

á las malas hierbas, así como la
andiéndolo sobre la superficie del
o de un equipo de inyecciones, en
lones (7,6 a 11,4 l) de agua, que
drados (9,3 metros cuadrados) de
erse un sellado de agua adicional,
s de la aplicación.

eden utilizarse como desinfectan-
rhídrico, que se usa normalmente
10.000 ppm de cloruro en el tan-
menos media hora, de forma que
deberemos lavar con agua fresca
queda ningún resto de cloruro que
completo de esterilización puede
e cuatro o cinco años de utilizar
cadas y limpiar de éstas todos los

ants, and waters. Univ. of Calif. Div. of

el Univ. Press, 1968.

987.

Florence, 324-41, 1968.

utrial gravel with high saline water in the
i, Italy, 213-17, May 7-12, 1973.

Purdue Univ. Agr. Expt. Stn. Publ. S. C.,

5

Cultivo en agua

5.1. Introducción

De todos los métodos de cultivo sin suelo, el cultivo en agua, por definición, es el auténtico cultivo hidropónico. El cultivo en agua incluye también el cultivo aeropónico. En los sistemas aeropónicos, las raíces de las plantas están suspendidas dentro de una cámara completamente oscura, en la cual se inyecta la solución de nutrientes periódicamente a través de toda ella, para de esta forma poder mantener el 100 por 100 de humedad relativa. En el cultivo en agua, las raíces de las plantas están suspendidas en un medio líquido (solución de nutrientes), mientras que, a partir de la corona o cuello radicular, las plantas se mantienen en una cama muy fina de medio inerte.

La técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT) es una forma de cultivo en agua en la que las raíces de la planta están contenidas en un canal relativamente pequeño, a través del cual pasa un delgado «flujo laminar» de solución.

Para poder tener éxito con el mayor número de plantas deberán observarse los siguientes requisitos:

1.º Aireación de las raíces

Esta puede conseguirse de varias formas. La primera, forzando la aireación (con una bomba o compresor), y se utiliza para hacer burbujear el aire dentro de la solución de nutrientes a través de una tubería perforada que se coloca en el fondo de la bancada o contenedor. La segunda forma será haciendo circular la solución de nutrientes por medio de una bomba a través de las bancadas, de forma que deba volver al tanque de nutrientes por un nuevo goteo. Una serie de canales colocados al final de la bancada darán lugar a la aireación del agua antes de que ésta vuelva al contenedor. Una media de cerca de uno a dos cambios completos por hora será necesaria para una bancada de 100 pies de largo (30,5 m) que contenga 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cm) de solución de nutrientes. Los mejores resultados pueden conseguirse con un sistema en el cual la solución de nutrientes sea bombeada dentro de las bancadas y se obligue a ésta a circular a través de las raíces de las plantas continuamente; de esta forma, la solución, siempre con aire fresco, estará en contacto constante con las raíces.

2.º Oscuridad en las raíces

Las plantas pueden funcionar normalmente si sus raíces están expuestas a la luz del día, siempre que podamos conseguir un 100 por 100 de humedad relativa de ésta; no obstante, la luz dará lugar al crecimiento de las algas, lo cual interferirá con el crecimiento de las plantas, puesto que originará una competencia en la toma de nutrientes, reducirá la acidez de la solución, creará colores, competirá con el oxígeno durante la noche e introducirá productos tóxicos a través de su descomposición, los cuales interferirán normalmente en el crecimiento de éstas. Para eliminar el crecimiento de las algas se construyen las bancadas o contenedores con material opaco.

3.º Soporte de las plantas

Las plantas pueden ser sostenidas utilizando una bandeja de malla que se coloque sobre la solución de nutrientes (ver fig. 5.1).

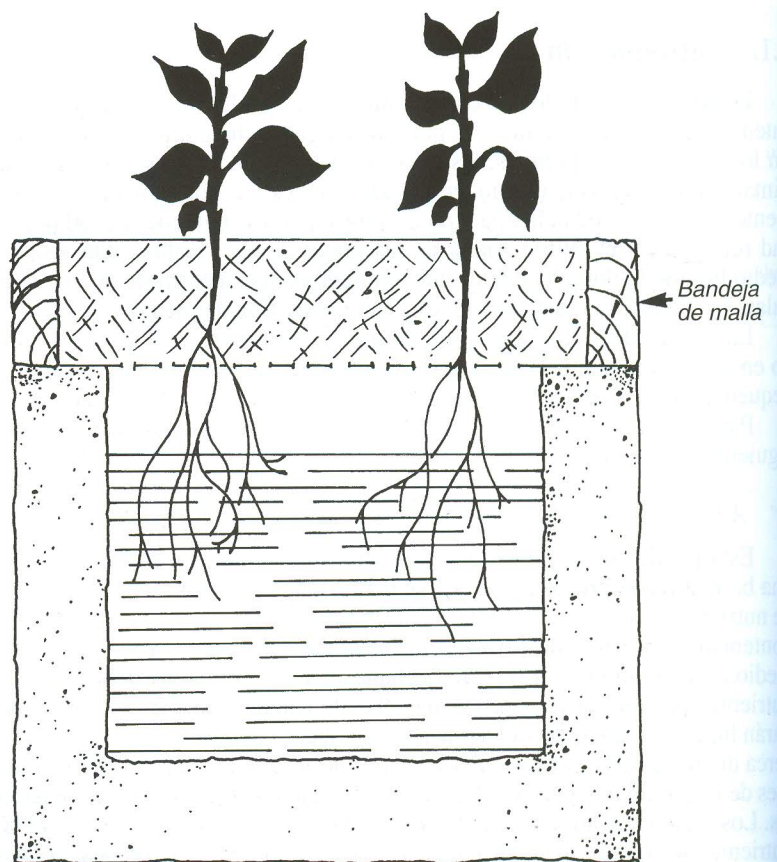


Fig. 5.1. Sección de una bancada típica de cultivo en agua.

5.2. Primeros métodos comerciales

El cultivo en agua fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó, tanto en los experimentos de laboratorio como en la producción comercial de cosechas. En los cultivos comerciales se utilizaron bancadas de hormigón pintadas con material bituminoso. El ancho de las bancadas variaba de 12 a 42 pulgadas (30,5 a 107 cm), su longitud de 25 a 100 pies (7,6 a 30,5 cm) y su profundidad de 6 a 9 pulgadas (15 a 23 cm). Generalmente se utilizaba una profundidad para el líquido de la solución de 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cm), con un espacio de aire entre éste y el medio de sustentación de 2 a 3 pulgadas (5 a 7,6 cm); en la parte superior de las bancadas se colocaba una bandeja de malla para soporte de las plantas, como está dibujado en la figura 5.1.

La bandeja de malla tenía un marco de madera, el cual se colocaba en la parte superior de la bancada; esta bandeja tenía, normalmente, de 2 a 4 pulgadas (5 a 10 cm) de profundidad y estaba formada por una malla de alambre que se situaba en su fondo y que soportaba el material poroso contenido en la bandeja.

Las primeras bandejas utilizaban una malla de gallinero de 1 pulgada (2,5 cm), estando cubierto el alambre con pintura de asfalto para evitar que el zinc pudiera pasar de los alambres galvanizados a la solución de nutrientes. La clase de material que se colocaba en la bandeja dependía principalmente de la naturaleza del sistema radicular y de que se hubiese efectuado una siembra directa o un trasplante. El material utilizado fue paja, recortes de madera, serrín grueso, musgo de espárrago, turba, heno seco y paja de arroz. Si se practicaba la siembra directa en la bandeja, solía colocarse una capa superior con material más fino y otra inferior con material más grueso.

Hoy día se suelen utilizar mallas de plástico, en vez de las de alambre galvanizado, y así se pueden evitar cualquier tipo de problemas originados por el zinc. También el estirofoam y otros materiales de plástico pueden ser utilizados en las bandejas.

Al principio, cuando se efectuaba la siembra o el trasplante, el nivel de la solución se mantenía un poco más alto que el normal, aproximadamente entre media a 1 pulgada (1 a 2,5 cm) por debajo del fondo de la bandeja, procurando que llegase a mojar ésta; tan pronto como las raíces se desarrollaban, el volumen de la solución se iba reduciendo gradualmente hasta llegar a 2 ó 3 pulgadas (5 a 7,6 cm) por debajo de dicha bandeja, permitiendo un espacio de aire en esta zona. Una tubería reguladora colocada al final de la bancada permitía el ajuste del nivel de la solución.

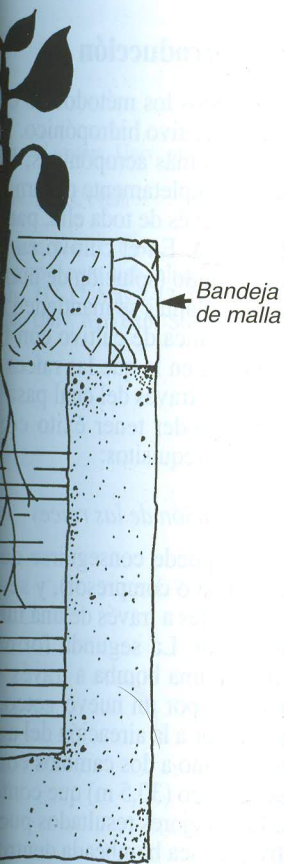
5.3. Canales de agua, balsas o sistema flotante

El Dr. Merle Jensen, del Environmental Research Laboratory (ERL), de la Universidad de Arizona (Tucson, Arizona), desarrolló un prototipo de un sistema flotante de producción de lechuga durante 1981-1982. Él supuso que este sistema llegaría a producir 4,5 millones de lechugas por hectárea y año.

El sistema consiste en bancadas relativamente profundas (15-20 cm ó 6-8 pulgadas) que contienen un gran volumen de solución nutritiva. La solución de las mismas es bastante estática, con una circulación de 2 ó 3, 1 por minuto. Sus dimensiones son de unos 60 cm de ancho por 20 cm de profundidad y 30 m de longitud (24 pulgadas × 8 pulgadas × 98 pies) (fig. 5.2). Cada bancada tiene un volumen de 3,6 m³ (127 pies cúbicos), lo que equivale a 3.600 litros (unos 950 galones USA). Por tanto, el caudal a tra-

raíces están expuestas a la luz del
de humedad relativa de ésta; no
lo cual interferirá con el creci-
etencia en la toma de nutrientes,
petirá con el oxígeno durante la
composición, los cuales interfe-
ninar el crecimiento de las algas
opaco.

bandeja de malla que se coloque



cultivo en agua.

vés de cada una, de 2 a 31 por minuto, supone un índice de intercambio de una vez por período de 24 horas.

Desde las bancadas, la solución nutritiva es recirculada a través de un tanque nutritivo de 4.000 a 5.000 l (1.000 a 1.250 galones USA). Allí se oxigena bombeando aire, se enfría con una unidad refrigeradora y después se impulsa de regreso al punto más lejano de cada cama. Durante el retorno a las camas, la solución nutritiva atraviesa un esterilizador de ultravioleta (fig. 5.3). Estos esterilizadores los fabrican varias compañías (Apéndice 2) y se usan en las industrias de bebidas no alcohólicas, cerveceras, destilerías, acuicultura, teñido de ropa y cosmética, y son efectivos contra muchas bacterias, hongos y algunos virus y protozoos tales como los nemátodos. Sin embargo, su efectividad contra organismos patógenos de plantas no está totalmente documentada.

Se han realizado algunos trabajos para evaluar la efectividad del esterilizador de ultravioleta contra especies seleccionadas de hongos patógenos y no patógenos asociados con frecuencia a los cultivos de invernadero (Mohyuddin, 1985). Dicho aparato reducía significativamente o eliminaba los siguientes hongos de las soluciones acuosas: *Botrytis cinerea*, *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Sclerotinia sclerotiorum*, *Verticillium albo-atrum* y muchas otras. Actualmente se están llevando a cabo estudios similares con hongos, bacterias y algas.

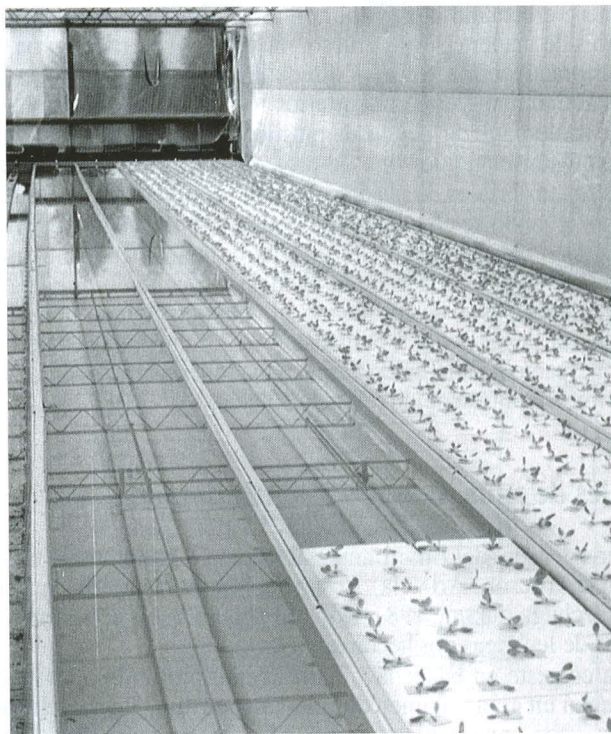


Fig. 5.2. Cultivo en balsas de lechuga. Las lechugas del fondo, de derecha a izquierda, han sido trasplantadas hace cuatro, tres, dos y un día. Las plántulas se trasplantan después de doce-catorce días de la siembra. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

e de intercambio de una vez por

ada a través de un tanque nutri-
Allí se oxigena bombeando aire,
mpulsa de regreso al punto más
a solución nutritiva atraviesa un
ores los fabrican varias compa-
no alcohólicas, cerveceras, des-
efectivos contra muchas bacte-
os nemátodos. Sin embargo, su
está totalmente documentada.

efectividad del esterilizador de
tógenos y no patógenos asocia-
hyuddin, 1985). Dicho aparato
ngos de las soluciones acuosas:
Botrytis sclerotiorum, *Verticillium*
ando a cabo estudios similares



fondo, de derecha a izquierda,
Las plántulas se trasplantan
de Hoppmann Hydroponics,

La infección de *Pythium* de las raíces produce atrofia en las plantas (fig. 5.4). La esterilización ultravioleta de las soluciones nutritivas no combate este organismo. Sólo se puede controlar por esterilización entre cosechas de todas las camas, tuberías, tanques, etc., con una solución de chlorox al 10 por 100.

El precio de estas unidades de esterilización varía con su capacidad.

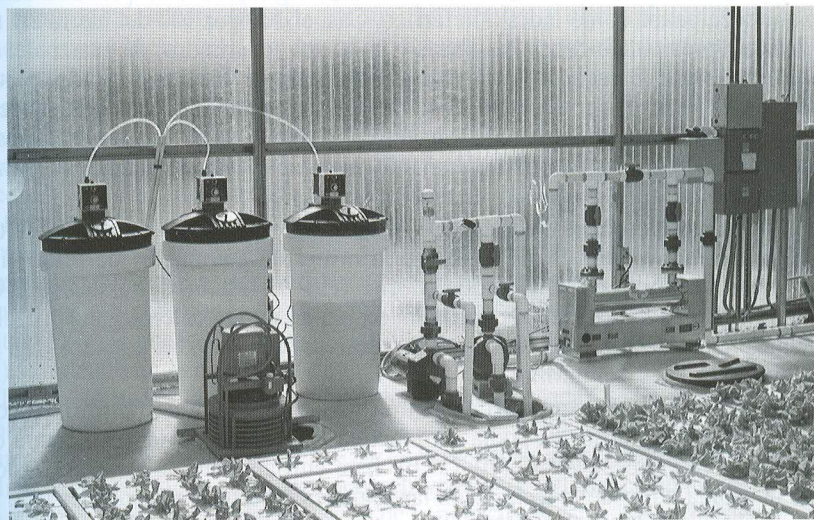


Fig. 5.3. Sistema de balsas de cultivo en agua. Unidad refrigeradora, a la izquierda, frente a los tanques de reserva y de ácido con inyectores individuales. Bombas de circulación en el centro y esterilizador UV a la derecha. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

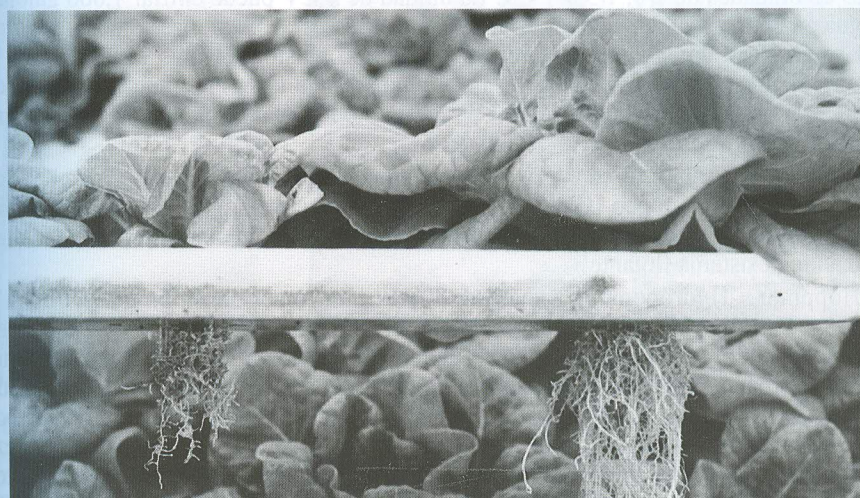


Fig. 5.4. Infección de *Pythium* en la lechuga. Planta sana a la derecha, planta infectada a la izquierda. Obsérvese la diferencia de crecimiento de la parte aérea y de las raíces entre ambas.

Las unidades más grandes y de precio más elevado pueden tratar con eficacia un mayor volumen de agua.

Un efecto secundario del empleo de esterilizadores de ultravioleta es el efecto sobre algunos micronutrientes. Mohyuddin (1985) observó que los contenidos en boro y magnesio de una solución nutritiva se reducían en más de un 20 por 100 durante un período de esterilización de 24 horas. El efecto más significativo se producía sobre el hierro, que precipitaba como hidróxido férrico. Casi el 100 por 100 del hierro era afectado. El hierro precipitado cubría las líneas y la camisa (el cilindro) de cuarzo del esterilizador, por lo que se reducía la transmisión ultravioleta. Este precipitado se podría eliminar con un filtro. Sin embargo, éste no resolvería el problema de la pérdida de hierro en la solución nutritiva durante la esterilización ultravioleta. Serían necesarios trabajos adicionales para resolver el problema del hierro por esta esterilización. Quizá se podría utilizar otra forma de quelato de hierro que no precipitara.

El pH y la conductividad eléctrica (EC) están controlados con sensores en la tubería de retorno. Para ajustar el pH se utiliza la inyección automática de ácido nítrico (HNO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido fosfórico (H_3PO_4) o hidróxido potásico (KOH). Del mismo modo, la EC es elevada por la inyección de nitrato cálcico y una mezcla de los restantes nutrientes desde dos tanques de reservas concentradas distintos (fig. 5.3), mantenidos entre 1,2 y 1,3 mMhos.

Jensen (comunicación personal) encontró que la utilización de un refrigerador de agua en el tanque de nutrientes podía ser efectiva para mantener la temperatura de la solución nutritiva entre 21-23° C (70-75° F). Este enfriamiento de la solución podría prevenir la subida a flor de la lechuga en las regiones desérticas y tropicales (fig. 5.3). La lechuga de tipo europeo la produce comercialmente Hoppmann Hydroponics Ltd., en Florida, a temperaturas por encima de los 43° C (110° F) en invernaderos, empleando el sistema flotante mediante un refrigerador de agua en el tanque nutritivo. Las unidades refrigeradoras de agua enfrían, oxigenan y hacen circular la solución. Están disponibles en unidades de 1/6, 1/3 y 1 CV. La unidad de 1 CV puede enfriar 1.000 galones de agua en un intervalo de temperatura de 2-21° C (35-70° F). Para las soluciones nutritivas se emplean unidades con la conducción de propulsión, el tubo evaporador y la pala circuladora de acero inoxidable. Estas unidades se usan en tanques de acuarios para la cría de peces. La unidad de 1 CV cuesta 2.000 dólares americanos (ver Apéndice 2, para fabricantes).

Jensen (1985) cultivó con éxito la lechuga de hoja (Waldemann's Green) y tres variedades de tipo europeo (Ostinata, Salina y Summer Bibb). En una comunicación reciente reveló que en una explotación en Noruega se está cultivando 1 acre de lechuga empleando el sistema flotante.

Hoppmann Hydroponics produce en Florida lechuga con un ciclo de treinta a treinta y cuatro días en las bancadas después del trasplante (figs. 5.5- 5.7). La lechuga se puede sembrar empleando cubos de lana de roca, discos jiffy o directamente en un medio de turba en bandejas de plástico para plantas de semillero. Aunque los cubos de lana de roca colocados en bandejas de 240 compartimentos se siembran fácilmente por equipos de siembra automáticos, el coste de la lana de roca es mayor que el de la mezcla de turba en bandejas de 273 compartimentos, que también se pueden sembrar automáticamente empleando semilla pildorada.

Las plántulas pueden tener de doce a catorce días antes de trasplantarlas a las camas. Las bandejas para plantas de semillero se pueden regar por el fondo a través

o pueden tratar con eficacia un
res de ultravioleta es el efecto
ervó que los contenidos en boro
ás de un 20 por 100 durante un
nificativo se producía sobre el
100 por 100 del hierro era afec-
(el cilindro) de cuarzo del este-
leta. Este precipitado se podría
l problema de la pérdida de hie-
ravioleta. Serían necesarios tra-
por esta esterilización. Quizá se
ecipitara.

olados con sensores en la tube-
ón automática de ácido nítrico
) o hidróxido potásico (KOH).
nitrato cálcico y una mezcla de
concentradas distintos (fig. 5.3),

ilización de un refrigerador de
mantener la temperatura de la
iamiento de la solución podría
esérticas y tropicales (fig. 5.3).
Hoppmann Hydroponics Ltd.,
F) en invernaderos, empleando
el tanque nutritivo. Las unida-
rcular la solución. Están dispo-
CV puede enfriar 1.000 galones
0° F). Para las soluciones nutri-
alsión, el tubo evaporador y la
e usan en tanques de acuarios
dólares americanos (ver Apén-

a (Waldemann's Green) y tres
r Bibb). En una comunicación
tá cultivando 1 acre de lechuga

uga con un ciclo de treinta a
nte (figs. 5.5- 5.7). La lechuga
scos jiffy o directamente en un
semillero. Aunque los cubos de
atos se siembran fácilmente por
oca es mayor que el de la mez-
mbién se pueden sembrar auto-

s antes de trasplantarlas a las
len regar por el fondo a través

de un material capilar (fig. 5.8). Este previene el riego superficial, que puede quemar las plántulas bajo las condiciones de elevada insolación de las regiones tropicales y desérticas. Las plantas de semillero se pueden regar con una solución nutritiva diluida cuando despliegan los cotiledones. Los materiales capilares entre dos cultivos de plántulas (doce-catorce días) se pueden sustituir o esterilizar utilizando una solución de chlorox al 10 por 100 para eliminar algas, esporas de hongos e insectos tales como los Sciáridos (*Fungus gnats*). La siembra y el trasplante se realizan diariamente para obtener una producción continua. El trasplante nocturno, después de la puesta del sol, garantiza el prendimiento con éxito. Las plantas tendrán un período de aclimatación anterior a las condiciones de plena luz del día siguiente. Esto es especialmente significativo si los trasplantes son a raíz desnuda, como en el caso de la lechuga cuando se siembra sobre turba. Las plantas a raíz desnuda se colocan en huecos de 2,5 cm (una pulgada) de diámetro en las balsas de styrofoam (fig. 5.9). Los flotadores o balsas son un tablero de styrofoam de 2,5 x 15 x 61 cm (1 pulgada x 6 pulgadas x 24 pulgadas) (fig. 5.10). También se pueden encargar con unas dimensiones específicas al fabricante, si se adquiere en grandes cantidades. Ellos cortarán los tableros con las dimensiones requeridas con los huecos para colocar las plantas. Es más adecuado un material de alta densidad del tipo roofmate (de color azul), empleado en la construcción de casas.

Las balsas aíslan la solución subyacente de las bancadas y son un sistema móvil de trasplante y recolección. El mantenimiento de la temperatura de la solución refrigerada (óptimo, 23° C o 75° F) es el primer factor en la prevención de la subida a flor de la lechuga en climas cálidos. Esto se consigue por el refrigerador de agua en el tanque de nutrientes, el gran volumen de solución y la insolación de la radiación solar sobre las balsas.

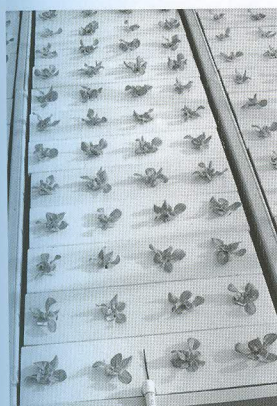


Fig. 5.5. Lechugas con seis días después del trasplante. En primer plano está la tubería de admisión de la solución a la planta. Obsérvese el gancho metálico atado a la primera balsa, que permite tirar de las mismas durante la recolección.



Fig. 5.6. Lechugas a los doce días de haber sido trasplantadas.

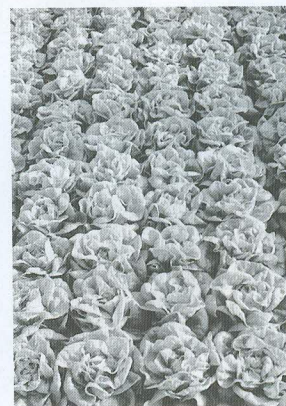


Fig. 5.7. Lechugas con treinta y dos días después de ser trasplantadas, listas para la recolección. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

o pueden tratar con eficacia un
res de ultravioleta es el efecto
ervó que los contenidos en boro
ás de un 20 por 100 durante un
nificativo se producía sobre el
100 por 100 del hierro era afec-
(el cilindro) de cuarzo del este-
leta. Este precipitado se podría
l problema de la pérdida de hie-
ravioleta. Serían necesarios tra-
por esta esterilización. Quizá se
ecipitara.

olados con sensores en la tube-
ón automática de ácido nítrico
) o hidróxido potásico (KOH).
nitrato cálcico y una mezcla de
oncentradas distintos (fig. 5.3),

ilización de un refrigerador de
mantener la temperatura de la
iamiento de la solución podría
esérticas y tropicales (fig. 5.3).
Hoppmann Hydroponics Ltd.,
F) en invernaderos, empleando
el tanque nutritivo. Las unida-
rcular la solución. Están dispo-
CV puede enfriar 1.000 galones
0° F). Para las soluciones nutri-
alsión, el tubo evaporador y la
e usan en tanques de acuarios
dólares americanos (ver Apén-

a (Waldemann's Green) y tres
r Bibb). En una comunicación
tá cultivando 1 acre de lechuga

uga con un ciclo de treinta a
nte (figs. 5.5- 5.7). La lechuga
scos jiffy o directamente en un
semillero. Aunque los cubos de
atos se siembran fácilmente por
oca es mayor que el de la mez-
mbién se pueden sembrar auto-

s antes de trasplantarlas a las
len regar por el fondo a través

de un material capilar (fig. 5.8). Este previene el riego superficial, que puede quemar las plántulas bajo las condiciones de elevada insolación de las regiones tropicales y desérticas. Las plantas de semillero se pueden regar con una solución nutritiva diluida cuando despliegan los cotiledones. Los materiales capilares entre dos cultivos de plántulas (doce-catorce días) se pueden sustituir o esterilizar utilizando una solución de chlorox al 10 por 100 para eliminar algas, esporas de hongos e insectos tales como los Sciáridos (*Fungus gnats*). La siembra y el trasplante se realizan diariamente para obtener una producción continua. El trasplante nocturno, después de la puesta del sol, garantiza el prendimiento con éxito. Las plantas tendrán un período de aclimatación anterior a las condiciones de plena luz del día siguiente. Esto es especialmente significativo si los trasplantes son a raíz desnuda, como en el caso de la lechuga cuando se siembra sobre turba. Las plantas a raíz desnuda se colocan en huecos de 2,5 cm (una pulgada) de diámetro en las balsas de styrofoam (fig. 5.9). Los flotadores o balsas son un tablero de styrofoam de 2,5 x 15 x 61 cm (1 pulgada x 6 pulgadas x 24 pulgadas) (fig. 5.10). También se pueden encargar con unas dimensiones específicas al fabricante, si se adquiere en grandes cantidades. Ellos cortarán los tableros con las dimensiones requeridas con los huecos para colocar las plantas. Es más adecuado un material de alta densidad del tipo roofmate (de color azul), empleado en la construcción de casas.

Las balsas aíslan la solución subyacente de las bancadas y son un sistema móvil de trasplante y recolección. El mantenimiento de la temperatura de la solución refrigerada (óptimo, 23° C o 75° F) es el primer factor en la prevención de la subida a flor de la lechuga en climas cálidos. Esto se consigue por el refrigerador de agua en el tanque de nutrientes, el gran volumen de solución y la insolación de la radiación solar sobre las balsas.



Fig. 5.5. Lechugas con seis días después del trasplante. En primer plano está la tubería de admisión de la solución a la planta. Obsérvese el gancho metálico atado a la primera balsa, que permite tirar de las mismas durante la recolección.



Fig. 5.6. Lechugas a los doce días de haber sido trasplantadas.

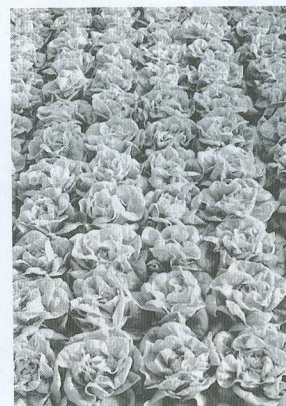


Fig. 5.7. Lechugas con treinta y dos días después de ser trasplantadas, listas para la recolección. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

Las balsas simplifican la recolección. Una cuerda colocada bajo estas balsas, en las camas, atada a tres o cuatro ganchos metálicos —unida al mismo tiempo a las balsas a lo largo de toda su longitud en varios lugares—, se puede atraer mediante una polea (como un carrete de pesca) al extremo de recolección del invernadero (figs. 5.5 y 5.11). Las balsas transportan las plantas de lechuga maduras «in situ» en las camas. Facilitar la flotación es posible elevando el nivel de la solución en las camas antes de recolectar, por bombeo de la tubería de retorno del sistema de circulación de nutrientes.

Durante el trasplante, las balsas son empujadas a lo largo de las camas desde el extremo de recolección cuando las plantas se colocan en ellas (fig. 5.9). Las largas líneas de balsas con la lechuga en crecimiento se mueven con facilidad.

Después de cada cultivo, las balsas se deben limpiar y esterilizar, regándolas con agua antes de sumergirlas en una solución con desinfectante al 10 por 100. De la misma manera, las camas se deben vaciar y limpiar después de cada recolección (fig. 5.12). Se prepara una solución nutritiva nueva en la cama después de su limpieza y queda lista para el trasplante ese mismo día.

La siembra, el trasplante y la recolección deben estar coordinadas para conseguir un ciclo continuo cada día. El período de crecimiento en las camas puede variar de

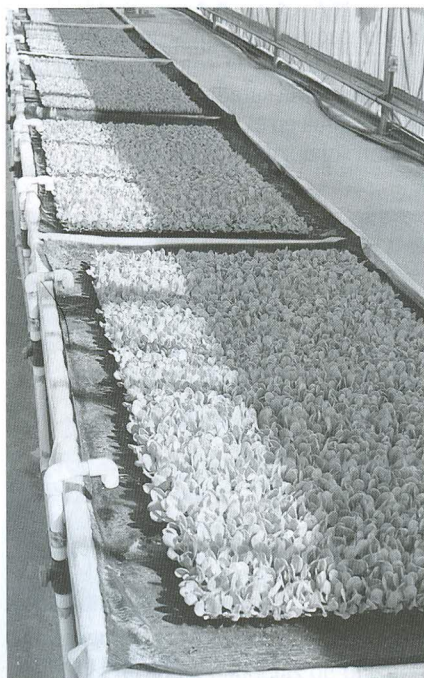


Fig. 5.8. Plántulas de lechuga con diez-doce días; en primer plano están casi listas para el trasplante. La lechuga se siembra en cubos de mezcla de turba en bandejas de 273 compartimentos colocados en las camas sobre un sustrato capilar para el riego.



Fig. 5.9. Plántulas de lechuga plantándolas en los huecos de 2,5 cm de las balsas. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

colocada bajo estas balsas, en las
a al mismo tiempo a las balsas a
puede atraer mediante una polea
del invernadero (figs. 5.5 y 5.11).

«in situ» en las camas. Facilitar
en las camas antes de recolectar,
ulación de nutrientes.

lo largo de las camas desde el
n en ellas (fig. 5.9). Las largas
en con facilidad.

iar y esterilizar, regándolas con
tante al 10 por 100. De la misma
e cada recolección (fig. 5.12). Se
ués de su limpieza y queda lista



Fig. 5.9. Plántulas de lechuga
dolas en los huecos de 2,5 cm de
alsas. (Cortesía de Hoppmann
roponics, Waverly, Florida).



Fig. 5.10. Una balsa soportando cuatro plantas de lechuga. Obsérvese el vigoroso
crecimiento de la raíz sana. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

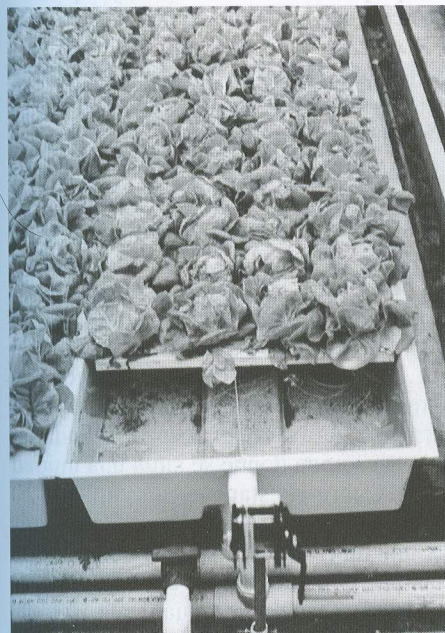


Fig. 5.11. Se emplea una polea (carrete
de pesca) para recuperar la cuerda que
une las balsas a lo largo de las camas.

(Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

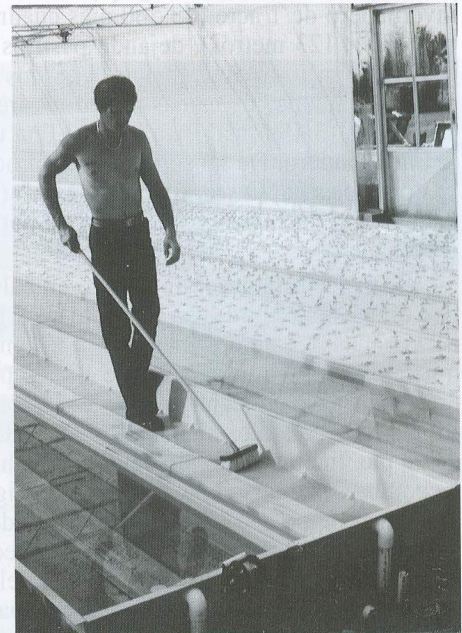


Fig. 5.12. Las camas se limpian después
de cada cultivo con una solución de
chlorox al 10 por 100.

veintiocho a treinta y cinco días para la lechuga, dependiendo de las condiciones de insolación y temperatura. En regiones semitropicales, tropicales y desérticas, donde la insolación es abundante y la duración varía entre catorce y dieciséis horas, es posible obtener de 10 a 12 cosechas al año, mientras que en climas templados, donde la insolación es menor y el día puede durar ocho horas o menos durante los meses de invierno, sólo se pueden obtener de siete a ocho cultivos anuales. En las regiones templadas, los cultivos de invierno pueden necesitar trece semanas (incluyendo los cuarenta días desde que se siembran hasta el trasplante), mientras que los cultivos de verano necesitan cinco semanas (incluyendo los doce días entre siembra y trasplante). Utilizando iluminación artificial suplementaria, el período entre siembra y trasplante se puede acortar en invierno incluso hasta la mitad del tiempo.

Las lechugas se embalan individualmente en bolsas de plástico. Algunos agricultores dejan a la planta un trozo de raíz cuando las envasan, con la esperanza de incrementar su duración en el mercado con respecto a aquellas que no llevan raíz. Sin embargo, a los consumidores no les agrada la presencia de raíces. En Arizona (Collins y Jensen, 1983), los productos envasados con raíz no aumentan su duración, y se ha demostrado que son tres veces más caros de preparar y embalar. El producto embalado con raíz no era muy bien aceptado por los mayoristas ni los minoristas, y elevaba el coste del transporte, debido al aumento del volumen y del peso. Generalmente se envasan 24 lechugas en cada caja.

El sistema flotante maximiza la utilización de la superficie del invernadero para la producción de lechuga y otro cultivo de pequeño desarrollo. Por ejemplo, un invernadero de 1 acre (43.560 pies cuadrados) con unas dimensiones de 180 x 403 pies (33 x 123 metros), dejando pasillos en la entrada y en el fondo de 8 y 2 pies (2,4 y 0,6 m), respectivamente, con dos pasillos de acceso de 29 pies (9 metros), cada 11 unidades de camas tienen un área de producción utilizable de 37.000 pies cuadrados (3.439 m²). Esto supone una utilización del 84 por 100 de la superficie del invernadero. De tal superficie de producción se podrían obtener 112.100 lechugas por cosecha. O sea, 28 lechugas/m² (2,6 lechugas por pie cuadrado), del invernadero o 32 lechugas/m² (3 lechugas por pie cuadrado) de terreno disponible en el invernadero.

Se puede establecer un cultivo en balsas a pequeña escala en estanques que tengan dimensiones que sean múltiplo de 4 pies, pues las láminas de styrofoam vienen en tamaños de 4 por 8 pies (1,2 x 2,4 metros). Las láminas se deben cortar por la mitad para conseguir tamaños de 4 por 4 pies (1,2 x 1,2 metros). Cada lámina contendrá 64 cabezas de lechuga (fig. 5.13). Las paredes laterales del estanque se pueden formar utilizando dos hileras de bloques de hormigón para conseguir una profundidad de un pie. Inclinar el fondo del estanque hacia una esquina donde se sitúa una unidad de bomba de circulación y refrigerador (fig. 5.14). Cubrir el estanque con vinilo de 20 milésimas de pulgada. Hay que tener cuidado de doblar y pegar bien todas las esquinas para evitar goteos. La bomba se conecta a una tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro situada en el fondo alrededor del estanque, con válvulas de entrada de plástico situadas cada 24 pulgadas (61 cm) para airear y mezclar continuamente la solución de nutrientes, como aparece en la figura 5.15. Acoplar dos cabezas de agua a una línea de bypass sobre la bomba para facilitar la oxigenación de la solución (fig. 5.14).

El sistema de balsas ha sido utilizado por Del Mar Farms cerca de San Diego, California, para cultivar berros. Esta explotación integraba una piscifactoría con un sis-

endiendo de las condiciones de tropicales y desérticas, donde la noche y dieciséis horas, es posible en las templadas, donde la insolación durante los meses de invierno. En las regiones templadas, los cultivos de verano necesitan cinco días (plante). Utilizando iluminación artificial trasplante se puede acortar en

de plástico. Algunos agricultores, con la esperanza de incrementar el rendimiento no llevan raíz. Sin embargo, a En Arizona (Collins y Jensen, 1984) la duración, y se ha demostrado que el producto embalado con raíz no se deteriora, y elevaba el coste del transplante. Normalmente se envasan 24 lechugas

la superficie del invernadero para el desarrollo. Por ejemplo, un invernadero de 180 x 403 pies (55 x 124 metros) y en el fondo de 8 y 2 pies (2.4 y 0.6 metros) de acceso de 29 pies (9 metros), cubren una superficie utilizable de 37.000 pies cuadrados (3.200 m²). El 84 por 100 de la superficie del invernadero podrían obtener 112.100 lechugas (1.000 por pie cuadrado), del invernadero (100 por pie cuadrado) de terreno disponible en el

a escala en estanques que tienen las láminas de styrofoam vienen en las láminas se deben cortar por la longitud (8 metros). Cada lámina contenida en los laterales del estanque se pueden utilizar para conseguir una profundidad de 2 pies (0.6 metros) donde se sitúa una unidad de bombeo. El estanque con vinilo de 20 pies (6 metros) y pegar bien todas las esquinas con PVC de 2 pulgadas de diámetro con válvulas de entrada de plástico. Se mezcla continuamente la solución de agua a una velocidad de la solución (fig. 5.14). En la granja de San Diego, California, se usa una piscifactoría con un sis-

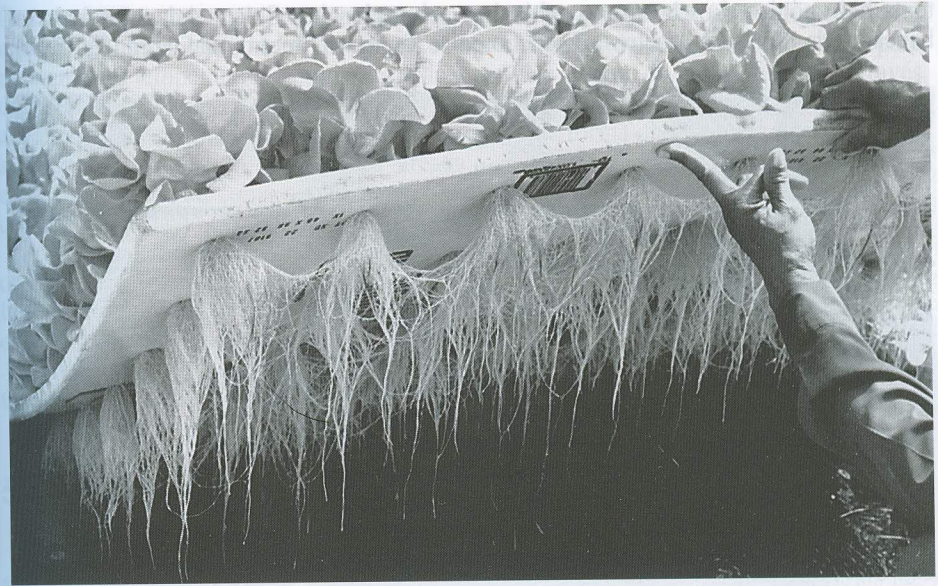


Fig. 5.13. Láminas de styrofoam con 64 cabezas de lechuga.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

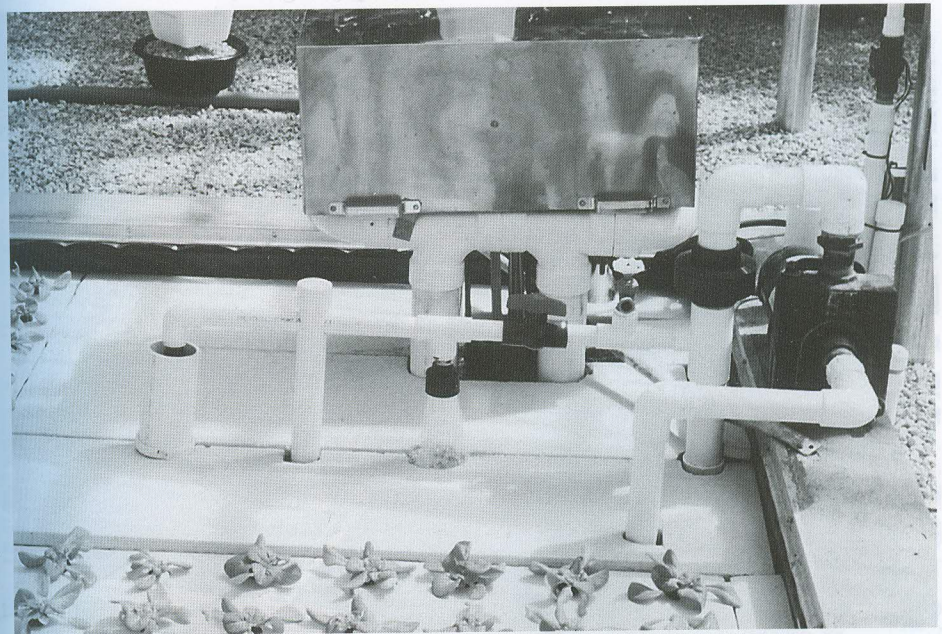


Fig. 5.14. Bomba de circulación con cabezas y refrigeradores de agua.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

tema hidropónico. Los berros se cultivaban sobre planchas flotantes de styrofoam en bancadas de 8 pies (2,4 metros) de ancho por 120 pies (37 metros) de largo (fig. 5.16).

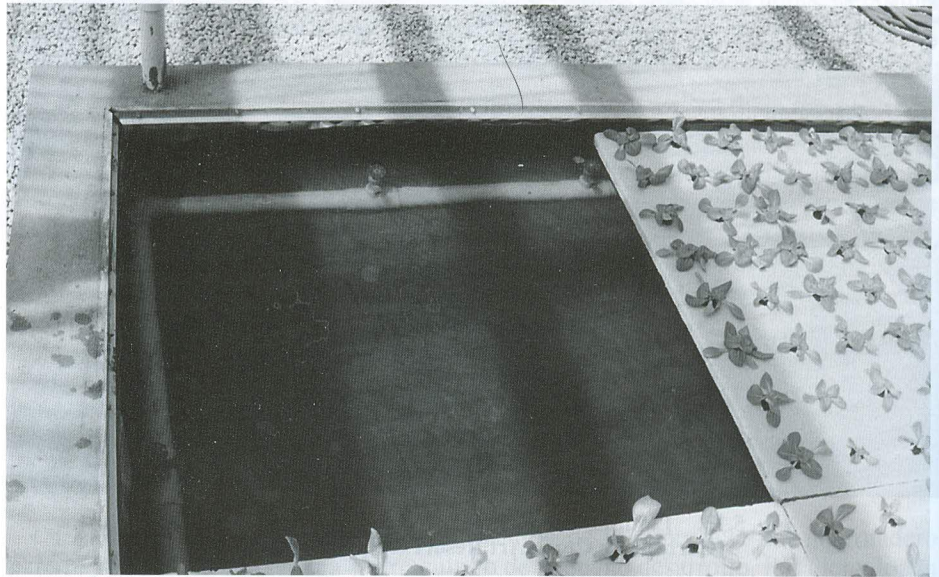


Fig. 5.15. Tubería de circulación y válvulas de plástico.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

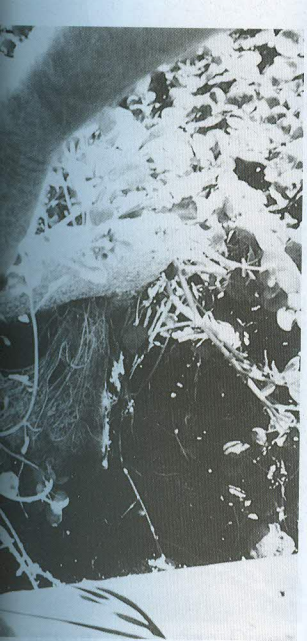


Fig. 5.16. Cultivo de berros en balsas.

chapas flotantes de styrofoam en
37 metros) de largo (fig. 5.16).



las de plástico.
Anguilla).



alsas.

Cada bancada estaba cubierta por una estructura de invernadero de arcos (fig. 5.17). La cubierta de polietileno de los invernaderos era extendida durante las noches frías para mantener las temperaturas óptimas. Se hacía circular el agua de la piscifactoría a través de las bancadas de berros, antes de que volviera a los estanques de peces. Se añadieron algunos fertilizantes a las bancadas de berros, pero de forma que no fueran perjudiciales a los peces. La solución nutritiva era aireada mediante el uso de una «rueda hidráulica» en cada bancada, tal como se muestra en la figura 5.17. Por tanto, las plantas actuaban como un sistema de filtro que utilizaba las aguas residuales de la piscifactoría.

La ventaja principal del sistema de balsas es la posibilidad de producir lechugas y otros cultivos de estación fría en climas tropicales utilizando la unidad refrigeradora en la refrigeración de la solución nutritiva. Otra ventaja es la posibilidad de obtener una elevada utilización de la superficie del invernadero.

El principal inconveniente es que el coste de capital es más elevado que con los sistemas NFT tradicionales.

5.4. Aeropónicos

Aeroponía es el cultivo de plantas en contenedores opacos, que a la vez le sirven de soporte y en los cuales están suspendidas las raíces y bañadas en lo que podríamos llamar una neblina de solución de nutrientes. Este cultivo se utiliza frecuentemente en los estudios de laboratorio de fisiología vegetal y no es fácil encontrarlo en escala comercial. Algunas compañías italianas han utilizado, no obstante, la aeroponía en el cultivo de un gran número de cosechas, tales como lechugas, pepinos, melones y tomates.

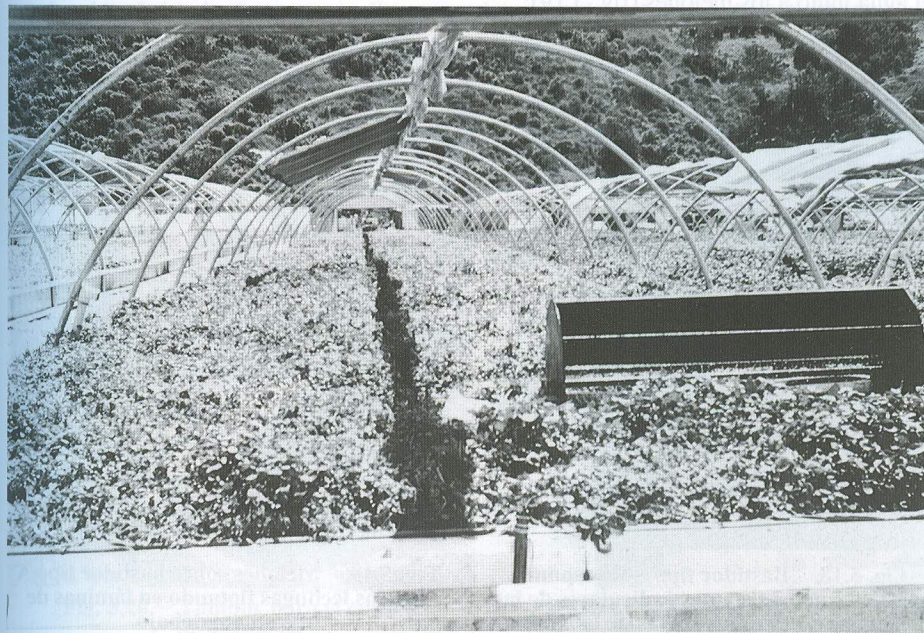


Fig. 5.17. Cultivo de berros en balsas en un invernadero de arcos, con una «rueda hidráulica» en las bancadas (primer plano) para airear la solución nutritiva.

En el Environmental Research Laboratory de Tucson, Arizona, se continúa una experiencia innovadora con cultivos hidropónicos. Trabajando con la Walt Disney Productions, el Dr. Carl Hodges, director del ERL, y el Dr. Merle Jensen, investigador hortofrutícola, desarrollaron conceptos para presentar al público las tecnologías agrícolas de vanguardia de un modo entretenido. El ERL ayudó a la creación de dos atracciones, un paseo en barco llamado «Escucha a la Tierra» y «Visita a los cultivos del mañana», para The Land, un importante complejo de instalaciones en Epcot Center, en Walt Disney World, cerca de Orlando, Florida.

La Universidad de Purdue y el ERL están efectuando investigaciones sobre sistemas de apoyo de vida en ambientes controlados para emplearlos en las estaciones espaciales. Estos programas, patrocinados por la NASA, se denominan «sistemas de soporte de vida ecológicamente controlados» (CELSS). El ERL de la Universidad de Arizona está estudiando sistemas para apoyar las visitas a Marte. Estas experiencias se deben realizar en cámaras herméticamente cerradas. Los sistemas cerrados se tienen que usar de tal manera que la solución excedente sea recuperada, repuesta y reciclada. Generalmente se emplea el NFT o modificaciones del mismo.

Otros trabajos del ERL incluyen el cultivo de lechugas en armazones tipo A de styrofoam, colgando sus raíces hacia el centro de dichos armazones, y siendo humedecidas éstas periódicamente con una solución de nutrientes (fig. 5.18). Este sistema de cultivo aumenta el número de plantas que pueden ser cultivadas en un invernadero al igual que los sistemas de «cascada» y NFT móviles, disminuyendo a la vez los costes de producción por unidad. Otra forma con que los científicos de ERL han producido también más rendimiento en el volumen de un invernadero ha sido cultivando melones en dichas armazones tipo A, mientras que las lechugas flotan en láminas de styrofoam sobre el agua junto a los melones (fig. 5.19).



Fig. 5.18. Bastidor tipo A de espuma plástica con los sistemas radiculares de las lechugas creciendo a través de la lámina de espuma plástica.



Fig. 5.19. Melones sobre bastidor tipo A con las lechugas flotando en láminas de styrofoam debajo.

(Cortesía de © Walt Disney Productions. World Rights Reserved).

son, Arizona, se continúa una bajando con la Walt Disney Pro- Merle Jensen, investigador hor- público las tecnologías agrícolas a la creación de dos atracciones, visita a los cultivos del mañana», es en Epcot Center, en Walt Dis-

do investigaciones sobre siste- emplearlos en las estaciones espa- denominan «sistemas de soporte L de la Universidad de Arizona te. Estas experiencias se deben mas cerrados se tienen que usar a, repuesta y reciclada. General-

gas en armazones tipo A de sty- mazones, y siendo humedecidas g. 5.18). Este sistema de cultivo s en un invernadero al igual que lo a la vez los costes de produc- ERL han producido también más o cultivando melones en dichas minas de styrofoam flotan sobre



Melones sobre bastidor tipo A
lechugas flotando en láminas de
styrofoam debajo.

World Rights Reserved).

También se cultivaron lechugas en un gran tambor rotativo junto a una fuente de luz artificial. La lechuga se planta en unos orificios situados en otro tambor interior que girará 50 rpm, tendiendo a crecer hacia el centro las plantas a causa del giro. Las raíces se desarrollarán entre los dos tambores, siendo humedecidas regularmente con una solución de nutrientes (fig. 5.20). El ERL ha ensayado también un sistema de cultivo en tuberías colgadas verticalmente en un transportador de correa (ver capítulo 6). Las plantas suspendidas en las tuberías pasan periódicamente junto a unos difusores que nebulizan la solución de nutrientes sobre la parte superior de las tuberías, pasando al mismo tiempo sobre un depósito abierto que recibe el exceso de solución que será reciclado posteriormente (figs. 6.14 y 6.15).

Los tomates se cultivan en un armazón tipo A con nebulización (fig. 5.21), y si bien estos armarios de cultivo no serían utilizables comercialmente para el cultivo de tomates, pepinos o melones, se ha demostrado en ellos cómo los cultivos aeropónicos son capaces de obtener un sistema radicular sano y de gran tamaño.

Con el incremento de los costes de fuel para la calefacción de los invernaderos, es de esperar que los nuevos sistemas de cultivos, tales como el NFT y la aeroponía, que incrementan las cosechas en un área o volumen determinado, sean rápidamente adoptados en el futuro.

5.5. Unidades hidropónicas forrajeras

El cultivo de cereales con una solución de nutrientes en una cámara cerrada controlada ambientalmente o unidad, ha tomado una importancia comercial como base de producción de hierba fresca para alimentar a los animales a lo largo de todo el año.

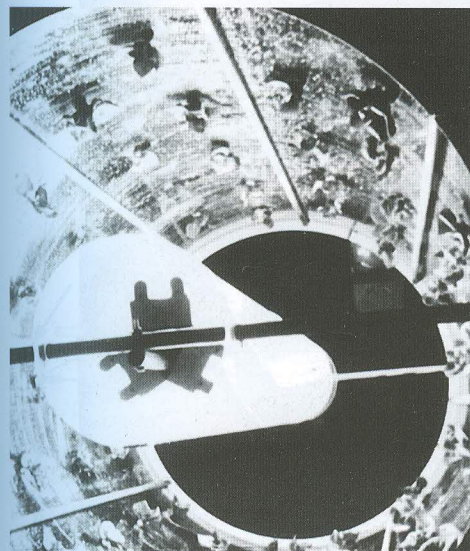


Fig. 5.20. Tambor para el cultivo
de lechugas.

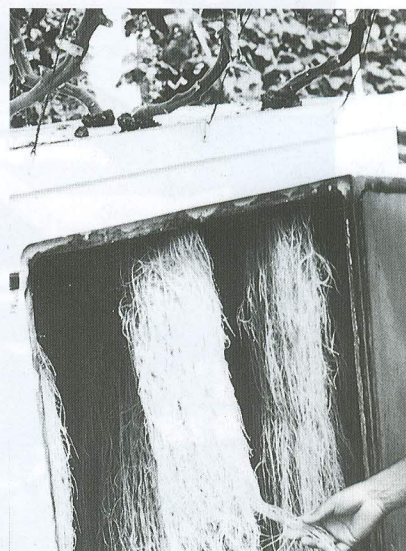
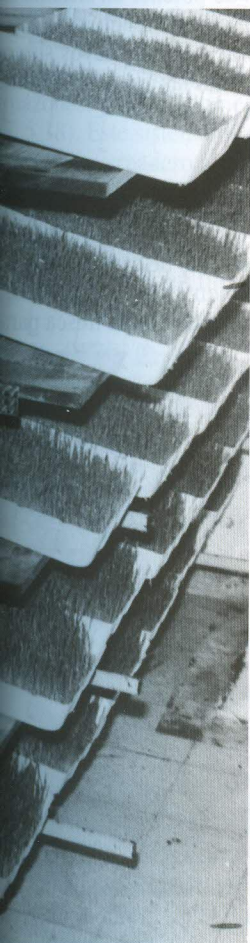


Fig. 5.21. Raíces sanas de tomates
cultivados con nebulización en un
bastidor aeropónico tipo A.

(Cortesía de © Walt Disney Productions. World Rights Reserved).

o maíz suelen ser humedecidos
bandejas de cultivo (cerca de 0,5
cadas sobre estantes pueden ser
nutrientes que irá drenando de una
bandejas puede ser montado sobre
e con una solución de nutrientes
mente utilizando luz blanca fluo-
te seis días, habrá alcanzado una
cosecharla y alimentar a los ani-
mero de unidades comerciales de
ra 5.24 podemos ver una unidad
largo por 8 pies de alto y 10 pies



tivos forrajeros.
os Aires).

de ancho). En esta unidad cuatro bancadas de seis capas de bandejas separadas por unos 30 centímetros (12 pulgadas) van girando bajo luz artificial. Cada una de las capas está compuesta por cinco bandejas de 0,9 por 0,45 metros (36 pulgadas por 18 pulgadas), lo cual les da a dichas capas un área total de 2,0 metros cuadrados (22,5 pies cuadrados). En cada una de ellas (cinco bandejas) se colocan diariamente cerca de 11,3 kilos (25 libras) de grano. La temperatura se mantiene entre los 22° a 25° C y la humedad relativa entre un 65-70 por 100.

Esta unidad de cuatro bancadas de 30 bandejas puede producir hasta media tonelada (450 kilos) por día de hierba fresca, a partir de 45 kilos (100 libras) de grano. La alimentación de los animales se efectuará con la totalidad de la hierba, es decir, raíces, semillas y hojas.

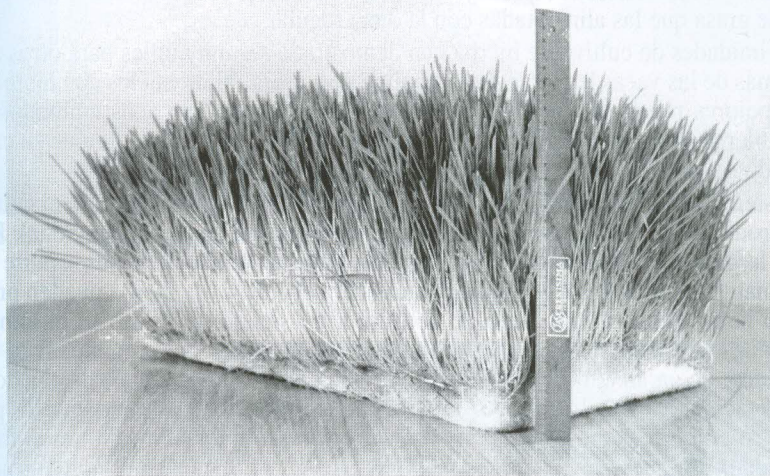


Fig. 5.23. Hierba de seis días, lista para alimentar el ganado.
(Cortesía de La Serenísima, Buenos Aires).

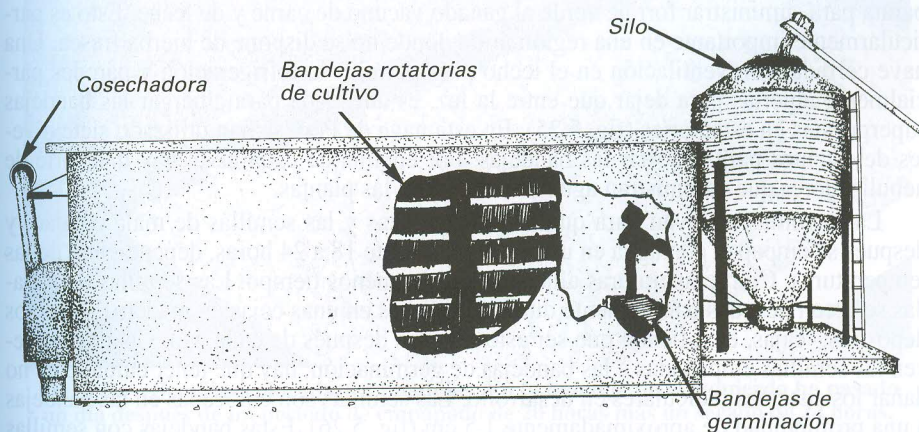


Fig. 5.24. Unidad comercial automática para el cultivo forrajero.

La programación de la cosecha deberá efectuarse de forma que puedan cosecharse cada día el mismo número de bandejas que sean sembradas. De esta forma podrá ser posible una producción continua durante los trescientos sesenta y cinco días del año.

Se ha comprobado (Arano, 1976) que cada kilo (2,2 libras) de hierba equivale nutricionalmente a 3 kilos (6,6 libras) de alfalfa fresca. Arano también ha comprobado que de 16 a 18 kilos (35 a 40 libras) de hierba son suficientes para el alimento diario de una vaca lechera en producción.

Según sus cálculos, una unidad de cosecha con seis partes, que tenga cada una de ellas 40 bandejas, podría alimentar a 80 vacas durante un año. En un test de producción lechera con una dieta de hierba, frente a uno de forraje normal tal como grano o heno, un grupo de 60 vacas que tuvieron una dieta solamente de hierba incrementaron su producción lechera en un 10,07 por 100 sobre las que tuvieron la dieta normal. Además, el grupo alimentado con hierba produjo una mantequilla que contenía un 14,26 por 100 mayor de grasa que las alimentadas con la dieta regular.

Las unidades de cultivo de hierba han demostrado ser muy útiles para otros animales, además de las vacas lecheras. Los caballos de carreras alimentados con hierba obtuvieron mejores resultados, y los animales del zoo que estaban acostumbrados a una dieta de hierba en sus hábitat normales estuvieron mucho más sanos durante su cautiverio cuando se alimentaron a lo largo de todo el año con hierba fresca.

Existen pruebas (Arano, 1976) de que las unidades hidropónicas para el cultivo de hierba producen alimento para los animales a la mitad del coste convencional. Esto se basa en la gran cantidad de gas-oil necesitado para la producción y transporte de los forrajes naturales. Las unidades hidropónicas para el cultivo de hierba pueden producir ésta a lo largo del año en el sitio de consumo, no siendo necesario ni el almacenamiento ni el ensilado, ya que la hierba fresca se produce diariamente. Esta hierba puede crecer en un área muy pequeña en comparación con los campos destinados para la alimentación animal. Los gastos en insecticidas, fertilizantes, maquinaria para el cultivo, así como todas las labores necesarias en los cultivos al aire libre de forrajes, puede calcularse que son diez veces mayores que los normales en el cultivo hidropónico de hierba.

En Perú, el Sr. Enrique Valdivia Benavides ha establecido una unidad forrajera barata para suministrar forraje verde al ganado vacuno de carne y de leche. Esto es particularmente importante en una región árida donde no se dispone de hierba fresca. Una nave cerrada, con ventilación en el techo para permitir la refrigeración y paredes parcialmente abiertas para dejar que entre la luz, es adecuada para albergar las bandejas superpuestas en estanterías (fig. 5.25). En esta nave de Perú se han utilizado siete niveles de estantes para soportar las bandejas. Por encima de cada nivel hay una serie de nebulizadores que suministran agua y nutrientes a las plantas.

Las semillas se lavan para quitar las impurezas y las semillas de mala calidad, y después se empapan con agua en un depósito durante 18 a 24 horas, dependiendo de las temperaturas. Con temperaturas altas se requiere menos tiempo. Las semillas empapadas se secan después parcialmente durante 24 horas en unas cajas de madera. Todas los depósitos, cajas, etc., tienen que ser esterilizados después de cada uso. Cuando se lleven las semillas empapadas a las bandejas de germinación, hay que tener cuidado de no dañar los sistemas radiculares en desarrollo. Las semillas son colocadas en las bandejas a una profundidad de aproximadamente 1,5 cm (fig. 5.26). Estas bandejas con semillas se colocan en una cámara de producción en estanterías con un sistema de nebulización,

de forma que puedan cosecharse
cadas. De esta forma podrá ser
sesenta y cinco días del año.

2,2 libras) de hierba equivale
Arano también ha comprobado
entes para el alimento diario de

partes, que tenga cada una de
año. En un test de producción
normal tal como grano o heno,
e hierba incrementaron su pro-
on la dieta normal. Además, el
ue contenía un 14,26 por 100

r muy útiles para otros anima-
s alimentados con hierba obtu-
estaban acostumbrados a una
más sanos durante su cautive-
erba fresca.

idropónicas para el cultivo de
el coste convencional. Esto se
roducción y transporte de los
ivo de hierba pueden producir
do necesario ni el almacena-
ce diariamente. Esta hierba
n los campos destinados para
ilizantes, maquinaria para el
ivos al aire libre de forrajes,
males en el cultivo hidropó-

blecido una unidad forrajera
carne y de leche. Esto es par-
dispone de hierba fresca. Una
refrigeración y paredes par-
la para albergar las bandejas
ú se han utilizado siete nive-
cada nivel hay una serie de
as.

semillas de mala calidad, y
24 horas, dependiendo de las
empo. Las semillas empapa-
s cajas de madera. Todas los
de cada uso. Cuando se lle-
hay que tener cuidado de no
on colocadas en las bandejas
Estas bandejas con semillas
un sistema de nebulización,



Fig. 5.25. Unidad hidropónica para forrajes con estantería en una nave parcialmente protegida de la luz. (Cortesía de V. Enrique Valdivia Benavides, Perú).



Fig. 5.26. Semillas colocadas en bandejas. En la bandeja de la izquierda ha pasado un día después de un período de empapado de 20 horas más un secado de 24 horas. La bandeja de la derecha muestra las semillas después del empapado y secado. (Cortesía de V. Enrique Valdivia Benavides, Perú).

donde permanecerán de 6 a 7 días (fig. 5.27). Los ciclos de riego varían de 8 a 10 veces por día, con un período de 20 a 60 segundos cada ciclo. Por medio del sistema de nebulización se aplica una solución diluida de fertilizantes.

La producción en peso alcanzada con este método puede pasar de 1 a 5. Utilizando buena semilla, esto se puede aumentar y llegar a una producción 12 veces superior. En los sistemas de cultivo de alfalfa y judías, la producción puede pasar de 1 a 8 ó 10. Esta explotación utiliza trigo, cebada y maíz como fuentes de semillas. Los animales consumen toda la materia vegetal, incluyendo raíces, semillas y hojas (fig. 5.28).

El propietario de la explotación asegura que con una ración diaria de 12 kilos de hierba al día para las vacas de leche, éstas han logrado un incremento superior al 7% en la producción de leche en vacas que producen más de 28 litros de leche al día, y un incremento del 53% en vacas que producen 14 litros o menos diariamente. En las vacas preñadas, los abortos se reducen a casi cero. Las vacas permanecen secas durante menos tiempo después de criar a los terneros. El ganado de carne ganó 1,4 kg por día cuando se le alimentó con 7 a 8 kg de forraje verde más 7 kg de concentrado.



Fig. 5.27. Cámara de producción con siete baldas de cultivo con nebulización. (Cortesía de V. Enrique Valdivia Benavides, Perú).

riego varían de 8 a 10 veces
medio del sistema de nebu-

e pasar de 1 a 5. Utilizando
cción 12 veces superior. En
de pasar de 1 a 8 ó 10. Esta
millas. Los animales consu-
ojas (fig. 5.28).

ación diaria de 12 kilos de
cremento superior al 7% en
litros de leche al día, y un
s diariamente. En las vacas
permanecen secas durante
carne ganó 1,4 kg por día
de concentrado.



tivo con nebulización.
, Perú).

5.6. Brotes de alfalfa y judías

Los brotes de alfalfa, judías, rábanos, brécol y mezclas de alfalfa con cebollas, ajos, trébol, repollo, hinojo, puerro, lentejas, fréjol de vaca y guisantes verdes son populares para el consumo humano en ensaladas, sandwiches y cocina oriental. La mayoría de las mezclas de alfalfa se hacen con un 60 a 80 por ciento de alfalfa y la parte restante con uno o más de los demás productos.

5.6.1. Cultivo de alfalfa

La superficie de las semillas tiene que ser esterilizada para eliminar los hongos y las bacterias. De particular interés es la posible contaminación de Salmonella, que puede ser eliminada mediante el tratamiento con 2.000 a 4.000 ppm de cloro activo durante al menos 10 minutos. El autor ha utilizado una concentración de 2.000 ppm durante 30 minutos sin ninguna reducción de la viabilidad de las semillas.

Las semillas se lavan varias veces en recipientes de plástico con agua corriente hasta que se quite toda la suciedad antes de la esterilización. Lavar las semillas hasta que el agua quede completamente limpia y después esterilizar la superficie de la semilla. Una parte de chlorox con 19 partes de agua proporcionarán una solución de 3.000 ppm de cloro. Lavar las semillas varias veces después de la esterilización de la superficie hasta que el agua quede limpia.

Extender las semillas con una profundidad de 5 cm (2 pulgadas) en bandejas o recipientes de plástico y empaparlas en agua durante 4 a 6 horas. Cambiar el agua cada hora para airear. Todo el agua utilizada en estos procesos debe ser tratada con cloro antes de filtrarla con arena y carbón activado. Es conveniente almacenar el agua limpia en depó-



Fig. 5.28. Producto final (maíz de 10 días) listo para el consumo animal.
(Cortesía de V. Enrique Valdivia Benavides, Perú).

sitos de plástico que tengan tapas y tuberías que los conecten a un sistema cerrado a presión mediante una bomba. Por supuesto que todos los contenedores, bandejas, etc., tienen que ser esterilizados con una solución de chlorox al 10% antes de su uso. La temperatura del agua se debe mantener a 21°C (70° F) utilizando una caldera antes de entrar en las instalaciones de cultivo. Las semillas tienen que hincharse, pero no tienen que romperse las envolturas de las semillas. Volver a lavarlas varias veces antes de colocarlas en las bandejas de cultivo.

Los dos tipos más corrientes de sistemas de cultivo son estanterías y tambores rotatorios (fig. 5.29). Las estanterías de acero inoxidable pueden ser sencillas o dobles (fig. 5.30), montadas sobre ruedecitas para facilitar su movimiento. Las estanterías sencillas tienen 61 cm (24 pulgadas) de ancho por 1,4 m (56 pulgadas) de largo y 2 m (80 pulgadas) de alto. Las estanterías deben contener 7 a 10 baldas, dependiendo del cultivo. Con la alfalfa se utilizan estanterías de 10 baldas.

Las bandejas de cultivo son de polietileno modificado con goma de alto impacto (fig. 5.31). La elasticidad maximiza el drenaje y minimiza la compactación de las raíces. Las estanterías sencillas de 10 niveles contienen 20 a 30 bandejas, mientras que las estanterías dobles con 8 niveles contienen 48 bandejas. Hay que montar suficientes estanterías en una cámara de cultivo para hacer frente a la demanda del mercado.

Los sistemas comerciales elaborados utilizan un carrito de agua automático informatizado que se mueve entre las filas de las estanterías. Los nebulizadores menos sofisticados, montados sobre cada nivel de la estantería, realizarán la misma función. Se pueden regar tres bandejas por cada nivel de estantería con dos nebulizadores situados equidistantemente sobre cada nivel (fig. 5.31).

Un controlador de riego con válvulas solenoides riega automáticamente los brotes a intervalos establecidos. Los brotes de alfalfa verdean pasando las estanterías a través de una cámara de iluminación durante unas horas a un día, dependiendo de la cantidad de verdeo requerido por el mercado.

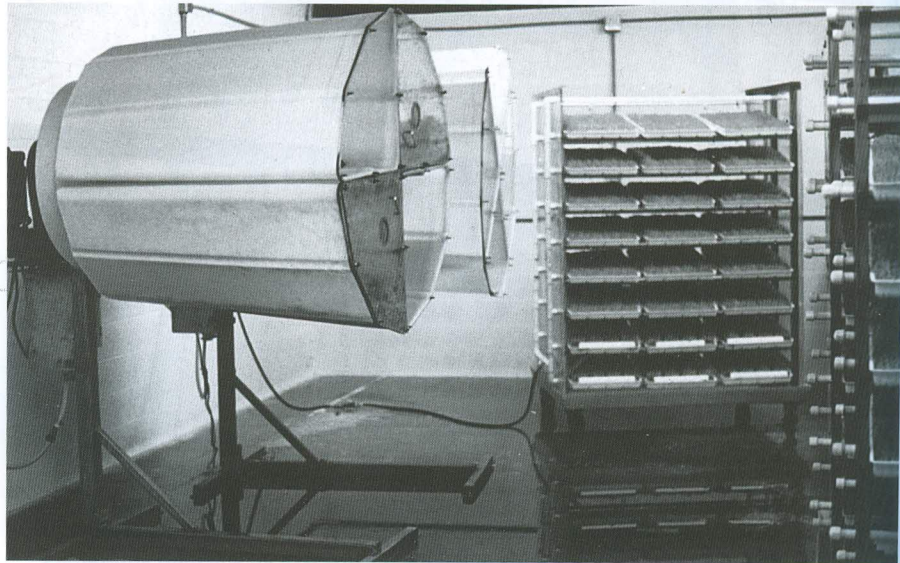


Fig. 5.29. Sistema cultivo de alfalfa con estanterías y tambores rotatorios.

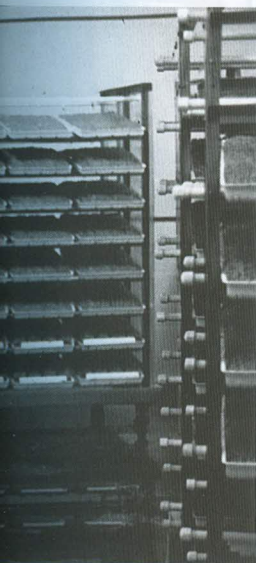
ten a un sistema cerrado a
ntenedores, bandejas, etc.,
% antes de su uso. La tem-
ando una caldera antes de
e hincharse, pero no tienen
arlas varias veces antes de

estanterías y tambores rota-
ser sencillas o dobles (fig.
o. Las estanterías sencillas
) de largo y 2 m (80 pulga-
pendiendo del cultivo. Con

con goma de alto impacto
a compactación de las raí-
bandejas, mientras que las
ay que montar suficientes
manda del mercado.

de agua automático infor-
nebulizadores menos sofis-
arán la misma función. Se
dos nebulizadores situados

tomáticamente los brotes a
o las estanterías a través de
endiendo de la cantidad de



tambores rotatorios.

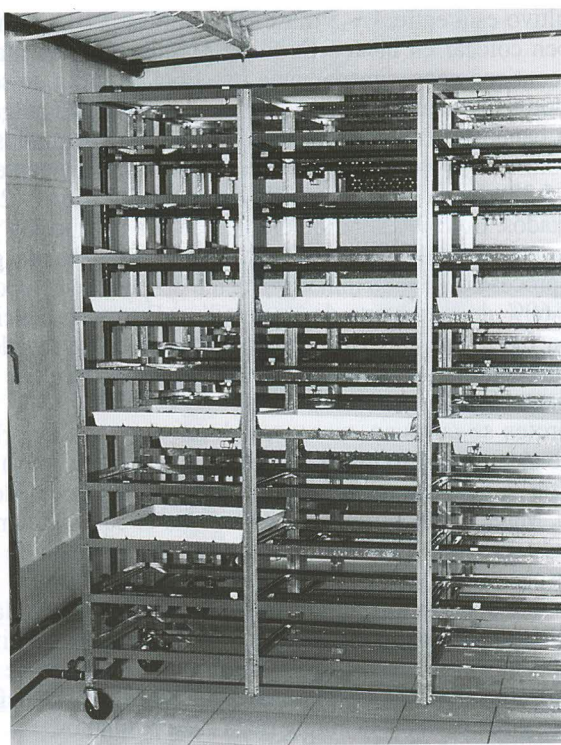


Fig. 5.30. Estanterías de acero inoxidable con ruedecitas.
(Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S. A., Caracas, Venezuela).

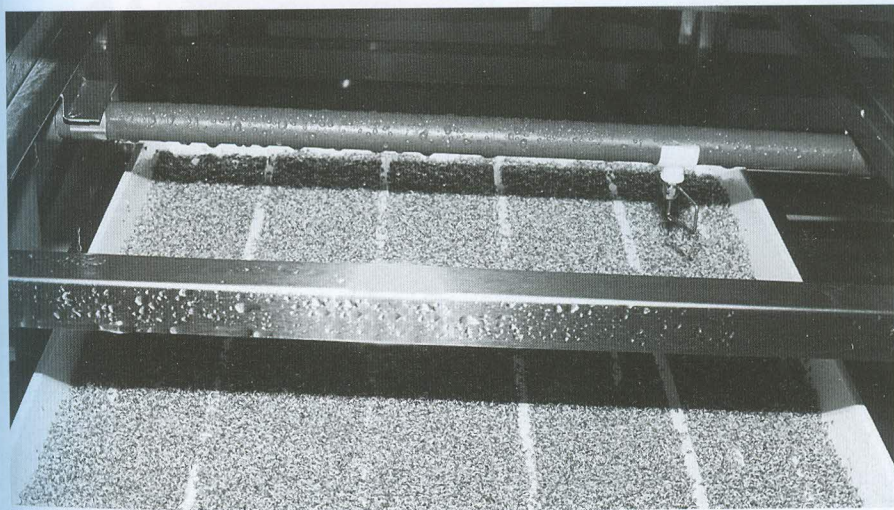


Fig. 5.31. Nebulizadores sobre bandejas de cultivo.
Los brotes tienen un día después del empapado en agua.
(Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S. A., Caracas, Venezuela).

El ciclo de cultivo está entre 4 y 5 días. Las semillas deben germinar en grandes bandejas o se deben colocar en contenedores de plástico tipo concha de almeja. Las bandejas grandes contienen aproximadamente una libra ó 0,5 kg de semillas empapadas, ó 20 contenedores tipo concha de almeja. Extender 1/4 a 1/2 pulgada (0,6-1,3 cm) de semillas en las bandejas. Poner los ciclos de riego a 30 segundos por hora, o un minuto cada dos horas. En 4 días, los brotes crecerán aproximadamente 2,5 pulgadas (6 cm) en altura (fig. 5.32). Lavar los brotes con agua fría a 36-37,5° F (2-3°C) tan pronto como sean recolectados. En cualquier momento durante la producción y la recolección, manejar los brotes con estrictos procedimientos sanitarios, usando guantes, batas y gorras. Durante el proceso de lavado inmediatamente después de la recolección, se debe quitar al menos el 60% de la cubierta de las semillas. Esto se producirá normalmente pues los brotes son fuertemente agitados durante el proceso de lavado. Los brotes se secan después en una centrifugadora antes de envasarlos, de forma que permanezcan en una estantería al menos 5 días.

Cuando los brotes se cultivan en contenedores, hay que lavarlos después del segundo día cuando alcancen aproximadamente una pulgada (2 a 3 cm) en altura, y después hay que colocar la misma cantidad de brotes en los 20 contenedores que pueden llenar las bandejas. Mantenerlos otros 2 a 3 días. Todo el equipo, como son bandejas, recipientes de lavado, etc., debe ser esterilizado con una solución de chlorox al 10% inmediatamente después de su uso.

Un sistema de tambor rotatorio completamente automatizado lava, empapa en agua, pregermina y desarrolla las semillas (fig. 5.33). El tambor está dividido en cuatro cuadrantes o cámaras de cultivo. La temperatura, ventilación, flujo de agua, velocidad de rotación e iluminación se pueden programar para un cultivo específico. Durante el desarrollo, el tambor gira una vez a la hora y riega cada 6 minutos.

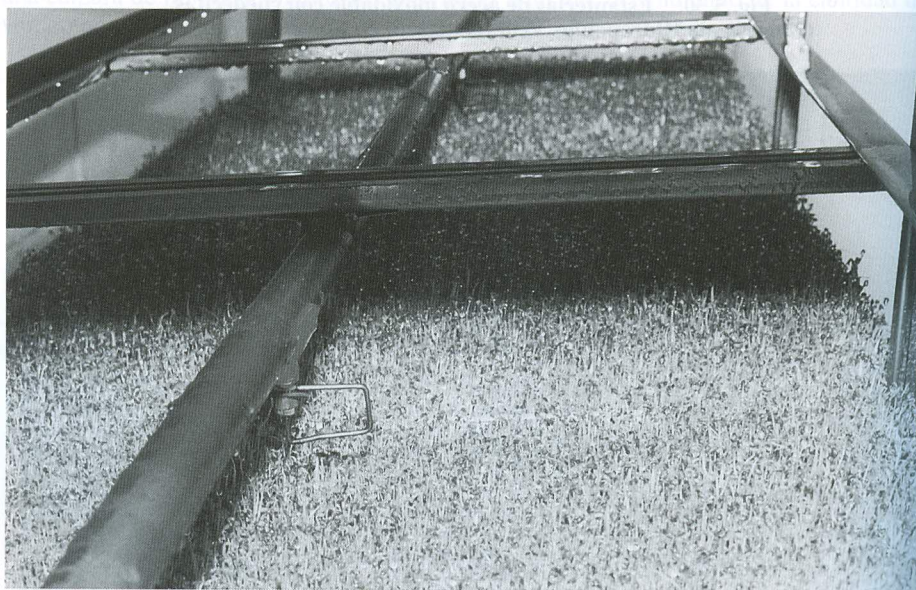
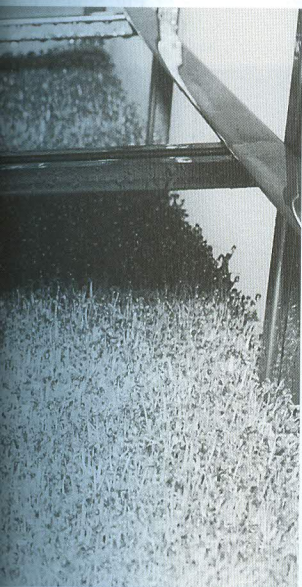


Fig. 5.32. Brotes de alfalfa listos para ser recolectados después de 4 días.
(Cortesía de Hidroponías Venezolanas, Caracas, Venezuela).

as deben germinar en grandes
co tipo concha de almeja. Las
ó 0,5 kg de semillas empapa-
1/4 a 1/2 pulgada (0,6-1,3 cm)
a 30 segundos por hora, o un
roximadamente 2,5 pulgadas (6
36-37,5° F (2-3°C) tan pronto
la producción y la recolección,
rios, usando guantes, batas y
pués de la recolección, se debe
esto se producirá normalmente
ceso de lavado. Los brotes se
de forma que permanezcan en

may que lavarlos después del
ada (2 a 3 cm) en altura, y des-
s 20 contenedores que pueden
el equipo, como son bandejas,
a solución de chlorox al 10%

automatizado lava, empapa en
tambor está dividido en cuatro
ción, flujo de agua, velocidad
cultivo específico. Durante el
5 minutos.



ados después de 4 días.
acas, Venezuela).

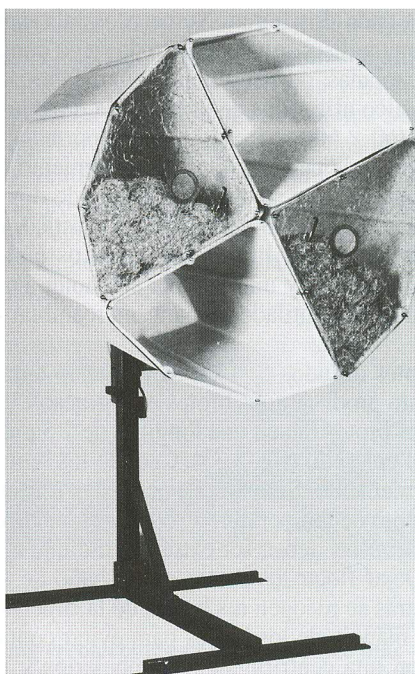


Fig. 5.33. Tambor rotatorio completamente automatizado.

Con cada cuadrante que contiene 11,25 libras (5 kg) de semillas, ó 45 libras (20,5 kg) por tambor, se puede obtener una producción de 350 a 450 libras (160-205 kg) de brotes de alfalfa en unos 4 días. Los brotes de alfalfa deben tener un peso 8 a 10 veces mayor que el de las semillas. Un sistema de estanterías con 30 bandejas producirá 330 libras (150 kg) de brotes en bruto, ó 900 contenedores por ciclo de cultivo de 4 a 6 días. Esto supone que cada bandeja sembrada con una libra (0,5 kg) de semillas producirá 11 libras (5 kg) de brotes en bruto. Esto es equivalente a 30 contenedores que contienen 4 onzas (115 gm).

5.6.2. Cultivo de judías mung

La preparación de las semillas antes de colocarlas en la cámara de cultivo es similar a la de la alfalfa. El tiempo de empapado varía de 4 a 6 horas a 72°F (22°C), dependiendo de la edad, calidad y origen de la semilla. Al igual que con la alfalfa, las semillas se deben empapar en agua, pero no se debe romper la cubierta de las semillas antes de llevarlas a las cámaras de cultivo. La temperatura de la cámara de cultivo debe mantenerse entre 72° y 75° F (22-24°C). Los grandes recipientes comerciales montados en estructuras de acero inoxidable miden 37 pulgadas (95 cm) por 40 pulgadas (1,0 m) y por 67 pulgadas (1,7 m) de alto. Están contruidos con paredes de plástico ondulado con fondos de listones desmontables, que facilitan un rápido drenaje sin que pasen las semillas. Este sistema se riega automáticamente con un dispositivo de riego móvil que suministra un flujo uniforme de agua sobre las semillas. Los ciclos de agua se pueden

establecer en 0 a 6 pasos cada dos horas. Numerosos fabricantes ofrecen un sistema básico de 5 recipientes con un dispositivo elevado de riego controlado por ordenador.

En Hidroponías Venezolanas, de Venezuela, hemos fabricado pequeños recipientes a partir de envases de plástico utilizados en la industria de la lavandería. Sus dimensiones son 24" x 24" x 22" (60 x 60 x 55 cm). Están soportados en estructuras de acero inoxidable que tienen ruedecitas para facilitar su movimiento desde el área de cultivo hasta las naves de embalaje. El agua se dispersa utilizando dos cabezas de ducha montadas sobre cada recipiente y un tapón perforado de plástico, como muestra la figura 5.34. Un falso fondo perforado facilita el drenaje. Los ciclos de riego se regulan mediante el uso de un controlador y una válvula solenoide en la tubería. Durante los ciclos de riego se activan unos ventiladores para intercambiar el aire en la cámara de cultivo.

La adición de nutrientes diluidos de fósforo y potasio durante el segundo y tercer día del ciclo de crecimiento produce unos brotes más gruesos.

En unos 4 ó 5 días, los brotes tienen una longitud de 2,5 pulgadas (6 a 7 cm), desde la punta de la raíz hasta el epicotilo (fig. 5.35). Cuando los brotes del recipiente crecen, éstos deben crecer uniformemente. Si aparecen pequeñas manchas, puede ser que haya carencia de agua, incremento de temperatura o insuficiencia de oxígeno.

Las cubiertas de las semillas deben ser extraídas durante el proceso de lavado después de la recolección. Dejar flotar los brotes en un baño de agua muy fría, agitando ligeramente el agua mientras se recogen los brotes de la superficie con un colador. Hay que tener cuidado con el manejo de los brotes para evitar contaminaciones (fig. 5.35). Centrifugar los brotes con una centrifugadora, embalarlos y refrigerarlos inmediatamente a 36-37,5°F (2-3°C). Se dispone de un sistema comercial de lavado que enfría, lava, extrae las cubiertas de las semillas y seca parcialmente los brotes. Las bacterias son controladas con un sistema de inyección de cloro dentro de la lavadora.

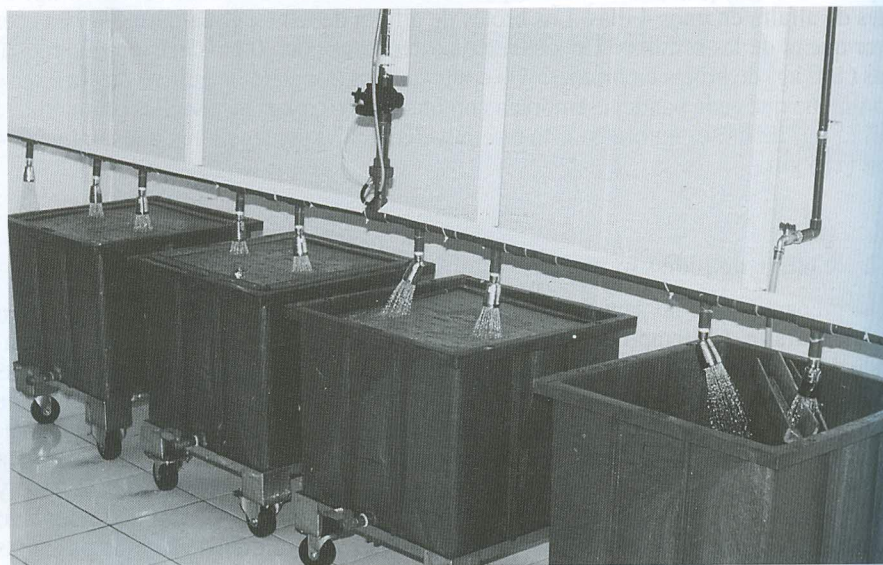


Fig. 5.34. Recipientes para brotes de judías mung.
(Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S. A., Caracas, Venezuela).

icantes ofrecen un sistema controlado por ordenador. Se usan pequeños recipientes en lavandería. Sus dimensiones en estructuras de acero desde el área de cultivo hasta las cabezas de ducha monomando, como muestra la figura 5.35. Los ciclos de riego se regulan en la tubería. Durante los lavados el aire en la cámara de

durante el segundo y tercer lavados. Las pulgadas (6 a 7 cm), desde los brotes del recipiente crecen, las pulgadas, puede ser que haya un exceso de oxígeno. Durante el proceso de lavado de agua muy fría, agitando la superficie con un colador. Hay contaminaciones (fig. 5.35). Los brotes se refrigeran inmediatamente después del lavado que enfría, y los brotes. Las bacterias de la lavadora.



mung.
as, Venezuela).

Igual que la alfalfa, las judías mung producen 8 a 10 veces su peso en brotes. Para alcanzar esta producción, es importante adquirir semilla de alta calidad con un alto porcentaje de viabilidad. Debe ser de tamaño uniforme y estar libre de contaminantes. Comprobar cada origen y lote de semillas antes de solicitar una gran cantidad. Los brotes de judía sufren más que los de alfalfa los desórdenes fisiológicos y enfermedades. Una pobre oxigenación y ventilación y las temperaturas elevadas producen una pobre germinación y un crecimiento irregular. El hierro o un exceso de cloro en el agua produce raíces pardas. Como ocurre con otros cultivos agrícolas, un manejo satisfactorio mediante un constante seguimiento y ajuste de las condiciones ambientales determina la productividad y la calidad.

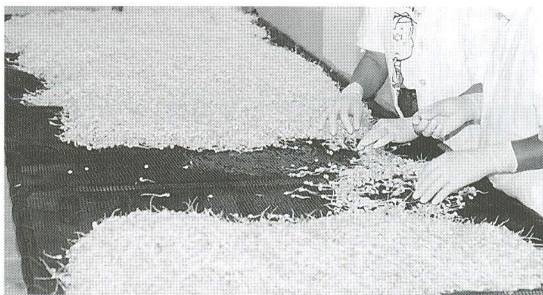


Fig. 5.35. Judías mung recolectadas en cuatro a cinco días – clasificación después del lavado. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, Caracas, Venezuela).

Referencias

- ARANO: Forraje hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra. Buenos Aires, Argentina. 397 p., 1998.
- : Raciones hidropónicas. Buenos Aires, Argentina. *La Serenísima* 29:13-19, 1976.
- : Cultivos hidropónicos. *La Serenísima* 31:4-19, 1976.
- : Forraje verde hidropónico (FVH). *La Serenísima* 35:19, 1976.
- FOX, ROGER: Fábrica de forraje. Red de Hidroponía N°8. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Univ. Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2000.
- : The Fodder factory. Practical Hydroponics and Greenhouses (35): 38-44. Casper Publ. Pty. Ltd. Narrabeen, Australia, 1997.
- JENSEN, MERLE H.: Tomorrow's agriculture today. *Am. Veg. Grower* 28(3): 16-19, 62, 63, 1980.
- JENSEN, MERLE H., y COLLINS, W. L.: Hydroponic vegetable production. *Hort. Reviews* 7:483-557, 1985.
- MOHYUDDIN, M.: Crop cultivars and disease control. Hydroponics Worldwide: *State of the Art in Soilless Crop Production*, Ed., Adam J. Savage. Honolulu, HI: Int. Center for Special Studies, pp 42-50, 1985.
- MORGAN, J. V., y TAN, A.: Production of greenhouse lettuce at high densities in hydroponics. P.1620 (abstr.). *Proc. of the 21st Inter. Hort. Cong.*, Hamburg, Vol. 1, 1982.
- RESH, H. M.: Walter Culture Systems. *Proc. of the 9th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, San Francisco, CA, April 22-24, 1988, pp. 47-51, 1988.
- SOFFER, H., LEVINGER, D.: The Gedi Systems—Research and development of a hydroponic system. *Proc. of the 5th Int. Congress on Soilless Culture*, Wageningen, May 1980, pp. 241-252, 1980.
- VALDIVIA BENAVIDES, V. E.: Forage or green grass production. Int. Conf. of Commercial Hydroponics. 6-8 de agosto, 1997. Univ. La Molina, Lima, Perú. pp. 87-94, 1997.
- VINCENZONI, A.: La colonna di coltura nuova tecnica aeroponica. *Proc. of the 4th Int. Congress on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976.
- ZOBEL, R. W., TRIDICI, P. D., y TORREY, J. G.: Method for growing plants aeroponically. *Plant Physiol.* 57:344-46, 1976.