cultivaron en cada una de las tuberías de cinco pies (1,5 m) de altura. Este sistema se muestra en Walt Disney's Epcot Center en Orlando, Florida, como aparece en las figuras 6.14 y 6.15. La solución nutritiva se rocía en las tuberías verticales que se desplazan en un sistema móvil. Conforme las tuberías portadoras de plantas pasan por

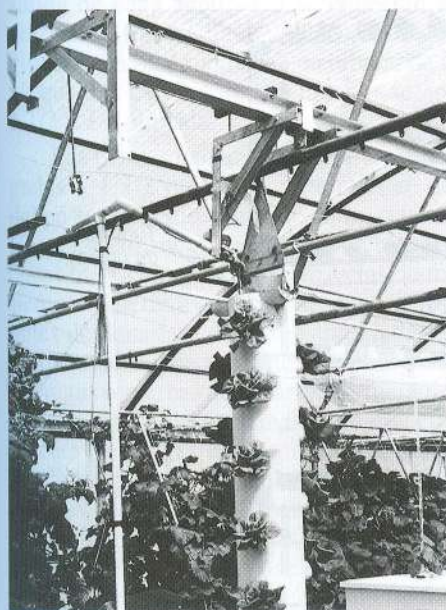


Fig. 6.14. Lechuga en tubería vertical mostrando los nebulizadores de nutrientes en la parte superior de la columna que contiene las plantas. (Cortesía de © Walt Disney Productions).



Fig. 6.15. Tuberías verticales moviéndose sobre un depósito colector de nutrientes para el reciclado del exceso de solución drenada de las columnas de plantas. (Cortesía de © Walt Disney Productions).



el punto donde la solución es regada hasta sus raíces, se van moviendo sobre un colector donde la solución va siendo drenada hasta un depósito desde el que se la vuelve a bombear. Este sistema se utiliza para cultivar lechugas, hierbas, fresones y calabazas.

Mientras Schippers (1977) especulaba con las posibilidades de este sistema, en la actualidad no parece que comercialmente sea útil, especialmente con lechugas, puesto que las diferencias de intensidad de luz causan grandes diferencias durante el cultivo entre las más altas y las inferiores; no obstante, él sugirió que otras hortalizas, como fresones, guisantes, judías, etc., que se cosechan a lo largo de un período más prolongado, podrían ofrecer mejores perspectivas.

Schippers (1977) siguió varios caminos para incrementar el aprovechamiento del espacio vertical de los invernaderos con el uso del NFT, especialmente con cultivos de porte bajo, como la lechuga. Construyó lo que él llamó sistema en «cascada». El cultivo se efectuaba en canales de 3 pulgadas (7,6 cm) de diámetro; éstos eran tuberías cortadas por la mitad y suspendidas una sobre otra hasta llegar a ocho pisos. La solución de nutrientes penetra por el extremo más elevado de la tubería superior, que está ligeramente inclinada, recorriéndola hasta llegar al otro extremo, desde donde pasará a la tubería inferior, efectuando una y otra vez el mismo recorrido hasta ir a parar al depósito final, desde donde será bombeada. Este sistema ha tenido éxito con lechugas, rábanos, guisantes y otras hortalizas. El sistema, tal y como se muestra en la figura 6.16, es utilizado con plantas muy pequeñas.

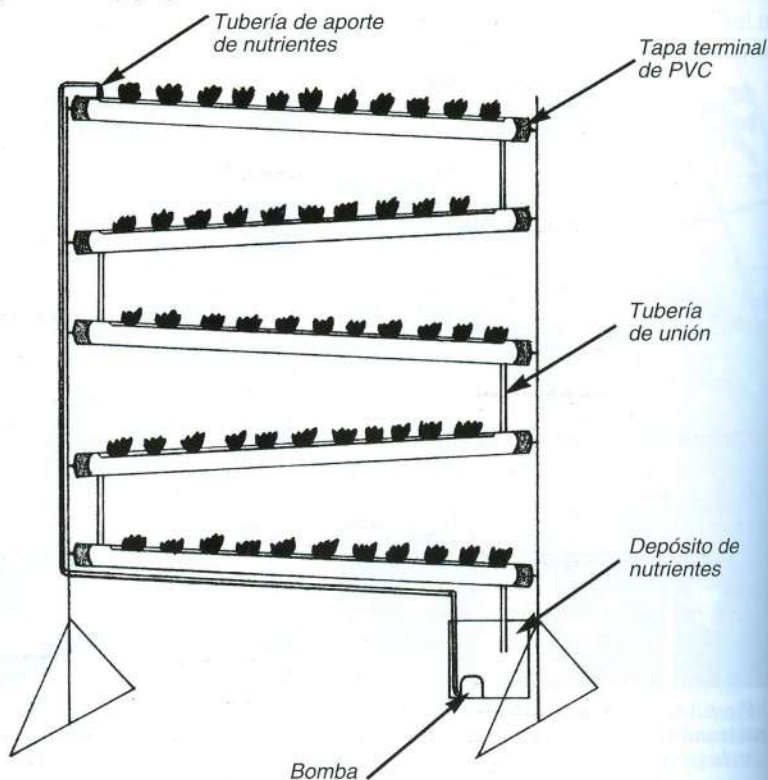


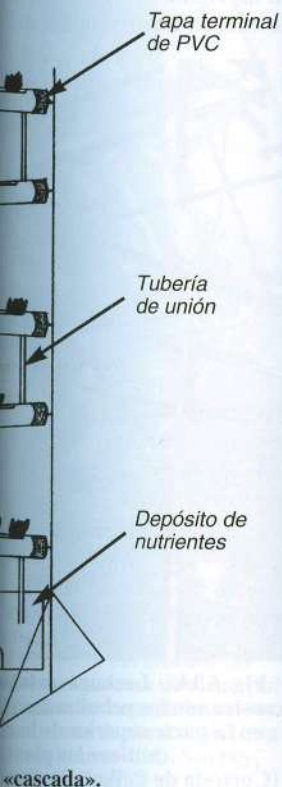
Fig. 6.16. Detalles de un sistema NFT en «cascada».



an moviendo sobre un colec-  
o desde el que se la vuelve a  
erbas, fresones y calabazas.

idades de este sistema, en la  
almente con lechugas, puesto  
diferencias durante el cultivo  
ue otras hortalizas, como fre-  
e un período más prolongado,

entar el aprovechamiento del  
especialmente con cultivos de  
tema en «cascada». El cultivo  
; éstos eran tuberías cortadas  
ocho pisos. La solución de  
ría superior, que está ligerame-  
mo, desde donde pasará a la  
rido hasta ir a parar al depó-  
ido éxito con lechugas, rába-  
muestra en la figura 6.16, es



Este sistema puede mejorar la utilización del espacio del invernadero si los canales se montan en forma de A. Las estructuras en A deben orientarse de norte a sur, para que la sombra de un lado no se proyecte sobre el otro. Sólo es adecuado para plantas de porte bajo, como la lechuga, las fresas, las espinacas y algunas hierbas.

Diversos factores han de ser considerados al diseñar un sistema con estructuras en A. La base de la estructura debe estar lo suficientemente abierta para que cada piso no dé sombra al inferior. La distancia entre las gradas tiene que ser la necesaria para permitir el crecimiento de las plantas. Es decir, las plantas de una grada inferior no deben alcanzar el piso superior. Por último, dado que éste es un sistema básicamente NFT, hay que tener en cuenta todos los principios de oxigenación, nutrición y temperatura óptima de la solución. La longitud total del canal para cualquier combinación de pisos no debe sobrepasar los 30 m (100 pies) para garantizar una oxigenación suficiente. Es necesaria una pendiente mínima del 2 por 100 para que la solución fluya adecuadamente. Si la unidad de estructura en A mide 30 m (100 pies), la solución debe ser bombeada hasta la entrada del canal y retomar desde la salida a un depósito central de nutrientes.

Si la estructura en A mide menos de 100 pies, se pueden unir una serie de canales en varios pisos que completen esa longitud. Los canales de crecimiento han de colocarse en espiral sobre la estructura en A. Las dos pendientes opuestas de canales paralelos entre sí, a ambos lados de la estructura en A, se asemejan a un muelle expandido (fig. 6.17). Cada subunidad, de aproximadamente 100 pies de longitud, tendrá una conexión de entrada y una de salida al tanque de nutrientes. Una línea de entrada desde la tubería principal a la bomba se conecta a cada subunidad. De forma similar, líneas de salida de cada subunidad se conectan a la tubería de retorno general al tanque de nutrientes (fig. 6.18). La unidad que aparece en la figura 6.17 tiene 4 m (13 pies) de longitud. Está construida con una tubería de PVC de 2 1/2 pulgadas (6,35 cm) de diámetro, ya que sus canales de crecimiento se apoyan en una estructura de hierro angular de 1 1/2 × 1/8 pulgada.

Las plantas deben sembrarse en cubos de lana de roca (1 1/2 pulgadas × 1 1/2 pulgadas × 1 1/2 pulgadas) y después se deben colocar en macetas de malla, o bien se deben sembrar directamente en macetas de malla rellenas con un medio de «peat-lite». Es mejor utilizar cubos de lana de roca, pues cualquier sustrato suelto, como perlita o «peat-lite», colocado en las macetas de malla pasará a los canales NFT con el paso del tiempo. Alternativamente, se pueden forrar las macetas de malla con papel de seda antes de llenarlas con el sustrato, pero esto es muy pesado. Las macetas de malla son trasplantadas directamente a los canales de cultivo después de que las raíces de las lechugas o hierbas se desarrollen fuera de la base (2 a 3 semanas). Las macetas se suspenden dentro de los canales, de manera que la solución nutritiva bañe la base de la maceta o el cubo y ésta ascienda por capilaridad (fig. 6.19). Si la base de las macetas no está en contacto con la solución de nutrientes en el canal, las plantas necesitarán ser regadas desde arriba durante varios días, hasta que las raíces se desarrollen suficientemente fuera de las macetas y así puedan absorber la adecuada solución para evitar su marchitamiento. En la base de las macetas se formará pronto una densa maraña de raíces que crecerá como aparece en la figura 6.20.

La pendiente de las tuberías de crecimiento debe ser de 1:30, tal que un rápido flujo mantenga alta la oxigenación. Estas unidades pueden emplearse en desiertos cálidos y regiones tropicales, si se instala un sistema de refrigeración en el depósito de nutrientes para mantener la solución a una temperatura de 21-23° C (70-75° F). Las temperaturas



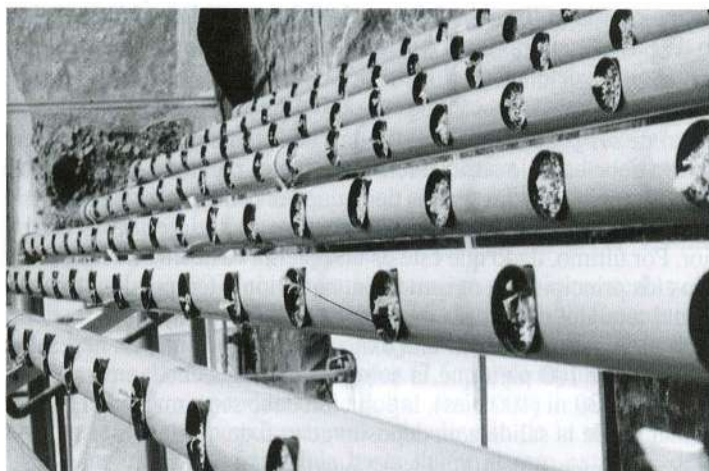


Fig. 6.19. Sistema en «cascada» sobre estructura en A, con plántulas de lechuga en macetas soportadas por los orificios de los canales de PVC.

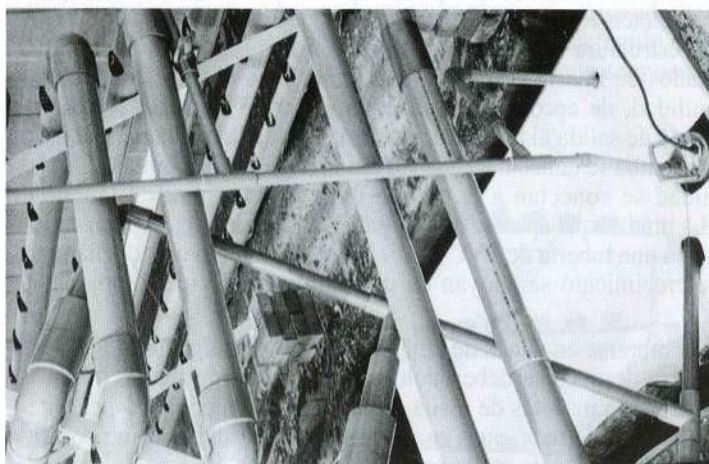


Fig. 6.18. A la derecha, líneas de alimentación desde la bomba, y, a la izquierda, las líneas de retorno al tanque acopladas a cada subunidad de 3 espiras de tubería.

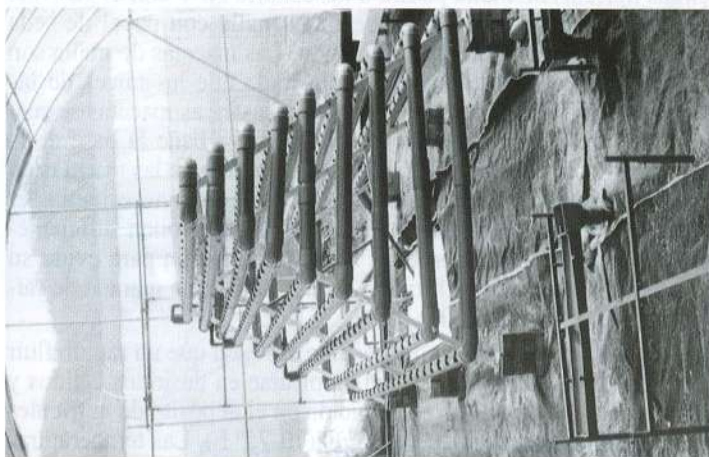


Fig. 6.17. Sistema NFT en «cascada» montada sobre una estructura en A. Los tubos son de PVC de 2 1/2 pulgadas de diámetro, formando un espiral y paralelos entre los de una cara, y con pendientes opuestas respecto a los de la otra cara.



Fig. 6.19. Sistema en «cascada» sobre estructura en A, con plántulas de lechuga en macetas soportadas por los orificios de los canales de PVC.

Fig. 6.18. A la derecha, líneas de alimentación desde la bomba, y, a la izquierda, las líneas de retorno al tanque acopladas a cada subunidad de 3 espiras de tubería.

Fig. 6.17. Sistema NFT en «cascada» montada sobre una estructura en A. Los tubos son de PVC de 2 1/2 pulgadas de diámetro, formando un espiral y paralelos entre los de una cara, y con pendientes opuestas respecto a los de la otra cara.

de la solución se pueden rebajar también aislando los canales de cultivo. Si los canales están contruidos con tubos de PVC, se pueden envolver en styrofoam aislado con una lámina de aluminio reflectivo para reflejar la radiación solar.

La unidad que se muestra en la figura 6.17 fue diseñada para cultivar lechuga, a 20 cm (8 pulgadas) entre los centros, dentro de los canales de cultivo. En cada lado de la estructura en A se colocan nueve canales, dando lugar a 18 camas. Seis camas forman una subunidad con su propia entrada y salida. Cada cama, de 4 m (13 pies), contiene 20 plantas, resultando un total de 360 lechugas en un área de 4 m por 1,8 m o 7,2 m<sup>2</sup> (77 pies cuadrados). Esto equivale a 50 cabezas por metro cuadrado (4,6 lechugas por pie cuadrado). Frente a las 32 lechugas por metro cuadrado (3 cabezas/pie cuadrado) en los sistemas de cultivos flotantes o agua embalsada y 18 plantas por metro cuadrado (1,67 plantas/pie cuadrado) del sistema NFT de doble fila.

Estas cifras están basadas en el área de cultivo disponible, sin concesión para los pasillos. Considerando un invernadero de 1 acre, por ejemplo, de 132 × 330 pies (40 × 100 metros), el área de cultivo utilizable será de 132 - 12 pies de zona de paso = 120 pies (36,6 metros); el número de filas de estructuras en A es de 330 pies / (6 pies de la estructura + 2,5 pies del pasillo) = 38. El área real de cultivo es de 120 × 6 × 38 = 27.360 pies cuadrados o de un 63 por 100. El número total de plantas es de 360 × (27.360/77) = 128.000 plantas, que son 4,6 plantas/pie cuadrado (49 plantas/metro cuadrado) de área de cultivo o 3 plantas/pie cuadrado (32 plantas/metro cuadrado) de invernadero. Esto se puede comparar con las 2,6 cabezas/pie cuadrado (28 plantas/metro cuadrado) de invernadero que se obtienen en el sistema en balsa.

Aunque la producción es mayor, el coste de capital de cada sistema en cascada y el tiempo adicional requerido para limpiar cada canal entre cultivos no lo hacen económicamente factible, cuando se puede conseguir la misma producción con el sistema flotante (balsa).

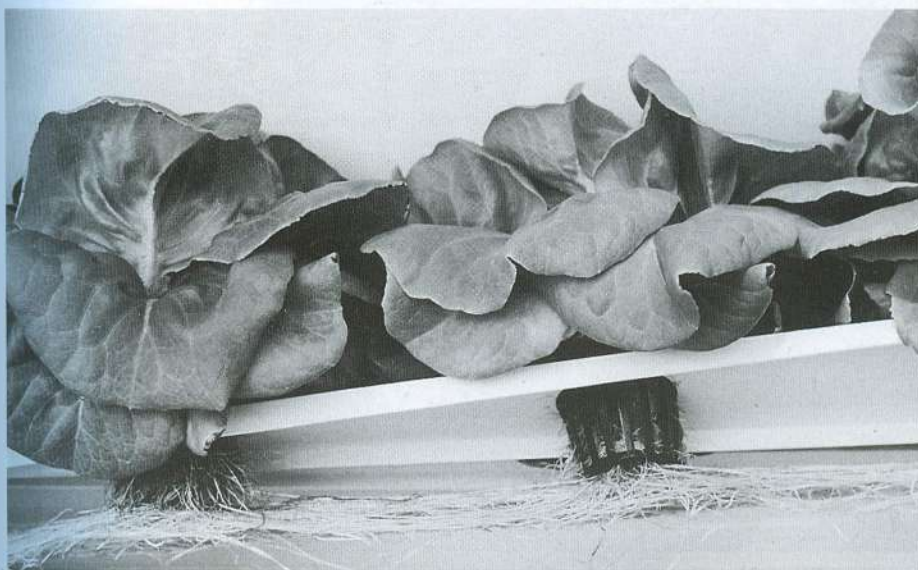


Fig. 6.20. En el canal de cultivo se forma una densa maraña de raíces en la base de las macetas.



Sin embargo, las estructuras en A se pueden aplicar a situaciones específicas en las que el espacio es muy limitado y especialmente a escala pequeña, como es el caso en CuisinArt Resort & Spa, un hotel y centro turístico muy selecto de Anguilla. Allí, las estructuras en A, construidas por CropKing Inc., han sido diseñadas para ser ubicadas en un restaurante que forma parte de su invernadero. Estas estructuras sirven tanto para la producción como para la exposición, como ocurre en muchas exhibiciones en el Centro Epcot de Disney en Orlando, Florida. Dos estructuras en A, una de 8 pies  $\times$  6 pies (2,4 m  $\times$  1,8 m) y la segunda de 12 pies  $\times$  6 pies (3,65 m  $\times$  1,8 m) fueron construidas con tuberías galvanizadas y cubiertas con un plástico blanco rígido para la reflexión de la luz y la apariencia estética (fig. 6.21). Las estructuras en A tienen 76 pulgadas (1,9 m) de alto con paredes laterales de 7 pies (2,1 m). A cada pared lateral se fijan cuatro canales de cultivo (canales Rehau) mediante soportes de aluminio. Los canales tienen una pendiente del 2-3% desde el extremo de entrada al de salida.

Una cisterna de 110 galones USA (416 litros) contiene la solución de nutrientes. En la cisterna se coloca una pequeña unidad refrigeradora para mantener las temperaturas entre 70 y 75°F (21-24°C), como muestra la figura 6.22. Una bomba sumergible en la cisterna hace que la solución circule hasta el extremo de entrada de la estructura en A por una tubería de polietileno negro de 1/2 pulgada de diámetro (fig. 6.23). La solución vuelve a la cisterna a través de una tubería de PVC de 3 pulgadas, como se muestra en la figura 6.22. La tubería de entrada de polietileno negro a las estructuras en A está dentro de una tubería de drenaje de PVC de 3 pulgadas. Unos emisores de 0,5 galones/hora (2 litros por hora) sujetan la tubería de goteo a la tubería de entrada de polietileno negro (fig. 6.23). La tubería de goteo entra en el extremo del canal NFT. Cada canal está acoplado a una tubería de drenaje de PVC de 1 pulgada en el extremo inferior, como aparece

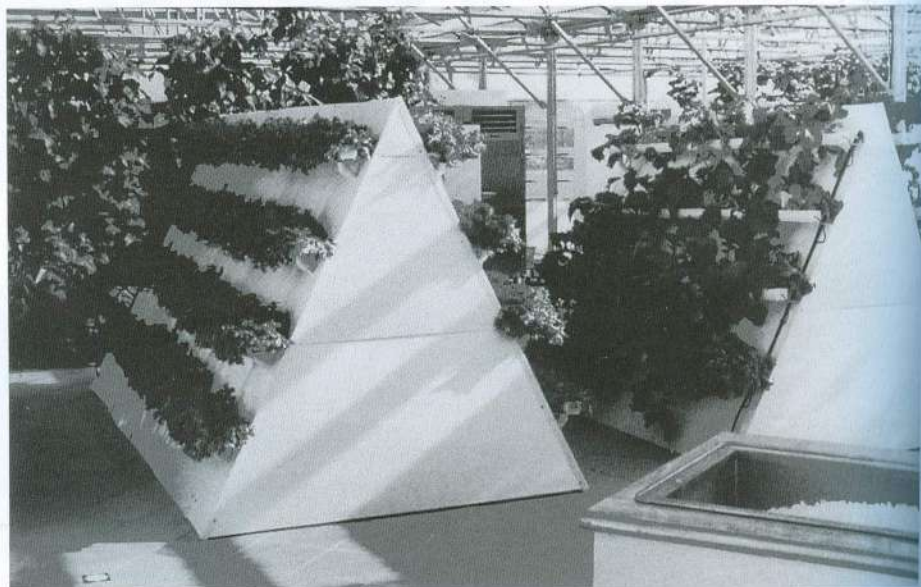


Fig. 6.21. Cultivo de lechugas y brécol Raab sobre estructuras en A. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



aciones específicas en las  
ueña, como es el caso en  
cto de Anguilla. Allí, las  
añadas para ser ubicadas  
estructuras sirven tanto para  
s exhibiciones en el Cen-  
A, una de 8 pies  $\times$  6 pies  
,8 m) fueron construidas  
gido para la reflexión de  
tienen 76 pulgadas (1,9  
red lateral se fijan cuatro  
minio. Los canales tienen  
la.

olución de nutrientes. En  
mantener las temperaturas  
bomba sumergible en la  
de la estructura en A por  
(fig. 6.23). La solución  
as, como se muestra en la  
estructuras en A está dentro  
es de 0,5 galones/hora (2  
rada de polietileno negro  
FT. Cada canal está aco-  
no inferior, como aparece

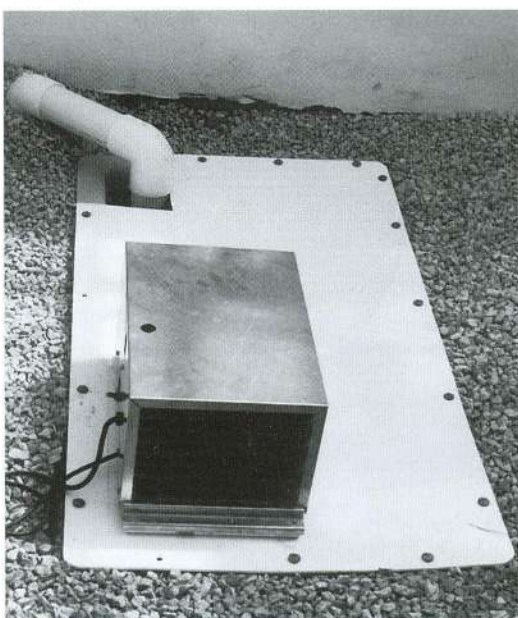


Fig. 6.22. Cisterna con tubería de retorno y refrigerador.  
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



estructuras en A.  
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

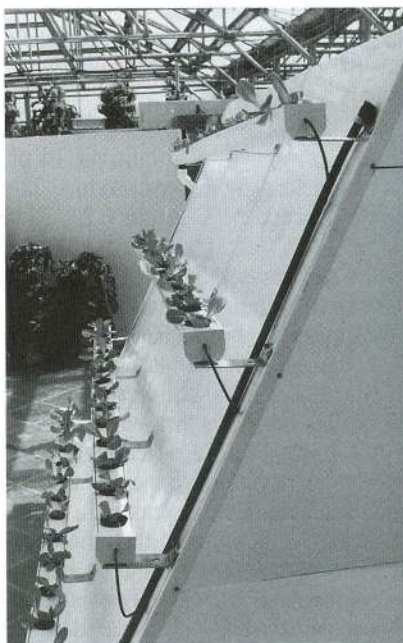


Fig. 6.23. Tubería de entrada a la estructura en A con líneas de goteo en los canales  
NFT. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

en la figura 6.24. Esta tubería de drenaje entra en una tubería receptora de 1 1/2 pulgadas montada en las esquinas de la estructura en A, en el interior de la estructura de acero, que a su vez desemboca en una tubería de retorno, de 3 pulgadas, que llega hasta la cisterna.

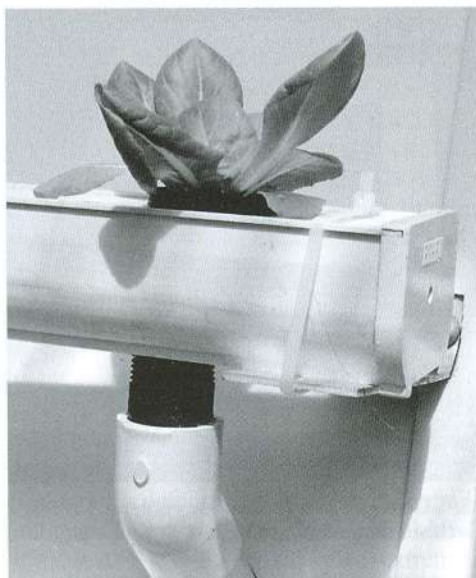


Fig. 6.24. Tubería de drenaje desde el extremo inferior del canal NFT. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

En la estructura en A de 8 pies se pueden cultivar 14 plantas por canal, o sea un total de 112 plantas. La estructura en A de 12 pies produce 21 plantas por canal, es decir un total de 168 plantas, como aparece en la figura 6.21. El brécol Raab ha sido cultivado en la estructura en A de 8 pies. Sin embargo, dado que las estructuras en A están ubicadas en un área caliente del invernadero, el brécol Raab no formará ninguna cabeza, de forma que se plantó más tarde en una bancada elevada próxima a la plataforma de refrigeración. No obstante, el brécol Raab fue preparado en las cocinas y fue muy apreciado por los huéspedes del hotel. En las estructuras en A se cultivaron varios tipos de lechugas, pero se comprobó que las mejores variedades para el área caliente del invernadero, donde están situadas las estructura en A, fueron Red Salad Bowl, Green Salad Bowl (tipos de hoja de roble) y Red Sails (lechugas sin acogollar). Los huéspedes del hotel se quedaron muy impresionados con las estructuras y con su adaptación al restaurante Hidropónico, que sirve hortalizas frescas para ensaladas, como las lechugas, que son recolectadas mientras se prepara la comida para los huéspedes (fig. 6.25).

Future Farms, de California, dispone de un pequeño sistema independiente de estructura en A. La unidad está construida con poliestireno, plástico UV estabilizado. La estructura en A se monta fácilmente con tornillos y tuercas de acero inoxidable y se asienta encima de un depósito de 45 galones (170 litros) que contiene la solución de nutrientes (fig. 6.26) y que mide 3 x 4 x 6 pies de alto (0,9 x 1,1 x 1,8 m). Los catorce agujeros en



reptora de 1 1/2 pulgadas  
estructura de acero, que  
llega hasta la cisterna.



Fig. 6.25. Barra para la preparación de ensaladas situada cerca de las estructuras en A.  
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

al NFT. (Cortesía de

as por canal, o sea un  
ntas por canal, es decir  
ol Raab ha sido culti-  
estructuras en A están  
no formará ninguna  
da próxima a la plata-  
o en las cocinas y fue  
A se cultivaron varios  
ara el área caliente del  
ed Salad Bowl, Green  
gollar). Los huéspedes  
n su adaptación al res-  
s, como las lechugas,  
edes (fig. 6.25).

dependiente de estruc-  
estabilizado. La estruc-  
oxidable y se asienta  
solución de nutrientes  
os catorce agujeros en

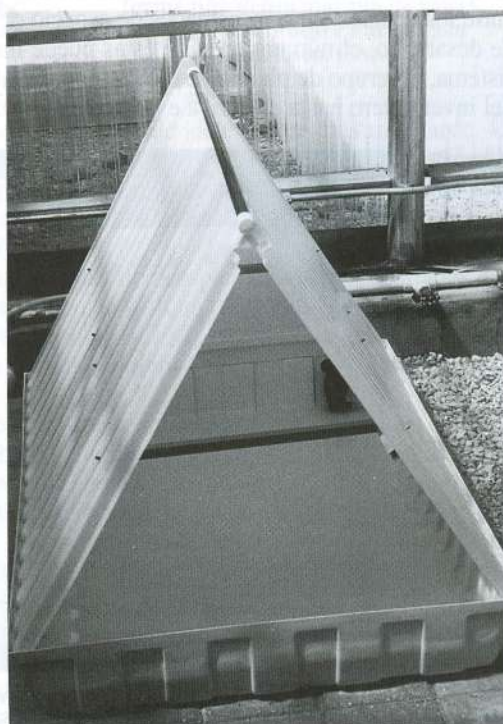


Fig. 6.26. Una pequeña estructura en  
A se asienta encima del depósito de  
nutrientes. (Cortesía de CuisinArt  
Resort & Spa, Anguilla).



cada lado de la tubería principal montada en la parte superior están espaciados de forma que se alineen en el centro de cada surco de una plancha ondulada de riego. Una pequeña bomba sumergible hace que la solución circule a través de la tubería principal. La solución se desplaza sencillamente a través de las ondulaciones y vuelve al depósito situado debajo. Cuatro paneles de cultivo (dos por cada lado) están atornillados a un travesaño situado entre cada lado de la estructura. Estos paneles de cultivo tienen cada uno 49 huecos para plantas, que están situados directamente encima de las ondulaciones de la plancha de riego (fig. 6.27). La estructura en A contiene 98 plantas por cada lado, o sea un total de 196 plantas. Iniciar las plantas en cubos de lana de roca de  $1'' \times 1'' \times 1\frac{1}{2}''$ . Las lechugas y las hierbas son los cultivos que se adaptan mejor a este sistema (fig. 6.28). Dentro de los paneles se forma una densa maraña de raíces, como aparece en la figura 6.29.

### 6.6. NFT móvil

Schippers desarrolló (1979) un sistema para el cultivo de lechugas utilizando canales móviles. Normalmente, la lechuga se trasplanta a bancadas fijas del invernadero, espaciándolas suficientemente como para permitir su desarrollo. Esto significa que, durante su primer período de desarrollo después de su trasplante, se desperdicia la superficie que hasta el final no será cubierta por la totalidad de las plantas. La técnica del cultivo en flujo (film) de nutrientes ofrece una alternativa que hace posible el hecho de que las bancadas no necesiten estar en una posición fija. Adaptando las distancias entre los canales a las necesidades de espacio de las plantas, según los diversos estados de desarrollo, el número total de éstas puede incrementarse en un 50 por 100. En este sistema, un grupo de plantas se moverá a intervalos de una a dos semanas desde un lado del invernadero hasta el otro, a espacios cada vez mayores, siendo ocupadas las seccio-

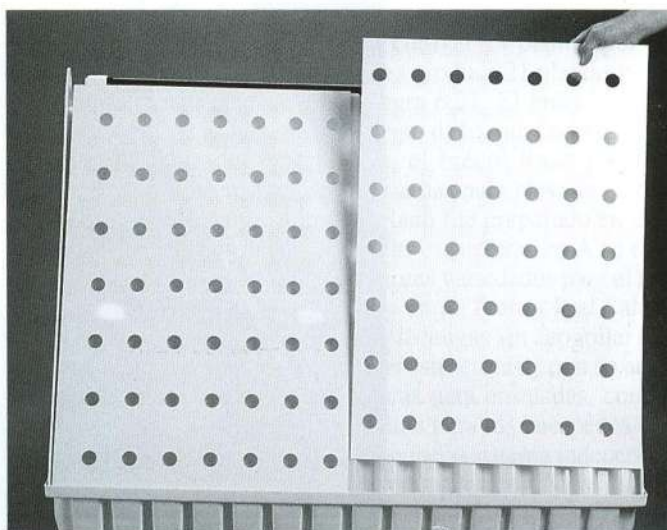


Fig. 6.27. Cada panel de cultivo contiene 49 plantas.  
(Cortesía de Future Farms, San Francisco, CA).



or están espaciados de forma  
ha ondulada de riego. Una  
través de la tubería principal.  
aciones y vuelve al depósito  
ado) están atornillados a un  
neles de cultivo tienen cada  
te encima de las ondulado-  
contiene 98 plantas por cada  
bos de lana de roca de 1" x  
se adaptan mejor a este sis-  
maraña de raíces, como apa-

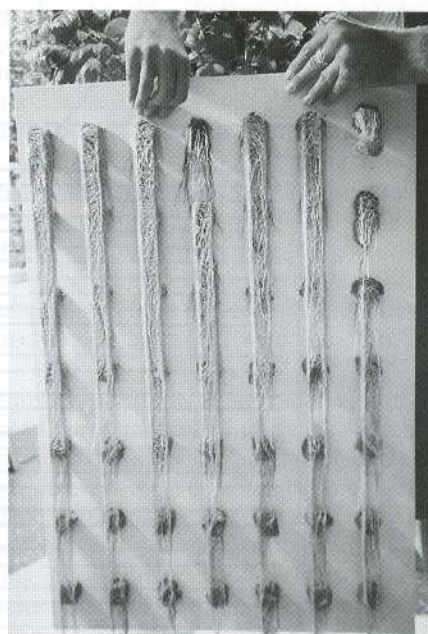
le lechugas utilizando cana-  
radas fijas del invernadero,  
arrollo. Esto significa que,  
asplante, se desperdicia la  
d de las plantas. La técnica  
a que hace posible el hecho  
t. Adaptando las distancias  
según los diversos estados  
en un 50 por 100. En este  
dos semanas desde un lado  
iendo ocupadas las seccio-



plantas.  
CA).



**Fig. 6.28.** Cultivo de albahaca, hierbas "bok choy" y lechugas (45 días) en una estructura en A. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



**Fig. 6.29.** Dentro de los paneles se forma una densa maraña de raíces. (Cortesía de Future Farms, San Francisco, CA).

nes vacías por el siguiente lote, que será sembrado de siete a diez días más tarde. La última sección se irá cosechando de forma que deje sitio a la sección inmediatamente adyacente. Este sistema, desde luego, puede solamente utilizarse con cultivos que pueden ser sembrados y recolectados a intervalos regulares de tiempo. En la figura 6.30 se presenta un croquis de este sistema móvil.

Los canales pueden construirse con bajantes de desagüe de aluminio cortadas a lo largo, pudiendo unirse entre ellas para aumentar su longitud y pudiendo cubrirse con polietileno negro o pintarse con pintura bituminosa. Estos canales pueden llenarse con perlita o dejarse vacíos y cubrirse con polietileno negro perforado en los sitios donde irán las plantas.

Los canales se pueden construir de plástico o comprarlos a los fabricantes de canales de cultivo de PVC, como se describe en el apartado 6.8, o bien se pueden construir con planchas de aluminio cortado longitudinalmente. Estas planchas se pueden unir con remaches para aumentar su longitud. Asimismo, se pueden forrar con polietileno negro o pintar con pintura bituminosa. Los canales se pueden llenar con perlita o dejarlos vacíos y cubrirlos con polietileno negro perforado en la ubicación de cada planta.

El depósito de nutrientes puede consistir en una trinchera forrada con vinilo o polietileno negro, o bien simplemente una tubería de PVC de 3 pulgadas (7,6 cm) cortada por la mitad y utilizada como canal de retorno hasta el depósito de nutrientes situado al final, el cual deberá tener suficiente volumen como para almacenar 1 litro de solución de nutrientes por cada planta de lechuga o de otras de igual tamaño.



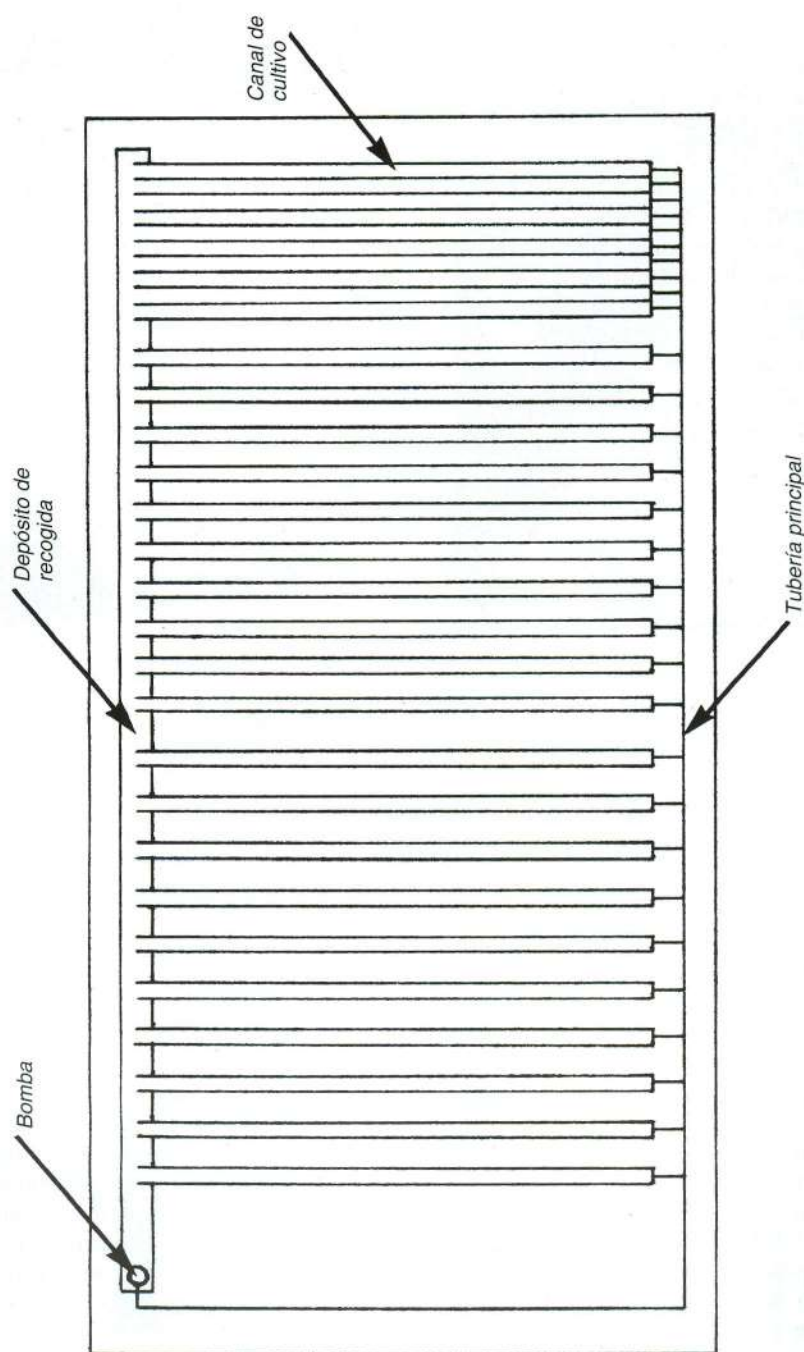


Fig. 6.30. Vista general de un sistema móvil NFT.



Generalmente, es mejor el disponer de una válvula automática de flotación acoplada a la tubería de entrada de agua, de forma que pueda conservarse a un nivel máximo el contenido del depósito, haciendo que dure varios días dicha solución. De esta forma, cuando las plantas maduran en días muy luminosos, su alta demanda de agua no será causa de una drástica caída del nivel de la solución, que produciría fuertes cambios en su concentración.

Una bomba colocada en el depósito de nutrientes hace circular la solución a través de un sistema de distribución formado por una línea principal de PVC de 1 pulgada (2,54 cm), de la que salen pequeñas tuberías de suministro de 1/4 pulgada (0,6 cm) de diámetro hasta cada uno de los canales, los cuales deberán tener una pendiente mínima de un 3 por 100. El extremo más bajo de los canales de cultivo sobresaldrá ligeramente sobre el borde del canal de recogida, de manera que el exceso de solución drene de vuelta para ser reciclado.

La anchura de los canales de cultivo para tomates y pepinos no necesita exceder de 6 pulgadas (15 cm), mientras que para lechugas se precisarán sólo 3 pulgadas (7,5 cm). Para el cultivo de lechuga en pequeña escala es preferible utilizar 2 pulgadas (5 cm) de perlita en los canales de una bancada nivelada o de un sistema en cascada, lo que dará mejores resultados y añadirá suficiente seguridad contra una posible desecación debida a un fallo de la bomba o a una obturación de las tuberías. En los cultivos comerciales es más atractivo el uso de bancadas sin sustrato, puesto que esto facilita la eliminación de las plantas al final de la cosecha y la esterilización de las bancadas antes de las nuevas plantaciones.

La perlita es necesaria para el cultivo de plantas aprovechadas por su raíz, siendo precisos canales algo más profundos, que estarán rellenos con una capa de ésta. Ocho pulgadas (20 cm) será la profundidad del canal precisa para el cultivo de patatas y 6 pulgadas (15 cm) o 4 pulgadas (10 cm) para las zanahorias, según su tamaño.

Un método relativamente simple para la construcción de canales en cultivos a pequeña escala fue sugerido por Schippers, en 1979, consistiendo éste en dos tiras de madera de 1 x 2 pulgadas (2,5 x 5 cm) clavadas a una distancia adecuada, y por sus lados más estrechos, sobre una lámina de contrachapado. Los canales se formaban empujando una lámina de polietileno no negro hacia el fondo entre las dos tiras de madera.

Sugirió éste, también, el uso de un sistema de bancada plana para las plantas de poco tamaño que se siembran directamente, como rábanos, guisantes, judías, espinacas, etcétera, y que consistía en una lámina de contrachapado o masonita con una pestaña sobre tres de sus lados, forrada con plástico y rellena con algunas pulgadas de perlita, evitándose la caída de ésta en la zanja de drenaje situada en la parte más baja por medio de una malla de plástico. Una tubería de entrada deberá utilizarse por cada pie de anchura que tenga la bancada.

## 6.7. Sistemas NFT de tuberías de PVC y de canales

Se puede construir un sistema NFT de tuberías con tuberías de plástico utilizadas para las viviendas (fig. 6.31), o se puede comprar a varios fabricantes un sistema de canales de cultivo de PVC rígido, como los de Rehau Plastics Inc. (Apéndice 2). Este canal NFT es particularmente adecuado para el cultivo de lechugas tipo europeo y

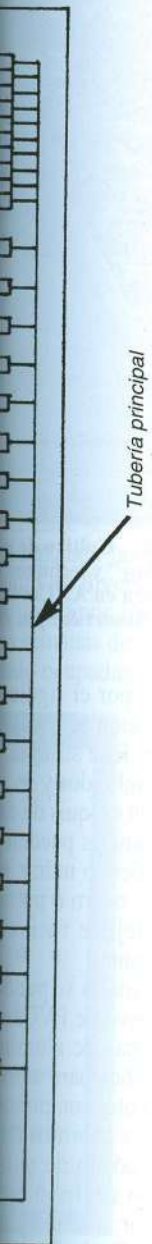


Fig. 6.30. Vista general de un sistema móvil NFT.



hierbas. Los canales están disponibles en cualquier longitud, pero no deben exceder de 50 pies (15 m), pues puede producirse una insuficiente oxigenación y un bloqueo de los canales por las raíces, así como gradientes de nutrientes. Los canales de 50 pies de longitud serían difíciles de manejar durante la cosecha y la limpieza. La longitud práctica máxima sería unos 15 pies (4,6 m). Estos juegos de canales podrían construirse adosados en pendientes hasta un canal receptor central. En climas templados, los canales podrían ser más largos, si se colocaran sobre el suelo del invernadero.

Se construyen dos canales con distinta sección: un canal mayor, de 2 9/16 pulgadas de ancho por 2 pulgadas de profundidad ( $6,5 \times 5$  cm), y otro menos profundo, de 2 9/16 pulgadas por 1 1/4 pulgadas de profundidad ( $6,5 \times 3$  cm). La elección del canal depende del bloque de propagación usado. Por ejemplo, el canal más profundo se usa con macetas de 2 pulgadas de diámetro rellenas de un medio de cultivo de turba, con cubos de lana de roca o con bloques Oasis, mientras que el canal menos profundo es adecuado para «celdas de semillas» hechas de masa de fibra de acetato de densidad ultrabaja, envueltas en celofán. El canal tiene una cubierta de plástico de 2 7/16 pulgadas de ancho (6,2 cm), con un extremo de 3/8 de pulgada (1 cm) que se asienta sobre un resalto moldeado según la pared del canal. El canal menor tiene la ventaja de ser un 30 por 100 más barato en coste que el mayor. Puede ser costumbre hacer unos agujeros redondos u cuadrados en la cubierta. Lo normal es que estén separados siete pulgadas (18 cm).

La solución de nutrientes es bombeada desde una tubería del tanque de nutrientes. Se conectan emisores de 6 galones USA/hora (22,7 litros/hora) entre la tubería y la línea de goteo (fig. 6.32). Se deben instalar varios filtros de 100 mesh, seguidos de otro de 200 mesh, aguas abajo de la bomba para prevenir la obstrucción de los goteros.



Fig. 6.31. Uso de canales de plástico para viviendas como canales de un sistema NFT para el cultivo de lechugas.



pero no deben exceder de  
renación y un bloqueo de  
Los canales de 50 pies de  
mpieza. La longitud prác-  
nales podrían construirse  
mas templados, los cana-  
vernadero.

mayor, de 2 9/16 pulga-  
tro menos profundo, de 2  
n). La elección del canal  
nal más profundo se usa  
de cultivo de turba, con  
canal menos profundo es  
de acetato de densidad  
plástico de 2 7/16 pulga-  
cm) que se asienta sobre  
tiene la ventaja de ser un  
bre hacer unos agujeros  
separados siete pulgadas

del tanque de nutrientes.  
ra) entre la tubería y la  
mesh, seguidos de otro  
ción de los goteros.



s de un sistema NFT

Una firma comercial, Gourmet Hydroponics Inc., Lake Wales, Florida, utiliza canales de 12 pies (3,6 cm) para cultivar lechuga tipo europeo y hierbas (figs. 6.32 y 6.33). Los canales están soportados por un banco tubular de hierro galvanizado (fig. 6.34). La lechuga se propaga en cubos de lana de roca (fig. 6.35) y se coloca directamente en los canales después de unos 14 días desde la germinación.



Fig. 6.32. Canales NFT Rehau NFT-líneas de entrada del riego por goteo desde una tubería de polietileno negro. Lechuga europea, «Ostinata», unos 45 días después de la siembra, lista para su recogida. Obsérvese el uso de «trampas amarillas» para el control de los insectos. (Cortesía de Gourmet Hydroponics, Inc., Lake Wales, Florida).

Fig. 6.33. Albahaca en canales Rehau de 12 pies, a 7,5 pulgadas (19 cm) de separación y 12 pulgadas (30,5 cm) entre líneas. Obsérvense las líneas de entrada del riego por goteo en primer plano. (Cortesía de Gourmet Hydroponics Inc., Lake Wales, Florida).





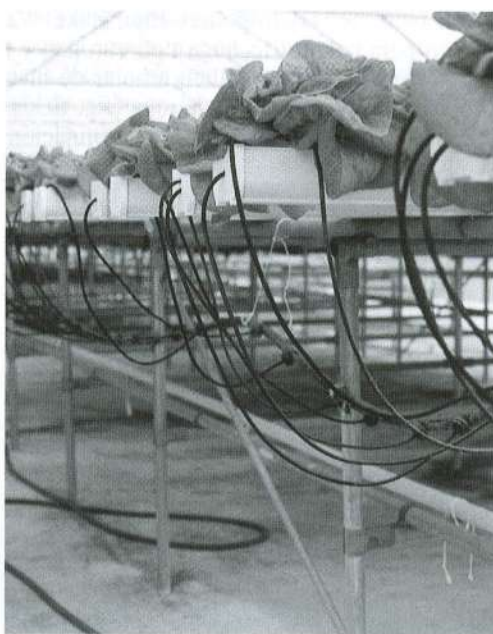


Fig. 6.34. Sistema de tuberías para el riego por goteo para cada canal Rehau, soportado por un banco tubular de hierro galvanizado (Cortesía de Gourmet Hydroponics Inc., Lake Wales, Florida).

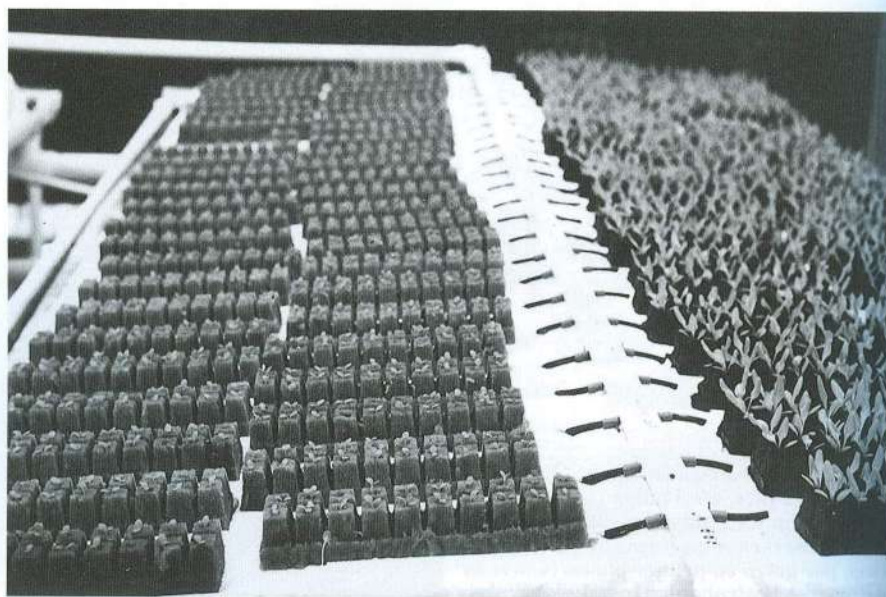


Fig. 6.35. Cubos de lana de roca utilizados para el inicio de plántulas de lechuga.



Las raíces de la lechuga crecen a lo largo del canal (figs. 6.36 y 6.37). El fondo del canal está estriado para proporcionar una distribución uniforme del flujo de nutrientes. El canal tiene una pendiente del 2 por 100, desde el terminal de entrada hasta el de salida. Un canal receptor en el terminal de salida devuelve la solución a la cisterna.

Las plantas se espacian 7,5 pulgadas (19 cm) dentro de las líneas, dando 20 cabezas por línea de 12 pies, y 8 pulgadas (20 cm) entre líneas. Este sistema utilizaría aproximadamente el 80 por 100 de la superficie del suelo del invernadero. En un invernadero de un acre, teniendo en cuenta los pasillos, dos conjuntos de bancadas de 15 pies se podrían orientar perpendicularmente a los canales y postes del invernadero. Este contendría 88.740 plantas utilizando un espaciamiento de 7,5 pulgadas por 8 pulgadas. La densidad de las plantas sería de 2 plantas/pie cuadrado (21 plantas/metro cuadrado) de superficie de suelo del invernadero, o 2,55 plantas/pie cuadrado (27 plantas/metro cuadrado) de superficie de cultivo. Esta densidad es ligeramente inferior a la del sistema de balsas, pero algo superior a la del sistema NFT de doble fila.

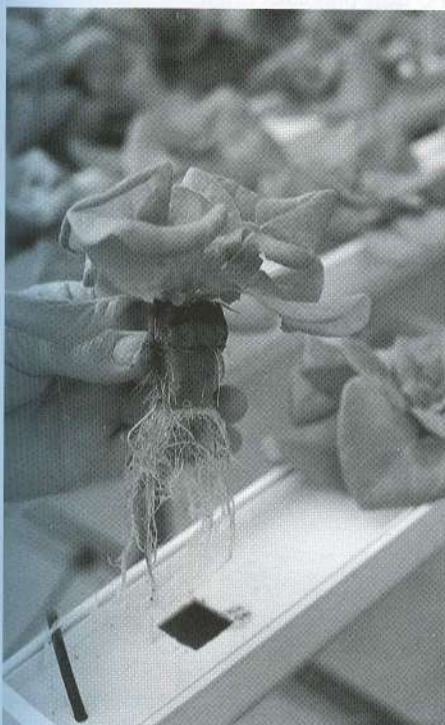


Fig. 6.36. Planta de lechuga cultivada en un cubo de lana de roca. La planta tiene unas tres semanas desde la plántula (una semana después del trasplante). Obsérvese la cubierta del canal Rehau.

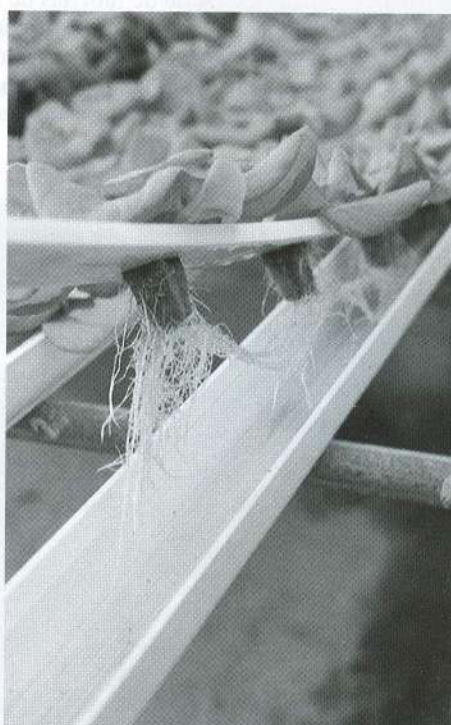


Fig. 6.37. Cubierta retirada de un canal Rehau mostrando cómo crecen las raíces de las lechugas a lo largo del fondo del canal, formando una masa de raíces. (Cortesía de Gourmet Hydroponic Inc., Lake Wales, Florida).



Durante la recogida se quitan los canales con las plantas intactas (fig. 6.38). Esto permite también al agricultor seleccionar las plantas más avanzadas para cosecharlas antes que las cabezas más pequeñas de la misma edad, en el caso de que esto ocurra en condiciones climáticas desfavorables. Después de cada cosecha selectiva, los canales se pueden volver a colocar en su posición original para permitir que el resto de lechugas continúen creciendo hasta alcanzar el peso que deben tener en la cosecha. Las plantas se cortan por la corona con un cuchillo afilado (fig. 6.39).

Cualquier hoja muerta o amarilla de la base se quita antes de llevar las lechugas al área de envasado. Los canales son transportados a una cuba central limpiadora y esterilizadora, donde son lavados con agua limpia, seguido de una puesta en remojo en una solución de lejía al 10 por 100, durante al menos una hora. Las bandejas se deben limpiar con agua cuando se sacan de la esterilización y dejarlas que se sequen.

Las lechugas se envasan en bolsas de polietileno y se colocan en cajas de cartón para su envío. Se deben conservar refrigeradas a 35°F (1,7°C). El tiempo durante el cual pueden conservarse las lechugas tipo europeo sin que se deterioren es de 7 a 10 días.

Los sistemas de tuberías de PVC son, en principio, muy parecidos al sistema NFT de canales Rehau. Una serie de tuberías de PVC de 2 pulgadas (5 cm) de diámetro presentan en su cara superior agujeros perforados en líneas de 1 1/2 pulgadas (3,8 cm) de diámetro, con una distancia entre sus centros suficiente para el desarrollo de las lechugas en cada canal-generalmente, 6 1/2-7 pulgadas (16.5-18 cm), como se muestra en la figura 6.40.



**Fig. 6.38.** Extracción de un canal completo NFT de la mesa de cultivo para permitir una cosecha fácil. (Cortesía de Gourmet Hydroponics Inc., Lake Wales, Florida).



ntas intactas (fig. 6.38). Esto  
s avanzadas para cosecharlas  
el caso de que esto ocurra en  
osecha selectiva, los canales  
permitir que el resto de lechu-  
en tener en la cosecha. Las  
6.39).

ntes de llevar las lechugas al  
a central limpiadora y esterili-  
na puesta en remojo en una  
Las bandejas se deben lim-  
s que se sequen.  
colocan en cajas de cartón  
(7°C). El tiempo durante el  
se deterioran es de 7 a 10

y parecidos al sistema NFT  
das (5 cm) de diámetro pre-  
1 1/2 pulgadas (3,8 cm) de  
a el desarrollo de las lechu-  
(cm), como se muestra en la

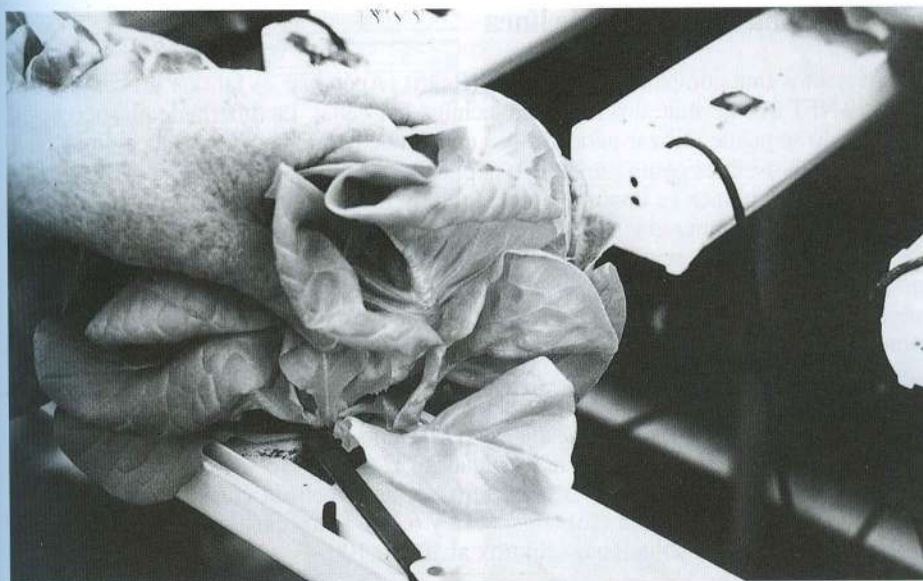


Fig. 6.39. Cortar la base de la planta en la superficie del canal NFT durante la cosecha. (Cortesía de Gourmet Hydroponics Inc., Lake Wales, Florida).



cultivo para permitir una  
ke Wales, Florida).

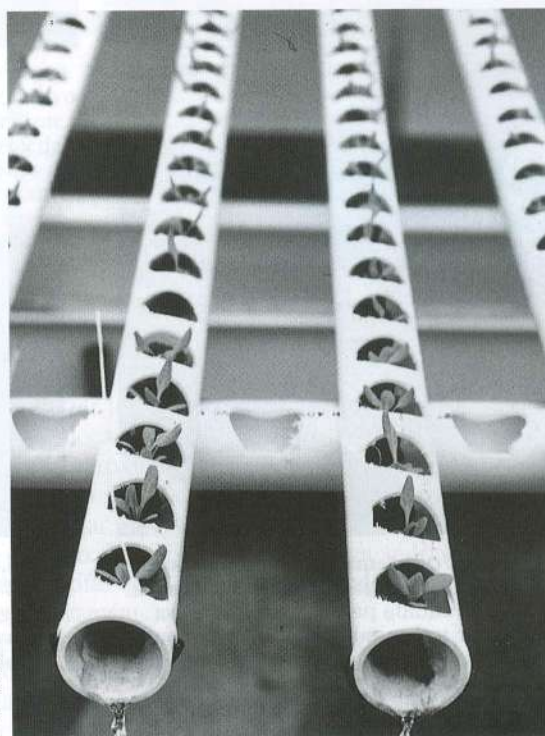


Fig. 6.40. Canales NFT de tuberías PVC para el cultivo de lechugas. Obsérvese el canal de retorno en primer plano.



### 6.8. Sistema NFT en doble línea

Al menos una compañía en Holanda (Reko) (Apéndice 2) fabrica un canal y una cubierta NFT que permite dos líneas de lechuga por canal. La tubería de plástico negro semirrígido se puede utilizar para cultivos en lana de roca o para la producción en NFT de otros cultivos, tales como tomate y/o pepino.

La cubierta blanca es impermeable a la luz y produce una buena reflexión de ésta (figs. 6.41 y 6.42) para reducir la concentración de calor en el interior del canal.

La cubierta blanca se puede enrollar en un carrete de una plantadora. Dos operarios se sitúan sobre la máquina durante el trasplante. La máquina va desenrollando cuatro cubiertas a la vez, mientras se mueve a lo largo de los canales NFT, y las va colocando sobre ellos. Al mismo tiempo, los operarios colocan las plantas en los agujeros de las cubiertas. Los agujeros se realizan alternativamente en la cubierta, dejando 10 pulgadas (25 cm) entre plantas de una misma línea y 9 pulgadas (22,5 cm) entre líneas, cuando se va a cultivar lechuga europea. Los canales NFT están separados 8 pulgadas (20 cm) para conseguir un espacio entre líneas de 9 pulgadas (22,5 cm). No se deja pasillo para que toda la superficie cultivable del invernadero sea aprovechada con líneas de lechugas distanciadas 9 pulgadas (22,5 cm) (figs. 6.43 y 6.44). Estos canales se pueden esterilizar fácilmente con una solución de chlorox al 10 por 100.



Fig. 6.41. Sistema NFT de doble línea con lechuga europea. La cubierta blanca está levantada para mostrar la masa radicular y el canal negro NFT. La masa radicular atraviesa una tira de toalla de papel colocada en el fondo del canal durante el transporte para obtener una distribución uniforme de la solución.



Fig. 6.42. Cubierta blanca de doble línea NFT levantada para mostrar el tamaño del agujero donde se insertan las plantas. Los trasplantes se realizan después de que las plántulas hayan estado tres semanas en bloque de turba.



ce 2) fabrica un canal y una  
La tubería de plástico negro  
o para la producción en NFT

una buena reflexión de ésta  
el interior del canal.

na plantadora. Dos operarios  
na va desenrollando cuatro  
les NFT, y las va colocando  
antas en los agujeros de las  
bierta, dejando 10 pulgadas  
cm) entre líneas, cuando se  
dos 8 pulgadas (20 cm) para  
No se deja pasillo para que  
ada con líneas de lechugas  
canales se pueden esterili-



erta blanca de doble línea  
para mostrar el tamaño  
de se insertan las plantas.  
se realizan después de que  
ayan estado tres semanas  
oque de turba.



**Fig. 6.43.** Canales NFT de plástico negro separados 8 pulgadas (20 cm). Entre cultivo y cultivo, los canales se pueden esterilizar fácilmente con una solución de chlorox del 10 por 100. Las entradas de los sistemas de riego por goteo aparecen en primer plano. Los canales NFT tienen 50 pies (15 m) de largo y están ligeramente inclinados hacia el canal recolector central.

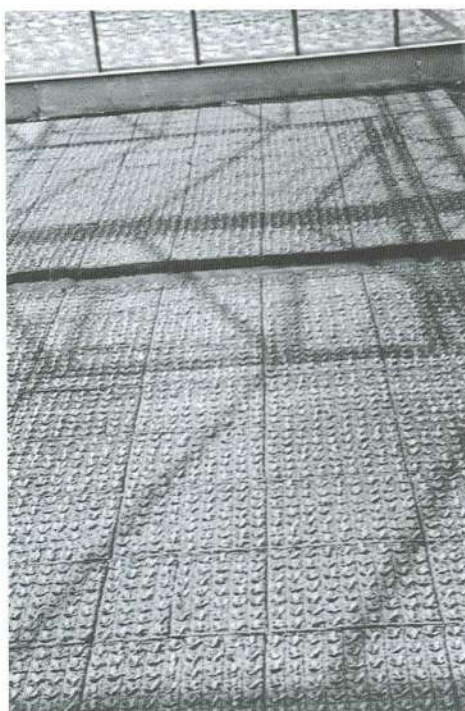


**Fig. 6.44.** Lechugas maduras cubriendo la mayor parte de la superficie de un invernadero.

Las lechugas se pueden sembrar en bloques de turba comprimida, utilizando un compresor automático de bloques y una sembradora (fig. 6.45). Aunque la mayoría de los agricultores holandeses prefieren utilizar los bloques de turba comprimida para la germinación, un método alternativo es colocar la semilla en el interior de un cubo de lana de roca. Una zona de propagación de aproximadamente 1.100 pies cuadrados (100 m<sup>2</sup>) es suficiente para abastecer a una zona de producción de 10.760 pies cuadrados (1.000 m<sup>2</sup>). El área de propagación debe estar provisto de luz artificial suplementaria y de un sistema de nebulización para el riego. Las plántulas de lechuga se trasplantan a los canales NFT al cabo de doce-cuarenta días de la nascencia, dependiendo sobre todo de la estación (verano e invierno, respectivamente).

Los canales NFT no deben tener una longitud superior a los 50 pies (15 m) y tienen que estar inclinados hacia la línea recolectora de retorno. Dos grupos de canales bajan a la zanja recolectora desde ambos lados (fig. 6.43). Las zanjas recolectoras llevan la solución de retorno a una cisterna, en la cual el pH y el EC son ajustados automática-





**Fig. 6.45.** La lechuga se siembra en bloques de turba prensada. Lechugas dos-tres días después de haber germinado.

mente con inyectores. Una bomba hace circular la solución de nutrientes continuamente durante las veinticuatro horas del día. Una tira de toalla de papel colocada en el fondo de los canales NFT permite una distribución uniforme de la solución nutritiva a lo largo de los mismos. La solución de nutrientes se introduce por la parte más elevada de los canales y circula por ellos hasta la zanja recolectora de forma similar a como se realiza en otros sistemas convencionales NFT.

Un invernadero de un acre, cuyas dimensiones sean  $132 \times 330$  pies ( $40,2 \times 100,6$  m), que tenga una zona de paso en el centro de 10 pies (3 m) y 2 pies (0,6 m) de pasillo al final deja un espacio útil de 120 pies (36,6 m), que puede contener dos canales NFT de 60 pies (18,3 m) por cada 9 pulgadas (22,5 cm) de anchura del invernadero.

Un acceso cada 27 pies (8,2 m) con pasillos de 2 pies (0,6 m) de ancho para el control de plagas equivale a 36 líneas de cultivo por cada 29 pies (8,8 m) de anchura del invernadero o a un total de 410 líneas. Las líneas de 120 pies (36,6 m) de longitud con plantas cada 10 pulgadas (25 cm) contienen 144 plantas. Por consiguiente, el número total de plantas por acre de invernadero es:  $144 \times 410 = 59.040$  plantas. El área útil es:  $27 \times 120$  pies  $\times$  11 sectores = 35.640 pies cuadrados, es decir, el 82 por 100. La productividad del área cultivada es de 1,66 plantas/pie cuadrado (18 cabezas/m<sup>2</sup>) y la del área del invernadero es de 1,36 plantas/pie cuadrado (14,5 cabezas/m<sup>2</sup>).

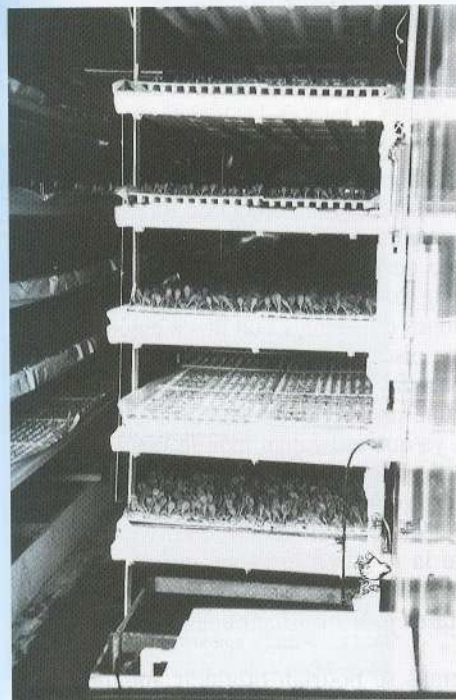
De los tres sistemas (cascada, balsa y doble NFT), éste es el menos caro de instalar.

La principal ventaja de este sistema es el menor coste de capital para obtener un sistema NFT de densidad de plantación relativamente alta.

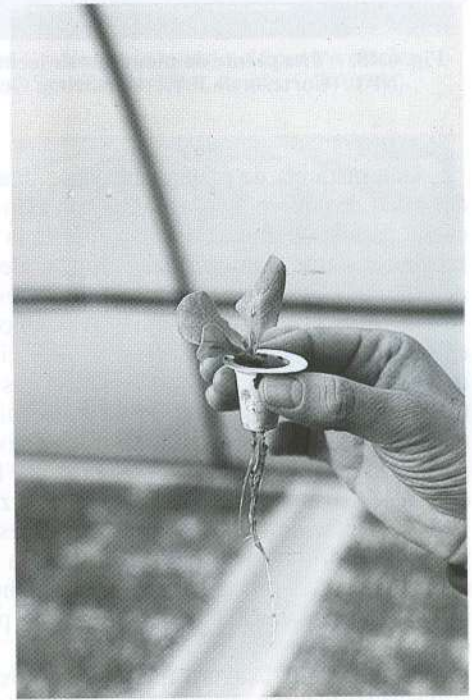


## 6.9. Agri-Sistemas NFT

En los años ochenta, ha sido desarrollado un sistema muy eficiente de NFT por Agri-Systems en Somis, California. Las plántulas se cultivan en bandejas «creamocup» con 154 pequeñas macetas. Los agujeros se abren en la base con una sierra de mesa especial con hojas múltiples. Las bandejas se rellenan con vermiculita y se siembran con lechuga tipo europeo, utilizando una máquina de rellenar y una sembradora automática. Las plántulas se cultivan en un pequeño invernadero para plántulas o en cámaras de crecimiento de ambiente controlado, con iluminación artificial, riego automático y control de temperatura (fig. 6.46). Para reducir los costes eléctricos, las plántulas se cultivan en un invernadero separado para plántulas, utilizando un sistema de flujo y reflujo (Fig. 13.7). A las tres semanas, las plántulas están listas para trasplantar a los canales NFT de un invernadero. Las macetas que contienen las plántulas en las bandejas de plástico son sacadas directamente de las bandejas, y las pequeñas plantas de lechuga con sus contenedores son plantadas directamente en una cinta móvil dentro de los canales (figs. 6.47 y 6.48). Los cortes en la parte baja de las macetas permiten a las raíces crecer en la solución de nutrientes.



**Fig. 6.46.** Cámara de crecimiento con ambiente controlado. Plántulas de lechuga, en vermiculita, en bandejas de plástico con un sistema hidropónico de flujo y reflujo. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).



**Fig. 6.47.** Plántula de lechuga creciendo en una pequeña maceta de plástico. (Cortesía de Whittaker Corporation's Agri-Systems Division, Somis, California).



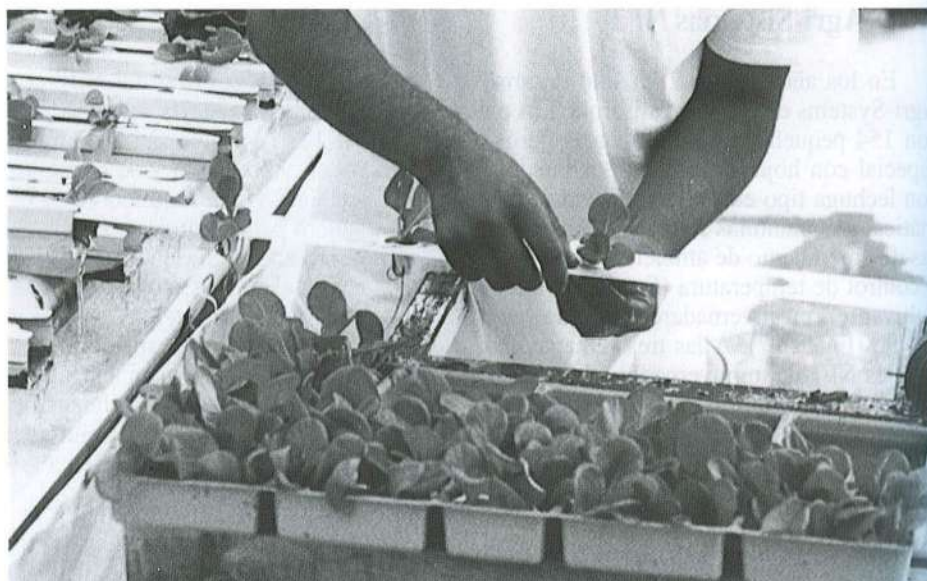


Fig. 6.48. Trasplante de plántulas de lechuga a una cinta móvil que cubre los canales NFT. (Cortesía de F.W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).

Una máquina de plantar introduce una cinta enrollada de plástico en las ranuras del canal de cultivo. Los agujeros han sido perforados en la cinta con un espacio adecuado para las lechugas. El operador de la máquina de plantar deja caer simplemente las macetas que contienen las plántulas dentro de los agujeros de la cinta, y de este modo se introducen en el canal de nutrientes (fig. 6.48).

Los Agri-Sistemas probaron las producciones de lechuga con dos a cinco pisos de canales. Se encontró que los sistemas de cinco pisos no permitían suficiente luz solar natural para entrar en los niveles inferiores para favorecer convenientemente el crecimiento de la planta, con el fin de conseguir un producto comercializable. Los sistemas de dos alturas eran los más productivos, ya que utilizaban toda la luz disponible; sin embargo, todavía un gran porcentaje de las lechugas de los niveles inferiores no era de excelente calidad, debido a la falta de luz (figs. 6.49 y 6.50).

La plantación se programó para que las líneas tuvieran plantas de diversas edades y, de esta forma, permitir la penetración de la máxima luz a los pisos más bajos (fig. 6.51). Si las plantas de igual edad se hubieran colocado en canales adyacentes, la luz que hubiera pasado sería insuficiente para el piso más bajo cuando las lechugas madurasen totalmente.

La compañía aseguró que con sus sistemas se podrían producir anualmente 8 millones de cabezas de lechuga en 2 1/2 acres (1 hectárea), en comparación con las 75.000 producidas en la misma superficie con el sistema tradicional al aire libre. Esto es, equivalente a nueve lechugas por pie cuadrado de superficie de invernadero, o sea, 72 cabezas por año si se producen ocho cosechas. Si sólo son llevadas al mercado 6,5 millones de la producción total de 7,5 a 8 millones y unas 19 personas son, según se estima, necesarias para trabajar en un módulo de 2,5 acres de lechuga, la mano de obra



Fig. 6.49. (Cortesía de F.W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).



Fig. 6.50. europeos niveles. Ob enrollal cosecha at Whittal Systems D





óvil que cubre los canales  
ak View, California).

de plástico en las ranuras  
cinta con un espacio ade-  
tar deja caer simplemente  
eros de la cinta, y de este

a con dos a cinco pisos de  
mitían suficiente luz solar  
onvenientemente el creci-  
omercializable. Los siste-  
pan toda la luz disponible;  
os niveles inferiores no era  
)).

plantas de diversas edades  
uz a los pisos más bajos  
en canales adyacentes, la  
bajo cuando las lechugas

n producir anualmente 8  
en comparación con las  
dicional al aire libre. Esto  
cie de invernadero, o sea,  
n llevadas al mercado 6,5  
9 personas son, según se  
lechuga, la mano de obra



Fig. 6.49. Producción de lechuga por «Agri-Systems», en canales de cuatro niveles. (Cortesía de Whittaker Corporations's Agri-Systems Division, Somis, California).



Fig. 6.50. Producción de lechuga europea en canales NFT de dos niveles. Obsérvense las cintas móviles enrollables para la plantación y cosecha automatizadas. (Cortesía de Whittaker Corporation's Agri-Systems Division, Somis, California).



Fig. 6.51. Dos niveles de canales NFT con diferentes estados de maduración de las plantas, desde plántulas a lechugas maduras. Obsérvense las cintas móviles enrollables y el sistema de reciclado del riego. (Cortesía de Whittaker Corporation's Agri-Systems Division, Somis, California).



estimada cuesta algo más de 0,02 dólares por cabeza, en comparación con los 0,07 a 0,10 dólares por cabeza para lechugas cultivadas en pleno campo.

Es dudoso que estos objetivos fueran alcanzados, pues fue retirada la instalación del invernadero por los propietarios originales, y el sistema de pisos de los canales de cultivo fue abandonado en favor de un único nivel. A principios de los años noventa, Agri-Systems ayudó a establecer otras dos instalaciones de invernadero de aproximadamente 1/2 acre cada una en el área de Somis. Agri-Systems suministró gran parte de los componentes del sistema NFT de cultivo y la transferencia de tecnología a estas empresas de invernaderos.

Una de estas empresas de invernaderos, F.W. Armstrong Ranch, cultiva unos 20.000 pies cuadrados (1.860 metros cuadrados) de lechuga. Los canales NFT están levantados unos 3 pies (1 m) por encima del suelo del invernadero, con un estructura de soporte de aluminio (fig. 6.52). Desde el panel de refrigeración, unos ventiladores suministran aire frío por debajo de las bancadas.

Los ventiladores cogen el aire a través del panel de refrigeración y mandan el aire frío hacia unos tubos de convección situados sobre el suelo que atraviesa el invernadero y debajo de los canales de lechugas. Este sistema de refrigeración a presión se mantiene por debajo de los canales NFT gracias a unas cortinas de polietileno que los envuelven (fig. 6.53). El aire sube por el invernadero para salir por los conductos de ventilación situados en la parte superior de la estructura de diente de sierra.

Los canales NFT, contruidos de aluminio, tienen aproximadamente un ancho de 3 pulgadas (7,6 cm) y una profundidad de 2 pulgadas (5 cm), con unos resaltes incorporados en sus fondos para facilitar la refrigeración (figs. 6.54 y 6.55). Las plantas son soportadas en la cinta flexible de plástico, que se asienta entre varios resaltes en el borde superior interior del canal.

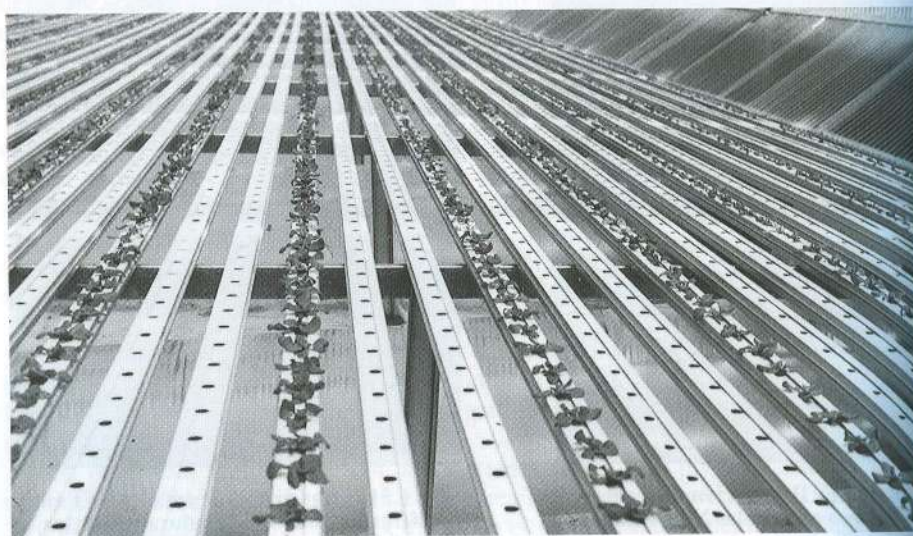


Fig. 6.52. Los canales NFT se levantan unos 3 pies mediante una estructura metálica. Obsérvense los tubos de convección por debajo de la mesa y el panel de refrigeración por detrás de los paneles deflectores en la parte superior derecha. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).



n comparación con los 0,07 a  
o campo.  
ues fue retirada la instalación  
ma de pisos de los canales de  
rincipios de los años noventa,  
de invernadero de aproxima-  
tems suministró gran parte de  
erencia de tecnología a estas

strong Ranch, cultiva unos  
auga. Los canales NFT están  
vernadero, con un estructura  
rigración, unos ventiladores

refrigeración y mandan el aire  
o que atraviesa el invernade-  
rigración a presión se man-  
tinas de polietileno que los  
a salir por los conductos de  
diente de sierra.

ximadamente un ancho de 3  
, con unos resaltos incorpo-  
54 y 6.55). Las plantas son  
entre varios resaltos en el



una estructura metálica.  
panel de refrigeración por  
ha. (Cortesía de F. W.  
ifornia).

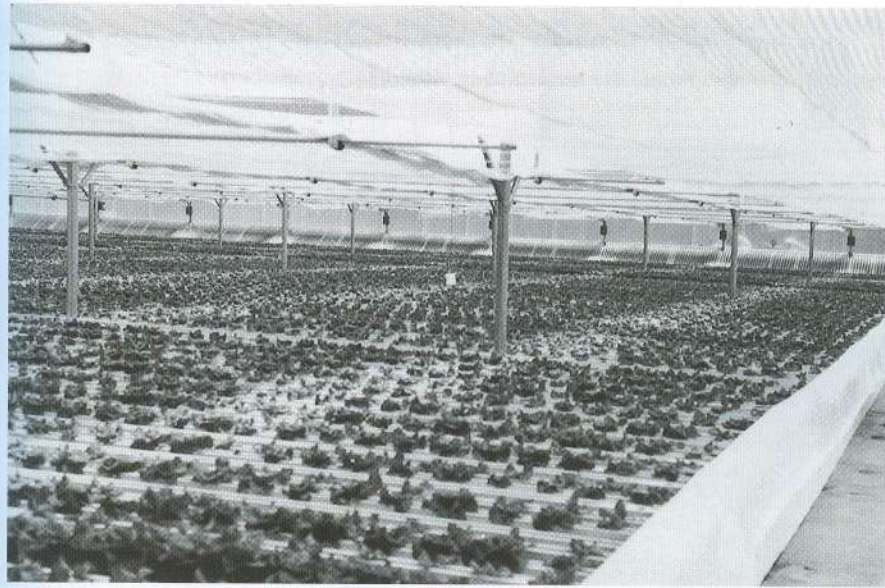


Fig. 6.53. La cortina de polietileno alrededor de las bancadas mantiene el aire refrigerado debajo de éstas. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).

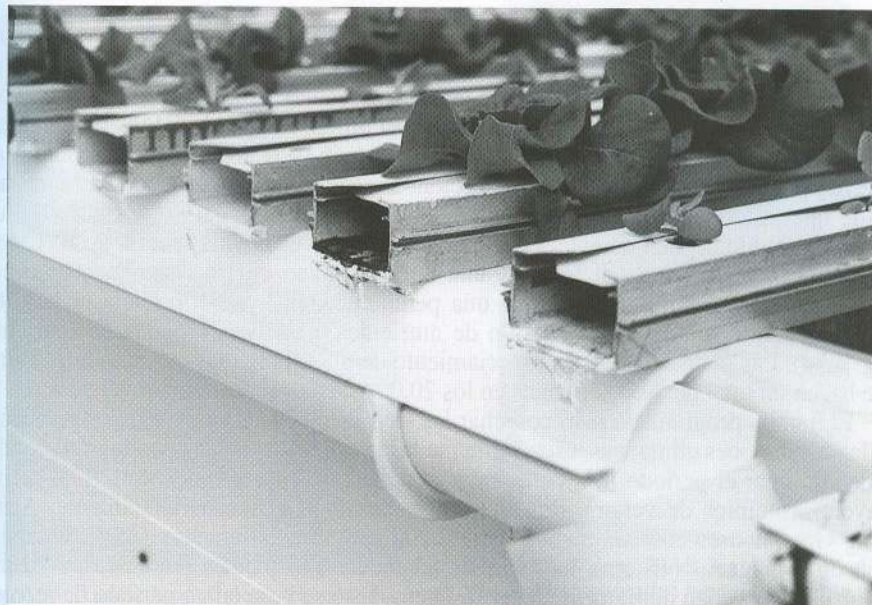
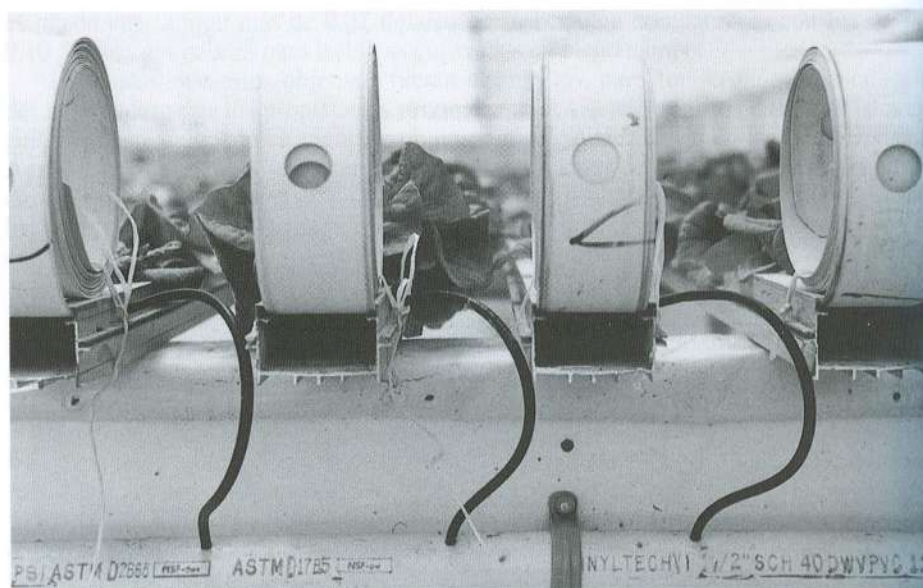


Fig. 6.54. Los canales NFT de aluminio desembocan en un tubo de recogida que devuelve la solución de nutrientes a una cisterna. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).





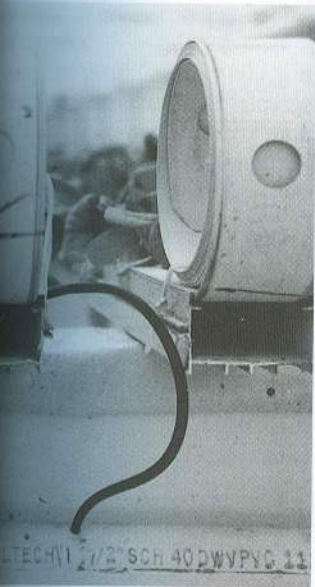
**Fig. 6.55.** Terminales de entrada de los canales NFT. Obsérvense los resaltes en la base de los canales, la tubería de entrada con un tubo alimentador para cada canal y la cubierta del canal con cinta flexible enrollable, soportada por resaltes en la parte superior del canal. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).

Los canales NFT tenían 150 pies (46 m) de longitud, pero más tarde se redujeron a 73 pies (22 m) y a 70 pies (21 m), con un pasillo de 7 pies (2 m) en el centro del invernadero. Cada una de las dos secciones tenía 228 canales. De esta forma funcionaban dos sistemas separados, cada uno de ellos con su propio tanque de solución de nutrientes. Si surge algún problema en una sección, es más fácil aislarlo y solucionarlo sin interrumpir la producción de la otra sección. La solución de nutrientes es bombeada desde una cisterna de 500 galones (1.890 l), situada en el panel de refrigeración del invernadero, al terminal de entrada de cada canal a través de una tubería de PVC de 1 1/2 pulgadas (3,8 cm) de diámetro y una línea de goteo de 1/4 de pulgada (0,6 cm) (fig. 6.55). Los canales NFT tienen una pendiente del 2 por 100 hacia el terminal receptor, donde se recoge la solución de nutrientes y vuelve al tanque de nutrientes (fig. 6.54). Las plantas tienen un espaciamiento de 6 x 6 pulgadas (15 x 15 cm), con lo que hacen un total de 70.000 plantas en los 20.000 pies cuadrados del invernadero.

El tiempo programado para cosechar las lechugas es de 28 a 38 días, dependiendo de las condiciones climáticas, especialmente las horas de luz solar y la longitud del día, teniendo lugar el período más corto entre cosechas durante los meses de final de primavera-principios de verano. Por tanto, se esperan 10 cosechas anualmente. Armstrong Greenhouses cosecha como media 2.200 cabezas diariamente. Con una separación de 6 pulgadas (15 cm), hay aproximadamente 140 plantas por línea de 70 pies (21 m). Se cosechan diariamente unas 16 líneas. Esto se basa en un período de recolección de 32 días.

Se utiliza una máquina cosechadora para tirar de la cinta móvil del canal NFT y doblarla cuando los operadores cortan las cabezas de lechuga de la cinta (fig. 6.56).





osérvense los resaltos en la base  
entador para cada canal y la  
por resaltos en la parte superior  
Inc., Oak View, California).

, pero más tarde se redujeron a  
es (2 m) en el centro del inver-  
es. De esta forma funcionaban  
tanque de solución de nutrien-  
il aislarlo y solucionarlo sin  
ón de nutrientes es bombeada  
el panel de refrigeración del  
es de una tubería de PVC de 1  
o de 1/4 de pulgada (0,6 cm)  
l 2 por 100 hacia el terminal  
uelve al tanque de nutrientes  
pulgadas (15 x 15 cm), con lo  
uadrados del invernadero.

de 28 a 38 días, dependiendo  
luz solar y la longitud del día,  
nte los meses de final de pri-  
cosechas anualmente. Arms-  
diariamente. Con una separa-  
plantas por línea de 70 pies  
pasa en un período de recolec-

cinta móvil del canal NFT y  
luga de la cinta (fig. 6.56).

La lechuga es almacenada en una unidad móvil de refrigeración, que la transporta después al área de envasado (fig. 6.57). La lechuga se envasa individualmente en una bolsa de polietileno cerrada herméticamente al calor y se envían en cajas de 12 cabezas (fig. 6.58).



**Fig. 6.56.** Uso de una máquina cosechadora-trasplantadora para tirar de las líneas de lechuga de los canales. Los operadores cortan la lechuga en su base cuando la cinta pasa para doblarse hacia abajo. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouse, Inc., Oak View, California).



**Fig. 6.57.** Unidad móvil de refrigeración con cajones de almacenamiento.



**Fig. 6.58.** Envasado de lechugas en bolsas de plástico cerradas herméticamente al calor. Mesa de clasificación en la base de la máquina selladora al calor. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).



Las cintas móviles se esterilizan en una cuba de solución de lejía al 10 por 100. Después de lavarlas y secarlas, se colocan una a una en la máquina trasplantadora y se ensartan de nuevo en los canales NFT, mientras se colocan las plántulas en las cintas, como se ha descrito antes (fig. 6.58). La secuencia del trasplante es plantar una de cada tres líneas de canales, hasta llegar a la última línea. Después hay que volver y plantar la segunda línea y, finalmente, la última línea de cada conjunto de tres líneas (fig. 6.59). Esto proporciona mejor iluminación a la cosecha y durante la recogida, cuando se tira de la cinta, las plantas no se rozan unas con otras.



Fig. 6.59. Filas de lechuga mostrando la secuencia de las fechas de plantación. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses, Inc., Oak View, California).

### 6.10. Sistemas de flujo y refluo

La técnica de flujo y refluo es básicamente un método de subirrigación. La solución de nutrientes es bombeada a una bancada hasta una profundidad de aproximadamente 1 pulgada (2-3 cm) durante unos 20 minutos, y después se deja que vuelva al tanque de nutrientes una vez que se desconectan las bombas. Los sistemas de bancadas de flujo y refluo están disponibles en los fabricantes comerciales. Estos sistemas de bancadas son particularmente apropiados para el cultivo de trasplantes de plántulas y plantas ornamentales en maceta (fig. 6.60). La base de la bancada tiene unos pequeños canales perpendiculares a los canales más profundos (figs. 6.61). Esto permite uniformar el llenado y completar el drenaje durante los ciclos de riego. Los canales más profundos conducen a los tubos de entrada y salida. Las mesas son regadas desde ambas extremidades, tienen 50 pies (15 m) de longitud y se apoyan en una estructura metálica con patas de hormigón para mantenerlas perfectamente a nivel.

Bevo Farms Ltd., de Langley, B. C., utiliza otro tipo de sistema de flujo y refluo para propagar trasplantes para invernaderos comerciales y cultivadores al aire libre.



solución de lejía al 10 por 100. En la máquina trasplantadora y se colocan las plántulas en las cintas, trasplante es plantar una de cada. Después hay que volver y plantar de cada conjunto de tres líneas cosecha y durante la recogida, con otras.



fechas de plantación. (Cortesía View, California).

odo de subirrigación. La solu- a profundidad de aproximada- después se deja que vuelva al bas. Los sistemas de bancadas comerciales. Estos sistemas de de trasplantes de plántulas y bancada tiene unos pequeños (figs. 6.61). Esto permite unifor- de riego. Los canales más pro- sas son regadas desde ambas an en una estructura metálica nivel. de sistema de flujo y reflujo y cultivadores al aire libre.

Todo el suelo de los 108.000 pies cuadrados (10.000 metros cuadrados) de invernadero es de hormigón, que constituye la base del sistema de recirculación de flujo y reflujo (fig. 6.62). Una capa de ladrillos de hormigón en los bordes forma los lados de cada bancada, aproximadamente de 20 x 100 pies (6 x 30,5 m). Una ligera pendiente desde el borde hasta el centro posibilita el llenado y el drenaje desde el centro de cada bancada, por medio de un tubo abierto parcialmente cubierto con ladrillos. Las válvulas solenoides en la tubería principal de PVC controlan los ciclos de riego. El sistema de nutrientes es completamente automático, con un controlador informatizado. El invernadero se calienta con un sistema de agua caliente con caldera de gas natural, con tuberías de calefacción enterradas en el suelo de hormigón. Esto produce temperaturas óptimas para las diversas cosechas a través de la calefacción en la base, combinada con un sistema en la parte superior.

Las plántulas del invernadero inician su desarrollo en cubos de lana de roca, que más tarde se transfieren a bloques de lana de roca. Los pepinos se transfieren a los 4-5 días, los tomates a los 10-12 días y los pimientos a los 12-24 días. Los niveles de EC se mantienen en 2,3-3,5 mMho para los tomates, 2,5-3,5 mMho para los pimientos y 1,8-2,2 mMho para los pepinos, con el pH comprendido entre 5,6 y 6,9. Los pepinos se cultivan durante 4 semanas, los tomates durante 6 semanas y los pimientos durante 8 semanas antes de la entrega a los cultivadores de invernaderos. Estas cosechas se cultivan desde el primero de octubre hasta finales de diciembre. Usando bandejas tampón, donde no se requiere espaciamento, se pueden producir más de un millón de plantas cada dos semanas (fig. 6.63). Las cosechas al aire libre de lechuga, brócoli, coliflor y



Fig. 6.60. Bancadas de flujo y reflujo usadas para la producción de trasplantes ornamentales.

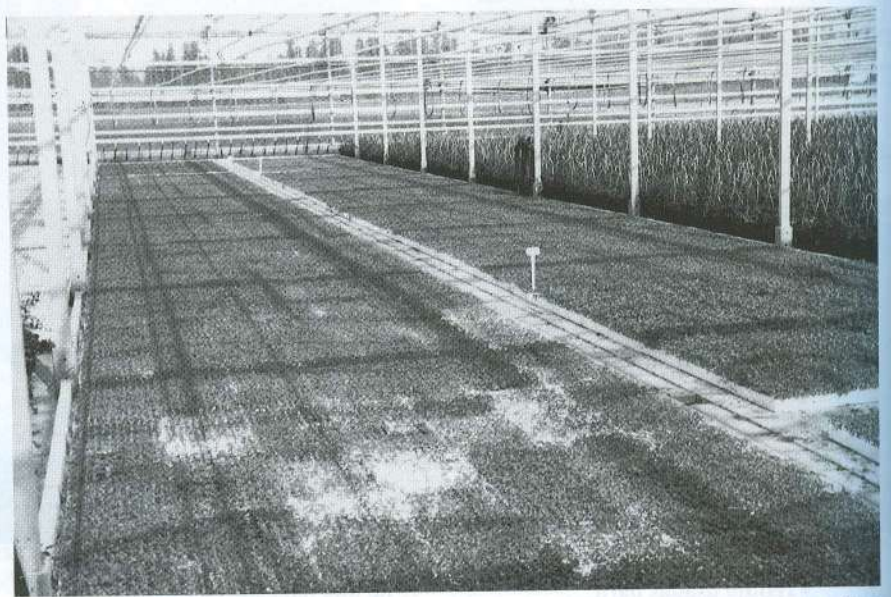


Fig. 6.61. Canales de llenado y drenaje de una bancada de flujo y reflujo. En la bancada se pueden ver helechos ornamentales.



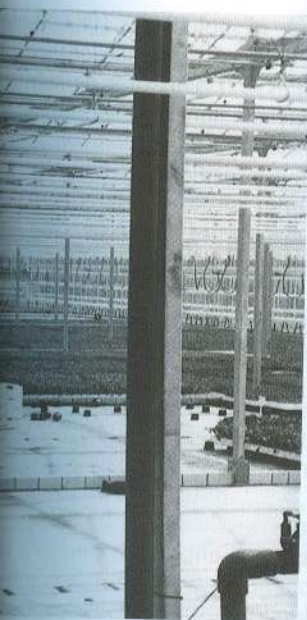


**Fig. 6.62.** Sistema de flujo y reflujo con suelo de hormigón para el cultivo de trasplantes. Obsérvense los lados de ladrillo de las bancadas y la ligera pendiente hasta el canal central de llenado y drenaje. (Cortesía de Bevo Farms Ltd., Langley, B. C, Canadá).



**Fig. 6.63.** Plántulas en bandejas tampón en un sistema hidropónico de flujo y reflujo. (Cortesía de Bevo Farms Ltd., Langley, B. C. Canadá).





ón para el cultivo de trasplantes.  
gera pendiente hasta el canal  
Ltd., Langley, B. C, Canadá).



idropónico de flujo y reflujo.  
C. Canadá).

apio se propagan a razón de 1,5 millones de plantas semanales a principios de primavera. Con pimientos, tomates y pepinos cultivados en bloques de lana de roca, que requieren aproximadamente un espaciamiento de  $8 \times 8$  pulgadas ( $20 \times 20$  cm), se producen 180.000 plantas cada 4 semanas (fig. 6.64).

También se propagan esquejes de rosa, esquejes para cestos colgantes y plantas ornamentales.

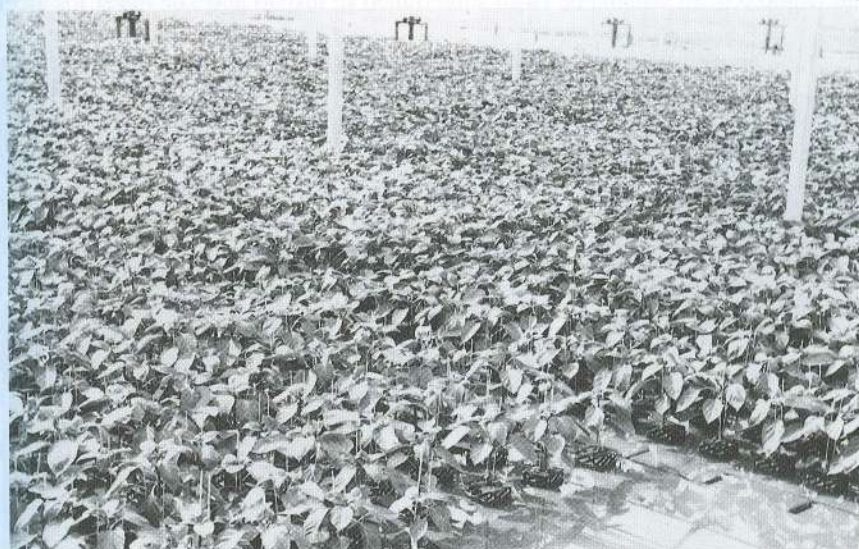


Fig. 6.64. Plántulas de pimienta de invernadero en bloques de lana de roca, en un sistema de flujo y reflujo. Obsérvese la presencia de solución de riego y el canal de llenado y drenaje en la parte inferior derecha. (Cortesía de Bevo Farms Ltd., Langley, B. C.).

### 6.11. Sistema NFT para berro al aire libre

Una empresa productora de hierbas, California Watercress Inc., en Fillmore, California, ha estado cultivando 60 acres (24 hectáreas) de berro en bancales convencionales al aire libre, pero en 1989-1990, debido a las condiciones de sequía, tuvo que reducir la producción a casi la mitad. En 1990, el nivel freático había descendido tanto que el agua de riego se filtraba debajo de las raíces de las plantas antes de llegar al último tramo de las bancadas de crecimiento. Esta carencia de agua impulsó a la empresa a buscar métodos alternativos de cultivo, que utilizaran más eficientemente el agua existente. El autor desarrolló para esta empresa un sistema hidropónico NFT, usando bancadas de 9 pies (2,75 metros) de ancho por 500-600 pies (152-183 metros) de largo. Este sistema se comparó con las bancadas convencionales en pleno campo, que medían 50-60 pies (15-18 metros) de ancho por algo más de 1.000 pies (305 metros) de longitud. Las bancadas de campo se dividían en anchos de 20 pies (6 metros) usando arcenes.

El sistema hidropónico fue muy productivo; sin embargo, un año más tarde fue destruido por las fuertes inundaciones del río Santa Clara. En 1997, el proyecto fue



reconstruido en terrenos más elevados de otra finca cerca de Fillmore. El sitio, ubicado cerca de un pozo con una capacidad de 500-600 gpm (32-38 litros/seg), suministra suficiente agua para regar 3 a 5 acres (1,2-2 hectáreas) de berros. El NFT es un sistema abierto y no recirculante.

El campo fue nivelado y apisonado utilizando un equipo láser para formar una pendiente mínima del 1% en sentido longitudinal, permaneciendo a nivel a todo lo ancho (fig. 6.65). El sistema de riego subterráneo se instaló antes de hacer los arcenes



**Fig. 6.65.** Nivelación por láser de un campo de 3 acres. (Cortesía de California Watercress, Inc. Fillmore, CA).

y forrar las bancadas con polietileno negro de 10 milésimas de pulgada (fig. 6.66). Unos arcenes elevados de 1 pie (30 cm) de ancho por 6 pulgadas (15 cm) de alto, formados utilizando doubles discos acoplados a un tractor (fig. 6.67), constituyen los lados de las bancadas. Cada sección de bancadas comprende cuatro bancadas y un camino de acceso de 10 pies (3 m) de ancho. El campo de 3 acres (1,2 hectáreas) está formado por cinco secciones (20 bancadas).

Las láminas de polietileno, de 22 pies (6,7 m) de ancho y 100 pies (30,5 m) de largo, cubren dos bancadas y sus correspondientes arcenes, con el suficiente solape sobre los arcenes exteriores para impermeabilizar las bancadas colindantes (fig. 6.68). Las juntas de polietileno se fundieron utilizando un calentador normalmente empleado para quitar la pintura (fig. 6.69). Los arcenes se cubren con una lámina contra las malas hierbas de vivero de 2 pies (61 cm) de ancho, para proteger el polietileno subyacente de la degradación por los rayos del sol (fig. 6.70). La lámina contra las malas hierbas se fija con grapas especiales de 6 pulgadas (15 cm) y 9 pulgadas (23 cm) (fig. 6.71).

Como parte del sistema de riego, un pozo suministra agua a un depósito de almacenamiento de 10.000 galones (37.850 litros). Un compresor de 50 caballos de potencia, situado en el depósito de almacenamiento (fig. 6.72), aumenta la presión del agua a 60 psi (414 kPa). Una tubería de PVC de 8 pulgadas lleva el agua al extremo de la



erca de Fillmore. El sitio, ubicado  
om (32-38 litros/seg), suministra  
) de berros. El NFT es un sistema

un equipo láser para formar una  
permaneciendo a nivel a todo lo  
instaló antes de hacer los arcenes



arcenes. (Cortesía de California  
CA).

ilésimas de pulgada (fig. 6.66).  
6 pulgadas (15 cm) de alto, for-  
ctor (fig. 6.67), constituyen los  
mprende cuatro bancadas y un  
o de 3 acres (1,2 hectáreas) está

cho y 100 pies (30,5 m) de largo,  
on el suficiente solape sobre los  
blindantes (fig. 6.68) Las juntas  
malmente empleado para quitar la  
nina contra las malas hierbas de  
etileno subyacente de la degrada-  
las malas hierbas se fija con gra-  
m) (fig. 6.71).

stra agua a un depósito de alma-  
presor de 50 caballos de poten-  
72), aumenta la presión del agua  
s lleva el agua al extremo de la

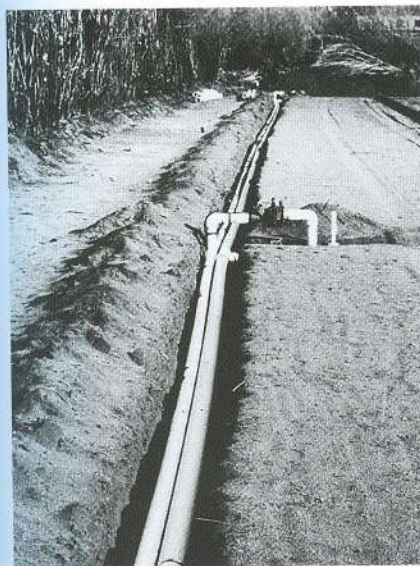


Fig. 6.66. Tuberías de riego a un lado  
del campo. Tubería principal de 4  
pulgadas de diámetro para el agua y  
tubería principal de 3 pulgadas de  
diámetro para la solución de nutrientes.  
Obsérvense las válvulas solenoides sobre  
las tuberías secundarias de 2 pulgadas  
que van por las bancadas. (Cortesía de  
California Watercress,  
Inc. Fillmore, CA).



Fig. 6.67. Formación de arcenes de 10  
pies mediante un tractor que arrastra un  
doble disco. (Cortesía de California  
Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 6.68. Tendido de las láminas de polietileno negro de 10 milésimas de pulgada sobre  
las bancadas. (Cortesía de California Watercress, Inc. Fillmore, CA).





Fig. 6.69. Fundición de las juntas de polietileno con una pistola de calor. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 6.70. Tendido de una lámina contra las malas hierbas de vivero de 2 pies sobre los arcenes para evitar que el sol degrade el polietileno negro. (Cortesía de California Watercress, Inc. Fillmore, CA).





no con una pistola de calor.  
., Fillmore, CA).



bas de vivero de 2 pies sobre los  
negro. (Cortesía de California  
A).

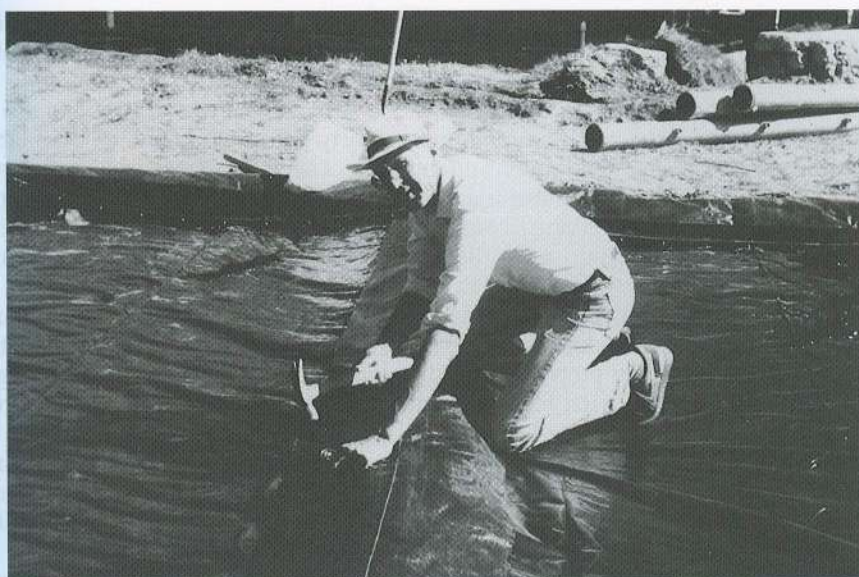


Fig. 6.71. El autor fijando una lámina contra las malas hierbas sobre el arcén con  
grapas especiales. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 6.72. Compresor para aumentar la presión del agua de la tubería de 8 pulgadas que  
sale del tanque de 10.000 galones, que es llenado con agua de un pozo. (Cortesía de  
California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

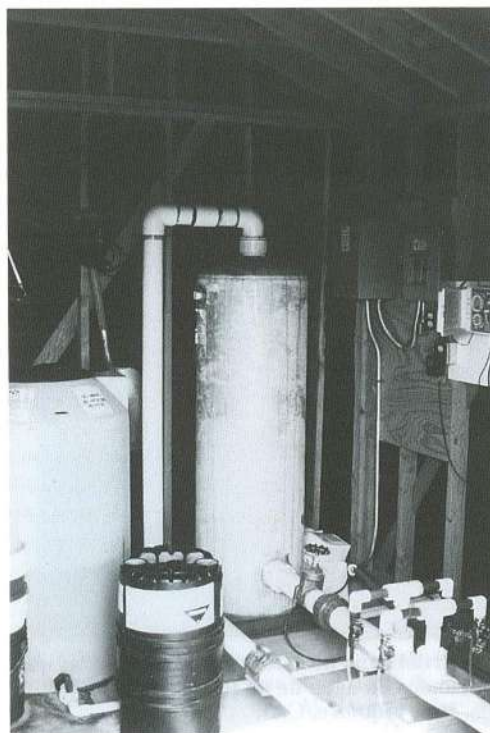


instalación, donde se divide en dos tuberías de 4 pulgadas. Una de estas tuberías de 4 pulgadas suministra agua a las bancadas, mientras que la otra pasa por el sistema inyector para suministrar los nutrientes.

Como el cultivo de berros requiere un flujo constante de agua, el continuo uso de la solución de nutrientes en un sistema hidropónico abierto no habría sido rentable. Los fertilizantes son inyectados en las diferentes secciones de la instalación a intervalos establecidos. El agua de la tubería de 4 pulgadas pasa por un filtro antes de entrar en el circuito inyector. El circuito se compone de una tubería de 3 pulgadas de diámetro conectada al inyector, depósito mezclador y sensor de rueda de paletas para el control del flujo que regula la inyección mediante un controlador (fig. 6.73).

Dos tanques (A y B) de 2.300 galones (8.705) litros suministran al inyector una solución con una concentración 200 veces la normal, que es diluida hasta la concentración normal mediante una proporción de dilución de 1:200 de solución stock a agua (fig. 6.74). Para los detalles del funcionamiento de un sistema inyector, ver Capítulo 3, sección 3.6.1 "Inyector o sistema de suministro". Un tercer depósito más pequeño de plástico, de 120 galones (454 l), que contiene ácido sulfúrico o nítrico, alimenta a una quinta cabeza más pequeña de inyección para ajustar el pH de la solución de nutrientes. Los tanques de almacenamiento proporcionan un suministro de solución durante dos semanas.

Un controlador maneja los ciclos de alimentación activando dos válvulas solenoides de 2 pulgadas, situadas en las tuberías de 4 pulgadas en cada uno de los cinco sectores que corren a lo largo del campo de tres acres (fig. 6.75). Las válvulas solenoides



**Fig. 6.73.** Sistema de inyección con depósito para ácidos a la izquierda, depósito mezclador en el centro y parte del sistema inyector abajo a la derecha, con controlador de riego arriba. (Cortesía de California Watercres, Inc, Fillmore, CA).



Una de estas tuberías de 4  
otra pasa por el sistema

agua, el continuo uso de  
no habría sido rentable.  
e la instalación a interva-  
r un filtro antes de entrar  
de 3 pulgadas de diámetro  
de paletas para el control  
(6.73).

ministran al inyector una  
iluida hasta la concentra-  
de solución stock a agua  
inyector, ver Capítulo 3,  
depósito más pequeño de  
o nítrico, alimenta a una  
de la solución de nutrien-  
stro de solución durante

do dos válvulas solenoi-  
ada uno de los cinco sec-  
Las válvulas solenoides

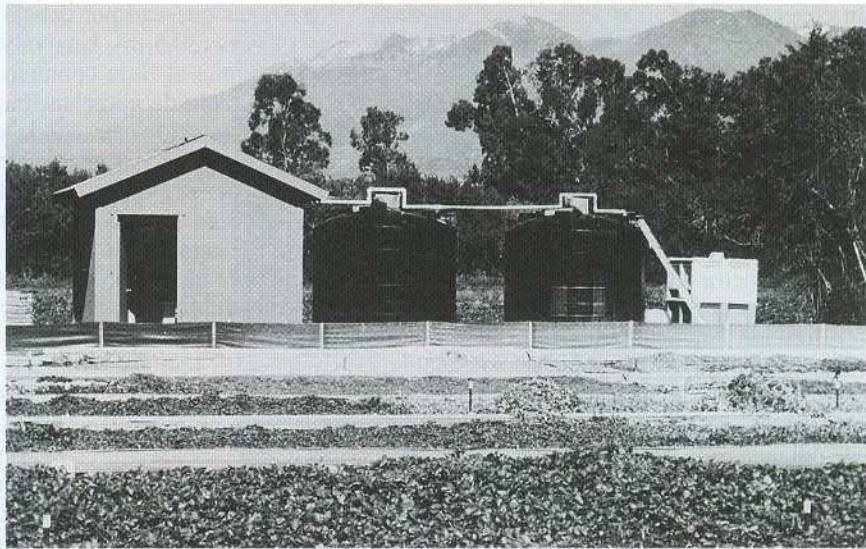


Fig. 6.74. Dos tanques de solución stock de 2.300 galones con cobertizo para el inyector a la izquierda. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

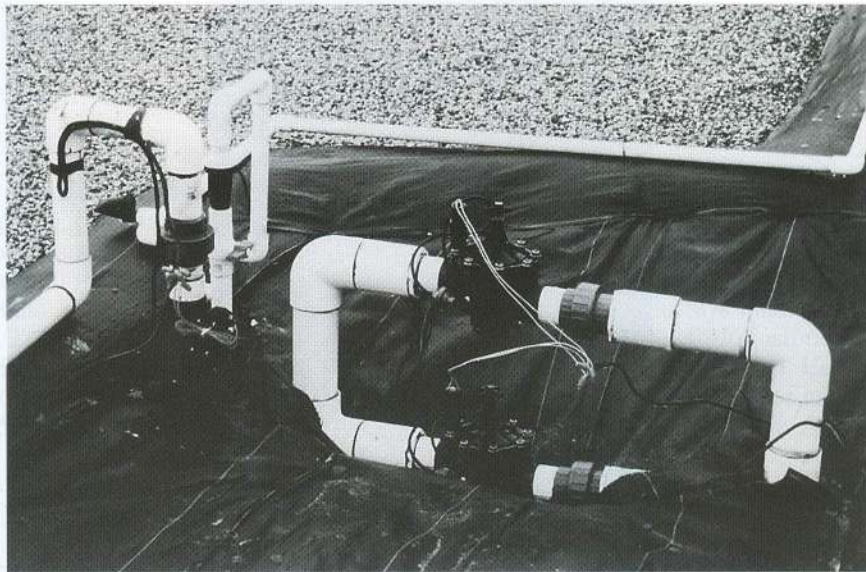


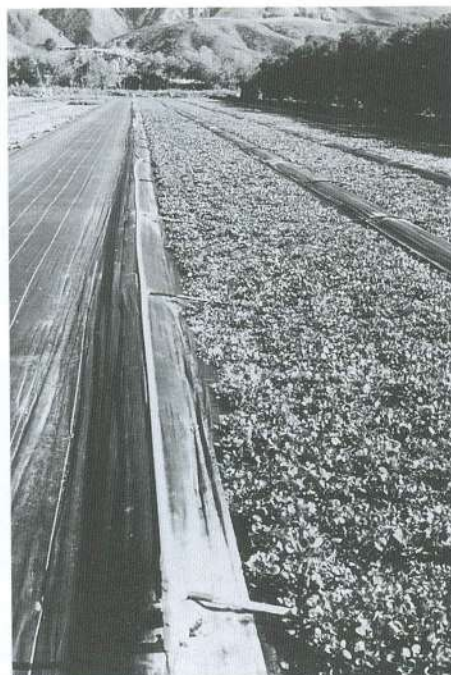
Fig. 6.75. Tubería con válvulas solenoides de 2 pulgadas en cada una de los cinco sectores del campo. El solenoide superior es para la tubería de la solución y el inferior para el agua. Un elevador de una pulgada conduce el agua de riego a lo largo del arcén como una tubería, desde donde corren por las bancadas unos tubos de polietileno negro. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

ma de inyección con  
cidos a la izquierda,  
dor en el centro y parte  
ector abajo a la derecha,  
de riego arriba.  
ifornia Watercres,  
A).



están conectadas con unas tuberías secundarias de 3 pulgadas que van por debajo de tierra a lo largo de todas las bancadas a intervalos de 100 pies (30,5 m). Una válvula solenoide normalmente abierta sobre la tubería de agua permite el flujo continuo de agua a las bancadas entre los ciclos de fertilización. En un ciclo de alimentación, el controlador envía una corriente eléctrica a las válvulas de una estación cerrando la válvula normalmente abierta y abriendo la válvula normalmente cerrada, suspendiendo el flujo de agua y permitiendo que la solución de nutrientes penetre en las bancadas. Cada ciclo funciona durante 5 a 8 minutos, según se establezca en el controlador, y secuencialmente dejan de funcionar las cinco secciones del campo. La solución de nutrientes penetra solamente una vez en una estación durante el tiempo de un ciclo dado, mientras que las otras cuatro secciones se riegan con agua corriente. Los ciclos de fertilización funcionan cada 1 a 2 horas durante el día.

Un elevador de 1 pulgada desde cada tubería secundaria de 3 pulgadas, situado en el centro del arcén a un lado del camino, alimenta a cada sector de cuatro bancadas (fig. 6.76). Desde este elevador parten unas tuberías laterales de polietileno negro de 3/4 de pulgada cada 12,5 pies (3,8 m) a lo largo de las bancadas del sector en la primera mitad de la longitud de las bancadas, y a 25 pies (7,6 m) después (fig. 6.77). Pequeños emisores en T situados cada 18 pulgadas (50 cm) dispersan la solución o el agua sobre las bancadas. Unas válvulas de bolas de plástico en cada elevador equilibran el flujo en cada sección de los laterales.



**Fig. 6.76.** Un elevador de una pulgada desde cada tubería secundaria alimenta a cada sector con tuberías de polietileno negro que cruzan las bancadas. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



lgadas que van por debajo de 100 pies (30,5 m). Una válvula permite el flujo continuo de un ciclo de alimentación, el de una estación cerrando la válvula cerrada, suspendiendo el agua antes de penetrar en las bancadas. Se establece en el controlador, y se desactiva del campo. La solución de nutrientes fluye durante el tiempo de un ciclo con agua corriente. Los ciclos

de 3 pulgadas, situado en cada sector de cuatro bancadas. Los laterales de polietileno negro de las bancadas del sector en la primera (fig. 6.77). Pequeños elevadores dispersan la solución o el agua en cada elevador equilibran el

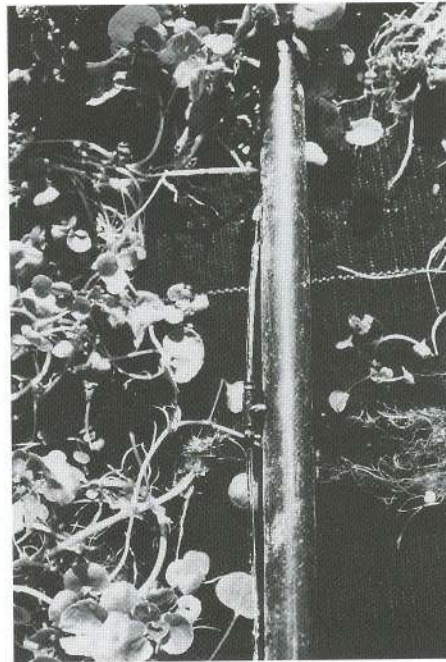


Fig. 6.77. Laterales de polietileno negro con emisores en T cada 18 pulgadas alimentan a las bancadas. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

Para el cultivo de berros se usa una formulación modificada de los nutrientes para lechuga, como aparece en la tabla 6.1. Dado que el agua corriente es alta en boro, carbonato cálcico y carbonato magnésico, se añade una pequeña cantidad de calcio y magnesio, pero no de boro. El stock A contiene nitrato potásico (1/2), nitrato cálcico, nitrato amónico, ácido nítrico y quelato de hierro. El stock B incluye nitrato potásico (1/2), sulfato potásico, fosfato monopotásico, sulfato magnésico, ácido fosfórico y los micronutrientes. El pH de las soluciones stock se mantiene próximo a 5,0. Una solución stock con un 10% de ácido sulfúrico ajusta el pH de la solución final de nutrientes a 5,8-6,2, al entrar en el circuito del inyector desde las entradas de los stocks A y B.

TABLA 6.1  
Formulación de nutriente para berros

Nitrógeno	160 ppm	Fósforo	45 ppm
Potasio	200 ppm	Calcio	175 ppm
Magnesio	50 ppm	Hierro	5 ppm
Manganeso	0,8 ppm	Cobre	0,07 ppm
Zinc	0,1 ppm	Boro	0,3 ppm
Molibdeno	0,03 ppm		

ería secundaria alimenta  
crucen las bancadas.  
Fillmore, CA).



Los diferentes fertilizantes se disuelven separadamente en grandes recipientes de plástico de más de 300 galones (750 l). Después se bombea la solución a un tanque de stock apropiado con dos bombas sumergibles acopladas a las tuberías (fig. 3.9). Se añade agua al tanque de solución después de cada adición de fertilizante y se agita con un mezclador de paletas para evitar precipitaciones. Después de terminar con la solución stock, los mezcladores agitan la solución durante 15 minutos cada dos horas.

Inicialmente, los berros se cultivaron en un sistema NFT modificado utilizando tejido capilar de poliéster al 100% de un grosor de 1/8 pulgadas (fig. 6.78). Como la lámina de polietileno negro de la bancada no proporciona sostén para las raíces de las plantas y la delgada lámina de agua no se extiende por las bancadas, se requiere un medio que extienda el agua lateralmente. El tejido capilar es también necesario para proteger la cubierta de la bancada de la degradación por los rayos solares. Con varios ciclos de cultivo se encontró que el tejido capilar impedía el flujo de agua en las bancadas, causando estancamientos que produjeron un déficit de oxígeno y el desarrollo de algas. El tejido capilar es también difícil de lavar después de cada cosecha. Esto se ha resuelto mediante el uso de una lámina contra las malas hierbas de vivero colocada encima de la cubierta de polietileno negro (fig. 6.79). Durante los cambios de cultivo, las plantas, junto con sus raíces, son fácilmente recogidas de la lámina contra las malas hierbas (fig. 6.80). Las bancadas se lavan después con una manguera y una escoba grande.

Aunque la semilla y los esquejes pueden propagar el berro, la siembra produce nuevas plantas que florecen menos con las altas temperaturas de verano. Para sembrar las semillas utilizando una sembradora a mano "whirlybird" se usan dos bancadas de propagación de 9 x 450 pies (2,75 x 137 metros) rellenas con grava de garbanzo de 2 pulgadas (5 cm) (fig. 6.81). Unos aspersores elevados situados sobre los arcones humedecen las bancadas 30 segundos cada 10 minutos durante la germinación, que tarda de 5 a 8 días. Una vez que las plántulas están establecidas después de dos semanas, los



Fig. 6.78. Lámina capilar colocada sobre la lámina de polietileno que cubre la bancada (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



te en grandes recipientes de  
ea la solución a un tanque de  
a las tuberías (fig. 3.9). Se  
de fertilizante y se agita con  
ués de terminar con la solu-  
nutos cada dos horas.

NFT modificado utilizando  
algadas (fig. 6.78). Como la  
sostén para las raíces de las  
as bancadas, se requiere un  
también necesario para pro-  
os solares. Con varios ciclos  
de agua en las bancadas, cau-  
y el desarrollo de algas. El  
cosecha. Esto se ha resuelto  
ívero colocada encima de la  
bios de cultivo, las plantas,  
ontra las malas hierbas (fig.  
a escoba grande.

berro, la siembra produce  
as de verano. Para sembrar  
" se usan dos bancadas de  
on grava de garbanzo de 2  
os sobre los arcnos hume-  
germinación, que tarda de  
spués de dos semanas, los



no que cubre la bancada  
ore, CA).

aspersores se pueden cerrar o se pueden reducir los ciclos de riego. Las plántulas pueden trasplantarse a las bancadas de cultivo a las 6 semanas, cuando tienen 2 a 3 pulgadas (5 a 7 cm) de alto (fig. 6.82).



Fig. 6.79. Las raíces de las plantas se adhieren a la lámina contra las malas hierbas.  
(Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 6.80. Rastrillado de las plantas viejas de la lámina contra las malas hierbas durante el cambio de cultivo. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Los trasplantes se pueden levantar fácilmente de la grava de garbanzo sin dañar a las raíces, y después son transportados en cajones de plástico a las bancadas de cultivo, donde se colocan en manojos en líneas a lo largo de la bancada. Este modelo de planta-



Fig. 6.81. El autor sembrando semillas de berro en una bancada de propagación con grava de garbanzo, utilizando una sembradora tipo "Whirlybird". (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 6.82. Plántulas de berro de 6 semanas listas para el trasplante a las bancadas de cultivo. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



grava de garbanzo sin dañar a  
ico a las bancadas de cultivo,  
cada. Este modelo de planta-



bancada de propagación  
tipo "Whirlybird".  
more, CA).



plante a las bancadas de  
illmore, CA).

ción extiende el agua por las bancadas y mantiene todos los trasplantes suficientemente húmedos hasta que enraízan (fig. 6.83). Diariamente se siembra una sección de 50 pies (15 m) de la bancada de propagación para suministrar plantas a una de las 18 bancadas de cultivo. La primera cosecha tiene lugar 3 a 4 semanas después del trasplante.



Fig. 6.83. Colocación de los trasplantes en las bancadas. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

Varias cosechas se obtienen de las mismas plantas durante las estaciones de primavera y otoño, cuando las temperaturas son inferiores a las de verano. Durante el invierno, cuando transcurren unos 45 días entre cosechas, las plantas no se cambian. Se pueden usar esquejes de tallo de 7 a 8 pulgadas (18-20 cm) para propagar las plantas, pero tienden a perder frescura antes que las plántulas. Pueden utilizarse durante las estaciones frías. Recientemente, debido al alto coste de las semillas de berros (aproximadamente 100 \$/libra), se dejan las plantas en las bancadas durante los meses de verano para que produzcan semillas que son recolectadas. Es relativamente fácil recuperar las semillas de la lámina contra las malas hierbas sobre la que se desarrollan. Se deja que las plantas se sequen y suelten las semillas sobre la lámina situada debajo. Cuando se quita el rastrojo después de recoger las semillas, sirve también para la siembra directa en las bancadas de producción. En efecto, esto necesita menos mano de obra que el método tradicional de propagación de plántulas.

La producción normal es como media de una docena de manojos por pie lineal de bancada en bancadas de 9 pies (2,75 m) de ancho. Esto representa una producción de 450-500 docenas por bancada. Los berros se recogen a mano (fig. 6.84), se forman manojos atando los tallos (fig. 6.85) y se transportan en cubos de plástico a la nave de envasado donde se lavan y envasan encima de hielo y después se colocan en una cámara frigorífica. En comparación con los berros cultivados al aire libre, los berros cultivados hidropónicamente son más altos, tienen hojas mayores y son más tiernos y suaves en sabor (fig. 6.86). Debido a su succulencia, el producto hidropónico tiene que ser manejado con mucho más cuidado para evitar magulladuras. El envasado individual en lugar del envío a granel ayuda a evitar daños durante el transporte.



Los áfidos y el mosquito sciárido son las principales plagas de los berros. Pyrene y M-pede, que se pueden aplicar un día antes de la cosecha, son eficaces para controlar estas plagas. Una mala hierba flotante, la lenteja de agua, es un problema introducido por los operarios que no lavan sus botas o reutilizan cubos que tienen malas hierbas adheridas a ellos. La mejor forma de resolver este problema es usar cubos específicos para los berros hidropónicos y lavarlos antes de entrar en las bancadas.



Fig. 6.84. Recolección de berros a mano 23 días después del trasplante. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 6.85. Manojos de berros atados por los tallos para ser transportados a la nave de envasado para su almacenamiento en cubos de plástico que contienen 10 docenas de manojos cada uno. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



OS  
les plagas de los berros. Pyreno-  
cosecha, son eficaces para con-  
a de agua, es un problema intro-  
utilizan cubos que tienen malas  
er este problema es usar cubos  
antes de entrar en las bancadas.



és del trasplante. (Cortesía de  
ore, CA).



er transportados a la nave de  
que contienen 10 docenas de  
ess, Inc., Fillmore, CA).



**Fig. 6.86.** Berro cultivado en pleno campo a la izquierda, comparado con berro cultivado hidropónicamente a la derecha. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, California).

Es necesario que los operarios se laven las botas en una solución de lejía al 10% antes de entrar en las bancadas.

Otros problemas son la falta de hierro, una pobre aireación, el desarrollo de algas y algunos virus. Con un buen manejo, los cultivos vigorosos dan un producto uniforme de alta calidad (fig. 6.87).



**Fig. 6.87.** Un campo sano de berros listo para la cosecha. (Cortesía de California Watercress, Inc. Fillmore, CA).



### 6.12. Sistema NFT para albahaca y menta

Albahaca y menta se han cultivado también con el sistema NFT de tejido capilar, usando la recirculación de la solución nutritiva. La instalación estaba situada en un invernadero de 30 × 156 pies (9 × 48 m). El invernadero, que tenía paredes laterales de 6 pies (1,8 metros), estaba cubierto con doble polietileno. El polietileno de las paredes laterales se levantaba durante el tiempo caluroso para ventilación.

Los componentes hidropónicos consistían en un tanque de nutrientes de hormigón de 1.800 galones (6.800 litros), un riego por goteo, bancadas de cultivo y tuberías de recogida y retorno. Cuarenta bancadas, construidas de madera, medían 6 × 12 pies (1,8 × 3,65 m) a un lado de un pasillo central de 3 pies (0,9 metros), y 6 × 14 pies (1,8 × 4,27 m) al otro lado (fig. 6.88). Las bancadas tenían una altura de 36 pulgadas (91 cm), para facilitar el trabajo con las plantas. La solución nutritiva era bombeada desde un tanque de nutrientes, a través de una tubería de PVC de 1 1/2 pulgadas enterrada en el suelo y conectada en cada par de bancadas a un elevador de 3/4 de pulgada hasta las bancadas (fig. 6.89). Desde este elevador salían unas tuberías de polietileno negro, de 1/2 pulgada de diámetro, que iban por el centro de cada canal de cultivo, de 3 pies de ancho, formado por un tabique de madera de 2 × 2 pulgadas situado en la parte superior de la bancada de madera contrachapada. Una válvula de compuerta sobre cada elevador y unas Tes de 1/4 de pulgada cada 12 pulgadas (30,5 cm), a lo largo de la tubería de plástico negro (fig. 6.88), regulaban el flujo de la solución.



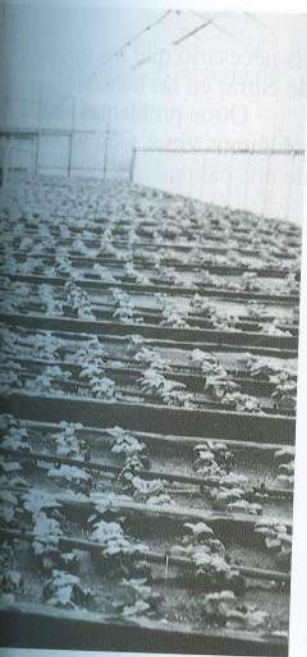
Fig. 6.88. Cultivo de albahaca en un sistema NFT de tejido capilar. Obsérvense las bancadas elevadas, los elevadores de 3/4 de pulgada de diámetro y las tuberías de plástico negro, de 1/2 pulgada de diámetro, con codos y emisores en T. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



que de nutrientes de hormigón  
ancadas de cultivo y tuberías de  
de madera, medían 6 x 12 pies  
pies (0,9 metros), y 6 x 14 pies  
enían una altura de 36 pulgadas  
olución nutritiva era bombeada  
de PVC de 1 1/2 pulgadas ente-  
un elevador de 3/4 de pulgada  
an unas tuberías de polietileno  
de cada canal de cultivo, de 3  
x 2 pulgadas situado en la parte  
álvula de compuerta sobre cada  
das (30,5 cm), a lo largo de la  
e la solución.

Debido a la presencia continua de humedad en el tejido capilar, se desarrollaron algas sobre éste, produciendo un entorno ideal para los mosquitos siáridos, que tuvieron que ser controlados aplicando Pyrenone y Safer's Soap (M-pede) semanalmente.

ido capilar. Obsérvense las  
metro y las tuberías de plástico  
n T. (Cortesía de California  
ia).



**Fig. 6.89. Tanque de nutrientes con bomba de circulación, filtro a la izquierda y válvula flotante para llenado automático del tanque. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).**



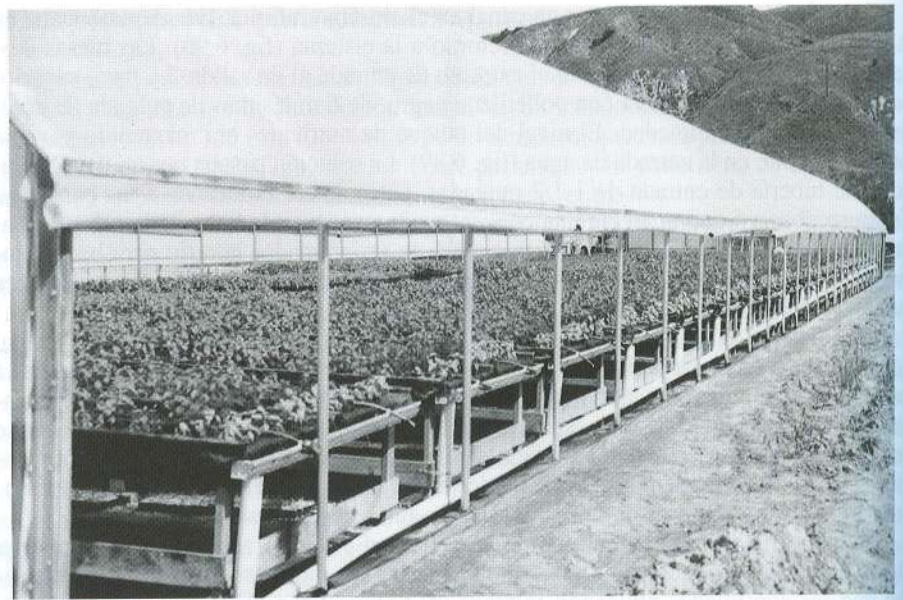
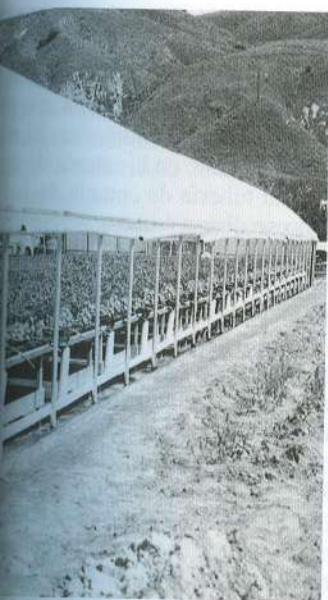


Fig. 6.90. Canales colectores y tubería de retorno a la cisterna desde las bancadas. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

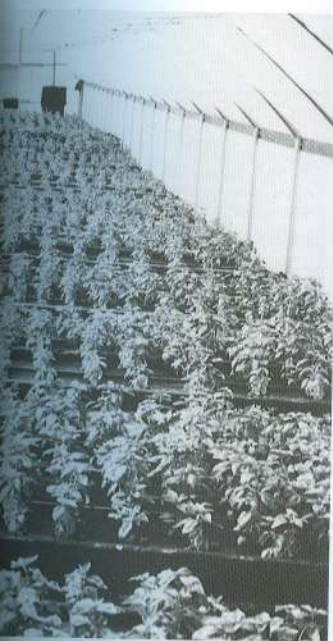


Fig. 6.91. Albahaca (3 semanas después del trasplante) en un sistema NFT de tejido capilar. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).





a la cisterna desde las bancadas.  
(Fillmore, California).



te) en un sistema NFT de tejido  
(Fillmore, California).

Como consecuencia de los altos niveles de humedad, se presentó un segundo problema. A la albahaca no le sienta bien una humedad excesiva en su corona, de forma que cuando las plantas maduraron y disminuyó el crecimiento, empezaron a morir por encharcamiento. Después de cuatro recogidas, se quitaron las plantas y fueron sustituidas por plantas de menta, que prosperan con humedad elevada. Los tejidos capilares fueron quitados, lavados, desinfectados con una solución de hipoclorito sódico al 10 por 100, enjuagados y secados antes de volverlos a colocar en las bancadas.

Se cogieron esquejes de menta de las plantas cultivadas en pleno campo, se las lavó, para quitarles la tierra y las malas hierbas, y se las llevó después al invernadero para trasplantarlas (fig. 6.92), donde fueron distribuidas uniformemente por toda la superficie del tejido capilar de las bancadas. Unos aspersores aéreos humedecían las plantas durante 20 minutos a la hora por el día, para prevenir la desecación durante su enraizamiento inicial en las dos primeras semanas (fig. 6.93). La solución nutritiva empezó a circular después de que las plantas habían enraizado. Las formulaciones de nutrientes utilizadas para la mayoría de las hierbas eran básicamente similares a las usadas para el berro.

La recogida comenzó a las 5 semanas del trasplante y continuó durante un ciclo de 5 a 7 semanas, dependiendo de la estación (fig. 6.94). En los días cortos de los meses de invierno disminuyó el crecimiento, a pesar del uso de calefacción en el invernadero. De forma igual que con el berro, la recogida se hace a mano. Dependiendo de la demanda del mercado, se cosechan 3 a 4 bancadas por día durante un período de dos semanas. Igual que el berro, la menta y la albahaca se recogen en manojos usando cintas de goma, se lavan y se refrigeran en cajas parafinadas que contienen una bolsa de hielo.



Fig. 6.92. Esquejes de menta colocados sobre un sistema NFT de tejido capilar.  
(Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).





Fig. 6.93. Esquejes de menta 14 días después del trasplante. Obsérvense los aspersores aéreos. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 6.94. Plantas de menta 5 semanas después del trasplante, listas para su recogida. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).





nte. Obsérvense los aspersores  
Fillmore, California).



nte, listas para su recogida.  
re, California).

Aunque los mosquitos sciáridos fueron también un problema, sus poblaciones no fueron tan elevadas. Con las algas hubo menos problemas, una vez que la menta estuvo completamente arraigada, impidiendo que la luz llegara al tejido capilar. Una amplia masa de raíces se formó en la base del tejido capilar (fig. 6.95). El encharcamiento no fue un problema, pues la menta prefiere la humedad en su corona, formando raíces adventicias y plantas adicionales. Las plantas de menta estaban todavía sanas después de dos años.



Fig. 6.95. Amplia masa de raíces de menta formada en el tejido capilar del sistema NFT. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

### 6.13. Ventajas de los sistemas NFT

Las ventajas de la técnica del flujo laminar en las cosechas en invernadero son:

1. Bajo coste de capital.
2. Eliminación de la preparación de esterilización del suelo.
3. Rapidez en las labores para efectuar un cambio de cosecha.
4. Control muy preciso en la nutrición.
5. Mantenimiento de las temperaturas óptimas en las raíces por medio de una calefacción de la solución de nutrientes (77° F para los tomates, 84° F para los pepinos).
6. Simplicidad de la instalación y de las operaciones.
7. Reducción del choque que sufren las plantas en su trasplante por medio de la utilización de macetas o cubos de cultivo, y de un precalentamiento de la solución de nutrientes de forma que las raíces tengan una temperatura óptima.



8. Fácil ajuste en la formulación de la solución de nutrientes para de esta forma poder controlar el desarrollo de las plantas al cambiar las condiciones de iluminación.
9. Utilización en la solución de nutrientes de insecticidas sistémicos y fungicidas para poder controlar tanto los insectos como las enfermedades en los cultivos ornamentales.
10. Posible ahorro de energía al mantener la temperatura del aire del invierno en niveles más bajos de los normales, ya que la temperatura de las raíces se mantiene siempre en su punto óptimo.
11. Eliminación del estrés hídrico de las plantas entre los diversos riegos al poder suministrar un flujo continuo de solución de nutrientes.
12. Conservación del agua al utilizar un sistema cíclico en vez de un sistema abierto.

El futuro de la producción de cosechas con el mayor éxito posible se basa en un sistema universal de cultivo en el cual tanto el agua como los fertilizantes puedan ser utilizados con la mayor eficiencia. Esto es particularmente necesario en las regiones áridas del mundo, tales como el Medio Oriente, donde no es posible cultivar la tierra y el agua es muy escasa. En estas zonas, el agua del mar desalinizada puede utilizarse, pero es muy costosa. El cultivo en arena se utiliza en muchas de estas áreas, pero a menudo la arena es de naturaleza calcárea, lo cual produce cambios rápidos en el pH que bloquean algunos de los elementos esenciales, tales como el hierro y el fósforo. En estas áreas de alta energía solar, es esencial el uso eficiente de las tan costosas aguas que provienen de la desalinización de las del mar. La técnica de flujo laminar es el sistema que permite el uso más eficiente del agua y de los fertilizantes y a la vez no necesita un medio especial, tal como una arena no calcárea. En mi opinión, el futuro del cultivo sin suelo en zonas con estas características se deberá basar en los sistemas NFT.

## Referencias

- BORROW, JOSEPH M.: Hydroponic culture of grapes in the tropics. *Proc. 5th Int. Congress on Soilless Culture*, Wageningen, Mayo de 1980, pp. 443-451, 1980.
- BURRAGE, S.W.: Nutrient film technique in protected cultivation. *Acta horticulturae* (323): 23-28. 1992.
- COOPER, A.J.: Rapid crop turn-round is possible with experimental nutrient film technique. *The Grower*, 5 de mayo de 1973, pp. 1048-51. 1973
- *Nutrient film technique of growing crops*. Londres: Grower Books. 1976.
- New ABC's of NFT. *Hydroponics Worldwide: State of the Art in Soilless Crop Production*. Ed., Adam J. Savage. pp. 180-185. Int. Center for Special Studies, Honolulu, Hawai. 1985.
- NFT developments and hydroponic update. *Proc. 8th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, San Francisco, California, 4 de abril de 1987, pp. 1-20. 1987.
- Hydroponics in infertile areas: Problems and techniques. *Proc. 8th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, San Francisco, California, 4 de abril de 1987. pp. 114-121. 1987.
- EDWARDS, KENNETH.: New NFT breakthroughs and future directions. *Hydroponic Worldwide: State of the Art in Soilless Crop Production*. Ed., Adam, J. Savage. pp. 42-50. Int. Center for Special Studies, Honolulu, Hawai. 1985.
- GILBERT, H.: Hydroponic nutrient film technique: Bibliography January 1984-March 1994. DIANE Publ. Co., 54 p. 1996.
- GOLDMAN, RON.: Setting up a NFT vegetable production greenhouse. *Proc. 14th Ann. Conf. on Hydroponics*. Hydroponic Society of America. Portland, Oregon. 8-11 de abril de 1993, pp. 21-23. 1993.
- Nutrient film technique: cropping with the hydrocanal commercial system. *World Crops* 28:212-18. 1976.
- RESH, H.M.: A comparison of tomato yields, using several hydroponic methods. *Proc. 4th Int. Congress on Soilless Culture*, Las Palmas, 25 de octubre-1 de noviembre de 1976.



# TECNICA DE CULTIVO CON FLUJO LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT)

de nutrientes para de esta forma  
al cambiar las condiciones de ilu-

insecticidas sistémicos y fungici-  
como las enfermedades en los cul-

temperatura del aire del invierno en  
la temperatura de las raíces se man-

s entre los diversos riegos al poder  
e nutrientes.

cíclico en vez de un sistema abierto.  
por éxito posible se basa en un sis-  
o los fertilizantes puedan ser utili-  
te necesario en las regiones áridas  
posible cultivar la tierra y el agua  
alinizada puede utilizarse, pero es  
s de estas áreas, pero a menudo la  
ios rápidos en el pH que bloquean  
erro y el fósforo. En estas áreas de  
n costosas aguas que provienen de  
minar es el sistema que permite el  
la vez no necesita un medio espe-  
el futuro del cultivo sin suelo en  
sistemas NFT.

Proc. 5th Int. Congress on Soilless Cul-

Acta horticulturae (323): 23-28. 1992.

al nutrient film technique. *The Grower*, 5

books. 1976.

in *Soilless Crop Production*. Ed., Adam  
lulú, Hawai. 1985.

nf. of the Hydroponic Society of America,

Proc. 8th Ann. Conf. of the Hydroponic  
1987. pp. 114-121. 1987.

ions. *Hydroponic Worldwide: State of the*  
o. 42-50. Int. Center for Special Studies,

January 1984-March 1994. DIANE Publ.

ouse. Proc. 14th Ann. Conf. on Hydopo-  
1 de abril de 1993, pp. 21-23. 1993.

al system. *World Crops* 28:212-18. 1976.

ponic methods. Proc. 4th Int. Congress on  
de 1976.

- A world of soilless culture. *Proc. 11th Ann. Conf. on Hydroponics*. Hydroponic Society of America, Vancouver, B.C. 30 de marzo-1 de abril de 1990, pp. 33-45. 1990.
- Outdoor hydroponic watercress production. *Proc. 14th Ann. Conf. on Hydroponics*. Hydroponic Society of America, Portland, Oregon, 8-11 de abril de 1993, pp. 25-32. 1993.
- SCHIPPERS, P.A.: Soilless culture update: Nutrient flow technique. *Am. Veg. Grower*, Mayo de 1977, pp. 19, 20, 66. 1977.
- Hydroponic lettuce: the latest. *Am. Veg. Grower* 28(6): 22, 23, 50. 1980.
- Tube Culture – a challenging idea. *Am. Veg. Grower*, noviembre de 1974, pp. 46, 47. 1974.