

CULTIVOS HIDROPONICOS



5ª EDICION



H. M. RESH

HOWARD M. RESH, Ph. D.

*Formerly, Department of Plant Science
University of British Columbia, Vancouver
International Horticultural Consultant
President, International Aquaponics, Inc.*

CULTIVOS HIDROPONICOS

Nuevas técnicas de producción

Una guía completa de los métodos actuales
de cultivo sin suelo. Para técnicos y
agricultores profesionales, así como para
los aficionados especializados

**5.^a edición
revisada y ampliada
por
Carlos de JUAN**



Ediciones Mundi-Prensa
Madrid • Barcelona • México

Grupo Mundi-Prensa

- **Mundi-Prensa Libros, s. a.**
- **Mundi-Prensa Barcelona**
- **Editorial Aedos, s. a.**
- **Mundi-Prensa México, s. a. de C. V.**

La edición original de esta obra ha sido publicada en inglés con el título

HYDROPONIC FOOD PRODUCTION **Sixth Edition**

por Woodbridge Press Publishing Company, Santa Bárbara, California

© 2002 by Howard M. Resh
Edición inglesa

© 2002, Ediciones Mundi-Prensa
Edición española

- 1.^a edición: 1982
- 2.^a edición: 1987
- 3.^a edición: 1992
- 4.^a edición: 1997
- 5.^a edición: 2001

Prólogo a la 5.^a edición española

Los cultivos hortícolas y ornamentales, junto con una demanda cada vez más creciente, presentan hoy día el problema de sus altas necesidades en mano de obra, así como los gastos cada vez mayores de los medios que utilizan. No es preciso señalar al técnico o al agricultor, o, lo más probable, al que se encuentra en ambas circunstancias, cómo en la actualidad se habla del precio por unidad de las semillas de algunos híbridos de tomate, pimiento o melón; y así podríamos destacar la mayoría de los costes a efectuar a lo largo de un cultivo.

Es por esto por lo que, para justificar su rentabilidad, es necesario obtener unas cosechas elevadas, una calidad selecta y, a la vez, utilizar la menor mano de obra posible, manteniendo un elevado porcentaje de garantías de éxito del cultivo.

Para acercarnos a estos objetivos se ha evolucionado hacia los cultivos «intensivos» o «protegidos», desarrollándose no ya los invernaderos clásicos, sino decenas de miles de hectáreas de cultivos bajo la protección de diversos tipos de plásticos, bien sea en pequeños túneles o en invernaderos con estructuras ligeras de bajo coste.

Esta forma de cultivo ha obligado a su vez al agricultor a buscar las cosechas a lo largo de todo el año, para lo cual ha tenido que buscar las zonas con el clima más adecuado que ayude a las ya citadas protecciones; y es precisamente a causa de este punto por lo que podemos destacar el interés del presente libro, ya que en estas zonas suele ser escasa la tierra cultivable, así como el agua, añadiéndose a esto que ambos con frecuencia presentan altos problemas por su elevado pH o su contenido en diversas sales.

El Dr. Howard M. Resh nos lleva, a lo largo de los trece capítulos, a un conocimiento preciso no ya de los clásicos y complicados sistemas de cultivos hidropónicos, sino a la evolución actual de éstos con métodos tales como los cultivos en grava, arena, serrín, turba, vermiculita, perlita, pumita, o incluso, a las nuevas técnicas del NFT (cultivo en flujo laminar), los cuales permiten al «agricultor-técnico» del que antes hablábamos a intensificar y asegurar sus cosechas al máximo, habiéndose conseguido a lo largo del desarrollo de los diversos temas no sólo el exponerlos, sino que se aportan cuantos datos y explicaciones pueden ser precisos para poder ponerlos en práctica con sólo una base de los cultivos hortícolas y ornamentales en sí.

Esperamos, pues, que esta obra, cuyos primeros capítulos puede parecer que exigen unos mayores conocimientos por cuanto nos dan los fundamentos para las aplicaciones

CULTIVOS HIDROPONICOS

de la hidroponía, y que sirve de justificante para el lector que quiera no sólo utilizar los datos que se le dan a lo largo del libro, sino conocer por qué o incluso tener una base para mejorarlos, sea un medio para que muchas regiones con climas templados en España y Latinoamérica sigan desarrollando su actual «agricultura intensiva».

EL TRADUCTOR

Reconocimientos

Este libro como todos los libros científicos, está basado en la información adquirida de diversas fuentes. Libros, revistas científicas y boletines del servicio de extensión agraria, han contribuido a él, dándose su reconocimiento a dichas fuentes en las referencias que siguen a cada capítulo y en la bibliografía general.

A la información presentada se han añadido experiencias personales de trabajo, visitas a agricultores y discusiones con científicos y agricultores en conferencias tales como la Hydroponic Society of America (HSA) y la International Society for Soilless Culture (ISOSC), durante los últimos veinticinco años.

Deseo dar las gracias a las personas que en el pasado me suministraron fotografías e información complementaria, que han sido incluidas en este libro: Bob Adamson, Michael Anselm, Carlos Arano, Tim Carpenter, Allen Cooper, Alfredo Delfín, Mickey Fontes, Merle Jensen, Herbert Corte, Franco Bernardi, Ted Maas, P.A. Schippers, Michele Tropea, Alessandro Vincenzoni y Bent Vestergaard.

Deseo también agradecer de forma especial al Dr. Silvio Velandia, de Hidroponías Venezolanas, C. A., de Caracas, Venezuela, por la hospitalidad e inspiración que me dio durante nuestra colaboración en los pasados años durante el desarrollo de sus trabajos de cultivo en arena. Recibí de él la oportunidad de aumentar mi experiencia en los cultivos hidropónicos en los trópicos, y a la vez me animó a escribir un capítulo sobre ellos.

Mi sincero agradecimiento a Arne McRadu por trabajar pacientemente conmigo, efectuando los dibujos que han ampliado grandemente el interés y comprensión del texto.

Quiero también dar las gracias a todos los hombres de negocios que me han dado la oportunidad de desarrollar proyectos para ellos. Entre todos ellos, mencionaré a: Peter Hoppmann, de Hoppmann Corporation, Chantilly, VA; Tom Thayer, de Environmental Farms, Dundee, FL; Alfred Besserra, de California Watercress, Inc., Fillmore, CA; Lee Rizzuto, de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla, BWI.

También doy gracias muy especiales a los muchos cultivadores de invernaderos comerciales, que han sido muy generosos al proporcionarme información sobre sus instalaciones y permitirme sacar fotografías, muchas de las cuales aparecen en este libro. Entre todos ellos, mencionaré a: Casey Houweling, Houweling Nurseries Ltd., Delta,

B.C.; David Ryall, Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, B.C.; Harry Otsuki, Otsuki Greenhouses Ltd., Surrey, B.C.; Steen Nielsen, Gourmet Hydroponics Inc., Lake Wales, FL; Frank Armstrong, F.W. Armstrong Inc., Oak View, CA; Ken Gerhart, Gerhart Greenhouses, Daggett, CA; y Terry Lattimer, Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA.

Mi sincera gratitud a todas estas personas y a mi familia, que han tenido la paciencia de esperarme mientras yo estaba trabajando en proyectos distantes durante largos períodos de tiempo.

De ninguna forma el uso de marcas registradas implica la aprobación de cualquier fuente particular o marcas sobre otros productos similares mencionados en este libro.

EL AUTOR

Índice

Prólogo a la 5. ^a edición española.....	7
Reconocimientos	9
Índice de tablas	17
Índice de figuras	19
Capítulo 1. Introducción	31
1.1. Pasado.....	31
1.2. Presente.....	33
1.3. Futuro	34
1.4. Características más aconsejables para su situación	35
1.5. Comparación de los cultivos con y sin suelo.....	36
Capítulo 2. Nutrición de las plantas.....	41
2.1. Constituyentes	41
2.2. Elementos minerales y esenciales	41
2.3. Obtención de los minerales y del agua por las plantas	45
2.3.1. El suelo	45
2.3.2. Interrelación suelo-planta	47
2.3.3. Intercambio de cationes	47
2.3.4. El suelo frente a los cultivos hidropónicos.....	48
2.3.5. Transferencia del agua y solutos desde el suelo (o solución de nutrientes) a la raíz	48
2.3.6. Movimiento del agua y de los minerales a través de las membranas.....	48
2.4. El movimiento ascendente del agua y de los nutrientes	52
2.5. Nutrición de las plantas	52
2.5.1. Desórdenes nutricionales	54
2.5.2. Sintomatología.....	55
2.5.3. Utilización de una llave	58
Referencias	65

Capítulo 3.	La solución de nutrientes	67
3.1.	Sales inorgánicas (fertilizantes).....	67
3.2.	Compuestos recomendados para una solución completa de nutrientes.....	68
3.3.	Análisis de los fertilizantes químicos	72
3.4.	Impurezas en los fertilizantes	74
3.5.	Formulación de los nutrientes	74
3.5.1.	Pesos atómicos y moleculares	75
3.5.2.	Cálculo de las formulaciones de nutrientes	77
3.5.3.	Cálculo de la sustitución de fertilizantes por productos químicos.....	82
3.5.4.	Ajustes en la formulación de nutrientes	85
3.6.	Soluciones de nutrientes stock.....	89
3.6.1.	inyector o sistema de suministro	89
3.6.2.	Soluciones stock	94
3.7.	Preparación de la solución de nutrientes	110
3.7.1.	Preparación de las soluciones con concentración normal	110
3.7.2.	Preparación de las soluciones stock	112
3.8.	Relaciones de las plantas y causas de los cambios en la solución de nutrientes.	113
3.8.1.	Análisis de nutrientes	114
3.8.2.	Análisis del tejido de las plantas	114
3.8.3.	Cambio de solución	115
3.8.4.	El ajuste de soluciones de nutrientes por el uso de la conductividad eléctrica.....	116
3.8.5.	Conservación del volumen de la solución	118
Referencias		120
Capítulo 4.	El medio	123
4.1.	Características del medio.....	123
4.2.	Características del agua	124
4.3.	Riego.....	128
4.4.	Bombeo de la solución de nutrientes en las bancadas de cultivo	129
4.5.	Esterilización del medio de cultivo	130
Referencias		132
Capítulo 5.	Cultivo en agua	133
5.1.	Introducción.....	133
5.2.	Primeros métodos comerciales	135
5.3.	Canales de agua, balsas o sistema flotante	135
5.4.	Aeropónicos.....	145
5.5.	Unidades hidropónicas forrajeras	147
5.6.	Brotes de alfalfa y judías	153
5.6.1.	Cultivo de alfalfa.....	153
5.6.2.	Cultivo de judías mung.....	157
Referencias		159
Capítulo 6.	Técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT)	161
6.1.	Introducción.....	161
6.2.	Primeros sistemas NFT.....	161
6.3.	Nuevos sistemas NFT.....	164
6.4.	Sistemas comerciales de NFT	166

INDICE

6.5.	Técnica del flujo de nutrientes: tuberías verticales, sistemas de estructura en A o en cascada	173
6.6.	NFT móvil	182
6.7.	Sistemas NFT de tuberías de PVC y de canales	185
6.8.	Sistema NFT en doble línea	192
6.9.	Agri-Sistemas NFT	195
6.10.	Sistemas de flujo y reflujo	202
6.11.	Sistema NFT para berro al aire libre	205
6.12.	Sistema NFT para albahaca y menta	220
6.13.	Ventajas de los sistemas NFT	225
	Referencias	226
Capítulo 7.	Cultivo en grava.....	229
7.1.	Introducción.....	229
7.2.	Características del medio.....	229
7.3.	Cultivo en grava por subirrigación	231
7.3.1.	Frecuencia de los riegos	231
7.3.2.	Velocidad de bombeo y drenaje	232
7.3.3.	Efecto de los ciclos de riego en el desarrollo de las plantas.....	233
7.3.4.	Altura del riego.....	233
7.3.5.	Temperatura de la solución de nutrientes	233
7.3.6.	Diseños de sistemas de subirrigación	234
7.4.	Diseños de riego por goteo	247
7.5.	Ventajas e inconvenientes del riego por goteo	254
7.6.	Esterilización de la grava entre las cosechas	254
7.7.	Ventajas e inconvenientes del cultivo en grava.....	255
	Referencias	255
Capítulo 8.	Cultivo en arena.....	257
8.1.	Introducción.....	257
8.2.	Características del medio de cultivo.....	261
8.3.	Detalles de construcción	261
8.3.1.	Bancadas forradas de plástico	261
8.3.2.	Suelo de invernadero cubierto con polietileno	263
8.4.	Riego por goteo	265
8.4.1.	Planificación de un sistema de riego por goteo	266
8.5.	Riego.....	269
8.6.	Esterilización de las bancadas de arena entre cosechas.....	270
8.7.	Manejo y productividad de los invernaderos de cultivo en arena en las zonas áridas.....	271
8.8.	Cultivo de hierbas en arena	274
8.9.	Sistemas de cultivo en arena a pequeña escala.....	280
8.10.	Ventajas e inconvenientes del cultivo en arena.....	281
	Referencias	283
Capítulo 9.	Cultivo en serrín	285
9.1.	Introducción.....	285
9.2.	El medio de cultivo.....	285
9.3.	Sistema de bancadas	286
9.4.	Sistema en sacos	287
9.5.	Sistema de distribución de la solución de nutrientes.....	298

CULTIVOS HIDROPONICOS

9.6.	Sistemas de cultivo en serrín a pequeña escala	304
9.7.	Ventajas e inconvenientes del cultivo en serrín	306
9.8.	Cultivo en corteza.....	306
	Referencias	314
Capítulo 10.	Cultivo en lana de roca.....	315
10.1.	Introducción.....	315
10.2.	Cultivo de hortalizas en invernaderos en América del Norte.....	315
10.3.	Composición de la lana de roca.....	316
10.4.	Cubos y bloques de lana de roca	317
10.5.	Planchas de lana de roca.....	320
10.6.	Diseño de la lana de roca	323
10.7.	Sistema de riego	325
10.8.	Pepinos en lana de roca	331
10.9.	Tomates en lana de roca	338
10.10.	Pimientos en lana de roca.....	350
10.11.	Sistemas de recirculación en lana de roca	354
10.12.	Ventajas e inconvenientes del cultivo en lana de roca	357
	Referencias	358
Capítulo 11.	Otros cultivos sin suelo.....	359
11.1.	Introducción.....	359
11.2.	El medio de cultivo.....	359
11.2.1.	Turba.....	359
11.2.2.	Vermiculita.....	360
11.2.3.	Perlita.....	360
11.2.4.	Pumita.....	360
11.2.5.	Mezclas para cultivos sin suelo	361
11.2.6.	Espumas sintéticas (Plastoponia)	363
11.2.7.	Fibra de coco	364
11.3.	Hierbas hidropónicas.....	364
11.3.1.	Cultivo de hierbas en una mezcla «Peat-Lite»	364
11.3.2.	Cultivo de hierbas en cáscara de arroz	371
11.4.	Cultivo de hierbas en espuma.....	377
11.5.	Cultivo en perlita	383
11.5.1.	Planchas de perlita	383
11.5.2.	Cubos Bato de perlita	388
11.6.	Cultivo en columna.....	392
11.7.	Cultivo en sacos.....	399
11.8.	Unidades a pequeña escala	404
11.9.	Cultivos hidropónicos populares	407
11.10.	Esterilización del medio	409
11.11.	Ventajas e inconvenientes de las mezclas de turba	409
	Referencias	410
Capítulo 12.	Cultivos hidropónicos tropicales y aplicaciones especiales.....	411
12.1	Introducción.....	411
12.2.	Hidroponías Venezolanas	414
12.3.	Cultivo en arena en los trópicos	416
12.4.	Cultivo de berros en agua con un sistema de flujo y reflujo	430
12.5.	Cultivo de tomates, pepinos y pimientos en cáscara de arroz y fibra de coco....	435

INDICE

12.6.	Aplicaciones especiales	438
	Referencias	442
Capítulo 13.	Cultivos	443
13.1	Introducción	443
13.2	Siembra	443
13.3	Producción de plántulas	447
13.3.1.	Cultivo de plántulas de tomate	447
13.3.2.	Cultivo de plántulas de pepino	450
13.3.3.	Cultivo de plántulas de pimiento	453
13.3.4.	Cultivo de plántulas de lechuga	454
13.3.5.	Cultivo de plántulas de hierbas	456
13.4.	Temperaturas de cultivo	456
13.5.	Iluminación	457
13.6.	Enriquecimiento de dióxido de carbono	458
13.7.	Trasplante	459
13.8.	Marco de plantación	460
13.9.	Crecimiento vegetativo frente a crecimiento generativo	461
13.10.	Nutrición y riego	462
13.11.	Entutorado	463
13.12.	Poda y eliminación de chupones (tomates, pepinos y pimientos)	463
13.13.	Polinización	471
13.14.	Desórdenes fisiológicos	474
13.15.	Enfermedades y plagas	476
13.16.	Variedades de hortalizas	492
13.16.1.	Lechugas	494
13.17.	Planes de plantación	495
13.18.	Final del cultivo	498
13.19.	Observaciones finales	499
	Referencias	500
Apéndice 1.	Sociedades hidropónicas y de cultivo sin suelo	501
Apéndice 2.	Recursos para la producción en invernadero	503
Apéndice 3.	Unidades de medida: factores de conversión	509
Apéndice 4.	Constantes físicas de los compuestos inorgánicos	511
Apéndice 5.	Proveedores de invernaderos y de cultivos hidropónicos	513
Bibliografía		535
Índice alfabético		547

Indice de Tablas

Tabla 1.1.	Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional en suelo arable	37
Tabla 1.2.	Comparación de las cosechas por acre en cultivos con y sin suelo	39
Tabla 2.1.	Elementos esenciales para la mayoría de las plantas	42
Tabla 2.2.	Funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas ...	43
Tabla 2.3.	Terminología usada en la descripción de los síntomas de las plantas	56
Tabla 2.4.	Llave de los síntomas de las deficiencias minerales	57
Tabla 2.5.	Síntomas de deficiencia y toxicidad en los elementos esenciales.....	59
Tabla 2.6.	Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control ...	61
Tabla 3.1.	Resumen de las sales fertilizantes utilizadas en los cultivos hidropónicos.	69
Tabla 3.2.	Factores de conversión para las sales fertilizantes.....	73
Tabla 3.3.	Porcentaje de pureza de los fertilizantes comerciales.....	74
Tabla 3.4.	Nombres químicos y sinónimos de los compuestos.....	76
Tabla 3.5.	Pesos atómicos de los elementos más comunes usados en hidropónicos ...	77
Tabla 3.6.	Composición de la solución de nutrientes (ppm).....	86
Tabla 3.7.	Relaciones N:P:K: recomendadas para las estaciones de verano e invierno.	89
Tabla 3.8.	Niveles de nutrientes en tejido de plantas aparentemente sanas.....	115
Tabla 3.9.	Proporción entre Sólidos Totales Disueltos (TDS) y Conductividad Eléctrica (EC) para soluciones de cloruro sódico y carbonato cálcico (Solución A).....	117
Tabla 3.10.	Conductividad (EC) de una solución al 0,2 por 100 en agua destilada	118
Tabla 3.11.	Conductividad (EC) de diversas concentraciones de nitrato cálcico en agua destilada.....	118
Tabla 3.12.	Factores de temperatura para corrección de la conductividad	119
Tabla 6.1.	Formulación de nutrientes para berros	213
Tabla 7.1.	Formulación de nutrientes para hierbas	252
Tabla 8.1.	Comparación de los rendimientos obtenidos en los invernaderos de Abu-Dhabi con diversas hortalizas	273
Tabla 8.2.	Rendimiento de las cosechas obtenidas en los invernaderos de Abu-Dhabi.	274
Tabla 13.1.	Temperaturas nocturnas y diurnas desde la germinación de las semillas hasta la fructificación de tomates, pepinos europeos y pimientos de invernadero	457
Tabla 13.2.	Características de las plantas de tomate de fases generativas frente a las de las fases vegetativas	461
Tabla 13.3.	Parámetros para cambiar las plantas de tomate más vegetativas o más generativas	462

CULTIVOS HIDROPONICOS

Tabla 13.4.	Variedades de hortalizas recomendadas para cultivos hidropónicos y en invernaderos	493
Tabla 13.5.	Plan de plantación para una cosecha de primavera y otra de otoño de tomates...	496
Tabla 13.6.	Combinación de un cultivo de tomate de final de primavera y dos de lechuga de otoño	496
Tabla 13.7.	Combinación de una cosecha de pepinos de primavera y otra de tomates de otoño	497
Tabla 13.8.	Plan para tres cosechas anuales de pepinos	497
Tabla 13.9.	Único cultivo de tomates, pepinos o pimientos	498

Índice de Tablas

13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31
32	32	32	32
33	33	33	33
34	34	34	34
35	35	35	35
36	36	36	36
37	37	37	37
38	38	38	38
39	39	39	39
40	40	40	40
41	41	41	41
42	42	42	42
43	43	43	43
44	44	44	44
45	45	45	45
46	46	46	46
47	47	47	47
48	48	48	48
49	49	49	49
50	50	50	50
51	51	51	51
52	52	52	52
53	53	53	53
54	54	54	54
55	55	55	55
56	56	56	56
57	57	57	57
58	58	58	58
59	59	59	59
60	60	60	60
61	61	61	61
62	62	62	62
63	63	63	63
64	64	64	64
65	65	65	65
66	66	66	66
67	67	67	67
68	68	68	68
69	69	69	69
70	70	70	70
71	71	71	71
72	72	72	72
73	73	73	73
74	74	74	74
75	75	75	75
76	76	76	76
77	77	77	77
78	78	78	78
79	79	79	79
80	80	80	80
81	81	81	81
82	82	82	82
83	83	83	83
84	84	84	84
85	85	85	85
86	86	86	86
87	87	87	87
88	88	88	88
89	89	89	89
90	90	90	90
91	91	91	91
92	92	92	92
93	93	93	93
94	94	94	94
95	95	95	95
96	96	96	96
97	97	97	97
98	98	98	98
99	99	99	99
100	100	100	100

Índice de Figuras

Figura 2.1.	Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes	46
Figura 2.2	Movimiento de nutrientes entre las raíces y las partículas del suelo	47
Figura 2.3	Origen de los elementos esenciales en los cultivos en suelo y los hidro- pónicos	49
Figura 2.4	Sección transversal de una raíz, mostrando el movimiento del agua y de los minerales	50
Figura 2.5	Movimiento de los iones por un portador a través de las membranas de las células.....	51
Figura 2.6	Sección transversal de una hoja mostrando el sistema de movimiento del agua	53
Figura 3.1	Esquema de un sistema básico de inyector	90
Figura 3.2	Esquema de un sistema de inyección para sistemas de recirculación.....	91
Figura 3.3	Inyector Anderson con cinco cabezas	92
Figura 3.4	Tanques de stock A y B	93
Figura 3.5	Tanques de stock (2,300 gal) A y B con bombas de circulación	103
Figura 3.6	Bomba de circulación con tuberías para agitar la solución stock	104
Figura 3.7	Mezclador con bomba de aire para pequeños tanques de la solución stock ..	105
Figura 3.8	Tanques de stock de 2.300 galones con cobertizo para el inyector	105
Figura 3.9	Depósitos mezcladores con bombas para tanques de stock	112
Figura 5.1	Sección de una bancada típica de cultivo en agua	134
Figura 5.2	Cultivo en balsas de lechuga	136
Figura 5.3	Sistema de balsas de cultivo en agua	137
Figura 5.4	Infección de Pythium en lechuga	137
Figura 5.5	Lechuga con seis días después del trasplante.....	139
Figura 5.6	Lechugas a los doce días de haber sido trasplantadas.....	139
Figura 5.7	Lechugas con treinta y dos días después de ser trasplantadas	139
Figura 5.8	Plántulas de lechugas con 10-12 días.....	140
Figura 5.9	Plántulas de lechuga plantándolas en los huecos de 2,5 cm de las balsas ..	140
Figura 5.10	Una balsa soportando cuatro plantas de lechuga	141
Figura 5.11	Se emplea una polea (carrete de pesca) para recuperar la cuerda que une las balsas a lo largo de las camas	141
Figura 5.12	Las camas se limpian después de cada cultivo	141
Figura 5.13	Láminas de styrofoam con 64 cabezas de lechuga	143
Figura 5.14	Bomba de circulación con cabezas y refrigeradores de agua.....	143
Figura 5.15	Tubería de circulación y válvulas de plástico	144

CULTIVOS HIDROPONICOS

Figura 5.16	Cultivo de berros en balsas	144
Figura 5.17	Cultivo de berros en balsas en un invernadero de arcos	145
Figura 5.18	Bastidor tipo A de espuma plástica con sistemas radiculares de lechugas	146
Figura 5.19	Melones sobre bastidor tipo A con las lechugas flotando en láminas de styrofoam	146
Figura 5.20	Tambor para el cultivo de lechugas	147
Figura 5.21	Raíces sanas de tomates cultivados con nebulización en un bastidor aeropónico tipo A.....	147
Figura 5.22	Estantes con bandejas de cultivos forrajeros.....	148
Figura 5.23	Hierba de seis días, lista para alimentar al ganado	149
Figura 5.24	Unidad comercial automática para el cultivo forrajero.....	149
Figura 5.25	Unidad hidropónica para forrajes con estantería en una nave parcialmente protegida de la luz	151
Figura 5.26	Semillas colocadas en bandejas	151
Figura 5.27	Cámara de producción con nebulización	152
Figura 5.28	Producto final listo para el consumo animal.....	153
Figura 5.29	Sistema de cultivo de alfalfa con estanterías y tambores rotatorios	154
Figura 5.30	Estanterías de acero inoxidable con ruedecitas.....	155
Figura 5.31	Nebulizadores sobre bandejas de cultivo.....	155
Figura 5.32	Brotes de alfalfa listos para ser recolectados después de 4 días	156
Figura 5.33	Tambor rotatorio completamente automatizado	157
Figura 5.34	Recipientes para brotes de judías mung	158
Figura 5.35	Judías mung recolectadas en 4 a 5 días.....	159
Figura 6.1	Diseño de un sistema NFT en invernadero	162
Figura 6.2	Detalles de la preparación de los canales de polietileno en un sistema NFT	163
Figura 6.3	Canal NFT con macetas o cubos de cultivo que soportan a las plantas.....	164
Figura 6.4	Plan de canales en serie NFT y depósito de la solución de nutrientes.....	165
Figura 6.5	Esquema de un sistema NFT	167
Figura 6.6	Sistema básico en tierra Hidrocanal 100.....	168
Figura 6.7	Receptor terminal del hidrocanal con plantas de tomate	168
Figura 6.8	Uso de planchas de styrofoam debajo de los canales NFT	169
Figura 6.9	Los tallos de tomate son mantenidos por encima de los canales NFT.....	170
Figura 6.10	Ganchos metálicos acoplados al bastidor de las tuberías	171
Figura 6.11	Extremos de salida de los canales NFT	171
Figura 6.12	Tomates cultivados en planchas parciales de lana de roca	172
Figura 6.13	Canal NFT abierto de polietileno blanco sobre negro	172
Figura 6.14	Lechuga en tubería vertical mostrando los nebulizadores de nutrientes.....	173
Figura 6.15	Tuberías verticales moviéndose sobre un depósito colector de nutrientes....	173
Figura 6.16	Detalles de un sistema NFT en «cascada»	174
Figura 6.17	Sistema NFT en «cascada»	176
Figura 6.18	Líneas de alimentación acopladas a cada subunidad	176
Figura 6.19	Sistema en «cascada» sobre estructura en A.....	176
Figura 6.20	En el canal de cultivo se forma una densa maraña de raíces en la base de las macetas	177
Figura 6.21	Cultivo de lechugas y brécol Raab sobre estructuras en A	178
Figura 6.22	Cisterna con tubería de retorno y refrigerador	179
Figura 6.23	Tubería de entrada a la estructura en A con líneas de goteo en los canales NFT	179
Figura 6.24	Tubería de drenaje desde el extremo inferior del canal NFT.....	180
Figura 6.25	Barra para la preparación de ensaladas situada cerca de las estructuras en A....	181
Figura 6.26	Una pequeña estructura en A se asienta encima del depósito de nutrientes....	181
Figura 6.27	Cada panel de cultivo contiene 49 plantas	182

INDICE DE FIGURAS

Figura 6.28	Cultivo de albahaca, hierbas y lechugas en una estructura en A	183
Figura 6.29	Dentro de los paneles se forma una densa maraña de raíces	183
Figura 6.30	Vista general de un sistema móvil NFT	184
Figura 6.31	Uso de canales de plástico para viviendas como canales de un sistema NFT ..	186
Figura 6.32	Canales NFT Rehau	187
Figura 6.33	Albahaca en canales Rehau de 12 pies.....	187
Figura 6.34	Sistema de tuberías para el riego por goteo	188
Figura 6.35	Cubos de lana de roca utilizados para el inicio de plántulas de lechuga	188
Figura 6.36	Planta de lechuga cultivada en un cubo de lana de roca	189
Figura 6.37	Cubierta retirada de un canal Rehau	189
Figura 6.38	Extracción de un canal completo NFT de la mesa de cultivo	190
Figura 6.39	Cortar la base de la planta en la superficie del canal NFT durante la cosecha ..	191
Figura 6.40	Canales NFT de tuberías PVC para el cultivo de lechugas.....	191
Figura 6.41	Sistema NFT de doble línea con lechuga europea	192
Figura 6.42	Cubierta blanca de doble línea NFT	192
Figura 6.43	Canales NFT de plástico negro	193
Figura 6.44	Lechugas maduras cubriendo la mayor parte de la superficie de un invernadero	193
Figura 6.45	La lechuga se siembra en bloques de turba prensada.....	194
Figura 6.46	Cámara de crecimiento con ambiente controlado	195
Figura 6.47	Plántula de lechuga creciendo en una pequeña maceta de plástico	195
Figura 6.48	Trasplante de plántulas de lechuga a una cinta móvil.....	196
Figura 6.49	Producción de lechuga por "Agri-Systems" en canales NFT de cuatro niveles.....	197
Figura 6.50	Producción de lechuga europea en canales NFT de dos niveles.....	197
Figura 6.51	Dos niveles de canales NFT con diferentes estados de maduración de las plantas	197
Figura 6.52	Los canales NFT se levantan unos 3 pies mediante una estructura metálica..	198
Figura 6.53	Cortina de polietileno alrededor de las bancadas.....	199
Figura 6.54	Los canales NFT de aluminio desembocan en un tubo de recogida	199
Figura 6.55	Terminales de entrada de los canales NFT	200
Figura 6.56	Uso de una máquina cosechadora-trasplantadora para tirar de las líneas de lechuga de los canales	201
Figura 6.57	Unidad móvil de refrigeración con cajones de almacenamiento	201
Figura 6.58	Envasado de lechugas en bolsas de plástico cerradas herméticamente al calor.....	201
Figura 6.59	Filas de lechuga mostrando la secuencia de las fechas de plantación	202
Figura 6.60	Bancadas de flujo y reflujo	203
Figura 6.61	Canales de llenado y drenaje de una bancada de flujo y reflujo	203
Figura 6.62	Sistema de flujo y reflujo con suelo de hormigón para el cultivo de trasplantes ..	204
Figura 6.63	Plántulas en bandejas también en un sistema hidropónico de flujo y reflujo...	204
Figura 6.64	Plántulas de pimiento de invernadero en bloques de lana de roca, en un sistema de flujo y reflujo.....	205
Figura 6.65	Nivelación con láser de un campo de 3 acres	206
Figura 6.66	Instalación de un sistema de riego subterráneo.....	207
Figura 6.67	Formación de arcones con tractor	207
Figura 6.68	Tendido de las láminas de polietileno negro sobre las bancadas	207
Figura 6.69	Fundición de las juntas de polietileno con una pistola de calor	208
Figura 6.70	Cubrición de arcones con una lámina contra las malas hierbas	208
Figura 6.71	Fijación de la lámina contra las malas hierbas con grapas especiales	209
Figura 6.72	Compresor y tanque de almacenamiento de agua.....	209
Figura 6.73	Sistema de inyección.....	210
Figura 6.74	Tanques de solución stock de 2.300 galones	211

CULTIVOS HIDROPONICOS

Figura 6.75	Tubería de distribución con válvulas solenoides en cada uno de los cinco sectores de campo	211
Figura 6.76	Un elevador de una pulgada desde cada tubería secundaria alimenta a cada sector	212
Figura 6.77	Laterales de polietileno negro con emisores alimentan a las bancadas	213
Figura 6.78	Lámina capilar sobre la bancada	214
Figura 6.79	Las raíces de las plantas se adhieren a la lámina contra las malas hierbas...	215
Figura 6.80	Rastrillado de las plantas viejas de la lámina contra las malas hierbas durante el cambio de cultivo	215
Figura 6.81	Siembra de semillas en una bancada de propagación con grava de garbanzo ..	216
Figura 6.82	Plántulas listas para el trasplante	216
Figura 6.83	Colocación de los trasplantes en las bancadas	217
Figura 6.84	Recolección de berros a mano 23 días después del trasplante	218
Figura 6.85	Manojos de berros	218
Figura 6.86	Comparación de berros cultivados en el campo y berros hidropónicos.....	219
Figura 6.87	Un campo sano de berros hidropónicos	219
Figura 6.88	Cultivo de albahaca en un sistema NFT de tejido capilar	220
Figura 6.89	Tanque de nutrientes con bomba de circulación	221
Figura 6.90	Canales colectores y tubería de retorno a la cisterna	222
Figura 6.91	Albahaca en un sistema NFT de tejido capilar	222
Figura 6.92	Esquejes de menta colocados sobre un sistema NFT de tejido capilar	223
Figura 6.93	Esquejes de menta 14 días después del trasplante	224
Figura 6.94	Plantas de menta 5 semanas después del trasplante, listas para su recogida	224
Figura 6.95	Amplia masa de raíces de menta formada en el tejido capilar del sistema NFT..	225
Figura 7.1	Sección transversal de una bancada en grava con subirrigación	235
Figura 7.2	Marcado y compactado de una bancada rellena con arena de río	236
Figura 7.3	Lámina de vinilo colocada sobre las bancadas con tuberías de drenaje de PVC situadas en el fondo	236
Figura 7.4	Sección transversal del pleno y del depósito de nutrientes	238
Figura 7.5	Vista general del pleno y del depósito de nutrientes	238
Figura 7.6	Llegada al pleno de la tubería de drenaje de la bancada	240
Figura 7.7	Construcción del depósito de nutrientes	241
Figura 7.8	Vista general del depósito de nutrientes con un pleno dividido	241
Figura 7.9	Válvula automática de tres vías utilizada en el diseño de un pleno dividido..	242
Figura 7.10	Diseño de un invernadero con seis bancadas de grava	243
Figura 7.11	Esquema de un invernadero con forma de túnel, con un sistema de cultivo en grava con subirrigación	244
Figura 7.12	Tomates en un sistema de cultivo en grava con subirrigación	245
Figura 7.13	Pepinos en un sistema de cultivo en grava con subirrigación	245
Figura 7.14	Cultivo de tomates ya maduros, listos para la cosecha	246
Figura 7.15	Sección transversal de un sistema de riego por goteo en una bancada de cultivo en grava	247
Figura 7.16	Sistema de fertilización por microtubo	247
Figura 7.17	Junta de latón fija en la tubería lateral de 1/2 pulgada	248
Figura 7.18	Invernadero de jardín con riego por goteo	250
Figura 7.19	Bancadas elevadas sobre bloques de hormigón	250
Figura 7.20	Hortalizas baby para ensaladas en bancadas con líneas de nebulización por encima	251
Figura 7.21	Secciones de remolachas	253
Figura 7.22	Lechugas baby para ensaladas	253
Figura 8.1	Vista aérea de un complejo de 11 acres de invernaderos con cultivo en arena..	258

INDICE DE FIGURAS

Figura 8.2	Vista aérea de un complejo de 2 acres de invernaderos con cultivo en arena en la isla de Kharg, Irán	259
Figura 8.3	Vista aérea de un complejo de 5 acres de invernaderos en Abu-Dhabi	260
Figura 8.4	Sección de una bancada de cultivo en arena	261
Figura 8.5	Sección de una bancada utilizando soportes de alambre	262
Figura 8.6	Sección de un suelo de invernadero diseñado para cultivo en arena	263
Figura 8.7	Fondo de polietileno y tuberías de drenaje	264
Figura 8.8	Relleno con 12 pulgadas de arena.....	264
Figura 8.9	Instalación de las tuberías de rezume en un sistema automático de riego ..	265
Figura 8.10	Sistema típico de riego por goteo.....	266
Figura 8.11	Colocación de los tubos de rezume junto a los pepínos.....	268
Figura 8.12	Distribuidor automático de fertilizantes por inyección.....	269
Figura 8.13	Inyección de bromuro de metilo	271
Figura 8.14	Dibujo esquemático de un sistema de invernaderos inflables.....	272
Figura 8.15	Los invernaderos inflables son especialmente apropiados para cultivos bajos..	273
Figura 8.16	Suelo de invernadero cubierto con una lámina contra las mala hierbas	275
Figura 8.17	Sistema de riego por goteo para un cultivo en arena de hierbas	276
Figura 8.18	Unión de una línea de goteo "T-tape" al adaptador de polietileno	276
Figura 8.19	Trasplante de hierbas a las bancadas de cultivo en arena	277
Figura 8.20	Menta lista para la recolección, 6 semanas después del trasplante de las plántulas	277
Figura 8.21	Albahaca en cultivo en arena, recolectada cada 3 semanas	278
Figura 8.22	Cebollinos 7 días después de la recolección	278
Figura 8.23	Cebollinos 33 días después de la corta, listos para otra cosecha	279
Figura 8.24	Cebollinos recién cosechados	279
Figura 8.25	Sistema sencillo de cultivo en arena con goteo a escala reducida	280
Figura 8.26	Cultivo en arena con maceta independiente y sistema de absorción por mecha ..	280
Figura 8.27	Cultivo en arena con sistema de absorción por mecha	282
Figura 9.1	Secciones de bancadas de cultivo en serrín	287
Figura 9.2	Cultivo de tomate en bancadas con serrín.....	288
Figura 9.3	Sección de una zanja de drenaje con una tubería perforada de 4 pulgadas ..	289
Figura 9.4	Sistema de cultivo de tomates en bolsas con serrín	289
Figura 9.5	Pepinos tipo europeo cultivados en un sistema de bolsas con serrín.....	289
Figura 9.6	Planchas de serrín.....	290
Figura 9.7	Cultivo en serrín con tuberías de calefacción de agua caliente.....	291
Figura 9.8	Los carros para la recogida o para el trabajo corren sobre las tuberías de calefacción	291
Figura 9.9	Cultivo en serrín con línea de riego por goteo y tuberías de calefacción ...	292
Figura 9.10	Unidad de recuperación de CO ₂ acoplada a la caldera central.....	293
Figura 9.11	Los tomates se recogen en recipientes plásticos de carga	293
Figura 9.12	Plataforma empleada en el transporte de recipientes de carga «paletizados» ..	293
Figura 9.13	Tomates de invernadero embalados por B.C Hothouse Foods, Inc.	294
Figura 9.14	Invernadero de 86 acres de Houwelling Nurseries Oxnard, Inc.	295
Figura 9.15	Planchas de serrín enviadas desde Canadá	295
Figura 9.16	Cubierta del suelo con polietileno blanco sobre negro	296
Figura 9.17	Los trasplantes se instalan en planchas de serrín	297
Figura 9.18	Sistema de guía en forma de cordón en V de tomates entutorados (TOV)....	297
Figura 9.19	Canal de transporte.....	298
Figura 9.20	Los tomates flotan en el canal hasta la nave de envasado	299
Figura 9.21	Clasificación y envasado de tomates	299
Figura 9.22	Tomates TOV envasados en bolsas de malla.....	300
Figura 9.23	Típico sistema de riego por goteo	301

CULTIVOS HIDROPONICOS

Figura 9.24	Tubería principal con dos secundarias, colocadas bajo tierra	302
Figura 9.25	Ábaco para determinar el tamaño de una tubería.....	303
Figura 9.26	Emisores, líneas de goteo y estacas	304
Figura 9.27	Unidad casera de cultivo en sacos con serrín.....	305
Figura 9.28	Sistema sencillo de cultivo en serrín a escala reducida	305
Figura 9.29	Proyecto de cogeneración en un invernadero de 5 acres	307
Figura 9.30	Propagación de plántulas de pepino en bloques de lana de roca	308
Figura 9.31	La lámina contra las malas hierbas sobre el suelo evita éstas y las enfermedades del suelo	308
Figura 9.32	Se requiere un amplio espaciamiento de las filas de pepino.....	309
Figura 9.33	Una semana después del trasplante de las plántulas de pepino a los sacos, las plantas crecen vigorosamente.....	309
Figura 9.34	Método del cordón en V para guiar por cuerdas los pepinos	310
Figura 9.35	Entutorado alterno. Un tercio de las plantas serán extraídas posteriormente..	310
Figura 9.36	Densa cubierta de plantas cuando alcanzan el alambre que sirve de soporte..	311
Figura 9.37	Una tercera parte de las plantas ha sido extraída y es evidente entonces la guía por cuerdas alternas del método del cordón en V	311
Figura 9.38	Extracción de un tercio de las plantas y de todas las hojas muertas de la base de las plantas existentes	311
Figura 9.39	Inyector Anderson al fondo y tanques de solución en primer plano.....	312
Figura 9.40	Envasado de pepinos con una máquina selladora	313
Figura 9.41	El fruto torcido se envasa en manojos con una lámina de plástico.....	313
Figura 10.1	Los tomates y los pimientos se pueden sembrar en cubos de lana de roca ..	317
Figura 10.2	Pepinos sembrados en cubos de lana de roca.....	318
Figura 10.3	Pepinos sembrados en bloques de lana de roca	318
Figura 10.4	Plantas de tomate transportadas a bloques de lana de roca.....	319
Figura 10.5	La plántula de pepino en cubo de lana de roca se transplanta a un bloque de lana de roca con un hueco grande	319
Figura 10.6	El autor transplantando plántulas de pepino en cubos de lana de roca a bloques de lana de roca	320
Figura 10.7	Plántulas de tomate creciendo en bloques de lana de roca	321
Figura 10.8	Plántulas de pepino creciendo en bandejas de malla de alambre que permiten un buen repicado de las raíces.....	321
Figura 10.9	La base del bloque de lana de roca muestra un buen repicado de las raíces de la planta de pepino.....	322
Figura 10.10	Esquema de un sistema abierto de cultivo en lana de roca	323
Figura 10.11	Inclinación del suelo para proporcionar el drenaje	324
Figura 10.12	Colocación de la lámina de cobertura de polietileno blanco	324
Figura 10.13	Esquema de un sistema de riego de lana de roca	326
Figura 10.14	Empapado de las planchas antes del trasplante.....	326
Figura 10.15	Línea de goteo con el emisor colocado con un poste sobre el bloque	326
Figura 10.16	Corte de los agujeros de drenaje en la parte inferior de las planchas	327
Figura 10.17	Uso de una herramienta especial para cortar los agujeros para las plantas en la parte superior de las planchas.....	328
Figura 10.18	Línea de goteo situada en el borde del bloque de lana de roca.....	328
Figura 10.19	Después de cortar los agujeros en la plancha con una herramienta especial, las plantas de pepino se fijan sobre las planchas.....	328
Figura 10.20	La bandeja de inicio controla la cantidad de solución presente en la plancha..	329
Figura 10.21	Bandeja de recogida para controlar la cantidad de exceso de solución en la plancha	330
Figura 10.22	Uso de jeringuilla para comprobar la EC y el pH de la solución en la plancha.....	331

INDICE DE FIGURAS

Figura 10.23	Comprobación de la EC y del pH de la solución con un conductímetro y un papel para medir el pH.....	332
Figura 10.24	Catorce días después de la siembra, los pepinos han sido transplantados a las planchas.....	333
Figura 10.25	Pepinos de 28 días después de la siembra.....	333
Figura 10.26	Pepinos de 31 días después de la siembra.....	334
Figura 10.27	Pequeño fruto sobre el tallo, muchos de los cuales son extraídos.....	334
Figura 10.28	Comienzo de la recogida, a los 40 días de la siembra.....	334
Figura 10.29	El fruto es recogido en grandes cajones de plástico.....	334
Figura 10.30	Los pepinos pueden ser envasados en plástico con un sellador L-bar.....	335
Figura 10.31	Pepinos envasados a razón de 12 por caja.....	335
Figura 10.32	Aplicación de un fungicida en la base del tallo.....	336
Figura 10.33	Un nebulizador puede aplicar los insecticidas en cosechas de gran densidad..	337
Figura 10.34	Es importante usar una ropa protectora cuando se aplican los insecticidas...	337
Figura 10.35	Una cinta de plástico se fija a la parte superior del bloque de lana de roca...	339
Figura 10.36	Una planta de tomate con dos brotes.....	340
Figura 10.37	Los tallos de las plantas se doblan alrededor de un tubo de plástico de 3 pulgadas de diámetro en los extremos de las filas cuando las plantas se bajan..	341
Figura 10.38	Aros metálicos colocados en las planchas de lana de roca.....	341
Figura 10.39	Se pueden colocar postes a lo largo de las planchas de lana de roca para elevar los tallos por encima del suelo.....	341
Figura 10.40	Los aros metálicos elevan los tallos muy por encima del suelo, creando un buen intercambio de aire en la base de la planta.....	342
Figura 10.41	Recogida de tomates y transporte a lo largo de la fila.....	343
Figura 10.42	Houwelling Nurseries, un invernadero de 30 acres, utiliza serrín como combustible para sus calderas de agua caliente para calefacción.....	343
Figura 10.43	La alimentación de las plantas en un gran invernadero es controlada por ordenador.	344
Figura 10.44	Planchas con plantas de tomate colocadas en un canal de aluminio.....	345
Figura 10.45	Máquina que forma un canal continuo de aluminio.....	346
Figura 10.46	Una tubería central recoge la solución de los canales.....	346
Figura 10.47	Entutorado en cordón en V de plantas de tomate.....	346
Figura 10.48	Bonita Nurseries, Wilcox, Arizona.....	347
Figura 10.49	Cultivo intercalado de tomates.....	347
Figura 10.50	Soporte del cultivo intercalado de tomates.....	348
Figura 10.51	Máquina para encalar y lavar los techos de los invernaderos.....	349
Figura 10.52	Pasillo central del invernadero.....	350
Figura 10.53	Los respiraderos en cresta proporcionan una ventilación natural.....	351
Figura 10.54	Los pimientos se siembran en cubos de lana de roca.....	352
Figura 10.55	Pimientos transplantados a bloques de lana de roca.....	352
Figura 10.56	Los cultivadores de pimiento de Columbia Británica empiezan la recolección a primeros de marzo.....	353
Figura 10.57	Pimientos en lana de roca en la primera recogida.....	353
Figura 10.58	Los pimientos son guiados como dos tallos con un método de cordón en V..	353
Figura 10.59	Los pimientos son soportados por un cordel de plástico atado a cuatro alambres colocados a unos 10 pies de altura.....	353
Figura 10.60	Styrofoam bajo el canal y las planchas de lana de roca.....	355
Figura 10.61	Sistema propuesto de recirculación de un cultivo en lana de roca.....	355
Figura 10.62	La formación de mechas de solución entre las planchas de lana de roca es evitada.....	356
Figura 11.1	Bancadas construidas con bloques de cemento y paletas.....	365
Figura 11.2	Las bancadas se forran con tela metálica para gallinero, para sostener la cubierta de polietileno.....	366

CULTIVOS HIDROPONICOS

Figura 11.3	La cubierta de polietileno negro se grapa a la bancada.....	366
Figura 11.4	Colocación de un medio de cultivo "Peat-Lite" en la bancada finalizada..	367
Figura 11.5	Sistema de riego mostrando una tubería principal aérea de 2 pulgadas y tuberías secundarias de 1 pulgada en cada bancada, con ocho líneas de goteo "T-tape".....	376
Figura 11.6	Tubería de riego con líneas de goteo "T-tape", que van a lo largo de toda la bancada.....	368
Figura 11.7	Trasplante de plántulas de hierbas a una bancada con un medio de cultivo «Peat-Lite»	369
Figura 11.8	Cebollino a los 15 días de haberse cortado en la bancada de la izquierda, y 12 días después del corte de la bancada, a la derecha	369
Figura 11.9	Menta a los 35 días del trasplante, lista para la primera cosecha.....	370
Figura 11.10	Cultivo de tomillo inglés en un medio de «Peat-Lite».....	370
Figura 11.11	Orégano listo para ser cosechado	371
Figura 11.12	Canales colectores de plástico en la parte inferior de las bancadas	372
Figura 11.13	Moldura próxima al canal	372
Figura 11.14	Substrato de cáscara de arroz y arena	373
Figura 11.15	Línea de goteo situada en la parte alta de la bancada	374
Figura 11.16	Tuberías de PVC y «Tes»	374
Figura 11.17	Cisterna de 2.500 galones	375
Figura 11.18	Trasplante de menta propagada vegetativamente a la bancada de cultivo..	375
Figura 11.19	Primera recolección después de dos meses.....	376
Figura 11.20	Menta completamente madura lista para la recolección 38 días después del segundo corte	376
Figura 11.21	Cultivo de albahaca en un medio de espuma de un sistema NFT.....	378
Figura 11.22	Cultivo de albahaca en un sistema NFT de tejido capilar	378
Figura 11.23	Albahaca en un sistema NFT de espuma, 19 días después de la primera cosecha	379
Figura 11.24	Albahaca en un sistema NFT de tejido capilar, 19 días después de la primera cosecha	379
Figura 11.25	Esquejes enraizados de menta colocados en un sistema NFT de espuma de una pulgada de grosor	380
Figura 11.26	Menta en un sistema NFT de espuma a los 45 días de la anterior corta, lista para ser cosechada.....	381
Figura 11.27	Crecimiento sano de las raíces de menta en un sistema NFT de espuma ...	381
Figura 11.28	Planchas de espuma para cultivo de tomates	382
Figura 11.29	Seis plantas por plancha guiadas en forma de cordón en V.....	383
Figura 11.30	Proyecto de cogeneración Gerhart Greenhouses	384
Figura 11.31	Sistema hidropónico de bolsa de perlita	385
Figura 11.32	Las plántulas de pepino se cultivan en un medio de corteza	386
Figura 11.33	Cultivo de pepinos en bolsas de perlita	387
Figura 11.34	De tres a cuatro cosechas productivas de pepino se cultivan en las bolsas de perlita.....	387
Figura 11.35	Sistema de cubos bato utilizando substrato de roca de lava	388
Figura 11.36	Cultivo de tomates tipo cherry en cubos bato de perlita	389
Figura 11.37	Pimientos en cubos bato de perlita.....	389
Figura 11.38	Berenjenas en cubos bato de perlita.....	390
Figura 11.39	Tuberías de drenaje y relleno de arena.....	390
Figura 11.40	Cobertura de la superficie con grava.....	391
Figura 11.41	Cubos bato con tuberías de drenaje y riego por goteo	391
Figura 11.42	Sifón en la base de un cubo bato.....	393
Figura 11.43	Sistema de inyección.....	393

INDICE DE FIGURAS

Figura 11.44	Cultivo en columna de fresones en las islas Canarias.....	394
Figura 11.45	Cultivo en columnas en Costa Rica utilizando tuberías de asbesto-cemento..	394
Figura 11.46	Esquema de un sistema de cultivo en columna italiano.....	394
Figura 11.47	Torre vegetal Verti-Gro	396
Figura 11.48	Cubo colector.....	396
Figura 11.49	Llenado de macetas de la torre vegetal.....	397
Figura 11.50	Riego por goteo en la parte superior de la torre vegetal	397
Figura 11.51	Serie de torres vegetales.....	397
Figura 11.52	Cultivo de fresones en torres vegetales.....	397
Figura 11.53	Torres vegetales de fresones en Perú	398
Figura 11.54	Cultivo de fresones en sacos	398
Figura 11.55	Cultivo de hierbas en un sistema vertical de niveles en Venezuela.....	399
Figura 11.56	Tubería principal de riego, con líneas laterales que discurren a lo largo de la estructura del invernadero por encima de los "sacos".....	400
Figura 11.57	Esquema de un sistema en sacos suspendidos	400
Figura 11.58	Filas de "sacos" suspendidos por la estructura del invernadero	401
Figura 11.59	Fresones cultivados en sacos verticales	402
Figura 11.60	Soporte de fresones en sacos en Colombia.....	402
Figura 11.61	Sacos atados en siete secciones.....	403
Figura 11.62	Drenaje en la base del saco	403
Figura 11.63	Sistema de riego por goteo en el cultivo en sacos.....	403
Figura 11.64	Altos rendimiento de fresones en el cultivo en sacos en Colombia.....	403
Figura 11.65	Pequeñas "unidades caseras" con un medio de perlita-vermiculita.....	404
Figura 11.66	Bandeja hidropónica de vivero utilizada para el cultivo de plantas de bancada ..	405
Figura 11.67	Sistema hobby Verti-Gro de 2 pilas.....	405
Figura 11.68	Sistema hobby Verti-Gro de 3 pilas.....	406
Figura 11.69	Gotero en la parte superior de una torre.....	407
Figura 11.70	Cultivo hidropónico popular de lechugas en balsas.....	408
Figura 11.71	Cultivo hidropónico popular utilizando un cultivo en columna	408
Figura 11.72	Cultivo hidropónico popular utilizando contenedores para cultivar plantas forrajeras	408
Figura 12.1	Típicos terrenos en pendiente de las regiones montañosas de los trópicos..	413
Figura 12.2	Sistemas de filtración del agua de una fuente de montaña	414
Figura 12.3	Terreno en pendiente de agricultura tradicional con terrazas de cultivos hidropónicos.....	415
Figura 12.4	Vista de terrazas hidropónicas en la explotación de Hidroponías Venezolanas ..	417
Figura 12.5	Estructuras de acero de bancadas hidropónicas	417
Figura 12.6	Fondo de ladrillo de arcilla de las bancadas hidropónicas.....	418
Figura 12.7	Bancadas niveladas con capa de hormigón.....	418
Figura 12.8	Bancadas selladas con pintura bituminosa.....	418
Figura 12.9	Tuberías de drenaje en el fondo de las bancadas	419
Figura 12.10	Distribución de las tuberías desde la cisterna a las bancadas elevadas.....	419
Figura 12.11	La solución de nutrientes entra en un extremo de las bancadas.....	420
Figura 12.12	Tapones manuales de drenaje para elevar el nivel de la solución en la bancada ..	421
Figura 12.13	Sistema de distribución desde la cisterna con múltiples secciones que suministra la solución a los sectores de las bancadas	421
Figura 12.14	Roca gruesa con grava de garbanzo y finalmente una capa superior de arena gruesa	422
Figura 12.15	Abultamiento en las raíces de lechuga causado por una infección de nematodos...	425
Figura 12.16	Esterilizador al vapor portátil.....	425
Figura 12.17	Esterilización al vapor de bancadas de un cultivo en arena.....	425
Figura 12.18	Lechuga de alta calidad producida en un cultivo en arena	426

CULTIVOS HIDROPONICOS

Figura 12.19	Lechuga romana en cultivo en arena en los trópicos	427
Figura 12.20	Propagación de plántulas de lechuga cultivadas en cubos «Lelli»	427
Figura 12.21	Germinación inicial de lechugas bajo una pantalla durante 5 días para impedir que los pájaros se coman las semillas	428
Figura 12.22	Después de 15 días se separan las plántulas y se colocan en canales de flujo y reflujo	428
Figura 12.23	A los 27-28 días, las plántulas están listas para el trasplante	429
Figura 12.24	Trasplante de plántulas de lechuga a las bancadas de cultivo	429
Figura 12.25	Esquema de una bancada «Canal 90»	431
Figura 12.26	Cultivo de berros en bancadas «Canal 90»	431
Figura 12.27	Sistema de distribución de las tuberías de PVC	432
Figura 12.28	Tubos de entrada de polietileno negro	432
Figura 12.29	Esquejes de berros colocados en las bancadas para iniciar un nuevo cultivo ..	432
Figura 12.30	Envasado de berros en recipientes de plástico	433
Figura 12.31	Berros envasados para su venta en supermercados	434
Figura 12.32	Las estructuras cubiertas con polietileno no son caras	435
Figura 12.33	Plántulas de tomate en el área de propagación	436
Figura 12.34	Cultivo de tomates en bolsas de plástico de 5 galones	436
Figura 12.35	Substrato de fibra de coco y cáscaras de arroz	437
Figura 12.36	Cubos de plástico de cinco galones para el cultivo de tomates	437
Figura 12.37	Cultivo de tomate en una mezcla de fibra de coco y cáscaras de arroz	438
Figura 12.38	Típica estructura ligera de polietileno en forma de cobertizo en el Caribe	439
Figura 12.39	Cultivo de lechugas en canales NFT	439
Figura 12.40	Invernadero con estructura sólida «a prueba de huracanes»	440
Figura 12.41	Cultivo de lechugas y hierbas en un invernadero CuisinArt Resort & Spa ...	441
Figura 12.42	Cultivo de tomates en un invernadero CuisinArt Resort & Spa	442
Figura 13.1	Cubos, bloques, discos de turba y bandejas para la propagación de plántulas ..	445
Figura 13.2	Plántulas de tomate en estado de cotiledones y tres primeras hojas verdaderas ..	448
Figura 13.3	Planta vigorosa y sana de tomate (5-6 semanas) lista para el trasplante	450
Figura 13.4	Plántula de pepino europeo en bloque de lana de roca	451
Figura 13.5	Plántula de pepino lista para el trasplante en fase de dos hojas	452
Figura 13.6	Bandeja «Creamcup» para el cultivo de plántulas de lechuga	454
Figura 13.7	Riego de flujo y reflujo de plántulas de 9 días	455
Figura 13.8	Plántulas de lechuga de 18 días listas para el trasplante	455
Figura 13.9	Gancho «Tomahook» para el soporte de las cuerdas	464
Figura 13.10	Soporte del tallo de la planta con una abrazadera	464
Figura 13.11	Utilización de abrazaderas de plástico para soportar verticalmente las plantas ...	465
Figura 13.12	Los chupones o brotes laterales de las plantas de tomate son eliminados cuando tienen 1 a 2 pulgadas de largo	465
Figura 13.13	Eliminación de los chupones del tomate en su primer estado	466
Figura 13.14	Eliminación de las hojas inferiores de los tomates y bajada de los tallos	467
Figura 13.15	En los racimos de frutos se fijan unas abrazaderas de plástico que sirven de soporte de los racimos	468
Figura 13.16	Colocar las abrazaderas en los racimos de frutos inmediatamente después del cuajado	468
Figura 13.17	Sistema de poda continua en sombrilla de pepinos tipo europeo	469
Figura 13.18	Sistema de poda en V de los pepinos tipo europeo	469
Figura 13.19	Soporte de plástico acoplado al tallo principal del pepino	470
Figura 13.20	Posición de las yemas florales y entutorado de las plantas de pimiento en su primer crecimiento	471
Figura 13.21	Guía de las plantas de pimiento en dos tallos y eliminación de los brotes laterales adicionales en el eje de la segunda hoja	471

INDICE DE FIGURAS

Figura 13.22	Contenedor comercial de abejorros para la polinización de tomates.....	473
Figura 13.23	En la parte superior del contenedor hay un depósito con una solución azucarada para alimentar a los abejorros.....	473
Figura 13.24	Los abejorros forman una colmena redonda en la parte superior del contenedor..	474
Figura 13.25	Podredumbre apical en el tomate	476
Figura 13.26	“Cara de gato” en el tomate	476
Figura 13.27	Moho en una hoja de tomate	478
Figura 13.28	Hoja de tomate infectada de TMV	478
Figura 13.29	Polvo de mildiu en pepino con manchas blancas en el haz de la hoja.....	478
Figura 13.30	Ciclo de vida de la mosca blanca	480
Figura 13.31	Papel con pupas de Encarsia enganchado al peciolo de una hoja de una planta de tomate	481
Figura 13.32	Ciclo de vida de la araña roja.....	482
Figura 13.33	Ataque de araña roja en una hoja de pepino	483
Figura 13.34	Ciclo de vida del pulgón	485
Figura 13.35	Daños del minador en tomatara	486
Figura 13.36	Ciclo de vida del minador	487
Figura 13.37	Ciclo de vida de los trips.....	489
Figura 13.38	Ciclo de vida de las orugas y de las rosquillas.....	490
Figura 13.39	Ciclo de vida del mosquito sciárido	491

1

Introducción

1.1. Pasado

Hidropónicos, el cultivo de las plantas sin tierras, se ha desarrollado a partir de los descubrimientos hechos en las experiencias llevadas a cabo para determinar qué sustancias hacen crecer a las plantas y la composición de ellas. Este trabajo sobre los constituyentes de las plantas comenzó tiempo atrás, hacia el año 1600; no obstante, las plantas fueron cultivadas sin tierra mucho antes de esto. Los jardines colgantes de Babilonia; los jardines flotantes de los aztecas, en México, y los de la China imperial son ejemplos de cultivos «hidropónicos», existiendo también jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de plantas en agua.

Antes de la época de Aristóteles, Theophrasto (372-287 a. de C.) llevó a cabo varios ensayos en nutrición vegetal, y los estudios botánicos de Dioscórides datan del siglo I a. de C.

La primera noticia científica escrita, próxima al descubrimiento de los constituyentes de las plantas, data de 1600, cuando el belga Jan Van Helmont mostró en su ya clásica experiencia que las plantas obtienen sustancias a partir del agua; plantó un tallo de sauce de 5 libras en un tubo con 200 libras de suelo seco al que cubrió para evitar el polvo. Después de regarlo durante cinco años había aumentado 160 libras su peso, mientras que el suelo apenas había perdido dos onzas. Su conclusión de que las plantas obtienen del agua la sustancia para su crecimiento era correcta; no obstante, le faltó comprobar que ellas también necesitan dióxido de carbono y oxígeno del aire. En 1699, un inglés, John Woodward, cultivó plantas en agua conteniendo diversos tipos de suelo, y encontró que el mayor desarrollo correspondía a aquellas que contenían la mayor cantidad de suelo; de aquí sacó la conclusión de que el crecimiento de las plantas era el resultado de ciertas sustancias en el agua, obtenidas del suelo, y no simplemente del agua misma.

El proceso para identificar esta sustancia fue lento, hasta que fueron desarrolladas técnicas de investigación más sofisticadas y se obtuvieron mayores avances en el campo de la química. En 1804, De Saussure expuso el principio de que las plantas

están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire. Este principio fue comprobado más tarde por Boussingault (1851), químico francés que en sus ensayos con plantas cultivadas en arena, cuarzo y carbón vegetal añadió una solución química de composición determinada, llegando a la conclusión de que el agua era esencial para el crecimiento de las plantas al suministrarles hidrógeno, y que la materia seca de las plantas estaba formada por hidrógeno más carbón y oxígeno que provenían del aire, constatando también que las plantas contienen hidrógeno y otros elementos naturales.

Otros trabajos de investigación habían demostrado por aquella época que las plantas podían cultivarse en un medio inerte humedecido con una solución acuosa que contuviese los minerales requeridos por las plantas. El siguiente paso fue eliminar completamente el medio y cultivar las plantas en la solución que contenía dichos minerales; esto último fue conseguido por dos científicos alemanes, Sachs (1860) y Knop (1861), lo cual fue el origen de la «nutriculture», usándose aún hoy día técnicas similares en los estudios en laboratorios de fisiología y nutrición vegetal.

Estas primeras investigaciones en nutrición vegetal demostraron que se podía conseguir un crecimiento normal de las plantas, sumergiendo las raíces en una solución acuosa que contuviese sales de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), los cuales se definen en la actualidad como los macroelementos o macronutrientes (elementos necesitados en relativamente grandes cantidades).

Con posteriores avances en técnicas de laboratorio y química descubrieron los científicos siete elementos necesitados por las plantas en relativamente pequeñas cantidades, los microelementos o elementos trazas, éstos incluyen el hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo).

En los años siguientes, los investigadores desarrollaron diversas fórmulas básicas para el estudio de la nutrición vegetal. Tollens (1882), Totttingham (1914), Shive (1915), Hoagland (1919), Trelease (1933), Arnon (1938) y Robbins (1946) fueron algunos de ellos, usándose aún hoy día muchas de sus fórmulas en los trabajos de laboratorio sobre fisiología y nutrición vegetal.

El interés sobre la aplicación práctica de este cultivo en nutrientes no llegó hasta cerca de 1925, cuando la industria de los invernaderos demostró interés en su uso, debido a la necesidad de cambiar la tierra con frecuencia para evitar los problemas de estructura, fertilidad y enfermedades; como resultado, los investigadores comenzaron a valorar el uso potencial del cultivo en nutrientes, para reemplazar los métodos de cultivo en los suelos convencionales. Entre 1925 y 1935 tuvo lugar un desarrollo extensivo, modificándose las técnicas de laboratorio para el cultivo en nutrientes hacia una producción en gran escala.

A comienzos de los años treinta, W. F. Gericke, de la Universidad de California, puso los ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial, denominando a este sistema de cultivo en nutrientes *hidroponics*, palabra derivada de las griegas *hydro* (agua) y *ponos* (labor, trabajo), literalmente «trabajo en agua».

Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo, aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, turba, vermiculita, pumita o serrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo, se les denomina a menudo «cul-

tivo sin suelo», mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico.

Gericke cultivó vegetales en hidroponía tales como la remolacha, rábanos, zanahorias y patatas, así como cereales, frutales y plantas ornamentales y de flor. Utilizando el cultivo en agua en grandes tanques obtuvo tomates de tal altura que le fue preciso utilizar una escalera para cosecharlos. La prensa americana publicó gran número de artículos sensacionalistas sobre ello, denominándolo el descubrimiento del siglo. Después de un período negativo durante el cual gente sin escrúpulos trató de enriquecerse con la idea vendiendo equipos inutilizables, se efectuó una investigación más práctica y la hidroponía comenzó a ocupar un puesto dentro de la horticultura con una base científica, reconociéndosele sus dos principales ventajas: los altos rendimientos en sus cosechas y su especial utilización en las regiones más áridas del mundo.

Las aplicaciones de los cultivos hidropónicos de Gericke pronto demostraron su utilidad, proveyendo alimentos para las tropas estacionadas en las islas incultivables del Pacífico, a comienzos de 1940. En 1945, las fuerzas aéreas americanas solucionaron su problema para proveer con verduras frescas a su personal, utilizando cultivos hidropónicos en gran escala en las islas rocosas, normalmente incapaces de producir tales cosechas.

Después de la segunda guerra mundial, los militares continuaron utilizando los cultivos hidropónicos; por ejemplo, el ejército americano estableció un proyecto de 22 ha en la isla de Chofu (Japón), expandiéndose los cultivos hidropónicos en plan comercial a través del mundo en los años cincuenta en países tales como Italia, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia, la URSS e Israel.

1.2. Presente

Con el desarrollo de los plásticos, los cultivos hidropónicos dieron otro gran paso adelante. Los plásticos libraron a los agricultores de las costosas construcciones, unidas a las bancadas de hormigón y tanques utilizados anteriormente. Las bancadas fueron excavadas en el suelo, colocando en éste simplemente un plástico fuerte de vinilo (20 mil) (1 mil = 1 milésima de pulgada = 25,4001 micrones) que se rellenaba con el medio de cultivo y, gracias al desarrollo de bombas apropiadas, relojes, tuberías de plástico, válvulas solenoides y otros equipos, se ha podido automatizar por completo el sistema hidropónico, reduciendo el capital y los costes operacionales.

Los cultivos hidropónicos han llegado a ser una realidad para los cultivadores en invernadero, virtualmente en todas las áreas climáticas, existiendo grandes instalaciones hidropónicas a través del mundo, tanto para el cultivo de flores como de hortalizas. Existen muchos cultivos hidropónicos de hortalizas en América del Norte que tienen una superficie de 10 acres o más. Por ejemplo, Bonita Nurseries, Bonita, Arizona (20 acres de tomates); Ringgold Nurseries, Ringgold, Pensilvania (10 acres de tomates); SunGro Greenhouses, Las Vegas, Nevada (12 acres de tomates); Bernac, Fort Pierce, Florida (30 acres de pepinos europeos); Houweling Nurseries Oxnard, Inc. (86 acres) en Camarillo, California. En las islas Canarias, cientos de acres de tierra están cubiertos con polietileno sostenido por postes, que forman una estructura continuada de cubierta, en las cuales los tomates crecen por hidroponía; la estructura tiene paredes abiertas, por medio de las cuales los vientos predominantes soplan refrescando las plantas. Dicha

estructura ayuda a reducir las pérdidas de agua por transpiración en las plantas, protegiéndolas de una repentina tormenta de agua. Estas estructuras podrían también ser usadas en áreas tales como el Caribe y Hawai. Casi todos los estados de los Estados Unidos tienen una sustancial industria de cultivos hidropónicos en invernaderos. Canadá también usa la hidroponía de forma extensiva en las cosechas vegetales en invernaderos.

Recientes estimaciones de cultivos hidropónicos indican que, en los siguientes países, las superficies cultivadas son: Israel, 30.000 acres (120.000 hectáreas); Holanda, 10.000 acres (4.050 hectáreas); Inglaterra, 4.200 acres (1.700 hectáreas); Canadá, 1.500 acres (600 hectáreas); Estados Unidos, 1.000 acres (400 hectáreas).

En regiones áridas del mundo, tales como México y Extremo Oriente, los complejos hidropónicos combinados con unidades de desalinización están siendo desarrollados para usar agua de mar como fuente de agua de riego; estos complejos están localizados cerca del océano, y las plantaciones se efectúan en la arena de la playa.

En la antigua URSS existen grandes invernaderos con cultivos sin tierra, en Moscú y Kiev, mientras que en Armenia se ha establecido, en Erevan, en la región del Cáucaso, un instituto de cultivos hidropónicos. Otros países donde esto se utiliza son: Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica, las islas Bahamas, África central y del este, Kuwait, Brasil, Polonia, Seychelles, Singapur, Malasia e Irán.

1.3. Futuro

La hidroponía es una ciencia joven, habiendo sido usada bajo una base comercial desde hace solamente cuarenta años; no obstante, aún en este relativamente corto período de tiempo, ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire y en invernadero a los altamente especializados en submarinos atómicos para obtener verduras frescas para la tripulación, esto es una ciencia espacial, pero al mismo tiempo pueden ser usados en países subdesarrollados del Tercer Mundo para proveer una producción intensiva de alimentos en áreas limitadas. Su única restricción son las fuentes de agua potable y nutrientes, aunque en áreas donde aquélla no existe, los cultivos hidropónicos pueden usar agua de mar por medio de la desalinización, de esta forma existe para ellos una aplicación potencial en el suministro de alimentos en zonas que tengan vastas regiones de tierras incultivables, tales como desiertos. Los complejos hidropónicos pueden ser situados a lo largo de las regiones costeras en combinación con unidades de desalinización atómicas o de petróleo-fuel, usando la arena de la playa como medio para crecer las plantas.

La hidroponía es un medio excelente para crecer verdura fresca no solamente en los países que tengan poca tierra cultivable, sino también en aquellos que, teniendo pequeña superficie, tengan, no obstante, una gran población; esto podría también ser particularmente útil en algunos pequeños países cuya principal industria es el turismo. En estos países, las facilidades dadas al turismo han sido, con frecuencia, las responsables de la ocupación de la mayoría de las zonas cultivadas, forzando la agricultura local a su desaparición; los cultivos hidropónicos podrían ser usados para que las zonas no cultivables suministrasen suficiente verdura fresca tanto a la población indígena como a los turistas. Ejemplos típicos de tales regiones son las Indias orientales y Hawai, las cuales tienen una gran industria turística y muy pocas granjas para la producción vegetal. Para ilustrar el uso potencial de los cultivos hidropónicos sirve como ejemplo el que

los tomates crecidos de esta forma pueden cosechar 150 t/acre anualmente, una plantación de 10 acres podría producir 3.000.000 de libras anuales. En Canadá, el consumo medio *per cápita* de tomates es de 20 libras; por tanto, con una población de 20 millones el consumo total anual serían 400 millones de libras (200.000 t). ¡Estos tomates podrían producirse en forma hidropónica en 1.300 acres de tierra!

Más cultivos hidropónicos en invernadero estarán vinculados a industrias que produzcan calor residual. Proyectos de este tipo de cogeneración existen ya en California, Colorado, Nevada y Pensilvania. Las centrales que generan energía eléctrica utilizan agua en sus torres de refrigeración. Este agua caliente se puede usar para calefacción de los invernaderos y para suministrar agua destilada, libre de minerales, para el cultivo de plantas en sistemas de recirculación. El agua limpia es de particular interés para los agricultores que se encuentran en áreas que tienen normalmente una agua dura. En la mayoría de los casos de las explotaciones de los estados del Sur y Suroeste de los Estados Unidos, donde la luz solar es favorable para una alta producción de hortalizas, las aguas son muy duras con altos niveles de minerales, que se encuentran muchas veces en exceso sobre las normales necesidades de las plantas. El agua dura crea también problemas con la corrosión de los equipos, la obturación de las tuberías de refrigeración, los sistemas de nebulización y los fallos estructurales de los medios de cultivo.

Con la introducción de la nueva tecnología en iluminación artificial, el cultivo de plantas que utiliza luz artificial llegará a ser económicamente viable, especialmente en las latitudes más septentrionales, donde la luz solar está limitada durante el año desde finales de otoño hasta principios de primavera. En este período, los precios a la producción son naturalmente mucho más elevados que en los meses de verano. Se podrían usar invernaderos aislados para cultivar productos vegetales. El calor generado por las luces se podría utilizar para calentar las instalaciones de cultivo.

Hay muchos sitios en el oeste de Norteamérica que tienen fuentes geotérmicas de calor. Tales sitios existen en Alaska, California, Colorado, Idaho, Montana, Oregón, Utah, Washington, Wyoming y Columbia Británica. Un lugar cerca de Alturas, California, es capaz de mantener 20 acres de invernadero. En el futuro, los grandes invernaderos deberían localizarse cerca de los sitios geotérmicos para utilizar el calor, como se hace actualmente en Hokkaido, Japón.

En la actualidad, se están realizando muchas investigaciones para desarrollar sistemas hidropónicos para el cultivo de vegetales en las estaciones espaciales que se construyan en el futuro. Se están diseñando y probando sistemas de recirculación en circuito cerrado, para trabajar en ambientes de microgravedad (gravedad muy baja). Tales sistemas hidropónicos proporcionarán alimentos para los astronautas que se encuentren en misiones espaciales largas.

1.4. Características más aconsejables para su situación

Al considerar la situación más adecuada todo agricultor debería tratar de satisfacer, entre otros, los siguientes requisitos como ayuda para reducir los riesgos de fracaso:

- 1.º Exposición solar lo más directa posible al este, sur y oeste, con cortavientos al norte.
- 2.º Superficie nivelada o que pueda ser fácilmente nivelada.
- 3.º Buen drenaje interno, con un mínimo de percolación de una pulgada por hora.

- 4.º Existencia de gas natural, corriente trifásica, teléfono y agua de muy buena calidad en cantidad, al menos, de medio galón por planta y día.
- 5.º Buenas comunicaciones que la unan a una ciudad, bien para suministrar a un mercado de mayoristas, o bien en plan de minoristas, si se elige este tipo de ventas.
- 6.º Próxima a la residencia, para facilitar la vigilancia de los invernaderos durante las condiciones climáticas extremas.
- 7.º Orientación norte-sur de los invernaderos con cultivos en línea de la misma orientación.
- 8.º Una región que tenga la máxima cantidad de radiación solar.
- 9.º Evitar áreas que tengan vientos excesivamente fuertes.

1.5. Comparación de los cultivos con y sin suelo

El gran incremento de las cosechas con el cultivo hidropónico frente a las normales es producido normalmente por diversos factores. En algunos casos, el suelo puede carecer de nutrientes o tener una estructura pobre; así pues, el cultivo sin suelo sería en este caso muy beneficioso. La presencia de insectos o enfermedades en el suelo reduce considerablemente las producciones de forma natural. Bajo las condiciones de invernadero, cuando las condiciones ambientales son similares para ambos cultivos, con o sin suelo, el incremento de producción de tomates en el cultivo hidropónico es usualmente 20-25 por 100. Estos invernaderos utilizan la desinfección del suelo y usan unas fuertes aplicaciones de fertilizantes, teniendo como resultado el eliminar muchos de los problemas que aparecen en los cultivos a pleno campo.

Esto explicaría los menores crecimientos en cosechas usando cultivos sin suelo en invernadero, frente a los fuertes incrementos de cuatro a diez veces de la cosecha obtenida por los cultivos sin suelo al aire libre sobre los cultivos convencionales con suelo.

Se han seleccionado variedades específicas de tomate para que produzcan mayores cosechas en cultivo en invernadero que las variedades cultivadas en pleno campo en las mismas condiciones. Estas variedades de tomate de invernadero no pueden tolerar las fluctuaciones diarias de temperatura de los cultivos al aire libre; por consiguiente, su uso está restringido al cultivo en invernadero. Sin embargo, dadas las condiciones óptimas de crecimiento de los cultivos hidropónicos en invernadero, sobrepasarán en rendimiento a las variedades de campo. Igualmente, se han desarrollado variedades de pepinos europeos de crecimiento rápido y de alto rendimiento, apropiadas solamente para el cultivo en invernadero. Estos productos son guiados para crecer verticalmente en los invernaderos y no extenderse por el suelo como las variedades de campo. Los tomates son indeterminados (entutorado), es decir, que crecen constantemente no como tomates determinados o de tipo matorral, como lo hacen comúnmente los tomates cultivados en el campo para obtener cosechas individuales. Estos tomates y pepinos de invernadero se cosechan durante toda la estación, que es generalmente un período de cosecha de un año, mientras que en los cultivos de campo el ciclo normal de cosecha sería de tres a cuatro cosechas individuales en las áreas meridionales de Florida, Arizona, California y México.

Por las razones mencionadas, los cultivos hidropónicos de tomates, pepinos, pimientos y lechugas de invernadero aumentarán significativamente la producción

INTRODUCCION

sobre las obtenidas en cultivos similares en pleno campo.

Las mayores desventajas de los cultivos hidropónicos son los elevados costes de capital iniciales, algunas enfermedades, como *Fusarium* y *Verticillium*, las cuales pueden extenderse rápidamente a través de este sistema, y la aparición de problemas nutricionales complejos. La mayoría de estas desventajas pueden solucionarse, los costes de capital y la complejidad de trabajo de este sistema pueden ser reducidos utilizando nuevos métodos hidropónicos más simples, tales como la técnica de nutrición laminar (*nutrient film technique*), así como el uso de muchas variedades resistentes a las enfermedades ya indicadas. Principalmente, las mayores ventajas del cultivo hidropónico frente al tradicional son una mayor eficiencia en la regularización de nutrición, su posibilidad de empleo en regiones del mundo que carecen de tierras cultivables, una utilización más eficiente del agua y fertilizantes, más fácil y bajo coste de desinfección del medio, así como una mayor densidad de plantación que nos conduce a un incremento de cosecha por acre.

TABLA 1.1
Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional en suelo arable

<i>Prácticas de cultivo</i>	<i>Suelo</i>	<i>No suelo</i>
1. Esterilización del medio de cultivo.	Vapor, fumigantes químicos; trabajo intensivo; proceso muy largo, al menos de dos o tres semanas.	Vapor, fumigantes químicos con algunos de los sistemas; con otros simplemente se usa HCL o hipoclorito cálcico; el tiempo preciso para la esterilización es muy corto.
2. Nutrición vegetal.	Muy variable, suelen aparecer deficiencias localizadas; a veces, los nutrientes no son utilizados por las plantas debido al pH o a la mala estructura del terreno, condición inestable, dificultad para el muestreo y ajuste.	Control completo, relativamente, estable, homogénea para todas las plantas, fácilmente disponible en las cantidades que se precisen, buen control del pH, fácil testado, toma de muestras y ajuste.
3. Número de plantas.	Limitado por la nutrición que puede proporcionar el suelo y por las disponibilidades de luz.	Limitado solamente por la iluminación; así pues, es posible una mayor densidad de plantación; lo cual dará como resultado una mayor cosecha por unidad de superficie.
4. Control de malas hierbas, labores.	Siempre existen, hay que efectuar laboreo.	No existen, no hay laboreo.
5. Enfermedad y parásitos del suelo.	Gran número de enfermedad del suelo, nematodos, insectos y otros animales que pueden dañar las cosechas, es frecuente la necesidad de rotar las cosechas para evitar estos daños.	No hay enfermedades, insectos, ni animales en el medio de cultivo, tampoco enfermedades en las raíces, ni es precisa la rotación de cosechas.

CULTIVOS HIDROPONICOS

TABLA 1.1. (Continuación)
Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional en suelo arable

<i>Prácticas de cultivo</i>	<i>Suelo</i>	<i>No suelo</i>
6. Agua.	Las plantas están sujetas a menudo a trastornos debidos a una pobre relación agua-suelo, a la estructura de éste y a una capacidad de retención muy baja. Las aguas salinas no pueden ser utilizadas. El uso del agua es poco eficiente, tanto por la percolación como por una alta evaporación en la superficie del suelo.	No existe estrés hídrico. El automatismo es completo con el uso de un detector de humedad y un control electrónico del riego, puede utilizarse agua con un contenido de sales relativamente alto; hay un alto grado de eficiencia en el uso del agua; con un uso apropiado pueden reducirse las pérdidas por evaporación y evitarse las de percolación.
7. Calidad del fruto.	El fruto a menudo es blando, debido a las deficiencias en calcio y potasio, dando lugar a una escasa conservación.	El fruto es firme, con buena conservación, lo que permite a los agricultores el cosechar la fruta madura y enviarla, a pesar de ello, a zonas distantes. También hay que resaltar el bajo destrío en los supermercados, debido a lo ya explicado. Algunos ensayos han demostrado un mayor contenido en vitamina A en los tomates cultivados con sistemas hidropónicos frente a los cultivados en suelo.
8. Fertilizantes.	Se aplican a voleo sobre el suelo, utilizando grandes cantidades, sin ser uniforme su distribución y teniendo grandes pérdidas por lavado, que a veces alcanzan el 50-80 por 100.	Se utilizan pequeñas cantidades, que, al estar distribuidas uniformemente, permiten una utilización uniforme por las raíces, con muy pocas pérdidas por lavado.
9. Estado sanitario.	Los restos orgánicos que se utilizan frecuentemente como fertilizantes suelen ser causa de enfermedades en los consumidores.	Al no añadir agentes biológicos a las plantas, no existen agentes patógenos en ellas.
10. Trasplante.	Es preciso preparar el suelo, a pesar de lo cual las plantas suelen presentar trastornos en los primeros días. Es difícil controlar la temperatura del suelo, así como los organismos patógenos que motivan el retardo del crecimiento o incluso la muerte de las plantas.	No se necesita una preparación especial del suelo para el trasplante, siendo mínima la parada vegetativa. La temperatura del medio puede mantenerse en un óptimo por medio de una mayor o menor circulación de la solución nutritiva. No existen agentes patógenos.
11. Maduración.		Con unas condiciones adecuadas de iluminación se puede conseguir un adelanto en la maduración, que se muestra con mayor eficacia en los cultivos hidropónicos.

INTRODUCCION

TABLA 1.1. (Continuación)
Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional en suelo arable

<i>Prácticas de cultivo</i>	<i>Suelo</i>	<i>No suelo</i>
12. Conservación del medio de cultivo.	El suelo de los cultivos en invernadero debe cambiarse de forma periódica, debido a la pérdida de fertilidad y estructura. En el caso de cultivos al aire libre se hace preciso el barbecho.	No es preciso cambiar el medio en los cultivos de arena, agua o grava, ni utilizar el barbecho. El serrín, la turba y la vermiculita pueden utilizarse bastantes años sin necesidad de renovarse.
13. Cosecha.	Los tomates en invernaderos producen de 15-20 lb/año/planta.	Cosecha de 25-35 lb/año/planta en tomates.

TABLA 1.2
Comparación de las cosechas por acre en cultivos con y sin suelo

<i>Cosecha</i>	<i>Con suelo</i>	<i>Sin suelo</i>
Soja	600 lb	1.550 lb
Judías	5 t	21 t
Guisantes	1 t	9 t
Trigo	600 lb	4.100 lb
Arroz	1.000 lb	5.000 lb
Avena	1.000 lb	2.500 lb
Remolacha	4 t	12 t
Patatas	8 t	70 t
Coles	13.000 lb	18.000 lb
Lechuga	9.000 lb	21.000 lb
Tomate	5-10 t	60-300 t
Pepinos	7.000 lb	28.000 lb

2

Nutrición de las plantas

2.1. Constituyentes

La composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de un 80 a 95 por 100 de agua. El exacto porcentaje de ésta dependerá de su especie, así como de la turgencia de la planta en el momento de la toma de la muestra, lo cual será el resultado de la hora del día, de la cantidad de humedad existente en el suelo, de la temperatura, de la velocidad del viento y de otros factores; a causa de la variabilidad del peso en fresco de las plantas, los análisis químicos de ellas se hacen usualmente basándonos en la materia seca, la cual es más estable. La materia fresca de las plantas se seca a 70° C entre veinticuatro y veintiocho horas, el peso de la materia seca que nos quedará será aproximadamente de un 10 a un 20 por 100 del peso inicial en fresco. Aproximadamente el 90 por 100 del peso en seco de la mayoría de las plantas está formado por tres elementos: carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H). El agua proporciona hidrógeno y oxígeno, el cual también proviene del dióxido de carbono de la atmósfera, al igual que el carbono.

Si solamente el 15 por 100 del peso en fresco de una planta es la materia seca, y el 90 por 100 de ésta está representado por carbono, oxígeno e hidrógeno, entonces todos los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente un 1,5 por 100 del peso en fresco de ella ($0,15 \times 0,10 = 0,015$).

2.2. Elementos minerales y esenciales

De los 92 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas; no obstante, muchos de éstos no se consideran esenciales para su crecimiento, y su existencia probablemente se debe a que las raíces de las plantas absorben en su entorno algunos elementos que existen en forma soluble. Las plantas, no obstante, tienen la habilidad de poder seleccionar la cantidad de los diversos iones que absorben, no siendo normalmente esta absorción directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que existen; es más, según las especies, puede variar esta habilidad de seleccionar cada uno de los iones en particular.

CULTIVOS HIDROPONICOS

Un elemento deberá cumplir cada uno de los tres criterios que expondremos a continuación para ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas (Arnon y Stout, 1939; Arnon, 1950-1951): 1) La planta no podrá completar su ciclo de vida en ausencia del elemento. 2) La acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente. 3) El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, por lo menos, ser necesaria su presencia para la acción de una enzima esencial, y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser al menos un antagonista de un efecto tóxico de otros elementos.

Solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Estos están arbitrariamente divididos entre macronutrientes (macroelementos), aquellos requeridos en relativamente gran cantidad por las plantas, y los micronutrientes (elementos traza o menores), aquellos que son necesitados en considerablemente menor cantidad.

Los macroelementos incluyen carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg). Los microelementos incluyen hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo). La concentración relativa de estos elementos encontrada en la mayoría de las plantas se da en la tabla 2.1.

Aunque la mayoría de las plantas requieren solamente estos 16 elementos esenciales, algunas especies pueden necesitar otros, pudiendo, por lo menos, acumular estos

TABLA 2.1
Elementos esenciales para la mayoría de las plantas

<i>Elemento</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Forma disponible</i>	<i>Peso atómico</i>	<i>ppm</i>	<i>Concentración en tejido seco %</i>
Hidrógeno	H	H ₂ O	1,01	60.000	6
Carbono	C	CO ₂	12,01	450.000	45
Oxígeno	O	O ₂ , H ₂ O	16,00	450.000	45
Macronutrientes					
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	14,01	15.000	1,5
Potasio	K	K ⁺	39,10	10.000	1,0
Calcio	Ca	Ca ⁺⁺	40,08	5.000	0,5
Magnesio	Mg	Mg ⁺⁺	24,32	2.000	0,2
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁼	30,98	2.000	0,2
Azufre	S	SO ₄ ⁼	32,07	1.000	0,1
Micronutrientes					
Cloro	Cl	Cl ⁻	35,46	100	0,01
Boro	B	BO ₃ ⁼ , B ₄ O ₇ ⁼	10,82	20	0,002
Hierro	Fe	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	55,85	100	0,01
Manganeso	Mn	Mn ⁺⁺	54,94	50	0,005
Zinc	Zn	Zn ⁺⁺	65,38	20	0,002
Cobre	Cu	Cu ⁺⁺ , Cu ⁺	63,54	6	0,0006
Molibdeno	Mo	MoO ₄	95,95	0,1	0,00001

Fuente: Modificada según P. R. Stout, Actas de la 9.ª Conferencia Anual sobre Fertilizantes de California. 1961, pp. 21-23.

otros elementos aun en el caso de que sean esenciales para su normal crecimiento; silicio (Si), níquel (Ni), aluminio (Al), cobalto (Co), vanadio (V), selenio (Se) y platino (Pt) son algunos de estos elementos absorbidos por las plantas y usados en su crecimiento.

El cobalto es utilizado por las leguminosas para la fijación del nitrógeno. El níquel se cree ahora que es un elemento esencial. Es esencial para la enzima ureasa. El silicio se necesita como soporte. Añade fuerza a los tejidos, dándoles resistencia a la infección fúngica, especialmente en pepino, donde ahora es una práctica común incluir 100 ppm en la solución nutritiva a través del uso del silicato potásico. El vanadio actúa con el molibdeno (Mo) y puede sustituirlo. El platino puede incrementar el crecimiento de las plantas en un 20 por 100, si se utilizan productos químicos puros (reactivos de laboratorio), que no tienen las impurezas que pueden tener los fertilizantes. Pero es tóxico a niveles muy bajos, de forma que hay que tener mucho cuidado cuando se utilice. Normalmente, los agricultores utilizan sales fertilizantes, que contienen muchos de los elementos indicados en cantidades de trazas.

El papel de los elementos esenciales está resumido en la tabla 2.2. Cada uno de ellos juega algún papel en la preparación y descomposición de los diversos metabolitos necesarios para el crecimiento de las plantas. Algunos de ellos se encuentran en las enzimas y coenzimas que regulan la media de reacciones bioquímicas; otros son compuestos importantes en el aporte de energía y en el almacenamiento de nutrientes.

TABLA 2.2
Funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas

1. *Nitrógeno*

Forma parte de un gran número de compuestos orgánicos necesarios, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila.

2. *Fósforo*

Forma parte también de muchos compuestos orgánicos importantes, donde se incluyen la glucosa ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y ciertas coenzimas.

3. *Potasio*

Actúa como coenzima o activador de muchas enzimas. La síntesis de las proteínas requiere altos niveles de potasio. El potasio no forma parte estable en la estructura de ninguna de las moléculas que se encuentran dentro de las células de las plantas.

4. *Azufre*

Está incorporado dentro de diversos compuestos orgánicos que incluyen aminoácidos y proteínas. La coenzima A y las vitaminas tiamina y biotina contienen también azufre.

5. *Magnesio*

Es parte esencial de la molécula de clorofila, y es necesario para la actividad de muchas enzimas, incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP. Es esencial para mantener la estructura del ribosoma.

6. *Calcio*

Se encuentra a menudo precipitado como cristales de oxalato cálcico en las vacuolas. Se encuentra también en las paredes de la célula como pectato cálcico, el cual une las paredes primarias de las células adyacentes. Es preciso para mantener la integridad de la membrana y forma parte de la enzima α -amilasa. Algunas veces interfiere la capacidad del magnesio para activar las enzimas.

TABLA 2.2. (Continuación)
Funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas

7. *Hierro*

Es necesario para la síntesis de la clorofila y es una parte esencial del citocromo, el cual actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y en la respiración. Forma también parte esencial de la ferridoxina y, posiblemente, de la nitrato reductasa, activando también algunas otras enzimas.

8. *Cloro*

Necesario para la fotosíntesis, donde actúa como activador de enzimas para la producción de oxígeno a partir del agua. Se le suponen otras funciones adicionales, ya que se ven claros los efectos de su deficiencia en las raíces.

9. *Manganeso*

Activa una o más enzimas en la síntesis de los ácidos grasos, así como en la enzima responsable de la formación del DNA y RNA, activando también la enzima deshidrogenasa en el ciclo de Krebs. Participa directamente en la producción fotosintética de O_2 a partir del H_2O y puede formar parte en la formación de la clorofila.

10. *Boro*

Su papel en las plantas no es bien conocido. Puede ser preciso para el transporte en el floema de los carbohidratos.

11. *Zinc*

Es preciso para la formación de la hormona del ácido indolacético. Activa las enzimas alcohol deshidrogenasa, ácido láctico deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa y carbopeptidasa.

12. *Cobre*

Actúa como un portador de electrones y es parte de algunas enzimas. Forma parte de la plastocianina, la cual actúa en la fotosíntesis, y también de oxidasa polifenol y, posiblemente, de la nitrato reductasa. Puede tomar parte en la fijación del N_2 .

13. *Molibdeno*

Actúa como portador de electrones en la conversión del nitrato de amonio, y también es esencial en la fijación del N_2 .

14. *Carbono*

Constituyente de todos los compuestos orgánicos encontrados en las plantas.

15. *Hidrógeno*

Constituyente de todos los compuestos orgánicos en los cuales el carbono también se encuentra formando parte. Es muy importante su acción en el intercambio de cationes en las relaciones planta-suelo.

16. *Oxígeno*

Forma parte de la mayoría de los compuestos orgánicos de las plantas. Solamente unos pocos de estos compuestos orgánicos, como, por ejemplo, el caroteno, no contienen oxígeno. También da lugar al intercambio de aniones entre las raíces y el medio exterior. Es, por último, receptor terminal del H^+ en la respiración aerobia.

2.3. Obtención de los minerales y del agua por las plantas

Las plantas obtienen normalmente sus necesidades de agua y elementos minerales a partir del suelo. En un medio sin suelo, las plantas deberán también proveerse de agua y elementos minerales; así pues, en orden a entender las relaciones de las plantas en un sistema hidropónico, deberemos también tener en cuenta las relaciones que existen en su crecimiento en el suelo.

2.3.1. El suelo

El suelo provee cuatro necesidades importantes de las plantas: 1) el aporte de agua; 2) un aporte de los nutrientes esenciales; 3) un aporte de oxígeno, y, por último, 4) un soporte para el sistema radicular de las plantas. Los suelos minerales están formados de cuatro componentes principales: los elementos minerales, la materia orgánica, el agua y el aire. Por ejemplo, una composición en volumen de un suelo que podríamos representar como franco limoso en condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas estará formado por 25 por 100 de agua, 25 por 100 de aire, 45 por 100 de materia mineral y 5 por 100 de materia orgánica. La materia mineral (inorgánica) está compuesta por pequeñas rocas fragmentadas y también por varias clases de minerales. La materia orgánica representa una acumulación de residuos vegetales y animales parcialmente descompuestos. La materia orgánica del suelo podríamos considerarla formada por dos grupos: 1) tejidos originales y otros equivalentes parcialmente descompuestos, y 2) humus. Los tejidos originales incluyen materias animales y vegetales aún no descompuestas, las cuales están sujetas al ataque de los organismos del suelo tanto animales como vegetales, que las utilizan como una fuente de energía para la construcción de su propio tejido. El humus es el producto más resistente de la descomposición, tanto de la efectuada por la sintetización a través de los microorganismos como aquellas que se obtienen por la modificación de los tejidos originales de las plantas.

El agua del suelo se obtiene en los poros del suelo, y, junto con las sales que se encuentran disueltas en ellas, dan lugar a las soluciones del suelo, que son muy importantes como medio para suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. El aire del suelo está también situado en los poros de éste y tiene un mayor contenido de dióxido de carbono y menor de oxígeno del que se encuentra normalmente en la atmósfera. El aire del suelo es muy importante para suministrar el oxígeno y el dióxido de carbono a todos los organismos del suelo y también a las raíces de las plantas.

La posibilidad del suelo de suministrar una nutrición adecuada a las plantas depende de cuatro factores: 1) la cantidad de los diversos elementos esenciales presentes en el suelo; 2) sus formas y combinaciones; 3) el proceso por el cual estos elementos se convierten en utilizables por las plantas, y 4) la solución del suelo y su pH. La cantidad de los diversos elementos presentes en el suelo dependerá de la naturaleza de éste y del contenido que tenga en materia orgánica, puesto que ésta es la fuente de muchos de los elementos nutrientes. Los nutrientes del suelo existen tanto en una forma completa de compuestos insolubles como en forma simple, usualmente soluble en el agua del suelo y lista para ser utilizada por las plantas. Las formas complejas deberán ser rotas por descomposición, para así obtener formas simples más fácilmente dispuestas para ayudar a las plantas, estas formas de más fácil utilización por las plantas están resumidas en la tabla 2.1. La reacción de la solución del suelo (pH) determinará la disponibilidad de los diversos elementos de la planta. El pH se medirá en acidez o alcalinidad. Un

suelo es ácido si su pH es menor que 7, neutro si tiene un valor de 7 y alcalino si su pH es superior a 7. Dado que el pH es una función logarítmica, el cambio de una unidad en el pH supone un cambio de diez veces en la concentración del H^+ . Por tanto, cualquier cambio de unidad en el pH puede tener un amplio efecto en la disponibilidad de iones para las plantas. La mayoría de las plantas prefieren un nivel de pH superior, entre 6 y 7, como pH óptimo para la absorción de los nutrientes. El efecto del pH en las disponibilidades de elementos esenciales se muestra en la figura 2.1. Hierro, manganeso y zinc se convierten en menos disponibles si su pH se eleva de 6,5 a 7,5 u 8; el molibdeno y el fósforo, por el contrario, están aceptados en su poder de absorción por las plantas mientras mayores sean los niveles de pH. En valores muy altos del pH, el ion bicarbonato (HCO_3^-) puede estar presente en suficiente cantidad como para interferir la normal disponibilidad de otros iones, y, por tanto, causar detrimento para un crecimiento óptimo.

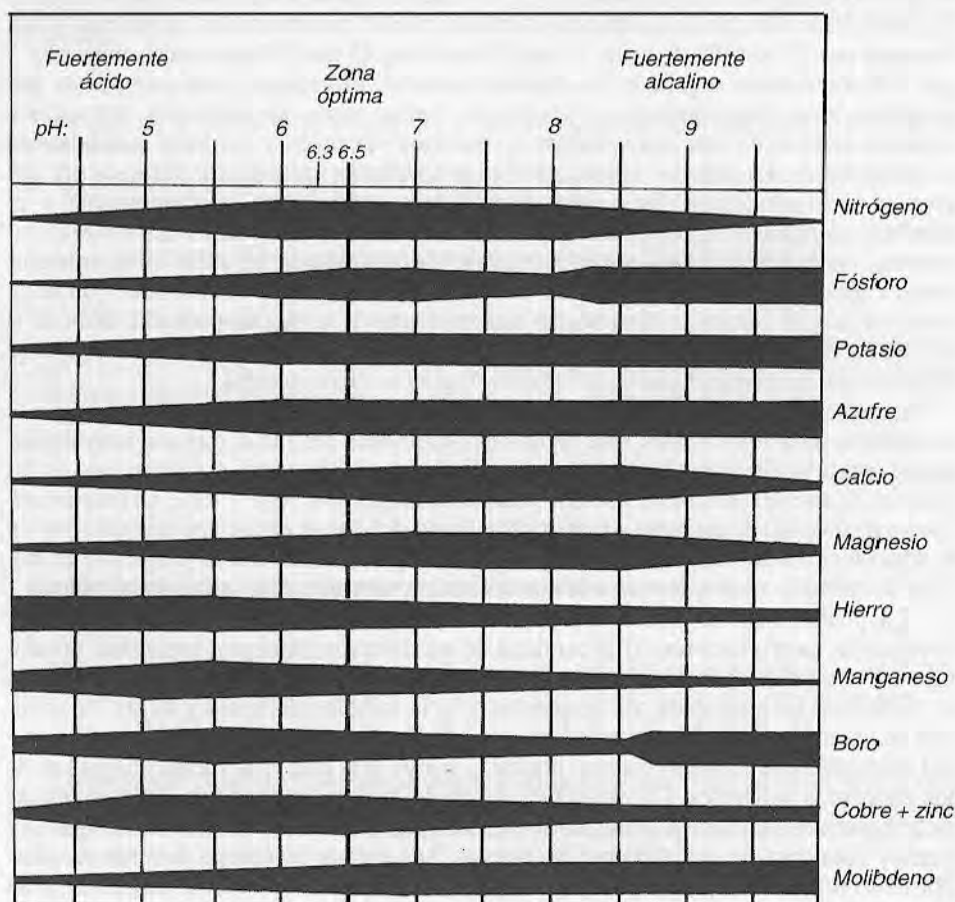


Fig. 2.1. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes. (Modificado de *Hunger Signs in Crops*, editado por H. B. Sprague, 1964, p. 18.)

Cuando las sales inorgánicas están colocadas en una solución diluida, se disocian en unidades cargadas eléctricamente llamadas iones. Estos iones son disponibles para las plantas a partir de la superficie de los coloides del suelo y también de las sales en la solución de éste.

Los iones cargados positivamente (cationes), como, por ejemplo, el potasio (K^+) y el calcio (Ca^{++}), son, la mayoría de las veces, absorbidos por los coloides del suelo, mientras que los iones cargados negativamente (aniones), tales como el cloro (Cl^-) y el sulfato (SO_4^{--}) suelen encontrarse en la solución del suelo.

2.3.2. Interrelación suelo-planta

Las raíces de las plantas y los pelos radiculares de éstas están en un íntimo contacto con la superficie de los coloides del suelo. La absorción de nutrientes por las plantas tiene lugar a través de sus raíces tanto en la superficie de los coloides del suelo como a través de la propia solución de éste; esto se ve en la figura 2.2. Los iones se intercambian entre los coloides del suelo y la solución de éste; este movimiento de iones tiene lugar entre la superficie de las raíces de las plantas y los coloides del suelo, así como entre estas raíces y la solución del suelo en una y otra dirección.

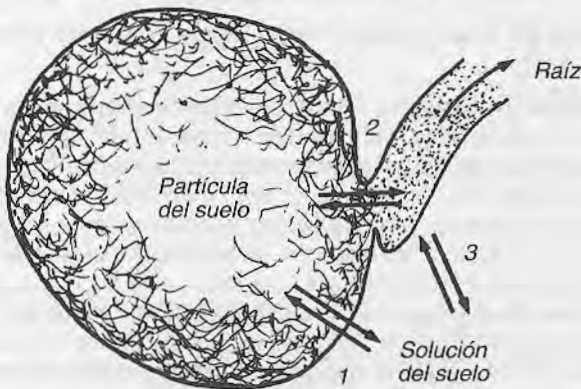


Fig. 2.2. Movimiento de nutrientes entre las raíces y las partículas del suelo. (1) Intercambio entre las partículas del suelo y la solución del suelo. (2) Movimiento de los iones desde los coloides del suelo (partículas) a la superficie de las raíces de la planta, y viceversa. (3) Intercambio entre la solución del suelo y la superficie absorbente del sistema radicular de la planta.

2.3.3. Intercambio de cationes

La solución del suelo es la más importante fuente de nutrientes para ser absorbida por las raíces de las plantas, y conforme ésta se va haciendo cada vez más diluida, al tomar las plantas los nutrientes de ella, éstos deberán irse reponiendo a partir de las partículas del suelo. La fase sólida del suelo proporciona elementos minerales a la solución de éste, parcialmente por medio de la solubilización de los elementos minerales y de la materia orgánica y parcialmente por la solución de sales solubles, así como en parte por el intercambio de cationes. Las partículas de arcilla cargadas negativamente y la materia orgánica sólida del suelo toman cationes tales como el calcio (Ca^{++}), magnesio

(Mg^{++}), potasio (K^+), sodio (Na^+), aluminio (Al^{+++}) y también iones de hidrógeno (H^+). Aniones tales como el nitrato (NO_3^-), fosfato (HPO_4^-), sulfato (SO_4^-), cloruro (Cl^-) y otros se encuentran casi exclusivamente en la solución del suelo. Los cationes también se encuentran en la solución del suelo, y su capacidad de intercambio libre con los cationes absorbidos en los coloides del suelo da lugar a que se pueda efectuar este intercambio catiónico.

2.3.4. El suelo frente a los cultivos hidropónicos

No existe una diferencia fisiológica entre las plantas que crecen en un cultivo hidropónico y aquellas que lo hacen en el suelo. En el suelo, tanto los componentes orgánicos como inorgánicos, deberán ser descompuestos en elementos inorgánicos tales como calcio, magnesio, nitrógeno, potasio, fósforo, hierro y otros, antes que ellos estén a disposición de las plantas (fig. 2.3); estos elementos están adheridos a las partículas del suelo y se intercambian en la solución de éste, donde son absorbidos por las plantas. En los cultivos hidropónicos, las raíces de las plantas son humedecidas con una solución de nutrientes que contienen estos elementos; por tanto, el proceso de utilización de los minerales por las plantas es el mismo, como se detalla en 2.3.5 y 2.3.6.

2.3.5. Transferencia del agua y solutos desde el suelo (o solución de nutrientes) a la raíz

La discusión del cultivo orgánico o inorgánico puede clarificarse a través de un estudio de cómo toman las plantas los elementos minerales. En 1932, E. Münch, de Alemania, introdujo el concepto de apoplasto-symplasto para describir cómo toman las plantas el agua y los minerales. Sugirió que el agua y los iones minerales se mueven dentro de las raíces de las plantas a través de una interconexión de las paredes de las células y también de los espacios intercelulares, incluyendo los elementos de xilema, a los cuales llamó el apoplasto, o bien, a través del sistema de interconexión del protoplasma (excluyendo las vacuolas), el cual denominó symplasto. No obstante, cualquiera que sea este movimiento, la absorción está regulada por la capa de células endodérmicas que se encuentran alrededor de lo que podría llamarse cuerpo de la raíz, el cual constituye una barrera que evita el libre movimiento del agua y de los solutos a través de la célula. Existe una capa cérea, la capa de Casparian, alrededor de cada una de las células endodérmicas, la cual aísla la parte interior de la raíz, de las regiones epidérmicas exteriores y corticales, en las cuales el agua y los diversos minerales pueden moverse con relativa libertad.

Si las raíces están en contacto con una solución del suelo o nutrientes, los iones penetrarán dentro de la raíz a través del apoplasto, cruzando la epidermis a través de la corteza hasta la capa endodérmica. Algunos iones pasarán desde el apoplasto hasta el symplasto a través de un proceso necesario de respiración activa. Puesto que el symplasto es continuo en toda la capa endodérmica, los iones se pueden mover libremente dentro del periciclo y de otras células vivientes de la raíz (fig. 2.4).

2.3.6. Movimiento del agua y de los minerales a través de las membranas

Si una sustancia se mueve cruzando una membrana celular, el número de partículas que se mueven por unidad de tiempo a través de un área dada de dicha membrana se denomina «flujo». El flujo es igual a la permeabilidad de la membrana multiplicada por

NUTRICION DE LAS PLANTAS

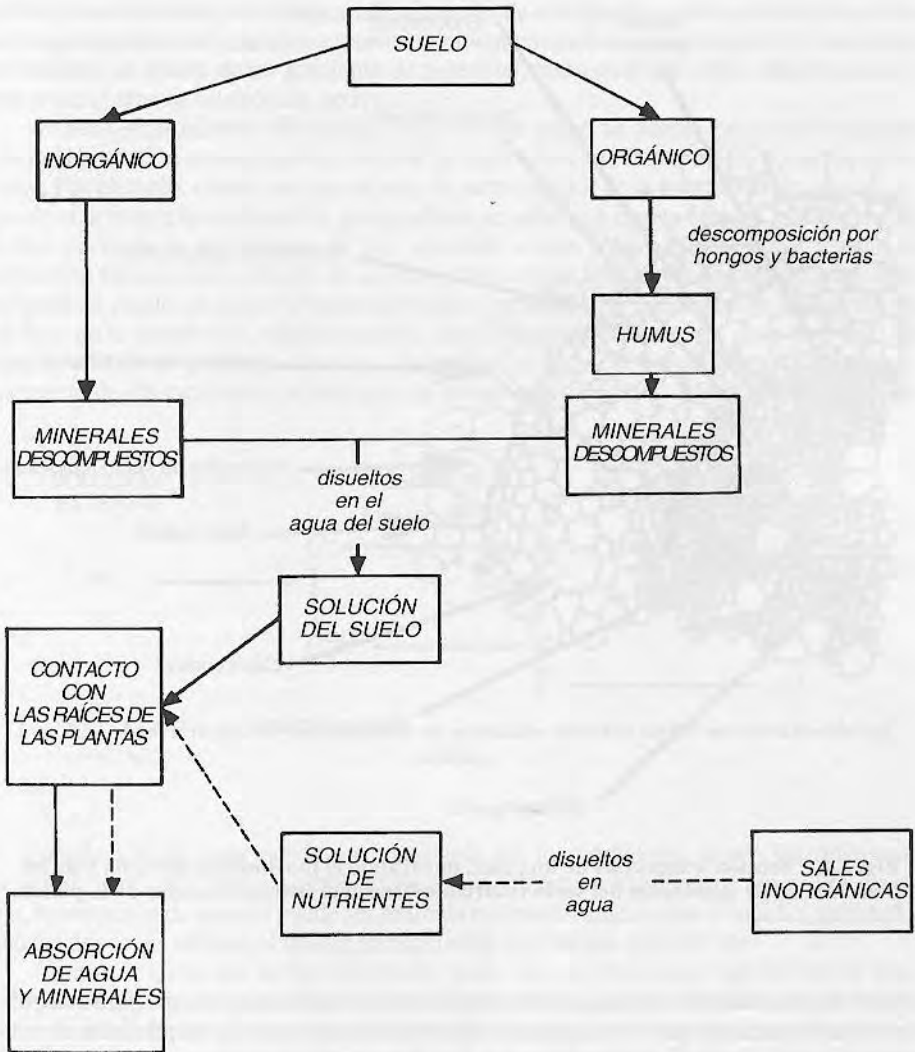


Fig. 2.3. Origen de los elementos esenciales en los cultivos en suelo y los hidropónicos.

la fuerza portadora que causa la difusión de la sustancia. Esta fuerza es debida a la diferente concentración de estos iones en ambas partes de la membrana (potencial químico). Si el potencial químico del soluto es mayor en la parte exterior de la membrana que en la interior, el movimiento hacia dentro se denomina pasivo, o sea, que la planta no utilizará su energía para tomar estos iones. Si, no obstante, una célula acumula iones

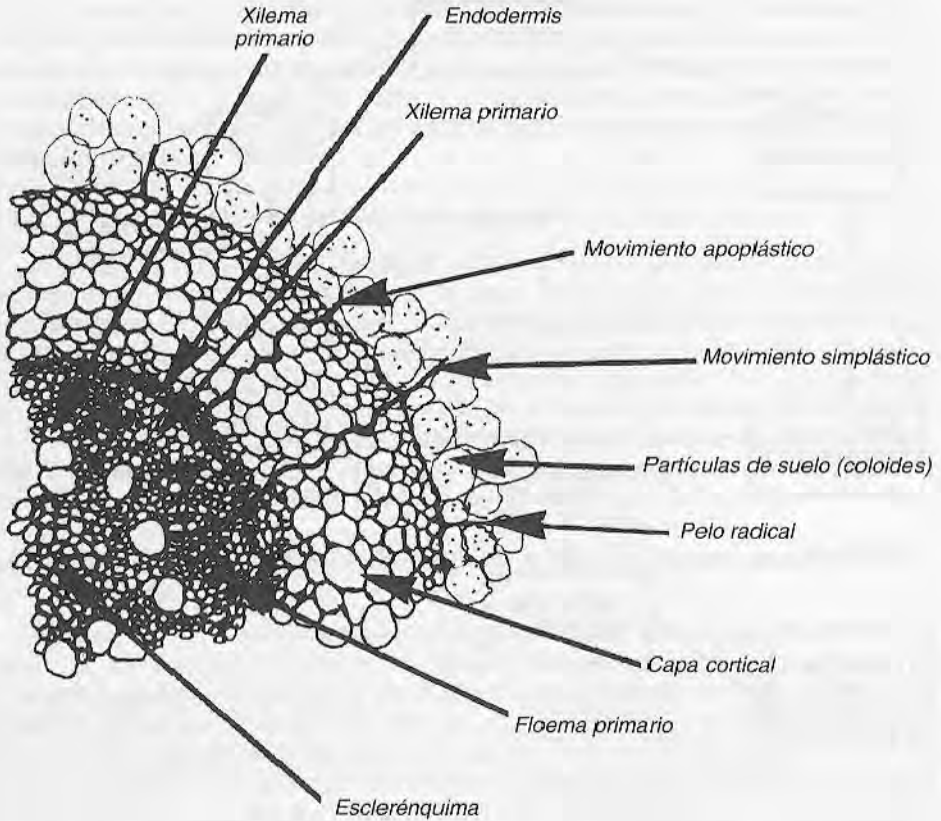


Fig. 2.4. Sección transversal de una raíz, mostrando el movimiento del agua y de los minerales desde la solución del suelo (nutrientes) hasta el sistema vascular de la planta.

a pesar de un gradiente de potencial, se deberá proveer suficiente energía para compensar esta diferencia del potencial químico. El transporte en contra de un gradiente se considerará activo desde el momento en que la célula metabolice activamente para poder llevar a cabo la absorción del soluto.

Cuando los iones son transportados a través de las membranas, la fuerza portadora estará compuesta tanto de una diferencia de potencial químico como eléctrico. Eso es, un gradiente de potencial electroquímico existirá a través de la propia membrana. La diferencia de potencial eléctrico se origina a partir de una difusión a través de la membrana de los cationes de una sal, más rápidamente que la de sus correspondientes aniones; es decir, la parte interior se convertirá en positiva con relación a la parte exterior. Así pues, que el transporte de un ion sea activo o pasivo dependerá de la contribución tanto de la diferencia de potencial eléctrico como de potencial químico; algunas veces ambos factores actuarán en la misma dirección, mientras que en otros casos su efecto será opuesto. Por ejemplo, un catión puede tener una alta concentración dentro de cada

célula y, no obstante, ser transportado sin gasto de energía en aquella parte de la célula en la que el potencial eléctrico es suficientemente negativo. Por otra parte, la absorción de aniones en contra de un gradiente de potencial, tanto químico como eléctrico, siempre tendrá lugar en un proceso activo.

Existen gran número de teorías para explicar cómo se acopla tanto la respiración como la absorción activa, pero la mayoría de ellas emplean el mecanismo de un transportador. Por ejemplo, cuando un ion alcanza la parte exterior de la membrana de una célula, puede ocurrir una neutralización, ya que el ion se adhiere a alguna entidad molecular que forma parte de la membrana. El ion adherido a este transportador puede entonces difundirse rápidamente a través de la membrana, siendo liberado en la cara opuesta. Esta adherencia puede necesitar el gasto de energía metabólica y puede ocurrir solamente en un lado de la membrana, mientras que la liberación ocurre solamente en el otro lado de ésta. Los iones se separan y mueven dentro de la célula, y el transportador vuelve, en el momento de liberar a éstos, a ser capaz de mover más iones (fig. 2.5). La selectividad en

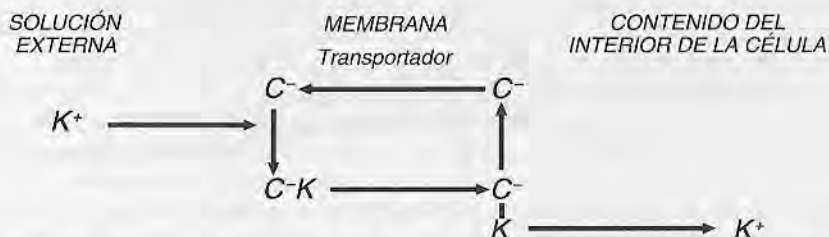


Fig. 2.5. Movimiento de los iones por un portador a través de las membranas de las células.

la acumulación de iones puede ser controlada por los portadores, según sus diferentes características, para formar combinaciones específicas con los diversos iones. Por ejemplo, la absorción de potasio puede ser inhibida competitivamente por el rubidio, indicando que los dos iones utilizan el mismo transportador o el mismo sitio en éste.

Como previamente hemos indicado, todas las explicaciones hechas hasta aquí sobre la absorción de los minerales por las raíces de las plantas se han efectuado en un esfuerzo para clarificar el problema de los cultivos orgánicos o inorgánicos. La existencia de relaciones específicas entre los iones y sus portadores, que son capaces de su transporte en las membranas de las células para entrar en éstas, demuestra que la absorción de los minerales funciona de la misma forma tanto si la fuente de éstos proviene de la materia orgánica como de los fertilizantes. La mayor parte de los compuestos orgánicos que dan lugar al humus no son absorbidos por las plantas hasta que, por medio de su descomposición, se han transformado en los elementos básicos inorgánicos, pudiendo acumularse por medio de su contacto con las membranas celulares de las plantas solamente en su forma iónica. Así pues, la jardinería que pudiéramos llamar orgánica no provee ningún compuesto a las plantas que no pudiera existir en un sistema hidropónico. La función de la materia orgánica en el suelo es suministrar elementos inorgánicos a las plantas y, al mismo tiempo, mantener la estructura del suelo en óptimas condiciones para que estos minerales estén a su disposición.

La aplicación indiscriminada de grandes cantidades de fertilizantes en el suelo, sin adición de materia orgánica, da como resultado una alteración de la estructura del suelo y, consecuentemente, hace inaprovechable para las plantas este abundante suministro de mineral. Esto último no será culpa de los fertilizantes, sino de la forma de suministrar éstos en el manejo de los suelos.

2.4. El movimiento ascendente del agua y de los nutrientes

El agua, con los minerales que lleva disueltos, se mueve principalmente hacia arriba en las plantas, a través de los tejidos de xilema. El xilema está compuesto de distintos tipos de células, formando un sistema conductor en la planta. Este tejido vascular se denomina comúnmente vena o vaso. Los vasos están compuestos actualmente de xilema y floema. El tejido de floema es el principal conductor de los alimentos ya preparados.

La translocación en el floema de elementos que provienen de la fotosíntesis aún no se comprende completamente; en general, el agua y los minerales se mueven de forma ascendente en el xilema hacia el lugar de las fotosíntesis, y los elementos que provienen de ésta se mueven desde esta fuente de manufactura a otras partes de la planta.

La ascensión de la savia en las plantas fue sugerida por Dixon (1914) y Renner (1911) en su hipótesis de la cohesión. Opinaban que las fuerzas de absorción del agua y los nutrientes desde el suelo a las raíces de las plantas provenían de las paredes celulares de las hojas. La fuerza de cohesión se basa en la inherente resistencia a la tensión del agua, propiedad que proviene de la cohesión de las moléculas del agua (las fuerzas de atracción entre las moléculas del agua). Esta cohesión del agua en el xilema es debida a las dimensiones capilares de los elementos del xilema. La absorción del agua desde el suelo proviene del potencial negativo de ésta, el cual se transfiere desde la parte inferior de la planta a las células de las raíces y al suelo por la fuerza ascendente de evaporación.

Las hojas de las plantas tienen una cutícula cerosa que cubre su superficie externa para evitar una excesiva pérdida de agua o evaporación (fig. 2.6). Pequeños poros (estomas) en la epidermis, particularmente numerosos en la zona baja de ésta, regulan el paso del dióxido de carbono y oxígeno dentro y fuera de las hojas. El vapor de agua también se mueve a través de esta fuerza. Así pues, las pérdidas de agua se regulan principalmente por los estomas. El agua se mueve desde los vasos del xilema a las células del mesófilo en las hojas, evaporándose y distribuyéndose a través de los estomas en la atmósfera. Esta pérdida del agua en la evapotranspiración debe ser reemplazada por un aporte de agua a las raíces de las plantas o, si no, ocurrirá un estrés hídrico, el cual, si permanece, llegará a causar la muerte de la planta. En el proceso de absorción del agua, los minerales son transportados hasta las células que contienen clorofila (parénquima en empalizada, mesófilo esponjoso y células del haz conductor que están presentes), donde son utilizados en la elaboración de alimentos por medio del proceso fotosintético.

2.5. Nutrición de las plantas

Como hemos mencionado en el capítulo 1, los cultivos hidropónicos se han desarrollado a través de los estudios de los constituyentes de las plantas, los cuales han per-

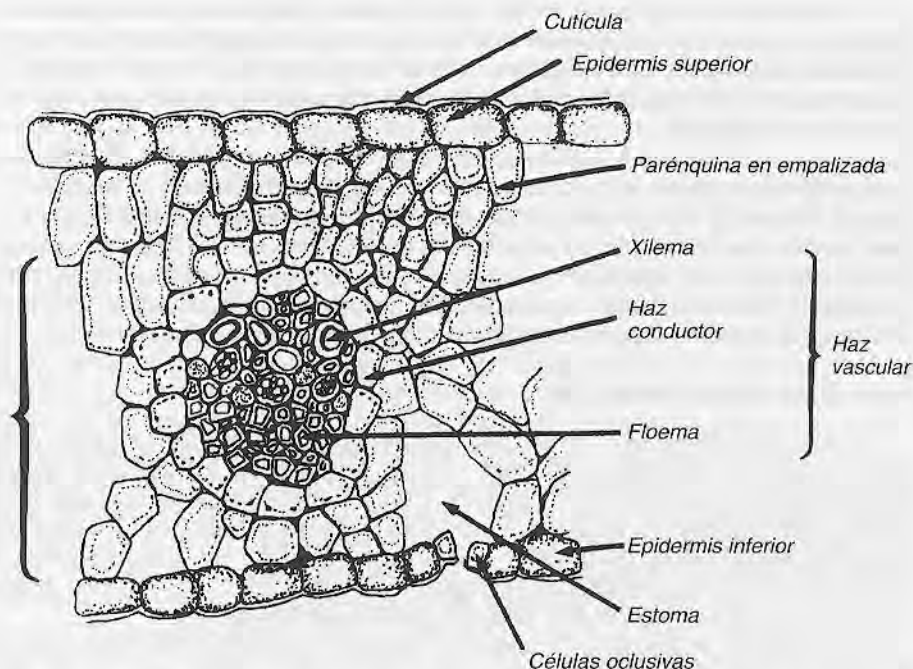


Fig. 2.6. Sección transversal de una hoja mostrando el sistema de movimiento del agua.

mitido descubrir los elementos esenciales de éstos. La nutrición vegetal es, por tanto, la base de la hidroponía. Cualquiera que intente emplear técnicas hidropónicas deberá tener suficientes conocimientos de nutrición vegetal. La nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones de nutrientes será la llave del éxito en los cultivos hidropónicos. La absorción y transporte de los nutrientes de las plantas en éstas ha sido ya discutido. La siguiente cuestión es cómo mantener las plantas en un estado óptimo de nutrición. Los cultivos hidropónicos nos permiten obtener esto, pero también presentan un riesgo de error, que puede dar como resultado una rápida carencia de nutrientes u otros efectos adversos en las plantas. Es muy importante el disponer de un programa de diagnóstico que nos permita conocer el nivel nutricional de la planta en cualquier momento, para así poder evitar los desequilibrios nutricionales, que, como ya se ha dicho, limitaría el crecimiento de estas plantas. El método ideal para efectuar este diagnóstico es el análisis foliar periódico (una o dos veces por semana) y, juntamente con este test, analizar la producción de nutrientes. El nivel de cada uno de los elementos esenciales en los tejidos de las plantas y en la solución de nutrientes deberá, al determinarse, llevar de forma conjunta un ajuste en la solución de nutrientes, si es necesario, para evitar los problemas potenciales de nutrición. Desde luego, un programa de este tipo es muy costoso en tiempo y trabajo, y no es siempre económicamente asequible. Para efectuar dicho análisis es necesario un laboratorio apropiado completamente equipado, con un horno, un analizador de absorción atómica, material de vidrio y otros materiales. El coste para construir y equipar adecuadamente un laboratorio de este tipo

sería muy grande; así pues, esto podría estar solamente justificado por un gran complejo de invernaderos que tuviesen un área mínima de 4 ó 5 acres. A menudo, estos análisis podrían ser hechos por laboratorios comerciales (ver apéndice 2), pero a veces los resultados son lentos, y un daño en las cosechas podría ocurrir antes de que recibiéramos las recomendaciones.

La alternativa para estos análisis de laboratorio podría consistir en un diagnóstico visual de los síntomas de deficiencias en nutrientes que aparecieran en las plantas. No obstante, deberemos hacer énfasis en que, una vez que las plantas muestran dichos síntomas, ya han ocurrido problemas nutricionales en ella, y nos tomará algún tiempo volver a obtener su estado óptimo después de que hemos tomado los pasos necesarios para remediar el problema. Así pues, es importante identificar correctamente el problema nutricional de forma rápida para evitar una pérdida de vigor en las plantas.

2.5.1. Desórdenes nutricionales

Un desorden nutricional es un mal funcionamiento de la fisiología de la planta, y da como resultado un crecimiento anormal, causado bien por una deficiencia o por un exceso de uno o varios elementos minerales. Este desorden lo muestra la planta, bien externa, o internamente por medio de síntomas. El diagnóstico de un desorden nutricional incluye una detallada descripción e identificación del desorden. Una deficiencia o exceso de cada uno de los elementos esenciales da lugar a diferentes síntomas en las plantas, los cuales pueden utilizarse para identificar dicho desorden.

Los elementos se agrupan básicamente en aquellos que son móviles y los que son inmóviles, siempre teniendo diferentes grados de movilidad. Los elementos móviles son aquellos que pueden translocarse de una parte a otra de la planta, moviéndose desde los lugares originales de situación (hojas viejas) a las regiones de crecimiento activo de la planta (hojas jóvenes) cuando ocurre una deficiencia. Esto da como resultado que los primeros síntomas aparezcan en las hojas más viejas de las partes más bajas de las plantas. Los elementos móviles son el magnesio, fósforo, potasio, zinc y nitrógeno. Cuando ocurre una reducción de los elementos inmóviles, no hay ninguna translocación de éstos a las regiones de desarrollo de las plantas, sino que permanecen en las hojas más viejas donde fueron originariamente depositados. Así pues, los síntomas de deficiencia aparecerán, en primer lugar, en las hojas más jóvenes de la parte superior de la planta. Los elementos inmóviles incluyen el calcio, hierro, azufre, boro, cobre y manganeso.

Es importante el detectar rápidamente los desórdenes nutricionales, ya que, conforme éstos se incrementan, los síntomas se van extendiendo más rápidamente sobre la totalidad de la planta, dando como resultado la muerte de la mayoría de los tejidos de ésta. Los síntomas característicos suelen ser muy generales, tales como clorosis (amarilleamiento) y necrosis (pardeamiento) de los tejidos de las plantas. Además, los desórdenes en un elemento a menudo interfieren la capacidad de la planta para acumular otros elementos, y rápidamente aparece un exceso o deficiencia de dos o más elementos esenciales de forma simultánea; esto es particularmente cierto en las deficiencias nutricionales. Cuando simultáneamente ocurre una deficiencia de dos o más elementos, el síndrome que aparece en los síntomas puede hacernos creer que no existe ninguna deficiencia. Bajo estas condiciones es generalmente imposible el determinar visualmente qué elementos son responsables de dichos síntomas.

A menudo, la deficiencia de un elemento permite un antagonismo hacia la absorción de otro elemento. Por ejemplo, la deficiencia del boro puede causar también una

deficiencia en calcio. La deficiencia de calcio puede permitir una deficiencia en potasio, y viceversa. No podemos, pues, dejar de recalcar la importancia de una segura y rápida identificación en la aparición de los síntomas. Normalmente es muy positivo el cultivar plantas indicadoras entre las cosechas regulares. La susceptibilidad de las diferentes especies de plantas a los diversos desórdenes nutricionales varía de gran manera; si una cosecha de tomates está siendo cultivada, el plantar algunos pimientos, lechugas e incluso una o dos malas hierbas, si se conocen que son muy sensibles a los desórdenes nutricionales, nos puede permitir el detectar rápidamente algunos síntomas. Los pepinos son muy sensibles a las deficiencias de boro y calcio; si sucede una de estas deficiencias, los pepinos nos indicarán los síntomas desde unos días hasta una semana antes de que aparezcan en los tomates. Este aviso hará capaz al cultivador de ajustar su solución de nutrientes para prevenir la deficiencia de la cosecha de tomates. Además, se deberá tener en cuenta que las plantas más débiles de una especie muestran antes los síntomas que las más vigorosas. Cualquier táctica que conozcamos deberá ser empleada para evitar los desórdenes nutricionales en las cosechas principales, puesto que, una vez que los síntomas aparecen en dicha cosecha, es inevitable alguna reducción de ésta.

Una vez que un desorden nutricional ha sido identificado, deberemos tomar los pasos precisos para remediarlo; en los cultivos hidropónicos, el primer paso es cambiar la solución de nutrientes. Esto deberá ser hecho tan pronto como sospechemos que ocurre un desorden nutricional, e incluso antes de identificar éste. Si el desorden ha sido diagnosticado como una deficiencia, se podrá aplicar un tratamiento foliar para obtener una respuesta rápida; no obstante, deberá tenerse mucho cuidado de no usar una concentración tan elevada que nos pueda quemar las plantas. Lo mejor será utilizar el tratamiento foliar recomendado en unas pocas plantas, y entonces observar los resultados durante varios días antes de tratar la cosecha completa. La formulación de nutrientes, probablemente, deberá ser ajustada (ver capítulo 3) para evitar el desorden. Si existe una deficiencia en la nutrición, el nivel de este nutriente del que existe deficiencia deberá incrementarse por encima del nivel normal (hasta un 25 ó 30 por 100). Cuando la deficiencia desaparezca en la planta, el incremento del nutriente identificado deberá bajarse cerca de un 10 a 15 por 100 del nivel en el cual ocurrió esta deficiencia. Según la severidad del desorden, así como de las condiciones de cada uno de los elementos, las plantas pueden necesitar de siete a diez días antes de que aparezca una respuesta favorable al tratamiento efectuado.

Si tiene lugar una toxicidad, el medio de cultivo deberá ser lavado con gran cantidad de agua limpia para reducir los niveles residuales en dicho medio. Este lavado puede ser hecho a lo largo de una semana a diez días, dependiendo de la severidad del desorden. No obstante, las deficiencias nutricionales son mucho más comunes que las toxicidades en los cultivos hidropónicos. Por esta razón, las deficiencias nutricionales serán tratadas con más énfasis en los siguientes apartados sobre sintomatología.

2.5.2. Sintomatología

Uno de los primeros pasos para identificar un desorden nutricional es describir el síntoma con términos seguros y claros. La tabla 2.3 nos resume los términos comúnmente usados en la sintomatología. Cuando observemos un desorden, se deberá determinar qué parte de la planta u órgano está afectado. ¿Ocurre éste en las hojas inferiores más viejas o en las superiores más jóvenes? ¿Están los síntomas en el tallo, fruto, flores o en cualquier otro punto de desarrollo de la planta? ¿Cuál es la apariencia de la totali-

dad de la planta? ¿Está enanizada, deformada o con demasiadas ramas? ¿Cuál es la naturaleza del daño? ¿Está el tejido clorótico (amarillo), necrótico (pardo) o deformado? Así pues, se describirá la apariencia de su coloración y la situación de estas clorosis, necrosis o deformación usando los términos dados en la tabla 2.3.

TABLA 2.3
Terminología usada en la descripción de los síntomas de las plantas

Término-descripción

Localizado: Síntomas limitados a un área de la planta u hoja.

Generalizado: Síntomas no limitados a un área, sino, normalmente, extendidos sobre la totalidad de la planta o de la hoja.

Seca (quemado): Necrosis-acorchado, seco, apariencia de papel.

Marginal: Clorosis o necrosis sobre los bordes de las hojas inicialmente; frecuentemente, se va extendiendo hacia el interior conforme progresan los síntomas.

Clorosis entre los nervios: Clorosis (amarilleamiento) entre los nervios de las hojas.

Manchado: Superficie moteada de forma irregular, aparece un manchado que de forma distinta tiene zonas claras y oscuras; a menudo están asociadas dichas manchas con enfermedades viróticas.

Moteado: Zona descolorida con manchas que se distinguen perfectamente del tejido normal que está junto a ellas.

Coloración del envés de las hojas: A menudo aparece una coloración particular, bien sobre toda la superficie, o bien sobre parte de ella en la zona del envés; por ejemplo, la deficiencia del fósforo da lugar en el envés a una coloración púrpura de las hojas.

Ahuecado: Los bordes de las hojas, o bien su extremo, pueden doblarse hacia arriba o hacia abajo. Por ejemplo, la deficiencia en cobre da lugar a que los márgenes de las hojas se rican en forma de tubo; la deficiencia en potasio origina un rizado de los márgenes de las hojas hacia abajo.

Retícula: La mayoría de las nerviaduras más pequeñas de las hojas permanecen verdes, mientras que la zona entre dichas nerviaduras amarillea, deficiencia de manganeso.

Fragilidad de los tejidos: Las hojas, peciolo, tallos, pueden perder su flexibilidad, rompiéndose fácilmente cuando se tocan, deficiencia de boro o calcio.

Tejido blando: Hojas muy blandas, que se dañan fácilmente, exceso de nitrógeno.

Marchitamiento: Puede ocurrir, bien en las hojas, bien en los puntos de desarrollo, que mueren rápidamente y se secan, deficiencia de boro o calcio.

Achaparrado: Plantas más cortas de lo normal.

Huso: El crecimiento del tallo y del peciolo de las hojas es muy fino y en forma suculenta.

Después de que hayamos observado los síntomas y que hayan sido descritos, deberá determinarse si el desorden de la planta puede ser causado por algún otro motivo que no sea el de un mal balance nutricional. Deberá comprobarse la lista que se da a continuación de otros posibles desórdenes: daños por insectos, enfermedades de parásitos, daños por pesticidas, daños por polución, exceso o falta de agua, daños motivados por la luz y por la temperatura. Los daños por pesticidas pueden producirse cuando se efectúa un aporte mayor que el recomendado en las dosis que se aplican a las plantas, produciendo quemaduras. También, el uso de herbicidas, tales como el 2,4 D, cerca de un invernadero puede causar deformaciones en las hojas de las plantas muy parecidas a

los síntomas del virus del mosaico del tabaco (TMV). Los daños por polución pueden causar quemaduras o manchas en el tejido de las hojas con un efecto de picado en ellas (picaduras producidas en los puntos cloróticos). El estrés hídrico, bien por falta, bien por exceso de agua, puede causar la podredumbre (falta de turgencia) de las hojas. Un exceso de luz del sol o de temperatura puede quemar y secar el tejido de las hojas, particularmente en los márgenes de ellas.

Una vez que los factores arriba indicados han sido comprobados y eliminados como causa potencial, puede sospecharse que existe un desorden nutricional. Normalmente, en los cultivos hidropónicos, los desórdenes nutricionales se muestran a la vez en todas las plantas; no obstante, a veces, los desórdenes por falta de nutrición pueden empezar en algunas plantas y progresar en las más cercanas. El paso siguiente será identificar el desorden nutricional por medio del uso de una «llave» (tabla 2.4). Los síntomas por deficiencia y toxicidad de todos los elementos esenciales se dan en la tabla 2.5. Estas descripciones pueden ser usadas en conjunto con la «llave» para ayudar en la identificación del desorden o desórdenes del nutriente. Estas dos tablas describen los síntomas que normalmente podemos esperar que aparezcan en la mayoría de las plantas. Como ya hemos indicado, las diferentes plantas pueden expresar los diversos síntomas con mayor o menor grado, según su especie. En la tabla 2.6 se incluye como complemento de la 2.5 una completa información sobre los síntomas específicos y sus remedios en los tomates y pepinos.

TABLA 2.4
Llave de los síntomas de las deficiencias minerales

<i>Síntomas</i>	<i>Elemento con deficiencia</i>
A. Hojas viejas o inferiores afectadas.	
B. Clorosis general y/o secado de las hojas inferiores, crecimiento retardado.	
C. La clorosis avanza de verde pálido a amarillo, desde las hojas viejas hasta el nuevo crecimiento. El crecimiento es restringido y débil, pérdida de hojas viejas	Nitrógeno
CC. Las hojas permanecen de color verde oscuro, crecimiento restringido, coloración púrpura característica del envés de las hojas. Las hojas inferiores se caen. Crecimiento de las raíces restringido. Cuajado del fruto retrasado	Fósforo
BB. Moteado o clorosis localizada con o sin manchas muertas, sin secado de las hojas inferiores.	
C. Clorosis internervial, efecto moteado con nervios verdes. Los márgenes se rizan hacia arriba, manchas necróticas, tallos delgados	Magnesio
CC. Hojas moteadas o cloróticas con manchas de tejido muerto.	
D. Pequeñas manchas muertas en las puntas y entre los nervios. Márgenes rizados hacia abajo con manchas marrones. El crecimiento es restringido, tallos delgados. Raíces pobremente desarrolladas	Potasio
DD. Manchas generalizadas, ensanchándose rápidamente hasta incluir a los nervios, hojas gruesas, tallos con entrenudos cortos. Hojas jóvenes pequeñas, clorosis internervial, moteado, rizado hacia abajo	Zinc
E. Moteado de hojas viejas con nervios que permanecen verde pálido. Los márgenes de las hojas se hacen necróticos, pudiéndose rizar hacia arriba. Manchas necróticas de las puntas y márgenes de las hojas. Los síntomas se extienden a las hojas jóvenes cuando avanza la deficiencia	Molibdeno

TABLA 2.4. (Continuación)
Llave de los síntomas de las deficiencias minerales

<i>Síntomas</i>	<i>Elemento con deficiencia</i>
AA. Los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes - crecimiento terminal.	
B. Yemas terminales deformadas, hojas jóvenes cloróticas en las puntas, con manchas necróticas que se extienden por los márgenes de las hojas que mueren.	
C. Las yemas terminales no presentan tejidos frágiles, hojas jóvenes cloróticas, las hojas viejas permanecen verdes, tallos gruesos y leñosos, yemas terminales necróticas que mueren, podredumbre apical del fruto	Calcio
CC. Yemas terminales -hojas y peciolo- de color verde pálido a amarillo, tejido frágil, con frecuencia deformado o torcido. Rosetado del crecimiento terminal debido al acortamiento de los entrenudos. La yema terminal muere y se puede formar un nuevo crecimiento en las axilas inferiores de las hojas, pero estos brotes chupones (especialmente en tomate) muestran síntomas similares de clorosis, necrosis, ennegrecimiento y fragilidad. Ennegrecimiento interno, maduración con manchas del tomate	Boro
BB. Yemas terminales vivas, no deformadas, marchitamiento o clorosis con o sin manchas muertas, nervios de color verde pálido u oscuro.	
C. Hojas jóvenes marchitas, clorosis, necrosis, crecimiento retardado, yemas terminales inclinadas.....	Cobre
CC. Hojas jóvenes no marchitas, clorosis con o sin necrosis y manchas muertas.	
D. Clorosis internervial, los nervios permanecen verdes produciendo un efecto de reticulado. Las superficies cloróticas se vuelven marrones para formar después manchas necróticas de tejido muerto	Manganeso
DD. Sin manchas internerviales muertas, la clorosis de los tejidos puede aparecer o no en los nervios.	
E. Las hojas uniformemente de color verde pálido se vuelven amarillas, nervios no verdes, crecimiento pobre y débil, tallos duros y leñosos	Azufre
EE. El tejido entre los nervios se vuelve amarillo, nervios verdes, eventualmente los nervios se hacen cloróticos. El tejido internervial amarillo se vuelve blanco, pero sin necrosis. Tallos delgados y cortos. Las flores abortan y se caen, los racimos de flores del tomate son pequeños y con tallos finos	Hierro

2.5.3. Utilización de una llave

La llave que hemos presentado es una tabla dicotoma. Deberá tomarse una decisión en cada uno de los caminos alternativos y, finalmente, encontraremos una sola explicación. La llave para un desorden nutricional está basada en los síntomas observados en la planta, de aquí la importancia de estar muy seguros en la descripción de dicho síntoma. La llave (tabla 2.4) nos servirá en determinadas deficiencias minerales, pero no en toxicidades.

La primera decisión que debemos tomar será con relación a los efectos en las hojas más viejas (A) frente a los efectos en las hojas más jóvenes y superiores (AA). Una vez que esta elección ha sido hecha, continúa otra serie de elecciones. El siguiente paso es (B) frente a (BB) bajo la previa elección de (A) o (AA). Entonces (C) frente a (CC), (D)

TABLA 2.5
Síntomas de deficiencia y toxicidad en los elementos esenciales

1. Nitrógeno

Síntomas de deficiencia: Se reduce el crecimiento y las plantas, generalmente se vuelven amarillas (cloróticas) a causa de la pérdida de clorofila especialmente las hojas más viejas. Las hojas más jóvenes permanecen verdes más tiempo que el indicado para las más viejas. El tallo, los peciolo y las superficies de las hojas del maíz y del tomate pueden volverse púrpuras.

Síntomas de toxicidad: Las plantas, normalmente, toman un color verde oscuro, con follaje abundante pero a menudo con un sistema muy reducido de raíces. Las patatas forman solamente pequeños tubérculos y se les retarda la floración y producción de semillas.

2. Fósforo

Síntomas de deficiencia: Las plantas suelen parar su desarrollo y a menudo toman un color verde oscuro. Existe una acumulación de pigmentos de Antocianina. Los síntomas de deficiencia aparecen en primer lugar en las hojas más maduras. A menudo se atrasa la madurez de las plantas.

Síntomas de toxicidad: Al principio no se notan los síntomas, algunas veces, las deficiencias de cobre o zinc ocurren ante un exceso de fósforo.

3. Potasio

Síntomas de deficiencia: Los síntomas son primero visibles en las hojas más viejas. En las dicotiledóneas, estas hojas se vuelven inicialmente cloróticas, pero pronto aparecen lesiones necróticas esparcidas por toda su superficie. En muchas monocotiledóneas, los vértices y márgenes de las hojas se secan rápidamente. La deficiencia en potasio desarrolla tallos débiles en el maíz y es fácilmente localizable.

Síntomas de toxicidad: Normalmente no existe demasiada absorción de este elemento por las plantas. Las naranjas desarrollan frutos de piel vasta ante niveles altos de potasio. El exceso de potasio puede dar lugar a una deficiencia de magnesio y posiblemente a deficiencias en manganeso, zinc o hierro.

4. Azufre

Síntomas de deficiencia: No suele encontrarse a menudo. Generalmente aparece un amarilleo de las hojas que suele ser visible, en primer lugar, en las más jóvenes.

Síntomas de toxicidad: Existe una reducción en el crecimiento y tamaño de las hojas. Estos síntomas en las hojas a menudo son difíciles de observar. Algunas veces, las zonas entre los nervios amarillean y acaban por secarse.

5. Magnesio

Síntomas de deficiencia: Aparece una clorosis en las hojas, en la zona entre las nerviaduras, desarrollándose, en primer lugar, en las más viejas. La clorosis puede empezar en los márgenes de las hojas o en los vértices y progresar hacia su parte interior en la zona entre las nerviaduras.

Síntomas de toxicidad: Existe muy poca información disponible sobre los síntomas visuales.

6. Calcio

Síntomas de deficiencia: El desarrollo de los tallos suele quedar inhibido y los extremos de las raíces pueden morir. Las hojas jóvenes se ven afectadas antes que las más viejas, volviéndose irregulares y pequeñas, con márgenes del mismo tipo y moteado de zonas necróticas.

Síntomas de toxicidad: No existen síntomas visibles. Normalmente suele estar asociado con un exceso de carbonato.

7. Hierro

Síntomas de deficiencia: Aparece una clorosis entre las nerviaduras muy pronunciada, parecida a la causada por la deficiencia de magnesio, con la diferencia de estar situada en las hojas más jóvenes.

Síntomas de toxicidad: En las condiciones naturales no se evidencia a menudo. Después de pulverizaciones han aparecido algunas veces puntos necróticos.

TABLA 2.5. (Continuación)
Síntomas de deficiencia y toxicidad en los elementos esenciales

8. Cloro

Síntomas de deficiencia: Hojas marchitas que posteriormente se vuelven cloróticas y necróticas; algunas veces aparece un color bronceado. El desarrollo de la raíz es pobre y ésta se engruesa cerca de sus extremos.

Síntomas de toxicidad: Quemado de los bordes y extremos de las hojas. Bronceado, amarilleo y algunas veces clorosis de las hojas, que a su vez pueden dividirse. Se reduce el tamaño de las hojas y el desarrollo general es muy bajo.

9. Manganeso

Síntomas de deficiencia: Los síntomas iniciales son a menudo una clorosis de la zona entre las nerviaduras de las hojas, tanto jóvenes como viejas, según la especie. Con posterioridad pueden aparecer lesiones necróticas y caída de las propias hojas. Desorganización del cloroplasto.

Síntomas de toxicidad: Algunas veces aparece clorosis, existiendo una distribución irregular de la clorofila y provocándose una deficiencia en hierro (piña). Reducción en el crecimiento.

10. Boro

Síntomas de deficiencia: Los síntomas varían según las especies. A menudo suelen morir los tallos y la zona meristemática apical de las raíces. Los vértices de las raíces a menudo se vuelven descoloridos y se hinchan. Los tejidos internos suelen desintegrarse (o decolorarse) (por ejemplo, «corazón rojo» de la remolacha). Las hojas muestran síntomas variados, incluyendo engrosamiento, brillantez, rizado, marchitez y moteado clorótico.

Síntomas de toxicidad: El amarilleo del vértice de las hojas es seguido por una necrosis progresiva de éstas desde la zona basal hasta los márgenes y vértices.

11. Zinc

Síntomas de deficiencia: Reducción de la longitud de los internodos y del tamaño de las hojas. Los bordes de las hojas se distorsionan a menudo. Algunas veces aparece una clorosis entre las nerviaduras.

Síntomas de toxicidad: El exceso de zinc produce comúnmente clorosis férrica en las plantas.

12. Cobre

Síntomas de deficiencia: Esta deficiencia es rara de forma natural. Las hojas más jóvenes se vuelven comúnmente verde oscuro y se enrollan, frecuentemente aparece un moteado necrótico.

Síntomas de toxicidad: Desarrollo reducido seguido por síntomas de clorosis férrica, achaparramiento, se reduce la formación de las ramas, engrosamiento y oscurecimiento anormal de la zona de las raíces.

13. Molibdeno

Síntomas de deficiencia: A menudo se desarrolla una clorosis entre las nerviaduras, primero en las hojas más viejas y después, de forma progresiva, en las más jóvenes (semejante a la deficiencia en nitrógeno). A veces, las hojas se ahuecan y aparecen quemaduras en sus bordes.

Síntomas de toxicidad: Se observan raramente. Las hojas de tomate pueden volverse amarillo brillante; las plantas de coliflor, en su primer estado, pueden aparecer con un color púrpura brillante.

frente (DD), etc. Por ejemplo, usemos la llave para encontrar los siguientes síntomas: Las hojas más jóvenes (superiores) de una planta están cloróticas, las nerviaduras verdes y no se ve ningún moteado de tejido muerto. Las yemas terminales están vivas y no marchitas. Las hojas más viejas (superiores) no muestran síntomas. La zona de desarrollo terminal está ligeramente alargada y existe algún aborto de flores. Como las hojas superiores están afectadas, la primera elección será (AA), la yema terminal está viva;

TABLA 2.6

Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos móviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

1. *NITROGENO:*

Tomates

Plantas alargadas.
Las hojas inferiores, verde amarillento.
Casos severos, toda la planta verde pálido.
Nervadura principal, color púrpura.
Fruto pequeño.

Pepinos

Crecimiento achaparrado.
Hojas inferiores, verde amarillento.
Casos severos, toda la planta verde pálido.
Parada del crecimiento de las hojas más jóvenes.
Frutos pequeños, gruesos, verde pálido, espinosos.

Remedios:

1. Pulverización foliar de 0,25 a 0,5 por 100 de una solución de urea.
2. Añadir nitrato cálcico o potásico a la solución de nutrientes.

2. *FOSFORO:*

Tomates

Reducción del crecimiento de los ramos laterales.
Tallos finos.
Casos severos, hojas pequeñas, duras, dobladas hacia abajo.
Haz, verde azulado.
Envés con nerviaduras, púrpura.
Hojas viejas, amarillas, con zonas púrpuras y moteado de puntos secos, prematura caída de éstas.

Pepinos

Achaparrados.
Casos severos, hojas jóvenes, pequeñas, duras, verdes oscuras.
Hojas viejas y cotiledones, burbujas acuosas en las nerviaduras y la zona internervial.
Las hojas afectadas se decoloran, aparece un puntado que se va volviendo pardo y se deseca arrugándose todo, excepto el peciolo.

Remedio:

1. Añadir fosfato monopotásico a la solución de nutrientes.

3. *POTASIO:*

Tomates

Hojas viejas, acorchamiento de las hojillas, márgenes rizados, clorosis entre las nerviaduras, moteado pequeño y seco.
Hojas medias, clorosis entre las nerviaduras con pequeños puntos de secado.
El desarrollo de la planta se reduce, las hojas permanecen pequeñas.
Ultimos estados de desarrollo, las clorosis y necrosis se extienden sobre grandes superficies de las hojas, así como de la parte superior de la planta, las hojas se secan.
Frutos cubiertos con manchas, maduran de forma irregular, áreas verduscas.

Pepinos

Hojas viejas, descoloridas, amarillo verdosas en los márgenes, más tarde pardean y se secan.
El crecimiento de la planta se para, los internodos se acortan, las hojas permanecen pequeñas.
Ultimos estados de desarrollo, las clorosis marginales y entre las nerviaduras se extienden al centro de las hojas progresando también a la parte superior de las hojas, los márgenes superiores de las hojas se desecan, se extiende la necrosis, las nerviaduras principales permanecen verdes.

Remedios:

1. Pulverización foliar de sulfato potásico al 2 por 100.
2. Añadir sulfato potásico a la solución, o bien cloruro potásico, si no está presente en el agua de ésta el cloruro sódico.

TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos móviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

4. MAGNESIO:

Tomates

Hojas viejas, clorosis marginales que van progresando hacia el centro como una clorosis internervial, aparece un moteado necrótico en las hojas cloróticas.

Nervios pequeños, casi sin color verde.

Efectos severos, muerte de las hojas viejas, toda la planta se vuelve amarilla, se reduce la producción de fruto.

Pepinos

Hojas viejas, clorosis internervial desde los márgenes de las hojas hacia la parte interior, se desarrolla un moteado necrótico.

Nervios secundarios, casi sin color verde.

Efectos severos, los síntomas progresan desde las hojas más viejas a las más jóvenes, la totalidad de la planta amarillea, las hojas más viejas se arrugan y mueren.

Remedios:

1. Pulverización foliar de alto volumen con sulfato de magnesio al 2 por 100, o de bajo volumen con sulfato de magnesio al 10 por 100.
2. Añadir sulfato de magnesio a la solución de nutrientes.

5. ZINC:

Tomates

Hojas viejas y terminales, más pequeñas de lo normal. Pequeñas clorosis, aunque irregular desarrollo de un moteado pardo acorchado, especialmente en los pequeños peciolo de las hojillas y en los nervios o las zonas entre las nerviaduras de éstas.

Peciolo rizados hacia abajo, hojas completamente enrolladas.

Efectos severos, necrosis rápida, marchitez de la totalidad del follaje.

Pepinos

Hojas viejas, moteado entre las nerviaduras; los síntomas progresan desde las hojas más viejas a las más jóvenes; no aparece ninguna necrosis.

Internodos en el extremo de la planta, paran su crecimiento; al producir un acercamiento de las hojas superiores dan una apariencia de arbusto.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución de sulfato de zinc del 0,1 al 0,5 por 100.
2. Añadir sulfato de zinc a la solución de nutrientes.

Elementos inmóviles (primeros síntomas en hojas jóvenes)

1. CALCIO:

Tomates

Hojas superiores, amarilleo de los bordes; el envés se vuelve pardo oscuro, especialmente en los bordes; las hojas en formación permanecen finas, deformes y sus bordes se curvan hacia arriba.

Desarrollo en estados posteriores, los ápices y bordes se blanquean y los peciolo se rizan y mueren.

Mueren las yemas vegetativas.

Hojas viejas, se forman finalmente puntos cloróticos y necróticos.

Fruto, podredumbre de la yema floral (parecido a un decaimiento en las yemas terminales fructíferas).

Pepinos

Hojas superiores, manchas blancas junto a los bordes y entre las nervaduras, clorosis marginal internervial que progresa hacia el interior.

Hojas más jóvenes (en la zona de crecimiento) permanecen pequeñas, bordes profundamente divididos rizados hacia arriba, más tarde se arrugan hacia el interior y mueren los puntos vegetativos. Crecimiento se detiene, internodos cortos, especialmente junto al ápice.

Yemas florales abortan, finalmente las plantas van muriendo hacia abajo desde el ápice.

Hojas más viejas, se curvan hacia abajo.

TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos inmóviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

Remedios:

1. Pulverización foliar, en los casos agudos, con una solución del 0,75 al 1,0 por 100 de nitrato cálcico. Se puede utilizar también una al 0,4 por 100 de cloruro de calcio.
2. Añadir nitrato cálcico a la solución de nutrientes, o cloruro cálcico si no se quiere incrementar el nivel de nitrógeno, pero se ha de estar seguro de que existe poco o nada de cloruro sódico en la solución si vamos a utilizar este último.

2. **AZUFRE:**

Tomates

Hojas superiores, rígidas, curvadas hacia abajo eventualmente aparecen puntos necróticos alargados, las hojas amarillean.

Tallos, nervios, peciolo, púrpuras viejas, hojas nuevas, necróticas en los vértices y bordes, pequeños puntos púrpuras entre los nervios.

Pepinos

Hojas superiores, permanecen pequeñas, dobladas hacia abajo, de verde pálido a amarillo, márgenes muy aserrados.

El desarrollo de la planta se reduce, hojas viejas, muy pequeñas, amarilleando.

Remedios:

1. Añadir sulfatos a la solución de nutrientes. El sulfato potásico será el más seguro, puesto que las plantas requieren altos niveles de potasio.

NOTA: Las deficiencias en sulfato son muy raras, ya que normalmente se añaden sulfato de potasio, magnesio y otros en las fórmulas normales de las soluciones nutritivas.

3. **HIERRO:**

Tomates

Hojas terminales, comienza la clorosis en los márgenes y se extiende por toda la hoja, al principio las nervaduras secundarias permanecen verdes dando una apariencia de retícula de nervios verdes sobre un fondo de tejido amarillo, las hojas se vuelven de forma eventual completamente amarillo pálido, no hay necrosis.

Avance, los síntomas empiezan por las hojas terminales y progresan hacia abajo a las hojas más viejas.

Crecimiento se para, tallos alargados, hojas más pequeñas de lo normal.

Flores, abortan.

Pepinos

Hojas jóvenes, retícula fina de nervios verdes con tejido internervial amarillo, más tarde la clorosis se extiende a las nervaduras y la totalidad de la hoja se vuelve amarillo limón, pueden aparecer algunas necrosis en los bordes de las hojas.

Avance, de arriba a abajo.

Crecimiento, se detiene, tallos alargados.

Brotes axilares y frutos, también se vuelven amarillo limón.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución de quelato férrico (FeEDTA) del 0,02 al 0,05 por 100 cada tres o cuatro días.
2. Añadir quelato férrico a la solución de nutrientes.

TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos inmóviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

4. BORO:

Tomates

Puntos vegetativos, se reduce el desarrollo de los brotes, van palideciendo y acaban por morir.
 Hojas superiores, clorosis internervial moteado en las hojas más pequeñas se pardean y mueren.
 Hojas intermedias, amarillo naranja, nervios amarillos o púrpuras.
 Hojas viejas, verde, amarillas.
 Brotes laterales, mueren los puntos vegetativos.
 Pecíolos, muy quebradizos, apariencia extraña del tejido vascular.

Pepinos

Apice, en los puntos más jóvenes de crecimiento de las hojas no llegan a abrirse, se rizan y mueren.
 Brotes axiales, blanquean y mueren.
 Hojas más viejas, se doblan hacia arriba comenzando por los márgenes, duras, moteado internervial.
 Yemas terminales, para su desarrollo, tienden a achaparrarse.

Remedios:

1. Aplicar una pulverización foliar tan pronto como se detecte, con una solución de bórax del 0,1 al 0,25 por 100.
2. Añadir bórax a la solución de nutrientes.

5. COBRE:

Tomates

Hojas medias y jóvenes, márgenes rizados como un tubo, no hay clorosis ni necrosis, color verde azulado, hojas terminales pequeñas rígidas y dobladas.
 Pecíolos, doblados hacia abajo, las hojas más pequeñas opuestas se rizan en forma de tubo unas con otras.
 Tallo, paran el desarrollo.
 Avance, en los últimos estados aparece un moteado junto, y en las nervaduras.

Pepinos

Hojas jóvenes, permanecen pequeñas.
 Desarrollo de la planta, se reduce, se acortan los internodos, aspecto achaparrado.
 Hojas viejas, manchas de clorosis entre las nervaduras.
 Avance, las hojas se vuelven de verde oscuro a tono bronce, necrosis, toda la hoja blanquea, la clorosis se extiende de las hojas más jóvenes a las más viejas.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución de sulfato de cobre del 0,1 al 0,2 por 100, a la cual se ha añadido un 0,5 por 100 de caliza hidratada.
2. Añadir sulfato de cobre a la solución de nutrientes.

6. MANGANESO:

Tomates

Hojas medias y viejas, se vuelven pálidas, más tarde, también las jóvenes; es característico un reticulado de nervaduras verdes, así como sus bordes y el resto de la zona internervial de color amarillo.
 Más tarde aparecen puntos necróticos en zonas decoloradas, la clorosis es menos severa que con la carencia de hierro, y también se observa que la clorosis no es sólo en las hojas jóvenes, como es el caso del hierro.

Pepinos

Hojas jóvenes o terminales, moteado amarillento internervial, al principio los nervios permanecen verdes pareciendo una malla verde sobre fondo amarillo.
 Avance más tarde, con excepción de los nervios principales, toda la hoja se vuelve amarilla, con puntos profundos necróticos entre éstos.
 Brotes, cortos, y las hojas nuevas permanecen muy pequeñas.
 Hojas viejas, se vuelven pálidas y son las primeras en morir.

TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos inmóviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

Remedios:

1. Pulverización foliar al 0,1 por 100 con alto volumen o 1 por 100 con bajo volumen, de una solución de sulfato de manganeso.
2. Añadir sulfato de manganeso en la solución de nutrientes.

7. MOLIBDENO:

Tomates

Todas las hojas, las hojas muy jóvenes presentan zonas de color amarillo-pálido entre nervaduras, los bordes se rizan hacia arriba en forma de tubo, los nervios secundarios no permanecen verdes, las necrosis empiezan en las zonas amarillas y los bordes de las hojas nuevas terminales, para acabar por todas las hojas que se acorchan.

Avance, de las más viejas a las más jóvenes, aunque los cotiledones permanecen verdes durante mucho tiempo.

Pepino

Hojas viejas, se decoloran especialmente entre las nervaduras, más tarde las hojas se vuelven verde pálido, finalmente amarillas y mueren.

Avance, desde las hojas más viejas hacia las más jóvenes de la parte superior, las hojas más jóvenes permanecen verdes.

Desarrollo normal, pero las flores son pequeñas.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución del 0,7 al 0,1 por 100 de una solución de molibdato sódico o amónico.
2. Añadir molibdato amónico o sódico a la solución.

así pues, la elección siguiente será (BB). La siguiente decisión es (C) frente (CC); como existe clorosis, pero no marchitez, la elección correcta será (CC). La alternativa de (D) o (DD) puede hacerse en base a la falta de puntos secos o muertos. La elección propia será la (DD). La elección entre azufre (E) frente al hierro (EE) será un poco difícil. En el caso de azufre, el tejido entre las nerviaduras suele estar ligeramente verde, sin que aparezca el amarillo brillante de la deficiencia de hierro. El aborto de flores y alargamiento del tallo indica también que existen más probabilidades de una deficiencia en hierro que en azufre. Como resultado, la elección final será una deficiencia en hierro.

Referencias

- Amon, D. I.: «Inorganic micronutrient requirements of higher plants». *Proc. 7th Int. Bot. Cong.* Stockholm, 1950.
- «Growth and function as criteria in determining the essential nature of inorganic nutrients». In *Mineral nutrition of plants*. Ed. E. Truog. Madison: Univ. Wisconsin Press, 313-41, 1951.
- Amon, D. I., y Stout, P. R.: «The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper». *Plant Physiol.* 14: 371-75, 1939.
- Buckman, H. O., y Brady, N. C.: *The nature and properties of soils*. 6th ed. New York: Macmillan, 1966.
- Epstein, E.: *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. New York: Wiley, 1972.
- Gauch, H. G.: *Inorganic plant nutrition*. Stroudsburg, Pa.: Dowden, Hutchinson and Ross, 1972.
- Kramer, P. J.: *Plant and soil water relationships: a modern synthesis*. New York: McGraw-Hill, 1969.

- Roorda van Eysinga, J. P. N. L., y Smilde, K. W.: *Nutritional disorders in cucumbers and gherkins under glass*. Wageningen: Center for Agric. Publ. and Documentation, 1969.
- *Nutritional disorders in glasshouse lettuce*. Wageningen: Center of Agric. Publ. and Documentation, 1971.
- Salisbury, F. B., y Ross, C.: *Plant physiology*. Belmont, Calif.: Wadsworth, 1969.
- Smilde, K. W., y Roorda van Eysinga, J. P. N. L.: *Nutritional diseases in glasshouse tomatoes*. Wageningen: Center for Agric. Publ. and Documentation, 1968.
- Sprague, H. B.: *Hunger signs in crops: a symposium*. 3rd ed. New York: David McKay, 1964.

3

La solución de nutrientes

3.1. Sales inorgánicas (fertilizantes)

En los cultivos hidropónicos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua, para preparar la solución de nutrientes. La elección de las sales que deberán ser usadas depende de un elevado número de factores. La proporción relativa de iones que deberemos añadir a la composición se comparará con la necesaria en la formulación del nutriente; por ejemplo, una molécula de nitrato potásico (KNO_3) proporcionará un ion de potasio (K^+) y otro ion de nitrato (NO_3^-), así como una molécula de nitrato cálcico [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] nos dará un ion de calcio (Ca^{++}) y dos iones de nitrato 2 (NO_3^-). Así pues, si necesitamos un número mínimo de cationes, mientras que suministremos suficiente nitrato (aniones), el nitrato cálcico podría ser utilizado. Es decir, que sería necesario como mucho la mitad de nitrato cálcico que de nitrato potásico para suministrar las necesidades del anión nitrato.

Las diferentes sales fertilizantes que podemos usar para la solución de nutrientes tienen a la vez diferente solubilidad. La solubilidad es la medida de la concentración de sal que permanece en solución cuando disolvemos ésta en agua; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de ésta se disolverá en el agua. En los cultivos hidropónicos, las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas. Por ejemplo, el calcio puede ser suministrado, bien por el nitrato cálcico, o por el sulfato cálcico; el sulfato cálcico es más barato, pero su solubilidad es muy baja, por tanto, el nitrato cálcico deberá ser el que usemos para suministrar la totalidad de las necesidades de calcio.

El coste de un fertilizante en particular deberá considerarse según vayamos a utilizarlo; en general, deberá usarse lo que normalmente se denomina como grado o calidad de invernadero: el coste es, a veces, más grande que una calidad estándar, pero la dureza o solubilidad es mucho mayor. Una calidad pobre contendrá siempre gran cantidad de materia inerte (arcilla, partículas de limo), la cual puede formar una capa sobre la zona radicular; dicha capa no solamente puede impedir alcanzar esta zona a otros nutrientes, sino también taponará las líneas de alimentación. El nitrato cálcico de calidad regular es enviado a granel a América del Norte y envasado en este continente. Para el envío a gra-

nel, es cubierto con un plastificador grasiento para prevenir la acumulación de agua, pues es hidrocópico (atrae al agua). Desgraciadamente, en la utilización de soluciones de nutrientes esta cubierta grasienta produce una espesa capa que flota en la superficie de la solución y taponas las líneas de riego, haciendo difícil la limpieza de los tanques y del equipo. Para evitar este problema, hay que usar la calidad especial de soluciones de nutrientes de invernadero, llamada «Solution Grade», que viene envasada en un saco verde, y no en los sacos azul y rojo, o rojos, de las calidades regulares (marca «Viking Ship»). La disponibilidad del nitrato frente a los compuestos amónicos es importante en las plantas para inducir tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo. Las plantas pueden absorber tanto el ion catiónico del amonio (NH_4^+) como el anión nitrato (NO_3^-). El amonio, una vez absorbido, puede servir inmediatamente para la síntesis, bien sea de aminoácidos o de otros compuestos que contengan nitrógeno en reducción; la absorción de amonio puede causar un crecimiento vegetativo excesivo, particularmente bajo condiciones de luminosidad muy pobres. El nitrógeno y el nitrato pueden ser reducidos antes de ser asimilados, disminuyéndose de esta forma el crecimiento vegetativo. Las sales de amonio podrían ser utilizadas bajo brillantes condiciones de sol en verano, cuando la fotosíntesis es alta, o bien si sucede una deficiencia de nitrógeno y hace falta una rápida fuente de él; en cualquier caso, las sales de nitrato deberán ser las utilizadas.

Un resumen de algunas de las sales que podríamos utilizar en una solución de nutrientes para el cultivo hidropónico se da en la tabla 3.1. La particular elección de las sales dependerá de lo ya anteriormente dicho y también de las disponibilidades del mercado. Si vamos a utilizar un medio seco, tal como serrín, turba o vermiculita, pueden emplearse algunas de las sales más insolubles, mientras que si la solución de nutrientes se va a preparar con anterioridad, deberíamos utilizar aquellas más solubles (las cuales están marcadas con un asterisco). El cloruro potásico y el cálcico deberán ser utilizados solamente para corregir las deficiencias de potasio y calcio, respectivamente; no obstante, solamente podremos utilizarlos si están presentes en la solución de nutrientes cantidades insignificantes de cloruro sódico (menos de 50 ppm), ya que si estos cloruros se añaden en presencia de sodio, resultará un veneno para las plantas.

El uso de quelatos (hierro, manganeso y zinc) es altamente recomendable, puesto que permanecen fácilmente en la solución y están siempre disponibles para las plantas, incluso bajo condiciones de pH muy variables. Una sal de quelato puede definirse como un compuesto orgánico soluble, al cual los elementos minerales se adhieren hasta que son tomados por las raíces de las plantas; el compuesto orgánico es el EDTA (ácido etileno-diaminotetra acético). El EDTA tiene una gran afinidad para los iones cálcicos, y es por esto un pobre agente de acción de quelato para un medio calcáreo (piedra caliza, arena coralífera). En este caso debería reemplazarse por EDDHA (ácido etilenodiamino dihidroxifenil acético). El hierro se puede suministrar con la sal de hierro de DTPA (pentacetato dietilenotriamino sódico férrico), cuya abreviatura es Fe-DP y que contiene un 7% de hierro.

3.2. Compuestos recomendados para una solución completa de nutrientes

El calcio deberá suministrarse por medio del nitrato cálcico. El nitrato cálcico también aportará nitrógeno del nitrato. Cualquier otro nitrógeno adicional que sea preciso deberá suministrarse por medio del nitrato potásico, el cual también proveerá de algún

TABLA 3.1
Resumen de las sales fertilizantes utilizadas en los cultivos hidropónicos

<i>Fórmula química</i>	<i>Nombre químico</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Elementos que se aportan</i>	<i>Relación de solubilidad del soluto al agua</i>	<i>Coste</i>	<i>Otros datos</i>
A) Macroelementos						
*KNO ₃	Nitrato potásico (Salpeter)	101,1	K ⁺ , NO ₃ ⁻	1:4	Bajo	Altamente soluble, muy puro.
*Ca(NO ₃) ₂	Nitrato cálcico	164,1	Ca ⁺⁺ , 2(NO ₃ ⁻)	1:1	Bajo-medio	Altamente soluble, pero se prepara con una cubierta grasienta, la cual debe ser limpiada de la solución de nutrientes.
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfato amónico	132,2	2(NH ₄ ⁺), SO ₄ ⁼	1:2	Medio	Estos compuestos deberán utilizarse solamente bajo condiciones muy buenas de iluminación o para corregir deficiencias de nitrógeno.
NH ₄ H ₂ PO ₄	Dihidrofosfato amónico	115,0	NH ₄ ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	1:4	Medio	
NH ₄ NO ₃	Nitrato amónico	80,05	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	1:1	Medio	Una sal excelente altamente soluble y pura, pero muy costosa.
(NH ₄) ₂ HPO ₄	Fosfato amónico	132,1	2(NH ₄ ⁺), HPO ₄ ⁼	1:2	Medio	
*KH ₂ PO ₄	Fosfato monopotásico	136,1	K ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	1:3	Muy caro	
KCl	Cloruro potásico (Muriato de Potasa)	74,55	K ⁺ , Cl ⁻	1:3	Caro	Deberá utilizarse solamente en caso de deficiencias en K, y cuando no esté presente el cloruro sódico en la solución.
*K ₂ SO ₄	Sulfato potásico	174,3	2K ⁺ , SO ₄ ⁼	1:15	Barato	Tiene una solubilidad muy baja, pero se disuelve en agua caliente.

TABLA 3.1. (Continuación)
Resumen de las sales fertilizantes utilizadas en los cultivos hidropónicos

<i>Fórmula química</i>	<i>Nombre químico</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Elementos que se aportan</i>	<i>Relación de solubilidad del soluto al agua</i>	<i>Coste</i>	<i>Otros datos</i>
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Fosfato monocalcico	252,1	$\text{Ca}^{++}, 2(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$	1:60	Barato	Muy difícil de obtener con un buen grado de solubilidad.
$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	Superfosfato triple	Variable	$\text{Ca}^{++}, 2(\text{PO}_4^{=})$	1:300	Barato	Muy baja solubilidad, es muy bueno solamente para preparaciones en seco, pero no para soluciones de nutrientes.
* $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de magnesio (sales de Epsom)	246,5	$\text{Mg}^{++}, \text{SO}_4^{=}$	1:2	Barato	Excelente, barato, altamente soluble, sal pura.
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Cloruro cálcico	219,1	$\text{Ca}^{++}, 2\text{Cl}^-$	1:1	Caro	Altamente soluble, muy bueno para compensar las deficiencias en Ca, pero deberá utilizarse solamente si no está presente en la solución de nutrientes el NaCl.
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato cálcico (yeso)	172,2	$\text{Ca}^{++}, \text{SO}_4^{=}$	1:500	Barato	Muy soluble, no puede ser utilizado en las soluciones de nutrientes.
H_3PO_4	Acido fosfórico Acido ortofosfórico	98,0	$\text{PO}_4^{=}$	Solución concentrada de ácido	Caro	Muy bueno para corregir las deficiencias de P.

B) Microelementos

FeSO ₄ ·7H ₂ O	Sulfato de hierro (vitriolo verde)	278,0	Fe ⁺⁺ , SO ₄ ⁻	1:4		
FeCl ₃ ·6H ₂ O	Cloruro férrico	270,3	Fe ⁺⁺⁺ , 3Cl ⁻	1:2		
*FeEDTA	Quelato de hierro (sequestrene) (10,5% hierro)	382,1	Fe ⁺⁺	Altamente soluble	Caro	La mejor fuente de hierro; se disuelve en agua caliente.
*H ₃ BO ₃	Acido bórico	61,8	B ⁺⁺⁺	1:20	Caro	La mejor fuente de boro; se disuelve en agua caliente.
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	Tetraborato sódico (bórax)	381,4	B ⁺⁺⁺	1:25		
*CuSO ₄ ·5H ₂ O	Sulfato de cobre (piedra azul)	249,7	Cu ⁺⁺ , SO ₄ ⁻	1:5	Barato	
*MnSO ₄ ·4H ₂ O	Sulfato de manganeso	223,1	Mn ⁺⁺ , SO ₄ ⁻	1:2	Barato	
MnCl ₂ ·4H ₂ O	Cloruro de manganeso	197,9	Mn ⁺⁺ , 2Cl ⁻	1:2	Barato	
*ZnSO ₄ ·7H ₂ O	Sulfato de zinc	287,6	Zn ⁺⁺ , SO ₄ ⁻	1:3	Barato	
ZnCl ₂	Cloruro de zinc	136,3	Zn ⁺⁺ , 2Cl ⁻	1:1,5	Barato	
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	Molibdato amónico	1.163,9	NH ₄ ⁺ , Mo ⁺⁶	1:2,3	Relativamente caro	
*ZnEDTA	Quelato de zinc	431,6	Zn ⁺⁺	Altamente soluble	Caro	
*MnEDTA	Quelato de manganeso	381,2	Mn ⁺⁺	Altamente soluble	Caro	

* Estos compuestos, que son los más solubles, deberán ser utilizados para preparar la solución de nutrientes.

potasio. Todo el fósforo deberá obtenerse a partir del fosfato monopotásico, el cual también aportará algún potasio. Las necesidades de potasio que aún existan podrán obtenerse a partir del sulfato potásico, el cual también aportará algo de azufre. El azufre que necesitamos añadir podrá obtenerse de otros sulfatos, tales como sulfato de magnesio, el cual es también usado para aportar las necesidades de magnesio.

Los micronutrientes pueden obtenerse a partir de preparados comerciales. Si bien éstos son relativamente caros, nos evitan el difícil trabajo de pesar individualmente los compuestos que contienen dichos preparados.

Es posible que los cultivadores aficionados quieran usar premezclas para los macronutrientes, pero los agricultores profesionales deben utilizar los compuestos básicos indicados en la tabla 3.1. La razón para ello es que es muy difícil conseguir una mezcla homogénea de fertilizantes cuando se mezclan cientos de libras de compuestos individuales con un mezclador mecánico. Muchos de los compuestos están en forma de polvo o de grano fino, y con frecuencia llenos de grumos, que no se mezclan uniformemente. La experiencia con estas premezclas ha revelado escasez de magnesio, casi siempre una escasez de hierro y muchas veces exceso de manganeso. Además, las premezclas no ofrecen la flexibilidad en la manipulación de una formulación de nutrientes que es necesaria durante los diferentes estados de desarrollo de la planta, y bajo las cambiantes horas de luz solar y de longitud del día. Esta capacidad para introducir cambios en la formulación de los nutrientes es imperativa para la optimización de los rendimientos de las cosechas.

3.3. Análisis de los fertilizantes químicos

Las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio disponibles se nos dan en los sacos de fertilizantes como porcentajes de nitrógeno (N), anhídrido fosfórico (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O). Esto se ha utilizado de forma tradicional expresado siempre en dichos términos y no en porcentajes de N, P o K. Por ejemplo, el nitrato potásico se dará como 13-0-44, lo que nos indica un 13 por 100 de N, 0 por 100 P_2O_5 y 44 por 100 K_2O .

Las formulaciones de nutrientes para los cultivos hidropónicos se expresan dando el nitrógeno como N, NH_4^+ , o NO_3^- ; el fósforo como P o PO_4^{3-} y no como P_2O_5 ; y el potasio como K^+ , y no como K_2O . Así pues, es necesario convertir N en NO_3^- , P_2O_5 como P o PO_4^{3-} , y K_2O como K^+ , o viceversa, en cada caso. La conversión de esta naturaleza puede efectuarse calculando la fracción de cada elemento que ha dado lugar al compuesto. La tabla 3.2 nos da los factores de conversión para determinar la fracción de cada elemento en un compuesto, y viceversa. Dicha tabla se ha obtenido por medio del uso de los pesos atómicos y moleculares como sigue: la fracción de N en NO_3^- es el peso atómico del nitrógeno (14) dividida por el peso molecular del nitrato (62).

El cálculo es: $14/62 = 0,226$. En la tabla 3.2 aparece este factor en la segunda línea del factor de conversión B-A. Esto es debido a que tenemos nitrato y queremos encontrar la cantidad de nitrógeno en él. Para determinar la cantidad necesaria de nitrato por unidad de nitrógeno, se usa el recíproco (inverso) de la fracción, empleando la siguiente relación para hallar «x»:

$$\frac{1}{14} \times N = NO_3^- \text{, de donde } 14 \times = 62$$

por tanto: $x = 62/14 = 4,429$

LA SOLUCION DE NUTRIENTES

TABLA 3.2
Factores de conversión para las sales fertilizantes

Columna A *	Columna B*	Factores de conversión	
		A-B	B-A
Nitrógeno (N)	Amoníaco (NH_3)	1.216	0,822
	Nitrato (NO_3)	4.429	0,226
	Nitrato potásico (KNO_3)	7.221	0,1385
	Nitrato cálcico ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	5.861	0,171
	Sulfato amónico ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	4.721	0,212
	Nitrato amónico (NH_4NO_3)	2.857	0,350
	Fosfato biamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)	4.717	0,212
Fósforo (P)	Anhídrido fosfórico (P_2O_5)	2.292	0,436
	Fosfato (PO_4)	3.066	0,326
	Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)	4.394	0,228
	Fosfato biamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)	4.255	0,235
	Acido fosfórico (H_3PO_4)	3.164	0,316
Potasio (K)	Potasa (K_2O)	1.205	0,830
	Nitrato potásico (KNO_3)	2.586	0,387
	Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)	3.481	0,287
	Cloruro potásico (KCl)	1.907	0,524
	Sulfato potásico (K_2SO_4)	2.229	0,449
Calcio (Ca)	Oxido cálcico (CaO)	1.399	0,715
	Nitrato cálcico ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	4.094	0,244
	Cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	5.467	0,183
	Sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	4.296	0,233
Magnesio Mg)	Oxido de magnesio (MgO)	1.658	0,603
	Sulfato magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	10.14	0,0986
Azufre (S)	Acido sulfúrico (H_2SO_4)	3.059	0,327
	Sulfato amónico ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	4.124	0,2425
	Sulfato potásico (K_2SO_4)	5.437	0,184
	Sulfato magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	7.689	0,130
	Sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	5.371	0,186
Hierro (Fe)	Sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	4.978	0,201
	Quelato de hierro (Fe EDTA)	10.00	0,100
	(Sequestrene - 10% hierro)		
Boro (B)	Acido bórico (H_3BO_3)	5.717	0,175
	Tetraborato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (Bórax)	8.820	0,113
Cobre (Cu)	Sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	3.930	0,254
Manganeso (Mn)	Sulfato manganésico ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	4.061	0,246
	Cloruro manganésico ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	3.602	0,278
	Quelato manganésico (Mn EDTA)	20.00	0,050
	(5% líquido)		
Zinc (Zn)	Sulfato de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	4.400	0,227
	Cloruro de zinc ($\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	2.085	0,480
	Quelato de zinc (Zn EDTA)	7.143	0,140
	(14% polvo)		
Molibdeno (Mo)	Quelato de zinc (96% líquido)	11.11	0,090
	Molibdato amónico ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)	1.733	0,577
	Molibdato sódico ($\text{Na}_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)	1.777	0,563

NOTA: Estos factores se derivan de la fracción de un elemento presente en un compuesto basada en el peso atómico del elemento y el peso molecular del compuesto.

* Para encontrar los equivalentes de los datos de la columna A en forma de los de la columna B, se multiplicará la cantidad del elemento A por el factor indicado en la columna A-B. Lo inverso se obtendrá multiplicando la cantidad de B por el factor B-A.

Este es el factor de conversión A-B que aparece en la segunda línea de la tabla 3.2. La comprensión de este concepto para la obtención de estos factores posibilitará el cálculo de otros factores, en el caso de que se usaran otros compuestos diferentes a los que aparecen en la tabla 3.2.

TABLA 3.3
Porcentaje de pureza de los fertilizantes comerciales

<i>Sal</i>	<i>% pureza</i>
Fosfato amónico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) (especial soluble)	98
Sulfato amónico ($\text{HN}_4)_2\text{SO}_4$	94
Nitrato amónico puro (NH_4NO_3)	98
Nitrato potásico (KNO_3)	95
Nitrato cálcico [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$]	90
Fosfato monocalcico [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] (especial soluble)	92
Sulfato potásico (K_2SO_4)	90
Cloruro potásico (KCl)	95
Sulfato magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)*	45
Cloruro cálcico (CaCl_2)	75
Sulfato cálcico (CaSO_4) Yeso	70
Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)	98

* La pureza se calcula basándonos en la fórmula indicada. El agua de cristalización no se considera como impureza.
NOTA: En la tabla 3.2 se ha tenido en cuenta el agua de cristalización en el cálculo de los factores de conversión.

Muchos fertilizantes tienen sinónimos o nombres comunes. En la tabla 3.4 figura una lista de estos nombres comunes.

3.4. Impurezas en los fertilizantes

La mayoría de las sales fertilizantes no son puras al 100 por 100, pues a menudo contienen materias inertes, tales como partículas de arcilla, arena y limo, las cuales no aportan ningún ion. Así pues, es preciso que en los sacos de fertilizantes aparezca el porcentaje de pureza dado con un análisis garantizado. Algunos de los porcentajes de pureza de los fertilizantes más comunes se encuentran en la tabla 3.3. Estas impurezas deberán ser tenidas en cuenta cuando se efectúen los cálculos de las necesidades de fertilizantes para la formulación de un nutriente en particular.

Muchos fertilizantes se utilizan con sinónimos como nombre común, es por esto por lo que se da en la tabla 3.4 una lista de los nombres más comunes.

3.5. Formulación de los nutrientes

La formulación de los nutrientes se da normalmente en ppm de la concentración de cada uno de los elementos esenciales. Una parte por millón es una parte de cada uno de ellos en un millón de partes de otro; esto puede ser una medida de peso, por ejemplo, 1 $\mu\text{g/g}$ (un microgramo por gramo); una medida de peso y volumen, por ejemplo, 1 mg/l (un miligramo por litro), o un volumen utilizado como medida, por ejemplo, 1 $\mu\text{l/l}$ (un microlitro por litro). Como prueba de todo esto tenemos lo siguiente:

$$(1) 1 \mu\text{g/g} = \frac{\frac{1}{1.000.000} \text{ g}}{1 \text{ g}} = \frac{1}{1.000.000} \text{ g}$$

$$(2) 1 \mu\text{l/l} = \frac{\frac{1}{1.000.000} \text{ l}}{1 \text{ l}} = \frac{1}{1.000.000} \text{ l}$$

$$(3) 1 \text{ mg/l:}$$

$$1 \text{ mg} = \frac{1}{1.000} \text{ g}; 1 \text{ l} = 1.000 \text{ ml}$$

Así pues:

$$1 \text{ mg/l} = \frac{\frac{1}{1.000} \text{ g}}{1.000 \text{ ml H}_2\text{O}} = \frac{1}{1.000.000} \text{ g,} \quad \text{puesto que 1 ml de H}_2\text{O pesa 1 gramo (g)}$$

3.5.1. Pesos atómicos y moleculares

Los pesos atómicos y moleculares de los elementos y sus componentes, respectivamente, deberán ser utilizados en los cálculos para las concentraciones necesarias en la formulación de los nutrientes. Los pesos atómicos indican los pesos relativos de los diferentes átomos, o sea, cuál es el peso de un átomo comparado con el de otro. Las tablas de los pesos atómicos para cada uno de los átomos han sido efectuadas estableciendo una escala relativa de los pesos atómicos. Para efectuar esto se ha elegido un elemento como base para comparar con él los demás elementos. En el pasado se asignó al oxígeno (O) el peso atómico 16, y todos los demás elementos se han comparado con relación al de éste. La tabla 3.5 da una lista de los pesos atómicos de los elementos más comúnmente utilizados en los cultivos hidropónicos. Cuando varios átomos se combinan entre ellos, forman una molécula. Estas se expresan en su forma molecular. Por ejemplo, el agua es H_2O , estando formada por dos átomos de hidrógeno (H) y un átomo de oxígeno (O). El peso de cualquier fórmula molecular consiste en el peso de las moléculas. O sea, simplemente la suma de los pesos atómicos en la molécula. El peso molecular del agua es 18 (hay dos átomos de hidrógeno, cada uno de los cuales tiene un peso de 1,0, y un átomo de oxígeno que tiene un peso atómico de 16,0). Los pesos moleculares de los fertilizantes más comúnmente utilizados para los cultivos hidropónicos se dan en la tabla 3.1. Los pesos atómicos de todos los elementos conocidos se pueden encontrar en las tablas de los libros de química. Los siguientes ejemplos nos aclararán el uso de los pesos atómicos y moleculares, así como su utilización en los cálculos para la formulación de nutrientes.

CULTIVOS HIDROPONICOS

TABLA 3.4

Nombres químicos y sinónimos de los compuestos más comúnmente utilizados en las soluciones de nutrientes

<i>Nombre químico</i>	<i>Sinónimo o nombre común</i>
Nitrato potásico KNO_3	Salpeter, salitre (no confundirlo con el nitrato de Chile, el cual es nitrato sódico, o con el «niter cake», el cual es sulfato sódico impuro).
Nitrato sódico NaNO_3	Nitrato de Chile (ver lo indicado arriba), salpeter de Chile.
Fosfato ácido de amonio $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Fosfato primario de amonio, bifosfato amónico, bihidrofosfato amónico, fosfato amónico monobásico, «Ammophos A».
Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Carbamida; carbonyldiamida.
Sulfato potásico K_2SO_4	Sulfato de potasa.
Fosfato ácido de potasio KH_2PO_4	Bifosfato potásico, dihidro fosfato potásico, fosfato monobásico de potasio.
Cloruro potásico KCl	Muriato de potasa, cloruro de potasa (no confundir con el clorato de potasa, el cual es KClO_3), Sylvita (forma mineral).
Fosfato monocálcico $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$	«Superfosfato» cálcico (normalmente, con un 20 por 100 de pureza), «superfosfato triple» de calcio (normalmente, con un 75 por 100 de pureza), bifosfato cálcico, fosfato ácido de calcio, fosfato primario de calcio.
Acido fosfórico H_3PO_4	Acido ortofosfórico (el grado USP es 85-88 por 100 H_3PO_4 , pero el grado tectónico comercial es comúnmente del 70-75 por 100 de pureza (H_3PO_4).
Sulfato cálcico $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato cálcico precipitado o nativo; alabastro de yeso.
Cloruro cálcico $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Dihidro cloruro cálcico. Esta sal puede algunas veces ser vendida como el hexa-hidrato o $\text{CaCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
Sulfato de magnesio $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sal Epsom. Esta sal se vende en forma anhidra sin agua.
Sulfato de hierro $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Vitriolo verde; vitriolo de hierro, caparrosa.
Sulfato de zinc $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Vitriolo blanco o de zinc.
Acido bórico H_3BO_3	Acido bórico, ácido ortobórico.
Sulfato de cobre $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Sulfato cúprico, piedra azul, caparrosa azul.

Fuente: Adaptado de Withrow, R. B., and Withrow, A. P., 1948. *Nutriculture*. Lafayette, Ind. Purdue Univ. Agr. Expt. Sta. Publ. S. C. 328.

Nitrato cálcico - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Peso atómico:

Ca = 40,08

N = 14,008

O = 16,000

Peso molecular:

Ca = 40,08

2 N = 28,016

6 O = 96,0

164,096

NOTA: Hay dos átomos de nitrógeno y seis de oxígeno en el nitrato cálcico.

TABLA 3.5
Pesos atómicos de los elementos más comunes usados en hidropónicos

<i>Nombre</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Peso atómico</i>
Aluminio	Al	26,98
Boro	B	10,81
Calcio	Ca	40,08
Carbono	C	12,01
Cloro	Cl	35,45
Cobre	Cu	63,54
Hidrógeno	H	1,008
Hierro	Fe	55,85
Magnesio	Mg	24,31
Manganeso	Mn	54,94
Molibdeno	Mo	95,94
Nitrógeno	N	14,01
Oxígeno	O	16,00
Fósforo	P	30,97
Potasio	K	39,10
Selenio	Se	78,96
Silicio	Si	28,09
Sodio	Na	22,99
Azufre	S	32,06
Zinc	Zn	65,37

3.5.2. Cálculo de las formulaciones de nutrientes

Si en una formulación de nutrientes se nos piden 200 ppm de calcio (200 mg/l), nosotros necesitamos 200 mg de calcio en cada litro de agua. En 164 mg de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, nosotros tenemos 40 mg de Ca (utilizando los pesos atómicos y moleculares para determinar la fracción de calcio en el nitrato cálcico, considerando 100 por 100 la pureza del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. El primer paso será el calcular cuánto $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ es necesario para obtener 200 mg de Ca. Esto se hace por medio de la siguiente relación:

164 mg $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nos da 40 mg Ca

X mg $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nos da 200 mg Ca

$$\text{Ratio de } \frac{\text{Ca}}{\text{NO}_3} : \frac{40}{164} = \frac{200}{x}$$

$$40 x = 200 \times 164$$

$$x = \frac{200 \times 164}{40} = 820$$

Así pues, 820 mg de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nos darán 200 mg Ca. Si los 820 mg de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se disuelven en un litro de agua, la solución resultante nos dará una concentración de 200 ppm (200 mg/l) de Ca. Hemos considerado que el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tiene una pureza del 100 por 100. Cuando no ocurra esto —lo cual es lo más frecuente—, será necesario añadir un producto para compensar la impureza. Por ejemplo: si el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tiene una pureza del 90 por 100, será necesario añadir:

$$\frac{100}{90} \times 820 = 911 \text{ mg Ca(NO}_3)_2$$

Los 911 mg $\text{Ca(NO}_3)_2$ en un litro de agua nos darán 200 ppm de Ca.

Normalmente, en la mayoría de los casos será necesario un volumen mayor de un litro de solución de nutrientes. El segundo paso entonces será calcular la cantidad de fertilizantes necesarios para dar el volumen preciso de nutrientes.

Calcular inicialmente la cantidad necesaria de un compuesto utilizando el sistema métrico de mg/l, y convertir después a libras y galones, si fuera necesario. Primeramente, pasar el volumen del tanque de nutriente en galones a litros. Para hacer esto, hay que tener cuidado de que existen las diferencias siguientes entre el galón Imperial (sistema británico) y el galón USA:

$$\begin{aligned} 1 \text{ galón USA (gal)} &= 3,785 \text{ litros (l)} \\ 1 \text{ galón Imp (gal)} &= 4,5459 \text{ litros (l)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Por ejemplo: } 100 \text{ gal USA} &= 378,5 \text{ l} \\ 100 \text{ gal Imp} &= 454,6 \text{ l} \end{aligned}$$

La solución del siguiente problema demostrará el uso de estas conversiones. Supongamos que se requiere una concentración de 200 ppm de Ca en un tanque de nutrientes de 300 galones USA.

$$300 \text{ gal USA} = 300 \times 3,785 \text{ l} = 1.135,5 \text{ l}$$

Si se necesitaran 911 mg de $\text{Ca(NO}_3)_2$ por litro de agua, la cantidad necesaria para 300 galones USA sería:

$$911 \text{ mg} \times 1.135,5 \text{ l} = 1.034.440 \text{ mg}$$

Para pasar a gramos (g), hay que dividir por 1.000, pues 1.000 mg = 1 g.

$$\frac{1.034.440 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 1.034,4 \text{ g}$$

Ahora, pasar a kilogramos dividiendo por 1.000, pues 1.000 g = 1 kg:

$$\frac{1.034,4 \text{ g}}{1.000 \text{ g}} = 1,4 \text{ kg}$$

Para calcular libras, utilizar: 1 lb = 454 g; o bien 1 kg = 2,2046 lb

$$\text{Así pues: } \frac{1.034,4 \text{ g}}{454 \text{ g}} = 2,278 \text{ lb} = 2,28 \text{ lb}$$

o bien: $1,034 \text{ kg} \times 2,2046 \text{ lb} = 2,28 \text{ lb}$

Pasar después la fracción de libras a onzas: 1 lb = 16 oz

$$2 \text{ lb} + (0,28 \text{ lb} \times 16 \text{ oz} = 4,5 \text{ oz})$$

O sea: 2 lb 4,5 oz

Aunque esta conversión a libras es suficientemente precisa para grandes pesos, cuando se trate de cantidades inferiores a una libra se debe pesar en gramos para más seguridad. Una balanza que precise hasta 0,1 gramos es una escala apropiada para la mayoría de las pesadas por debajo de una libra.

Si el compuesto utilizado contiene más de un elemento esencial —éste es el caso corriente—, el tercer paso es determinar cuánto se añadió de cada elemento para satisfacer las necesidades del primer elemento esencial. El nitrato cálcico contiene calcio y nitrógeno. Por tanto, el tercer paso es calcular la cantidad de nitrógeno añadido para satisfacer las necesidades de calcio.

Esto debe hacerse utilizando el concepto ppm, de forma que se puedan hacer ajustes para este elemento. El cálculo se hace usando la fracción de nitrógeno en el nitrato cálcico y multiplicando la cantidad de nitrato cálcico utilizado por esta fracción. Hay que utilizar el peso del nitrato cálcico antes de los ajustes por impurezas, es decir, los 820 mg y no los 911 mg, tal como sigue:

$$\frac{2 \text{ (14)}}{164} \times 820 \text{ mg/l} = 140 \text{ mg/l (ppm)}$$

En resumen, 820 mg/l de nitrato cálcico proporcionarán 200 mg/l de calcio y 140 mg/l de nitrógeno (suponiendo una pureza del 100 por 100). Asimismo, utilizando el ejemplo para el tanque de 300 galones USA, 2 libras y 4,5 onzas (1.034 g) de nitrato cálcico proporcionan 200 ppm de calcio y 140 ppm de nitrógeno en el tanque de la solución.

Mediante el uso de los factores de conversión de la tabla 3.2, se pueden simplificar los cálculos. No es necesario usar los pesos atómicos y moleculares y sus fracciones, puesto que los factores de conversión de la tabla 3.2 fueron sacadas de ellos, como se ha explicado antes.

Volviendo al primer paso para determinar la cantidad de nitrato cálcico necesario para suministrar 200 ppm (mg/l) de calcio, utilizar el factor de conversión de la tabla 3.2. Si queremos 200 ppm de Ca de la fuente $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, usaremos el factor A-B 4,094:

$$200 \times 4,094 = 819 \text{ mg/l de } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$$

Obsérvese que existe una pequeña diferencia entre este valor y el anterior (819 mg/l contra 820 mg/l). Esta pequeña diferencia es insignificante para nuestros propósitos.

Igualmente, se puede calcular la cantidad de nitrógeno en 819 mg/l de nitrato cálcico utilizando el factor de conversión B-A 0,171 en la parte superior de la tabla 3.2:

$$0,171 \times 819 \text{ mg/l} = 140 \text{ mg/l (ppm) de N}$$

El cuarto paso es calcular la cantidad adicional de este segundo elemento necesaria de otra fuente. Por ejemplo, si la formulación del nutriente exigía 150 ppm de N, la cantidad adicional sería:

$$150 - 140 = 10 \text{ ppm de N}$$

Esto se podría obtener de KNO_3 . Entonces, la cantidad de KNO_3 necesaria para suministrar 10 ppm de N, utilizando el factor de conversión A-B de la tabla 3.2, sería:

$$7,221 \times 10 = 72,21 \text{ mg/l de } \text{KNO}_3$$

Puesto que KNO_3 contiene también potasio (K), tenemos que calcular la cantidad presente utilizando el factor de conversión B-A 0,387 (centro de la tabla 3.2):

$$0,387 \times 72,21 \text{ mg/l} = 28 \text{ mg/l (ppm) de K}$$

Para determinar la cantidad de KNO_3 necesaria para que un tanque de 300 galones USA de nutriente proporcione 10 ppm de N, se hacen los siguientes cálculos:

- 1) Ajuste por impureza de la tabla 3.3 (95% pureza):

$$\frac{100}{95} \times 72,21 = 76 \text{ mg/l}$$

- 2) Para un tanque de 300 galones USA:

$$300 \times 3,7851 = 1.135,5 \text{ l}$$

- 3) Cantidad de KNO_3 necesaria:

$$1.135,5 \times \frac{76 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 86,3 \text{ g}$$

Este peso se puede mantener en gramos, pues es menor que una libra; o bien se puede pasar a libras como sigue:

$$1 \text{ oz} = 28,35 \text{ g}$$

- 4) Conversión a onzas:

$$\frac{86,3 \text{ g}}{28,35 \text{ g}} = 3,0 \text{ oz}$$

Obsérvese que las medidas en gramos son más exactas que en onzas.

Estos cálculos se pueden continuar para todos los elementos esenciales. Los tipos y cantidades de las diversas sales fertilizantes tienen que ser manipulados hasta conseguir la formulación deseada.

En algunos casos, puede surgir un problema si las necesidades de un elemento se satisfacen mediante el uso de un compuesto que contiene dos o más elementos esenciales, pero la concentración de otro elemento excede el nivel requerido.

Por ejemplo, si la formulación del nutriente exige 300 ppm de Ca y 150 ppm de N, el calcio sería suministrado por el nitrato cálcico como sigue:

- 1) Peso de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ necesario (utilizar los factores de conversión de la tabla 3.2):

$$300 \text{ ppm (mg/l)} \times 4,094 = 1.228 \text{ mg/l}$$

- 2) Cantidad de N añadida:

$$1.228 \text{ mg/l} \times 0,171 = 210 \text{ mg/l (ppm) de N}$$

Esto da un exceso de 60 ppm de N sobre las 150 ppm recomendadas de N, dadas en la formulación. Por tanto, el nivel de N determinará qué cantidad de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se puede usar como fuente de Ca. Los siguientes pasos tienen que ser calculados de nuevo usando el límite de 150 ppm de N:

- 1) Peso necesario de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (utilizar los factores de la tabla 3.2):

$$150 \text{ ppm (mg/l)} \times 5,861 = 879 \text{ mg/l}$$

- 2) Cantidad añadida de Ca:

$$879 \text{ mg/l} \times 0,244 = 214 \text{ mg/l (ppm) de Ca}$$

Si el nivel recomendado de Ca es 300 ppm, entonces $(300 - 214) = 86$ ppm de Ca tienen que ser suministradas de otras fuentes distintas al $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Puesto que el sulfato cálcico (CaSO_4) es muy insoluble, la única alternativa es usar cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Obsérvese el agua de cristalización en el cloruro cálcico. Esto se ha tenido en cuenta al calcular los factores de conversión de la tabla 3.2.

- 3) Peso de $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ necesario:

$$86 \text{ ppm (mg/l)} \times 5,467 = 470 \text{ mg/l}$$

- 4) Cantidad de Cl añadido (la tabla 3.2 no tiene factor para la conversión de cloruro cálcico a cloro, por tanto hay que usar la fracción peso atómico):

$$\frac{\text{Peso atómico de cloro}}{\text{Peso molecular de cloruro cálcico}} \times 470 \text{ mg/l}$$

$$\frac{2 (35,5)}{219} \times 470 = 152 \text{ mg/l (ppm) de Cl}$$

Este nivel de cloro es tolerable para las plantas, siempre que el nivel de sodio en el agua y otros fertilizantes usados sea despreciable.

Una vez determinado el peso de cada compuesto en la formulación del nutriente para un volumen de tanque dado, se pueden calcular fácilmente los cambios mediante

el uso de relaciones. Estos cambios que usan relaciones permiten ajustar los volúmenes o concentraciones del tanque para cualquiera de los elementos. Por ejemplo, para calcular la cantidad necesaria de nitrato cálcico para proporcionar 200 ppm de Ca a un tanque de 500 galones USA, en lugar del tanque original de 300 galones USA utilizado en el ejemplo anterior, hay que utilizar la relación:

$$\frac{500 \text{ gal USA}}{300 \text{ gal USA}} \times 1.034,4 \text{ g} = 1.724 \text{ g} \quad \text{Ca(NO}_3)_2 \quad \text{Ca(NO}_3)_2$$

$$\text{ó: } \frac{500}{300} \times 2,28 \text{ lb} = 3,8 \text{ lb}$$

Esto es: 3 lb + (0,8 lb $\times$ 16 oz = 12,8 oz)

3 lb 12,8 oz

Con frecuencia es necesario cambiar los niveles de los elementos individuales durante los cambios de tiempo, los estados de desarrollo de las plantas o la presencia de deficiencias o toxicidades reveladas por síntomas en las plantas y/o análisis de nutrientes y de tejidos. Por ejemplo, para cambiar la concentración de Ca de 200 ppm a 175 ppm en el mismo volumen de tanque (300 galones USA):

$$\frac{175 \text{ ppm Ca}}{200 \text{ ppm Ca}} \times 1.034,4 \text{ g} = 905 \text{ g de nitrato cálcico}$$

$$\text{ó: } \frac{175}{200} \times 2,28 \text{ lb} = 1,995 \text{ lb; redondeando 2,0 lb}$$

Hay que recordar que esto afecta también al nivel de otros elementos en el compuesto que contenga más de un elemento esencial. El cambio en el nivel de nitrógeno es:

$$\frac{175}{200} \times 140 \text{ ppm N} = 122,5 \text{ ppm N}$$

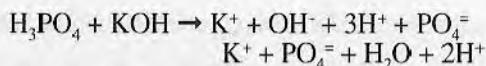
3.5.3. Cálculo de la sustitución de fertilizantes por productos químicos

En algunas zonas del mundo puede ser muy difícil conseguir los fertilizantes básicos que son precisos para este tipo de cultivo. En este caso es necesario sustituirlos por otros productos químicos que allí existan para así proveer las cantidades necesarias de elementos esenciales. Los cálculos para dichas sustituciones son los siguientes:

1. Sustituir el hidróxido potásico (KOH) y el ácido fosfórico (H_3PO_4) por fosfato diamónico $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ o fosfato monopotásico (KH_2PO_4) para suplir el fósforo (P) y algún potasio (K).

Hay que tener en cuenta que el KOH debe utilizarse para neutralizar el fuerte ácido del H_3PO_4 . La reacción es:

LA SOLUCION DE NUTRIENTES

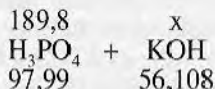


H_3PO_4 : $M_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 97,99$ (Peso molecular de H_3PO_4)

Se necesitan:

60 ppm de P del H_3PO_4
 60×3.164 (de la tabla 3.2) = 189,8 mg/l
 KOH : $M_{\text{KOH}} = 56,108$

Se necesitan:



$$X = \frac{189,8 \times 56,108}{97,99} = 108,7 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cantidad de K: } \frac{39,1}{56,108} \times 108,7 = 0,6969 \times 108,7 = 75,7 \text{ mg/l}$$

Pero el ácido fosfórico es un líquido; así pues, el peso pedido debe convertirse en medida de volumen.

Para hacer esto debe utilizarse el peso específico o densidad (D).

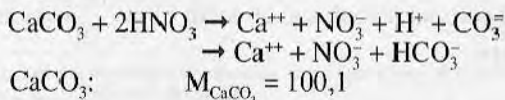
La densidad es la relación del peso al volumen ($D = \frac{W}{V}$). La densidad del ácido fosfórico es 1,834 (ver el Apéndice 4).

Para encontrar el volumen:

$$D = \frac{W}{V} \text{ o } V = \frac{W}{D} \text{ esto es, } V = \frac{189,8}{1,834} = 103,5 \text{ } \mu\text{l/l}$$

2. Sustituir el ácido nítrico (HNO_3) y el carbonato cálcico (CaCO_3) por nitrato cálcico [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$] para suministrar calcio (Ca) y nitrógeno (N). Nótese que el CaCO_3 debe utilizarse para neutralizar la fuerte acidez del HNO_3 . Añadir ácido nítrico al carbonato cálcico hasta que se disuelva todo el sólido. Se puede utilizar ácido nítrico diluido, pero llevará más tiempo disolver el carbonato cálcico.

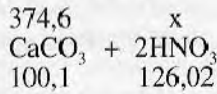
La reacción es la siguiente:



Se necesitan 150 ppm de Ca del CaCO_3 .

$$150 \times \frac{100,1}{40,08} = 374,6 \text{ mg/l}$$

$$2\text{HNO}_3 : M_{\text{HNO}_3} = 63,016 \times 2 = 126,02$$



Por tanto:

$$x = \frac{374,6 \times 126,02}{100,1} = 471,6 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cantidad de N: } 471,6 \times \frac{14}{63,016} = 104 \text{ mg/l.}$$

Puesto que el HNO_3 es un líquido, debe convertirse a volumen:

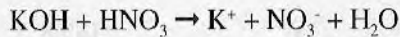
$$D = 1,5027$$

$$D = \frac{W}{V}, \text{ o } V = \frac{W}{D} = \frac{471,6}{1,5027} = 313,8 \text{ } \mu\text{l/l}$$

Con frecuencia, HNO_3 no es 100% puro; así pues, debe ajustarse con el porcentaje de pureza.

En resumen: 375 mg/l de CaCO_3 y 314 $\mu\text{l/l}$ de HNO_3 darán 150 ppm Ca y 104 ppm N.

3. Sustituir ácido nítrico (HNO_3) y el hidróxido de potasio (KOH) por nitrato de potasio (KNO_3). Nótese que el KOH debe ser utilizado para neutralizar la fuerte acidez del HNO_3 . La reacción es la siguiente:

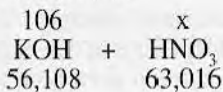


La cantidad de K necesitada para la formulación es 150 ppm. Del KOH utilizado con H_3PO_4 como fuente de P, hay 76 ppm de K, así pues, se necesita: $150 - 76 = 74$ ppm K.

$$\text{KOH: } 74 \times \frac{56,108}{59,1} = 106 \text{ mg/l}$$

HNO_3 :

Se necesita:



$$\text{de donde } X = 106 \times \frac{63,016}{56,108} = 119 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cantidad de N: } 119 \times \frac{14}{63,016} = 26,4 \text{ mg/l}$$

Como el HNO_3 es un líquido, debe ser convertido a volumen:

$$D = 1,5027$$

$$D = \frac{W}{V} \text{ o } V = \frac{W}{D} = \frac{119}{1,5027} = 79,2 \mu\text{l/l}$$

Esto es, 106 mg/l de KOH y 79,2 $\mu\text{l/l}$ de HNO_3 , que darán 74 ppm de K y 26 ppm de N.

4. Para fabricar FeEDTA quelato.

El objetivo es fabricar una solución concentrada, conteniendo 10.000 mg/l (ppm) (1 por 100 de hierro) de quelato de hierro.

1) Disolver 10,4 kg EDTA (ácido) en una solución de 16 kg de KOH en 114 l de agua. Ajustar el peso del KOH utilizado, teniendo en cuenta que el KOH puede no ser 100 por 100 puro. No añadir todo el KOH a la solución inicial, para mantener el pH a 5,5. Si el pH excediese de 5,5, reducirlo añadiendo un 10 por 100 de solución de ácido nítrico (HNO_3). Si el pH es sustancialmente menor de 5,5, añadir KOH disuelto en agua a la solución, removiéndolo lentamente hasta que el pH alcance 5,5.

2) Disolver aparte 10 kg de sulfato ferroso (FeSO_4) en 64 l de agua caliente. Lentamente añadir la solución de sulfato de hierro, y mientras remover la solución de EDTA/KOH de pH 5,5. Si el pH desciende a 5,0, añadir parte de la solución de KOH mientras se remueve fuertemente. Con cada aporte de la solución de KOH aparecerá el precipitado de hidróxido ferroso [$\text{Fe}(\text{OH})_2$]. Como el pH se ajusta por sí solo, éste se disolverá y la disolución se volverá más lenta, mientras el pH de la solución base se eleva cerca del pH 5,5.

3) Después de que todo el sulfato ferroso y la solución de KOH hayan sido añadidas a la solución EDTA/KOH, se pesa la solución final y se ajusta el volumen añadiendo agua hasta que se consiguen 200 kg de peso de la solución final.

Por ejemplo:

Para obtener 5 ppm de hierro en 30.000 litros de agua.

1. La solución principal contiene 10.000 mg/l de hierro.
2. Necesitamos 5 mg/l (ppm) de hierro en la solución nutriente.
3. En 30.000 litros de agua necesitamos:

$$30.000 \times 5 = 150.000 \text{ mg o } 150 \text{ g de hierro}$$

4. Si la solución principal de FeEDTA contiene 10.000 mg/l ó 10 g/l de hierro, necesitamos:

$$\text{Para } 150 \text{ g de hierro: } \frac{150}{10} = 15 \text{ litros de la solución base de FeEDTA.}$$

NOTA: La densidad de un compuesto debiera ser obtenida de los fabricantes, al variar de un producto a otro. En el apéndice se da una tabla general de solubilidades y densidades.

3.5.4. Ajustes en la formulación de nutrientes

Todos los cálculos que hemos explicado en el apartado anterior deben conocerse perfectamente, puesto que las formulaciones de nutrientes durante el cultivo de cualquier cosecha deberán ser reajustadas frecuentemente. Con frecuencia se ha pedido una

TABLA 3.6

Composición de la solución de nutrientes (ppm)

Referencia	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	N como NH ₄ ⁺	N como NO ₃ ⁻	P como PO ₄ ⁻	S como SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Knop (1865)		244	24		168		206	57	32		Traza					
Shive (1915)		208	484		562		148	448	640		Traza					
Hoagland (1919)	6,8	200	99	12	284		158	44	125	18	Lo necesario					
Jones & Shive (1921)		292	172		102	39	204	65	227		0,83					
*Rothamsted	6,2	116	48		593		139	117	157	17	8	0,25			0,2	
Hoagland & Snyder (1933, 1938)		200	48		234		210	31	61	-1	Lo necesario	0,1	0,014	0,01	0,1	0,016
Hoagland & Arnon (1938)		160	48		234	14	196	31	64		0,63 \$ semana	0,5	0,02	0,05	0,5	0,01
Long Ashton	5,5-	134	36	30	130		140	41	48	3,5	5,6 ó	0,55	0,064	0,065	0,50	0,05
Soln	6,0	300			295		284				2,8					
Eaton (1931)		240	72		117		168	93	96		0,8	0,5			1	
Shive & Robbins (1942)		60	53	92	117		56	46	70	107	Lo necesario	0,15		0,15	~0,1	
Robbins (1946)		200	48		195		196	31	64		0,5	0,25	0,02	0,25	0,25	0,01
White (1943)	4,8	50	72	70	65		47	4	140	31	1,0	1,67	0,005	0,59	0,26	0,001
Duclos (1957)	5-6	136	72		234		210	27	32		3	0,25	0,15	0,25	0,4	2,5
Tumanov (1960)	6-7	300- 500	50		150		100- 150	80- 100	64	4	2	0,5	0,05	0,1	0,5	0,02
A. J. Abbott	6,5	210	50		200		150	60	147		5,6	0,55	0,064	0,065	0,5	0,05
E. B. Kidson	5,5	340	54	35	234		208	57	114	75	2	0,25	0,05	0,05	0,5	0,1
Purdue A		200	96		390	28	70	63	607		20	0,3	0,02	0,05	0,5	
(1948) B		200	96		390	28	140	63	447		1,0	0,3	0,02	0,05	0,5	
C		120	96		390	14	224	63	64		1,0	0,3	0,02	0,05	0,5	
Schwartz (Israel)		124	43		312		*98	93	160							
California		160	48		234	15	196	31	64							

New Jersey		180	55		90	20,5	126	71	96							
South Africa		320	50		300		200	65								
CDA	A	131	22		209	33	93	36,7	29,5	188	1,7	0,8	0,035	0,094	0,46	0,027
Saanichton	B	146	22		209	33	135	36,7	29,5	108	1,7	0,8	0,035	0,094	0,46	0,027
B. C., Canadá	C	146	22		209	33	177	36,7	29,5	—	1,7	0,8	0,035	0,094	0,46	0,027
Dr. Pilgrim	C	272	54,3	—	400	—	143,4	93,0	237,5	—		—	—		—	—
Elizabeth	B	204	40,7	—	300	—	107,6	69,75	178,1	—		—	—		—	—
N. C., USA	A	136	27,15	—	200	—	71,7	46,5	118,75	—		—	—		—	—
Dr. H. Resh	C	197	44	—	400	30	145	65	197,5	—	2	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
Univ. of B. C.	B	148	33	—	300	20	110	55	144,3	—	2	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
Vancouver B. C.	A	98,5	22	—	200	10	80	40	83,2	—	2	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
Canadá (1971)																
Dr.H.M.Resh.																
Formulación para los trópicos	Estación seca	250	36	—	200	53	177	60	129	—	5	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
(1984)	Estación húmeda	150	50	—	150	32	115	50	52	—	5	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
(Lechuga)																
Dr. H. M. Resh		200	40	—	210	25	165	50	113	—	5	0,5	0,1	0,1	0,5	0,05
Formulación para las lechugas																
Florida, California (1989) (1993)																
Dr. H. M. Resh																
Pepinos																
Florida (1990)																
Plántulas (0-10 días)		100	20	—	175	3	128	27	26	—	2	0,8	0,07	0,1	0,3	0,03
Diez días hasta primer desarrollo del fruto		220	40	—	350	7	267	55	53	—	3	0,8	0,07	0,1	0,3	0,03
Madurez, después del primer desarrollo del fruto		200	45	—	400	7	255	55	82	—	2	0,8	0,1	0,33	0,4	0,05

Añadir 1 mM (14 ppm) por semana hasta alcanzar unas 12 mM (128 ppm), durante las primeras seis-ocho semanas.

«formulación óptima» para diversas cosechas en particular. Sin embargo, con frecuencia estas formulaciones no son perfectas y no pueden serlo, puesto que la formulación óptima depende de muchas variables, las cuales no pueden ser controladas. Una formulación óptima dependerá de las siguientes variables:

1. Especie y variedad de la planta.
2. Estado de desarrollo de la planta.
3. Parte de la planta que será cosechada (raíz, tallo, hoja, fruto).
4. Estación del año-duración del día.
5. Clima-temperatura, intensidad de la luz, horas de sol.

Las diferentes variedades y especies de plantas tienen diferentes necesidades de nutrientes, particularmente nitrógeno, fósforo y potasio. Por ejemplo, la lechuga y otros vegetales utilizados por sus hojas pueden necesitar mayor cantidad de nitrógeno que los tomates o pepinos, mientras que éstos exigen mayores porcentajes de fósforo, potasio y calcio que los anteriores en su solución de nutrientes.

Ulises Durany (1982) afirmó que el nivel de nitrógeno (N) permanecería más bajo ($N = 80$ a 90 ppm) para las especies que producen frutos que para aquellas que producen hojas ($N = 140$ ppm). Para las especies que se cultivan por su raíces, el potasio (K) debería ser más alto ($K = 300$ ppm). Para lechugas, por otro lado, los niveles relativamente bajos de potasio ($K = 150$ ppm) favorecen el cierre de las cabezas, y así resultan con mayor peso.

Las proporciones entre los distintos elementos deben variar de acuerdo con las especies de plantas, el ciclo de cultivo, el desarrollo de la planta y las condiciones climáticas, particularmente la intensidad o duración de la iluminación.

Las formulaciones de nutrientes están compuestas normalmente de diferentes niveles, según los estados de desarrollo de las plantas en los cuales se utilicen. Las formulaciones específicas para los tomates consisten normalmente en tres niveles A, B y C. Estos niveles se aplican solamente para los macroelementos, mientras que los microelementos se utilizan en la misma cantidad para los tres niveles. La formulación de A es aproximadamente un tercio de la de C, y B es aproximadamente dos tercios de C. No obstante, los elementos de forma individual se ajustan, a menudo, independientemente. La formulación A se utiliza para el primer estado de plántula, o tres hojas perfectamente desarrolladas (plantas de diez a catorce días), hasta que tienen 14 ó 16 pulgadas de altura. La formulación B se utiliza desde que tienen la altura indicada hasta que alcanzan las 24 pulgadas, cuando los frutos iniciales tienen 1/4 a 1/2 pulgadas de diámetro. A partir de este momento se utiliza la fórmula C.

Los pepinos utilizan solamente formulaciones A y B, donde A es aproximadamente la mitad del nivel de B. Del nivel de A se utiliza hasta que los primeros pepinos han aparecido. De la misma forma, las hortalizas utilizadas por sus hojas utilizan también una formulación de dos niveles. El primer nivel (el más bajo) se utiliza hasta que las plantas tienen unas tres semanas y, a partir de aquí, se utiliza el segundo. En general, las plantas cosechadas por sus hojas pueden tolerar cantidades altas de nitrógeno sin que éste produzca un crecimiento vegetativo. De la misma forma, las plantas cosechadas para una producción de frutos deberán tener niveles de nitrógeno más bajos y más altos de fósforo, potasio y calcio. Bajo estas condiciones lumínicas, las plantas utilizarán siempre más nitrógeno que bajo una iluminación pobre. Altos niveles de potasio (K) durante el otoño y los comienzos del invierno mejoran siempre la calidad del fruto. La relación potasio-nitrógeno es muy importante, y deberá variarse según las condiciones climáticas. Durante los largos y soleados

días de verano, las plantas necesitan más nitrógeno y menos potasio que durante los días cortos y oscuros del invierno. Es una práctica común debida a lo anteriormente expuesto el doblar la relación K/N durante el invierno. En la tabla 3.6 se dan algunas formulaciones típicas de nutrientes, obtenidas durante el pasado por diversos investigadores.

Ulises Durany (1982) recomienda que, para el desarrollo de los tomates, durante la fase vegetativa inicial, la proporción N : K deberá ser 1 : 5 (v. g.: 80 ppm N : 400 ppm K), la fase intermedia durante la floración y el cuajado del fruto se debe situar la relación N : K con 1 : 3 (v. g.: 110 ppm N : 330 ppm K) y la etapa de maduración de frutas debería tener una relación N : K de 1 : 1,5 (v. g.: 140 ppm N : 210 ppm K). Esto puede efectuarse utilizando nitrato potásico y nitrato cálcico con sulfato de potasio.

Schwarz (1968) enumeró un elevado número de proporciones de N:P:K para utilizarse durante las estaciones de verano e invierno para diversos cultivos en Europa, Mediterráneo y climas subtropicales (tabla 3.7).

TABLA 3.7

Relaciones N:P:K: recomendadas para las estaciones de verano e invierno en diversas regiones climáticas

<i>Cosecha, clima, estación</i>		<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>
Tomate (estado maduro)				
Clima de Europa Central	- verano	1	0,2-0,3	1,0-1,5
	- invierno	1	0,3-0,5	2-4
Climas mediterráneo y subtropical	- verano	1	0,2	1
	- invierno	1	0,3	1,5-2,0
Lechuga y otras hortalizas con hojas	- verano	1	0,2	1
	- invierno	2	0,3	2
La relación amoníaco:nitrato es:				
(NH ₄ :NO ₃)	- verano	1:3-4		
	- invierno	1:4-8		

Modificado de Schwarz (1968), p. 32.

3.6. Soluciones de nutrientes stock

3.6.1. Inyector o sistema de suministro

Los sistemas de inyección del fertilizante se han hecho muy populares entre los agricultores profesionales, ya que ahorran tiempo al reducir el número de preparaciones de soluciones de nutrientes. También funcionan bien en la automatización del ajuste de la solución de nutrientes, utilizando la monitorización e inyección por ordenador de las soluciones stock. Así pues, se pueden mantener soluciones más exactas y estabilizadas. Los sistemas de inyección se utilizan con diseños hidropónicos abiertos y recirculados. Con los análisis de la solución y de los tejidos, se pueden hacer adecuados ajustes en la formulación, cambiando las posiciones en las cabezas del inyector.

Un inyector o dosificador de fertilizante prepara automáticamente la solución nutritiva, inyectando las cantidades programadas de las soluciones concentradas en el

agua de las tuberías de alimentación. De esta forma se consigue una nueva solución de nutrientes en cada ciclo de riego (fig. 3.1). Este tipo de sistema se utiliza como «sistema abierto», en el cual la solución de nutrientes no vuelve a reciclarse. Así se elimina el cambio de la solución de nutrientes. Será necesario efectuar una reposición de los stocks de las soluciones concentradas cada semana, aproximadamente.

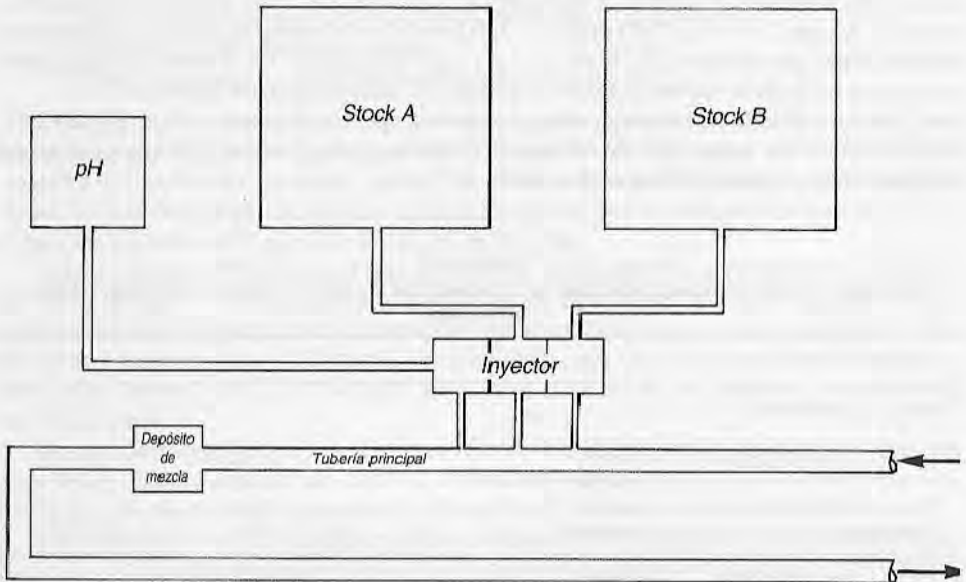


Fig. 3.1. Esquema de un sistema básico de inyector.

Los inyectores se pueden usar también con sistemas de reciclado para ajustar automáticamente la solución nutritiva de retorno. El análisis de la solución de retorno indica las modificaciones que hay que hacer en la solución stock para llevar los nutrientes a los niveles óptimos, antes de regar de nuevo las plantas. Aunque el análisis de la solución de nutrientes tiene que ser realizado por un laboratorio para determinar los niveles de todos los elementos esenciales, los niveles generales de sales totales se pueden determinar mediante un medidor de conductividad eléctrica (EC). El medidor de EC y el medidor de pH funcionan como sensores del ordenador monitorizando el estado actual de las soluciones de salida y de retorno. El ordenador puede entonces activar al inyector para ajustar la solución de nutrientes según los niveles programados almacenados en el ordenador (fig. 3.2). Las formulaciones de las soluciones de nutrientes stock y las posiciones de las cabezas del inyector permiten al operador introducir cambios en la solución nutritiva de salida, para alcanzar los niveles óptimos de nutrientes de cada ion.

Existe un cierto número de diferentes constructores de inyectores (ver Apéndice 5). La elección de uno en particular dependerá del volumen de solución de nutrientes que hay que inyectar en un tiempo dado en galones por minuto (gpm), la precisión requerida para el sistema y la capacidad para ampliar el sistema. Algunos de los mejo-

res inyectores permiten añadir cabezas de inyector con la ampliación del sistema hidropónico, de forma que no es necesario comprar un nuevo inyector.

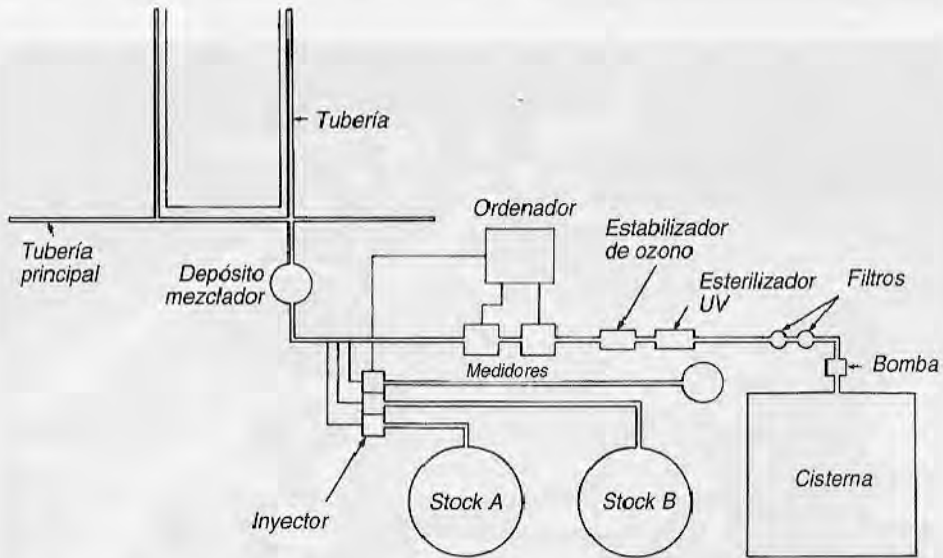


Figura 3.2. Esquema de un sistema de inyección para sistemas de recirculación. Obsérvese la esterilización de la solución de nutrientes antes de que retorne a las plantas.

Por ejemplo, una instalación hidropónica para el cultivo de hierbas de 3 acres (1,2 hectáreas) utilizaba un inyector Anderson con 5 cabezas, como muestra la figura 3.3. El sistema estaba formado por una tubería principal de agua de 3 pulgadas de diámetro (7,6 cm) formando un circuito cerrado con el inyector, un depósito mezclador y un filtro colocado antes de llegar al sistema de riego de las bancadas hidropónicas. El agua fluye de derecha a izquierda en el sistema que aparece en la figura 3.3.

Un sensor de rueda de paletas aguas arriba del inyector (extremo derecho de la figura 3.3) controla el flujo de agua. Cada 4 galones (15 l) de agua que pasan, el sensor manda impulsos al controlador (la caja gris sobre el panel blanco mostrado en la figura 3.4). El controlador activa un golpe del inyector cada 4 galones (15 l) de agua que pasan por el circuito principal. El golpe tiene lugar cuando el controlador envía una corriente eléctrica a la válvula solenoide del inyector, abriendo la válvula y permitiendo que la presión del agua haga funcionar los diafragmas de las cabezas del inyector. El agua pasa a través de un filtro de 200 micrones antes de entrar en el solenoide, para evitar que cualquier limo dañe a la válvula. Cuando el agua a presión (mínimo de 15-20 psi ó 103,5-138 kPa) entra en la parte posterior del diafragma de cada cabeza, empuja al diafragma hacia adelante, provocando el desplazamiento de la solución stock situada enfrente de él. Dicha solución fluye al circuito principal a través de unas tuberías. Las válvulas que evitan la marcha atrás, situadas en las cabezas del inyector y en las entra-

das a la tubería de la solución stock en el circuito principal, impiden que la solución retroceda en el golpe de retorno de los diafragmas (fig. 3.3). Este sistema de inyección tiene 5 cabezas: dos para el stock A, dos para el stock B y una cabeza más pequeña para el ácido (a la izquierda de la fig. 3.3).

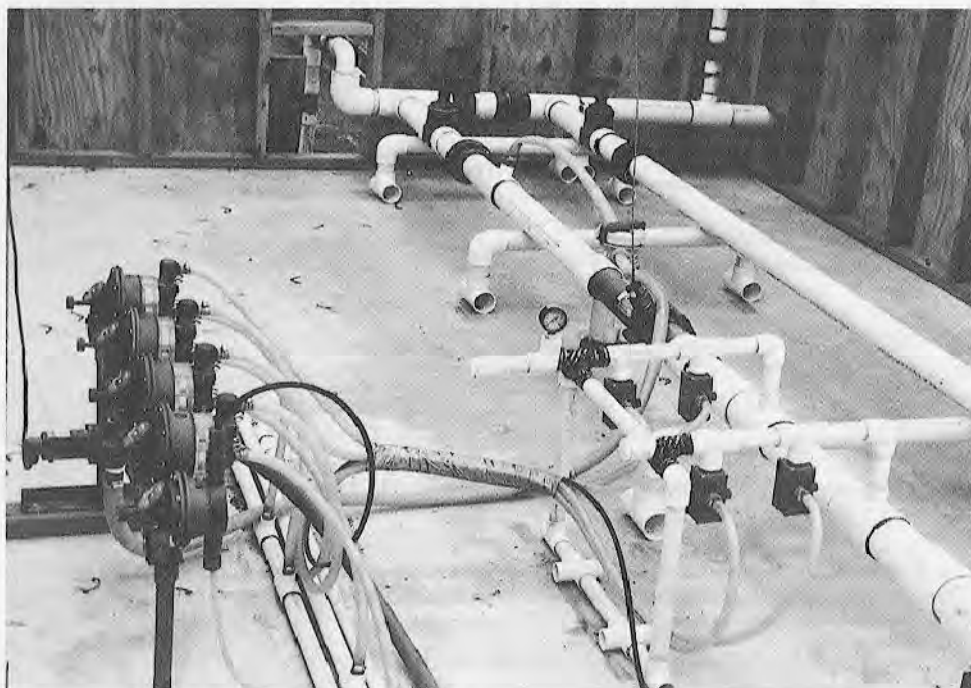


Figura 3.3. Inyector Anderson con cinco cabezas (a la izquierda), un sensor de rueda de paletas en la tubería principal (área gris sobre el tubo antes de las tuberías de entrada desde el inyector). El agua fluye de atrás hacia adelante. Unas mangueras flexibles conectan los tubos del tanque de stock en el suelo con las cabezas del inyector, y éstas con las válvulas que impiden el flujo hacia atrás, situadas en tubos de una pulgada de diámetro conectados con la tubería principal.

Cada golpe del inyector desplaza 40 ml de la solución stock por cabeza en la posición «10» sobre el dial de la cabeza. En un funcionamiento óptimo del inyector de 32 golpes por minuto, el flujo máximo a través del sistema es: $32 \times 4 \text{ gal} = 128 \text{ gal/min}$ (484,5 l/min). La relación stock fertilizante a agua obtenida por cabeza es de 40 ml:15.141 ml (4 gal USA), o sea 1:378. Para dos cabezas, la relación es de 80 ml:15.141 ml, ó 1:189. Para obtener una dilución 1:200, poner el dial de cada cabeza de los stocks A y B en 9,5. Esta posición da: $9,5/10 \times 40 \text{ ml} = 38 \text{ ml}$ de la solución de nutrientes de concentración 200. La relación para las dos cabezas de cada solución stock es de 76 ml:15.141, o sea 1:200 (fertilizante para regar).

Para un sistema mayor, el impulso desde el sensor de rueda con paletas se aumenta en el controlador. Por ejemplo, si la posición se aumenta a un golpe por 5 galones (19 l),

el funcionamiento óptimo permitiría un flujo de $5 \text{ gal} \times 32 \text{ golpes/min} = 160 \text{ gal/min}$ (606 l/min). Sin embargo, si se requiere todavía una proporción 1:200, habría que instalar una cabeza adicional en el inyector. Cada cabeza solamente es capaz de desplazar 40 ml de solución stock por golpe. La dilución máxima de un inyector de dos cabezas, sobre la base de 5 gal/golpe, es de 80 ml:18.927 ml (5 gal USA), o bien 1:236.

Alternativamente, la concentración de las soluciones stock se podría incrementar por encima de 236. Siguiendo estos principios, el sistema de inyección se puede ampliar con cabezas adicionales, para trabajar con volúmenes mayores de flujo de agua.

Las entradas de las soluciones stock A y B al circuito principal están separadas al menos 18 pulgadas (46 cm), de forma que la mezcla adecuada con agua tenga lugar antes de que entren en contacto una con otra. Cuando el agua y el nutriente descienden, se mezclan posteriormente en un depósito mezclador de 80 galones (303 litros), como muestra la figura 3.4. El ácido entra en el circuito principal unos pies (60 cm) por debajo de las soluciones stock (pequeña tubería negra que entra por debajo del circuito principal en la figura 3.3).

Las soluciones stock y el ácido entran en las cabezas del inyector por un tubo flexible (fig. 3.3), desde las tuberías principales conectadas con los tanques de las soluciones A y B de 1.500 galones (5.678 litros) y con el tanque de ácido de 30 galones (114 litros) (fig. 3.4). El circuito principal lleva la solución mezclada desde el tanque mezclador al sistema de cultivo hidropónico (fig. 3.4). Un filtro de 200 mesh (200 espacios por pulgada) instalado aguas abajo elimina cualquier materia extraña antes de que la solución entre en el sistema de riego por goteo.

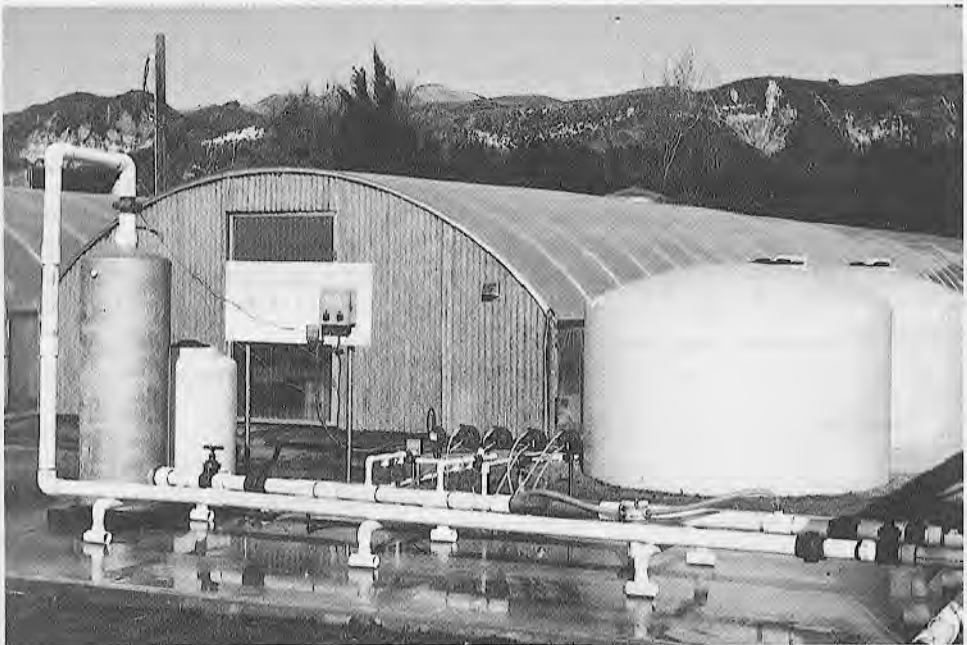


Fig. 3.4. Tanques de stock A y B y tanque de ácido de 30 galones próximo al depósito mezclador (depósito vertical de acero galvanizado a la izquierda), inyector y circuito de la tubería principal.

3.6.2. Soluciones stock

Las soluciones stock son soluciones concentradas de nutrientes. Dependiendo de la capacidad del inyector, las soluciones stock se pueden preparar con concentraciones 50, 100 ó 200 veces la concentración normal. Un segundo factor que puede limitar el grado de concentración de la solución stock es el de la solubilidad del fertilizante. El fertilizante menos soluble será el factor limitante de toda la solución stock. Cuando se determine la concentración de la solución stock, remitirse a la información sobre «constantes físicas de los compuestos inorgánicos», que aparece en el Apéndice 4.

Hay que preparar dos soluciones stock separadas y una solución de ácido en tanques individuales. Generalmente son llamadas «stock A», «stock B» y «ácido». La razón de las soluciones separadas es que se produciría la precipitación entre los sulfatos y nitratos de algunos compuestos si se mezclaran a altas concentraciones. Por ejemplo, los sulfatos potásico o magnésico precipitarían con el calcio del nitrato cálcico.

El stock A puede contener la mitad de las necesidades totales de nitrato potásico y todas las de nitrato cálcico, nitrato amónico, ácido nítrico (para rebajar el pH de la solución stock por debajo de 5,0) y quelato de hierro. El stock B estaría formado por la otra mitad del nitrato potásico, todo el sulfato potásico, fosfato monopotásico, ácido fosfórico y sulfato magnésico y el resto de micronutrientes, excepto el hierro. La solución stock de ácido se diluye hasta aproximadamente el 15-20 % de la forma concentrada líquida disponible en el comercio. Tener siempre cuidado con estos ácidos fuertes, pues causan graves heridas a las personas. Añadir el ácido al agua, ¡nunca lo contrario!

Algunos de los ácidos usados son: ácido nítrico (HNO_3) (42 por 100) (produce vapores nocivos y quema la piel), ácido sulfúrico (H_2SO_4) (66 por 100) (quema la piel y produce agujeros en la ropa), ácido fosfórico (H_3PO_4) (75 por 100) y ácido clorhídrico (HCl) (ácido muriático). Con estos ácidos fuertes hay que usar guantes protectores de plástico o de goma, delantales, gafas protectoras y un respirador autorizado. Hay que tener especial cuidado con el ácido nítrico, pues desprende gases tóxicos cuando entra en contacto con el aire.

Para determinar el límite superior de la concentración para una solución stock, usar los productos cuya solubilidad figura en el Apéndice 4. La solubilidad se da como la cantidad de gramos de un fertilizante específico que puede ser disuelta en 100 ml de agua fría o caliente. Puesto que la solución stock no será probablemente calentada, se debe usar la cifra del agua fría. El siguiente ejemplo muestra el uso de estos factores de solubilidad.

Stock A:

<i>Compuesto</i>	<i>Solubilidad (g/100 ml agua fría)</i>
* Nitrato potásico	13,3
Nitrato cálcico	121,2
Nitrato amónico	118,3
Acido nítrico	Sin límite
Quelato de hierro	No figura en la tabla, pero es muy soluble

Stock B:

<i>Compuesto</i>	<i>Solubilidad (g/100 ml de agua fría)</i>
Nitrato potásico	13,3
* Sulfato potásico	12,0
Fosfato monopotásico (fosfato potásico dihidrógeno)	33,0
Acido fosfórico	548
Sulfato magnésico	71

* NOTA: Estos son los compuestos menos solubles y posiblemente los limitantes, dependiendo de los pesos requeridos de cada uno. Aunque se incluirán micronutrientes en la solución stock B, no han sido incluidos en esta lista de solubilidades porque se requerirán en cantidades muy pequeñas, que no sobrepasarán sus solubilidades en la concentración 200.

Para mostrar los cálculos de una solución stock, se utilizará la siguiente formulación de nutrientes:

N - 200 ppm	P - 50 ppm	K - 300 ppm
Ca - 200 ppm	Mg - 40 ppm	Fe - 5 ppm
Mn - 0,8 ppm	Cu - 0,07 ppm	Zn - 0,1 ppm
B - 0,3 ppm	Mo - 0,03 ppm	

Supongamos que el agua contiene 30 ppm de Ca y 20 ppm de Mg. Los ajustes de la formulación son entonces:

1. La cantidad de Ca a añadir será 170 ppm (200 - 30).
2. La cantidad de Mg a añadir es 20 ppm (40 - 20).

Utilizando tanques de 1.200 galones USA para almacenar cada solución stock, y una concentración de solución de 200, el procedimiento es:

1. Determinar la cantidad necesaria de cada compuesto para satisfacer los macronutrientes y ajustar por impurezas.

- A. Ca: 170 ppm (mg/l)
- (i) Peso de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (usar la tabla 3.2 factores de conversión):
 $170 \times 4,094 = 696 \text{ mg/l}$
 - (ii) Ajustar por impurezas con la tabla 3.3 (90 por 100 puro)

$$\frac{100}{90} \times 696 = 773 \text{ mg/l}$$

2. Calcular la cantidad del compuesto para la concentración de la solución stock (200 en este caso).

$$200 \times 773 \text{ mg/l} = 154.600 \text{ mg/l} \text{ ó: } 154,6 \text{ g/l} \\ (1.000 \text{ mg} = 1\text{g})$$

3. Comparar esta cantidad con la solubilidad dada en g/100 ml de agua fría.

(i) Convertir a g/100 ml:

$$154,6 \text{ g/l} \quad 1\text{l} = 1.000 \text{ ml}$$

Esto es, 154,6 g/1.000 ml

ó: 15,46 g/100 ml (dividir por 10 para obtener 100 ml)

(ii) Comparar con la solubilidad:

$$15,46 \text{ g/100 ml contra } 121,2 \text{ g/100 ml}$$

Por consiguiente, esta cantidad está dentro de los límites de solubilidad del nitrato cálcico.

4. Continuar los cálculos para todos los compuestos de macronutrientes.

B. N: Necesitamos un total de 200 ppm de todas las fuentes. Supongamos que deseamos usar algo de nitrato amónico para suministrar 10 ppm de N procedente de NH_4 .

(i) Cantidad de N en $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ añadido:

$$696 \text{ mg/l de } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \text{ (antes de ajuste por pureza)}$$

$$696 \text{ mg/l} \times 0,171 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 119 \text{ mg/l (ppm)}$$

(ii) Balance necesario de otras fuentes distintas al nitrato cálcico:

$$200 - 119 = 81 \text{ ppm (mg/l)}$$

(iii) Cantidad de NH_4NO_3 necesaria para obtener 10 ppm de $\text{NH}_4 - \text{N}$ y 10 ppm de $\text{NO}_3 - \text{N}$ (que hace un total de 20 ppm N de NH_4NO_3):

$$20 \text{ mg/l} \times 2,857 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 57 \text{ mg/l}$$

(iv) Ajuste por pureza (tabla 3.3 - 98 por 100)

$$\frac{100}{98} \times 57 \text{ mg/l} = 58 \text{ mg/l}$$

(v) Para la concentración 200:

$$200 \times 58 \text{ mg/l} = 11.600 \text{ mg/l} \text{ ó: } 11,6 \text{ g/l}$$

(vi) Expresar en g/100 ml y comparar con la solubilidad:

$$11,6 \text{ g/l} = 1,16 \text{ g/100 ml (dividir por 10, pues } 1\text{l} = 1.000 \text{ ml)}$$

$$1,16 \text{ g/100 ml contra } 118,3 \text{ g/100 ml}$$

Por tanto, el nivel de nitrato amónico está dentro del límite de solubilidad.

- (vii) Balance de N requerido de otras fuentes distintas al nitrato cálcico y al nitrato amónico:

$$200 - (119 + 20) = 61 \text{ ppm (mg/l)}$$

- (viii) La fuente final de N es KNO_3 :

$$61 \text{ mg/l} \times 7,221 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 440,5 \text{ mg/l}$$

- (ix) Ajuste por pureza (tabla 3.3 - 95 por 100)

$$\frac{100}{95} \times 440,5 \text{ mg/l} = 464 \text{ mg/l}$$

- (x) Para la concentración 200:

$$200 \times 464 \text{ mg/l} = 92.800 \text{ mg/l ó: } 92,8 \text{ g/l}$$

- (xi) Expresar en g/100 ml y comparar con la solubilidad:

$$92,8 \text{ g/l} = 9,28 \text{ g/100 ml}$$

$$9,28 \text{ g/100 ml contra } 13,3 \text{ g/100 ml}$$

Esto está dentro del límite de solubilidad. Obsérvese que la mitad del nitrato potásico es añadido al stock A y la otra mitad al stock B.

Por consiguiente, en realidad se añaden $9,28/2 = 4,62 \text{ g/100 ml}$ de concentración a cada tanque.

C. K: 300 ppm (mg/l)

- (i) Cantidad de K en KNO_3 usado:

$$440,5 \text{ mg/l} \times 0,387 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 170,5 \text{ mg/l}$$

- (ii) Balance de K necesario: $300 - 170 = 130 \text{ mg/l}$

- (iii) Otras fuentes: KH_2PO_4 y K_2SO_4

Calcular primero la cantidad de KH_2PO_4 a usar para obtener 50 ppm de P.

D. P: 50 ppm (mg/l) de KH_2PO_4

- (i) $50 \text{ mg/l} \times 4,394 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 220 \text{ mg/l}$

- (ii) Ajuste por pureza (tabla 3.3 - 98 por 100)

$$\frac{100}{98} \times 220 \text{ mg/l} = 224 \text{ mg/l}$$

- (iii) Para la concentración 200:

$$200 \times \frac{224 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 44,8 \text{ g/l ó: } 4,5 \text{ g/100 ml}$$

- (iv) Comparar con la solubilidad:

4,5 g/100 ml contra 33,0 g/100 ml

Esta cifra está muy por debajo del límite de solubilidad.

Volver a calcular ahora las necesidades de K de otras fuentes (ver C anterior).

K: 300 ppm (mg/l)

- (v) Cantidad de K en 220 mg/l de
- KH_2PO_4

$$220 \text{ mg/l} \times 0,287 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 63 \text{ ppm}$$

- (vi) Balance de K necesario:
- $300 - (170 + 63) = 67 \text{ ppm (mg/l)}$

- (vii) Cantidad de
- K_2SO_4
- :

$$67 \text{ mg/l} \times 2,229 = 149 \text{ mg/l}$$

- (viii) Ajuste por pureza (90 por 100):

$$\frac{100}{90} \times 149 \text{ mg/l} = 166 \text{ mg/l}$$

- (ix) Para la concentración 200:

$$200 \times \frac{166 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 33,2 \text{ g/l ó: } 3,32 \text{ g/100 ml}$$

- (x) Comparar con la solubilidad:

3,32 g/100 ml contra 12,0 g/100 ml

Este nivel está dentro del límite de solubilidad.

E. Mg: 20 ppm (mg/l)

- (i) Cantidad de
- MgSO_4
- requerido:

$$20 \text{ mg/l} \times 10,14 = 203 \text{ mg/l}$$

- (ii) Ajuste por pureza (98 por 100)

$$\frac{100}{98} \times 203 \text{ mg/l} = 207 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:

$$200 \times \frac{207 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 41,4 \text{ g/l ó: } 4,14 \text{ g/100 ml}$$

(iv) Comparar con la solubilidad:

$$4,14 \text{ g/100 ml contra } 71 \text{ g/100 ml}$$

Este nivel es soluble.

5. Convertir los pesos de todos los compuestos a las cantidades correspondientes a tanques de stock de 1.200 galones USA.

A. Convertir 1.200 galones USA a litros:

$$1.200 \times 3,785 \text{ l} = 4.542 \text{ l}$$

B. Calcular los pesos de cada compuesto para este volumen.

(i) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: 154,6 g/l

$$154,6 \times 4.542 = 702.193 \text{ g ó: } 702,2 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 702,2 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 1.545 \text{ lb}$$

(ii) NH_4NO_3 : 11,6 g/l

$$11,6 \times 4.542 = 52.687 \text{ g ó: } 52,7 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 52,7 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 116 \text{ lb}$$

(iii) KNO_3 : 92,8 g/l

$$92,8 \times 4.542 = 421.498 \text{ g ó: } 421,5 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 421,5 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 927 \text{ lb}$$

NOTA: Este total de 927 lb se dividirá en dos partes iguales, una para cada tanque de stock. Por tanto, se deben añadir $927/2 = 463,5 \text{ lb}$ a cada uno de los tanques de stock A y B.

(iv) KH_2PO_4 : 44,8 g/l

$$44,8 \times 4.542 = 203.482 \text{ g ó: } 203,5 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 203,5 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 448 \text{ lb}$$

(v) K_2SO_4 : 33,2 g/l

$$33,2 \times 4.542 = 150.794 \text{ g ó: } 150,8 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 150,8 \times 2,2 \text{ lb} = 332 \text{ lb}$$

(vi) MgSO_4 : 41,4 g/l

$$41,4 \times 4.542 = 188.039 \text{ g ó: } 188 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 188 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 414 \text{ lb}$$

7. Calcular ahora los pesos para cada uno de los compuestos de micronutrientes.

A. Fe: 5 ppm (mg/l)

(i) Fuente: FeEDTA (10 % Fe)

$$5 \text{ mg/l} \times 10,0 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 50 \text{ mg/l}$$

(ii) Para la concentración 200:

$$200 \times 50 \text{ mg/l} = 10.000 \text{ mg/l ó: } 10 \text{ g/l}$$

(iii) Para 1.200 galones USA (4.542 l):

$$10 \times 4.542 = 45.420 \text{ g ó: } 45,4 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 45,4 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 100 \text{ lb}$$

B. Mn: 0,8 ppm (mg/l)

(i) Cantidad de MnSO_4

$$0,8 \text{ mg/l} \times 4,061 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 3,25 \text{ mg/l}$$

(ii) Ajuste por porcentaje de pureza. La pureza de los compuestos, especialmente los de los micronutrientes, difieren según el productor. El agricultor debe obtener el porcentaje exacto de pureza, para un producto dado, del distribuidor del fertilizante. A efectos de cálculo, utilizaremos una pureza del 90 por 100. Se pueden hacer ajustes después de que se haya realizado un análisis de la solución. El nivel real de cada elemento se puede comparar con el nivel teórico esperado de cada uno.

$$\frac{100}{90} \times 3,25 \text{ mg/l} = 3,6 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:

$$200 \times 3,6 \text{ mg/l} = 720 \text{ mg/l ó: } 0,72 \text{ g/l}$$

(iv) Para 1.200 galones USA (4.542 l):

$$0,72 \times 4.542 = 3.270 \text{ g ó: } 3,27 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 3,27 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 7,2 \text{ lb}$$

$$\text{ó: } 7 \text{ lb } 3 \text{ oz (1 lb = 16 oz; } 0,2 \times 16 = 3 \text{ oz)}$$

C. Cu: 0,07 ppm (mg/l)

(i) Fuente: CuSO_4

$$0,07 \text{ mg/l} \times 3,93 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 0,275 \text{ mg/l}$$

(ii) Porcentaje de pureza (98 por 100):

$$\frac{100}{98} \times 0,275 \text{ mg/l} = 0,281 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:
 $200 \times 0,281 \text{ mg/l} = 56 \text{ mg/l}$ ó: $0,056 \text{ g/l}$

(iv) Para 1.200 galones USA:
 $0,056 \times 4.542 = 254 \text{ g}$

Puesto que esta cantidad es menor que una libra, es más seguro pesarla utilizando una escala en gramos.

D. Zn: 0,1 ppm (mg/l)

(i) Fuente: ZnEDTA (14 por 100 polvo)
 $0,1 \text{ mg/l} \times 7,143 = 0,7143 \text{ mg/l}$

(ii) Para la concentración 200:
 $200 \times 0,7143 \text{ mg/l} = 143 \text{ mg/l}$ ó: $0,143 \text{ g/l}$

(iii) Para 1.200 galones USA:
 $0,143 \times 4.542 = 650 \text{ g}$ ó: $1,43 \text{ lb}$,
 que son 1 lb 7 oz

E. B: 0,3 ppm (mg/l)

(i) Fuente: H_3BO_3
 $0,3 \text{ mg/l} \times 5,717 = 1,715 \text{ mg/l}$

(ii) Porcentaje de pureza (aproximadamente el 95 por 100)

$$\frac{1}{1.000.000} \times 1,715 \text{ mg/l} = 1,805 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:
 $200 \times 1,805 \text{ mg/l} = 361 \text{ mg/l}$ ó: $0,361 \text{ g/l}$

(iv) Para 1.200 galones USA:
 $0,361 \times 4.542 = 1.640 \text{ g}$ ó: $3,61 \text{ lb}$

Esto es: 3 lb 10 oz

F. Mo: 0,03 ppm (mg/l)

(i) Fuente: molibdato amónico
 $0,03 \text{ mg/l} \times 1,733 = 0,052 \text{ mg/l}$

CULTIVOS HIDROPONICOS

(ii) El porcentaje de pureza es aproximadamente el 95 por 100:

$$\frac{100}{95} \times 0,052 \text{ mg/l} = 0,055 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:

$$200 \times 0,055 \text{ mg/l} = 11 \text{ mg/l}$$

(iv) Para 1.200 galones USA:

$$11 \times 4.542 = 49,962 \text{ mg ó: } 50 \text{ g}$$

8. Construir una tabla para resumir toda la información.

	<i>Compuesto</i>	<i>Peso (lb)</i>	<i>Solubilidad Stock (g/100 ml)</i>	<i>Solubilidad máxima (g/100 ml)</i>	<i>Elementos de la sol. de nutrientes (ppm) después de inyección</i>
STOCK A: (× 200) (tanque de 1.200 gal)	KNO ₃	463,5	4,64	13,3	K - 85 N - 30,5
	Ca(NO ₃) ₂	1.545	15,46	121,2	Ca - 170 N - 119
	NH ₄ NO ₃	116	1,16	118,3	N - 20
	FeEDTA	100	—	Muy sol.	Fe - 5
	*HNO ₃	—	—	Sin límite	
STOCK B: (× 200) (tanque de 1.200 gal)	KNO ₃	463,5	4,64	13,3	K - 85 N - 30,5
	K ₂ SO ₄	332	3,32	12,0	K - 67
	KH ₂ PO ₄	448	4,5	33,0	K - 63 P - 50
	MgSO ₄	414	4,14	71	Mg - 20
	*H ₃ PO ₄	—	—	548	
	MnSO ₄	7 lb 3 oz	—	105,3	Mn - 0,8
	CuSO ₄	254 g	—	31,6	Cu - 0,07
	ZnEDTA	1 lb 7 oz	—	Muy sol.	Zn - 0,1
	H ₃ BO ₃	3 lb 10 oz	—	6,35	B - 0,3
	NH ₄ -Mo	50 g	—	43	Mo - 0,03

*Estos ácidos son añadidos en suficiente cantidad para bajar el pH a 5,5. El ácido fosfórico (H₃PO₄) puede ser sustituido por KH₂PO₄ como fuente de P. Ajustar entonces los restantes compuestos que contienen K, especialmente K₂SO₄, pues no se puede obtener ningún K de H₃PO₄.

Totales de la solución de nutrientes: NO₃ - N: 190 ppm; NH₄ - N: 10 ppm; P: 50 ppm; K: 300 ppm.

El agua en este ejemplo contenía 30 ppm de Ca y 20 ppm de Mg. Esto lleva el total de Ca a 200 ppm y el de Mg a 40 ppm en la solución final de nutrientes después de la inyección.

Las soluciones stock requieren una agitación continua para prevenir la sedimentación de algunos de los compuestos fertilizantes. Esto se puede conseguir de varios modos. Por encima de la apertura del tanque, se puede instalar un motor que tenga un mango largo con una pala tipo hélice en su extremo, como se muestra en la figura 3.5. La pala y el mango deben estar sumergidos hasta una posición muy próxima al fondo del tanque. Es muy importante que tanto la pala como el mango sean de acero inoxidable, para resistir la naturaleza corrosiva de la solución nutritiva. Se puede colocar una bomba sumergible en el fondo de cada tanque para hacer que circule la solución. Pero tiene que estar herméticamente cerrada y tener un agitador de plástico o acero inoxidable y tornillos también de acero inoxidable que sujeten los componentes de la bomba. Si hay tornillos de acero normal o galvanizados en contacto con la solución de nutrientes, serán disueltos por la naturaleza electrolítica de la solución en varias semanas.



Figura 3.5. Tanques de stock (2,300 galones) A y B con bombas de circulación. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

Esto expondría entonces el motor a la solución, y el operador podría recibir fácilmente una descarga eléctrica cuando trabajara con el sistema de inyección.

Una alternativa a estos métodos es utilizar una bomba de circulación que tenga componentes resistentes a las soluciones corrosivas, como una bomba de circulación para piscinas. La bomba se colocaría fuera y cerca de cada tanque (una bomba por tanque). Una tubería de PVC de al menos una pulgada y media de diámetro conectaría las entradas y salidas de la bomba al fondo del tanque de la solución stock, tal como aparece en la figura 3.6. Colocar un codo al final de la línea de salida del tanque para desviar la solución alrededor del tanque. La entrada requiere una válvula de comprobación en su extremo próximo a la base del tanque, para que la bomba se pueda cebar. La bomba debe estar anclada en una base de hormigón o en un soporte de madera dura, con pernos de anclaje que impidan que cambie de posición. La bomba debe funcionar continuamente.

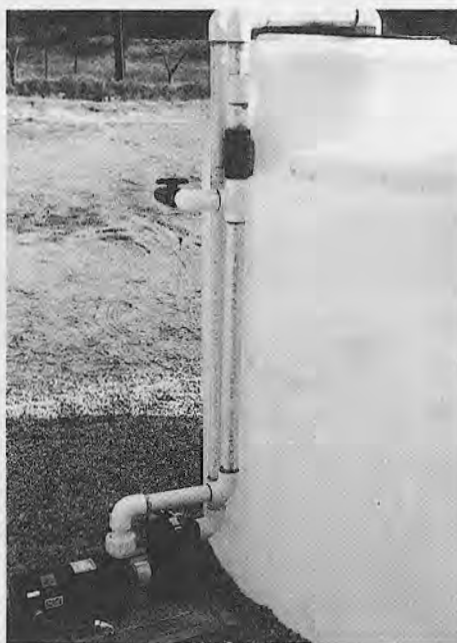


Figura 3.6. Bomba de circulación con tuberías para agitar la solución stock.

Con pequeños tanques de stock de menos de 500 galones, se puede utilizar una bomba de aire para agitar la solución. Conectar la bomba de aire utilizando tubería de polietileno de 1/2 pulgada de diámetro y una T que forme una línea para cada tanque. Conectar la tubería de polietileno con un adaptador a una tubería de PVC de 3/4 de pulgada de diámetro para llevar el aire a la base del tanque (fig. 3.7). Una válvula de bola de plástico instalada en cada tubería de PVC permitirá equilibrar el flujo de aire entre los tanques. Cuando se prepare una nueva solución stock, extraer lo que queda de la solución anterior y limpiar el tanque con una bomba sumergible. Después de su uso, lavar la bomba sumergible con agua limpia para evitar la corrosión.

La solución stock de ácido no requiere agitación, pues los ácidos se disuelven bien en agua y no forman precipitados.

Para facilitar el llenado de los tanques de stock, instalar una tubería de agua de una pulgada de diámetro por encima de los tanques (fig. 3.5). En la entrada de cada tanque, acoplar una válvula de entrada. Para grandes operaciones, los tanques de stock deben ser al menos de 2.300 galones, como aparece en la figura 3.8.

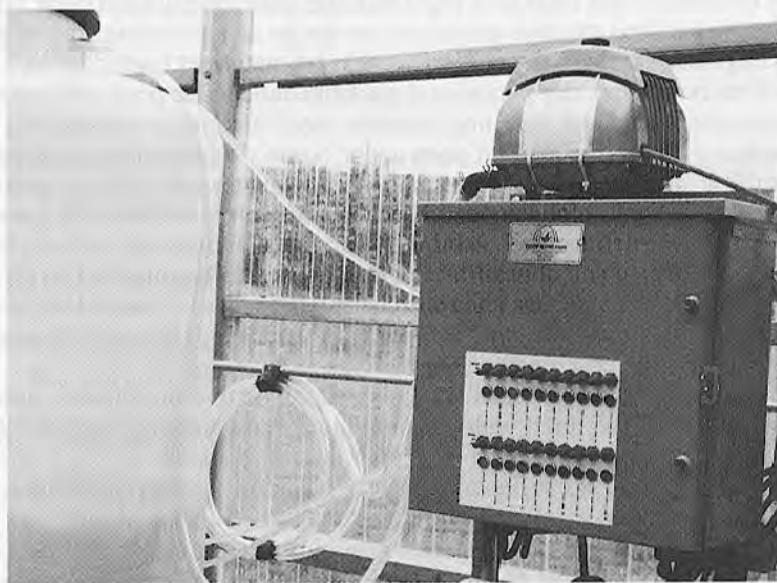


Figura 3.7. Mezclador con bomba de aire para pequeños tanques de la solución stock.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

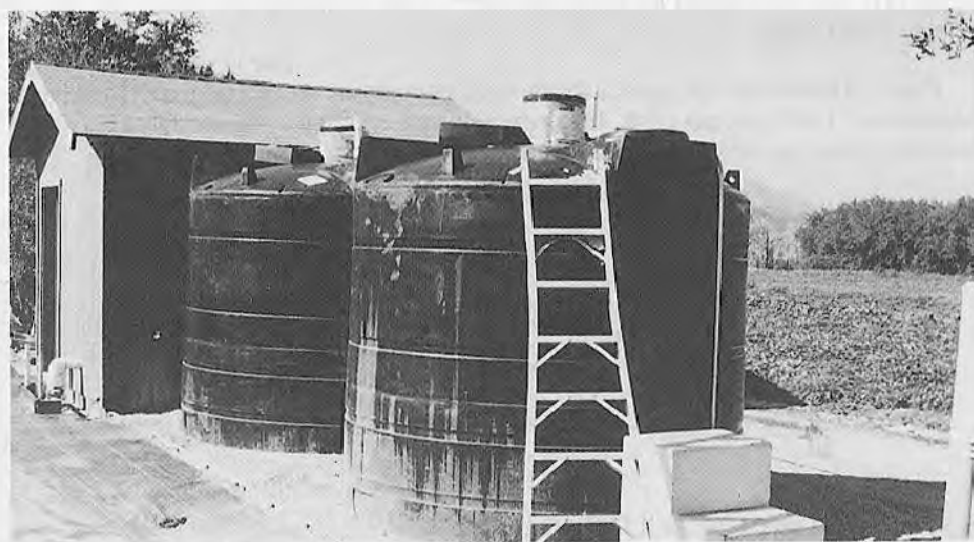


Figura 3.8. Tanques de stock de 2.300 galones con cobertizo para el inyector.
(Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA.).

Cuando se usan pequeños tanques con sistema inyector, de menos de 100 galones USA (378 l), el peso de los diferentes compuestos de micronutrientes es muy pequeño. Por ejemplo, la cantidad de molibdato de amonio para una solución de concentración 200, para un tanque de 100 galones USA (378 l), sería de 4,17 gramos. Estos pequeños pesos son difíciles de medir en una balanza de triple astil, que pesa con exactitud hasta 1,0 gramos. Además, si se prepara una solución nutritiva en un tanque de almacenamiento en su formulación final de planta, sin el uso de soluciones stock, las cantidades requeridas para los compuestos micronutrientes son muy pequeñas y, por tanto, difíciles de pesar con exactitud.

En estos casos, es mejor usar una solución stock altamente concentrada para los micronutrientes y almacenarla en un contenedor opaco. Preparar una cantidad de 10 a 20 galones (38 a 76 litros). No preparar más de lo que se espera usar en aproximadamente un mes, pues puede que haya que hacer cambios en la formulación para adecuar las plantas durante los diferentes estados de desarrollo. Durante este período de tiempo pueden aparecer sedimentaciones, por lo que hay que agitar la solución con un pequeño motor con mango y pala agitadora, como se ha indicado antes. Con un tanque pequeño se puede utilizar un mezclador de pintura. Estos productos deben estar disponibles en los proveedores de ferretería, riego e invernaderos.

Para ilustrar la preparación de una solución stock de micronutrientes, usaremos la misma formulación de micronutrientes que en el ejemplo anterior. Es decir: Mn - 0,8 ppm; Cu - 0,07 ppm; Zn - 0,1 ppm; B - 0,3 ppm; Mo - 0,03 ppm.

NOTA: El hierro (Fe) no se incluye en esta solución de micronutrientes, pues se necesita tal peso de él que se puede medir con exactitud en una balanza.

La siguiente situación servirá de ejemplo para los cálculos necesarios para determinar los pesos de los compuestos de micronutrientes y sus comparaciones con las solubilidades para una solución concentrada de stock. Preparar una solución de nutrientes a una concentración normal para la planta en un tanque de nutrientes de 1.000 galones USA (no una solución stock) y usar una solución stock de micronutrientes con concentración 600 para suministrar los micronutrientes a este tanque. El procedimiento de tres pasos es como sigue:

Paso 1. Determinar las cantidades de cada compuesto necesarias para el tanque de nutrientes de 1.000 galones USA. Esta vez, sólo aparecerán los cálculos para los micronutrientes como los mostrados para los macronutrientes en el apartado 3.5.2.

A. Mn: 0,8 ppm (mg/l)

(i) Cantidad de MnSO_4

$$0,8 \text{ mg/l} \times 4,061 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 3,25 \text{ mg/l}$$

(ii) Ajuste por pureza (90 por 100)

$$\frac{100}{90} \times 3,25 \text{ mg/l} = 3,6 \text{ mg/l}$$

(iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:

$$1.000 \times 3,785 = 3.785 \text{ litros}$$

$$3.785 \times 3,6 \text{ mg/l} = 13.626 \text{ mg ó } 13,6 \text{ g}$$

B. Cu: 0,07 ppm (mg/l)

(i) Cantidad de CuSO_4
 $0,07 \text{ mg/l} \times 3,93 = 0,275 \text{ mg/l}$

(ii) Ajuste por pureza (98 por 100)

$$\frac{100}{98} \times 0,275 \text{ mg/l} = 0,281 \text{ mg/l}$$

(iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:

$$3.785 \times 0,281 \text{ mg/l} = 1.064 \text{ mg} \text{ ó: } 1,064 \text{ g}$$

C. Zn: 0,1 ppm (mg/l)

(i) Cantidad de ZnSO_4
 $0,1 \text{ mg/l} \times 4,40 = 0,44 \text{ mg/l}$

(ii) Ajuste por pureza (90 por 100)

$$\frac{100}{90} \times 0,44 \text{ mg/l} = 0,4889 \text{ mg/l}$$

(iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:

$$3.785 \times 0,4889 \text{ mg/l} = 1.850 \text{ mg} \text{ ó: } 1,85 \text{ g}$$

D. B: 0,3 ppm (mg/l)

(i) Fuente: H_3BO_3
 $0,3 \text{ mg/l} \times 5,717 = 1,715 \text{ mg/l}$

(ii) Porcentaje de pureza (95 por 100)

$$\frac{100}{90} \times 1,715 \text{ mg/l} = 1,805 \text{ mg/l}$$

(iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:

$$3.785 \times 1,805 \text{ mg/l} = 6.832 \text{ mg} \text{ ó: } 6,83 \text{ g}$$

E. Mo: 0,03 ppm (mg/l)

(i) Fuente: molibdato de amonio
 $0,03 \text{ mg/l} \times 1,733 = 0,052 \text{ mg/l}$

(ii) Porcentaje de pureza (95 por 100)

$$\frac{100}{90} \times 0,052 \text{ mg/l} = 0,055 \text{ mg/l}$$

(iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:

$$3.785 \times 0,055 \text{ mg/l} = 208,2 \text{ mg ó: } 0,208 \text{ g}$$

Se ve claramente en estos cálculos que las cantidades son demasiado pequeñas para que se puedan pesar con exactitud en una balanza de triple astil.

Paso 2. Calcular las cantidades de cada compuesto de micronutrientes para una solución stock de una concentración 600 (utilizar un tanque de 10 galones USA).

A. Mn: Para 0,8 ppm (mg/l), usar 3,6 mg/l de MnSO_4 [como se ha calculado antes en 1.A (ii)].

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:

$$10 \times 3,785 \text{ l} = 37,85 \text{ l}$$

$$37,85 \times 3,6 \text{ mg/l} = 136,26 \text{ mg}$$

(ii) Concentración 600:

$$600 \times 136,26 \text{ mg} = 81.756 \text{ mg ó: } 81,8 \text{ g}$$

(iii) Convertir 81,8 g en 37,85 l a g/100 ml y compararlo con el límite de solubilidad:

$$\frac{81,8 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 2,16 \text{ g/l ó: } 0,216 \text{ g/100 ml}$$

$$0,216 \text{ g/100 ml contra } 105,3 \text{ g/100 ml}$$

Esta concentración está dentro del límite de solubilidad.

B. Cu: Para 0,07 ppm (mg/l) usar 0,281 mg/l de CuSO_4

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:

$$37,85 \times 0,281 \text{ mg/l} = 10,64 \text{ mg}$$

(ii) Concentración 600:

$$600 \times 10,64 \text{ mg} = 6.384 \text{ mg ó: } 6,4 \text{ g}$$

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{6,4 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 0,169 \text{ g/l ó: } 0,0169 \text{ g/100 ml}$$

$$0,0169 \text{ g/100 ml contra } 31,6 \text{ g/100 ml}$$

Está dentro del límite de solubilidad.

C. Zn: Para 0,1 ppm (mg/l), usar 0,4889 mg/l de ZnSO_4

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:
 $37,85 \times 0,4889 \text{ mg/l} = 18.505 \text{ mg}$

(ii) Concentración 600:
 $600 \times 18,505 \text{ mg} = 11.103 \text{ mg}$ ó: 11,1 g

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{11,1 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 0,2932 \text{ g/l} \text{ ó: } 0,0293 \text{ g/100 ml}$$

0,0293 g/100 ml contra 96,5 g/100 ml (del apéndice 4)

Esta concentración está muy por debajo del límite de solubilidad.

D. B: Para 0,3 ppm (mg/l), usar 1,805 mg/l de H_3BO_3

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:
 $37,85 \times 1,805 \text{ mg/l} = 68,32 \text{ mg}$

(ii) Concentración 600:
 $600 \times 68,32 \text{ mg} = 40.992 \text{ mg}$ ó: 41 g

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{41 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 1,083 \text{ g/l} \text{ ó: } 0,108 \text{ g/100 ml}$$

0,108 g/100 ml contra 6,35 g/100 ml

Este nivel está dentro del límite de solubilidad.

E. Mo: Para 0,03 ppm (mg/l), usar 0,055 mg/l de molibdato de amonio

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:
 $37,85 \times 0,055 \text{ mg/l} = 2,082 \text{ mg}$

(ii) Concentración 600:
 $600 \times 2,082 \text{ mg} = 1.249 \text{ mg}$ ó: 1,249 g

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{1,249 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 0,033 \text{ g/l} \text{ ó: } 0,0033 \text{ g/100 ml}$$

0,0033 g/100 ml contra 43 g/100 ml

Está muy por debajo del límite de solubilidad.

Paso 3. El paso final es calcular el volumen de una solución stock, con concentración 600 en un tanque de 10 galones USA, que hay que añadir a una solución de nutrientes de 1.000 galones USA para obtener una concentración 1. Hay que diluir hasta una relación de 1 parte de solución stock a 600 partes de agua; o sea 600:1. Por tanto, para 1 galón USA de solución de nutrientes se requerirían 1/600 galones USA de solución stock con concentración 600. Es más fácil establecer una relación con una incógnita (x) como sigue:

$$\frac{1}{1/600} = \frac{1.000}{x} = \frac{(\text{solución de nutrientes} \times 1)}{(\text{solución stock} \times 600)}$$

$$x = 1.000 \times 1/600$$

$$x = 1.000/600 = 12/3 \text{ galones USA}$$

Convertir a litros:

$$12/3 \text{ galones USA} \times 3,785 \text{ l} = 6,308 \text{ l ó: } 6.308 \text{ ml}$$

En resumen, 6,308 l de solución stock con concentración 600 serían añadidos a un tanque de nutrientes de 1.000 galones USA de una solución con concentración 1. Si la solución nutritiva tuviera que ser preparada una vez por semana, los 10 galones USA de la solución stock con concentración 600 durarían 6 semanas. Componer un cuadro resumen como sigue:

Solución stock de micronutrientes con concentración 600 en un tanque de 10 galones USA

<i>Compuesto</i>	<i>Peso (g)</i>	<i>Elemento (ppm)</i>
MnSO ₄	81,8	Mn - 0,8
CuSO ₄	6,4	Cu - 0,07
ZnSO ₄	11,1	Zn - 0,1
H ₃ BO ₃	41,0	B - 0,3
NH ₄ - Mo	1,25	Mo - 0,03

3.7. Preparación de la solución de nutrientes

La preparación de la solución de nutrientes variará, dependiendo del volumen del tanque de la solución de nutrientes y de si se usa una solución con concentración normal o una solución stock.

3.7.1. Preparación de soluciones con concentración normal

Para tanques de pequeño volumen (menos de 2.000 galones), se pueden pesar previamente los diferentes compuestos fertilizantes y colocarlos en sacos de plástico. Utili-

zar un rotulador para escribir la fórmula del compuesto en cada saco, para evitar confusiones en un futuro uso. Utilizar una balanza de triple astil para pesar los compuestos más pequeños en gramos. Los micronutrientes se pueden colocar juntos en un saco, con excepción del hierro, que debe estar en un saco separado. Los compuestos de micronutrientes se deben pesar utilizando una balanza capaz de 20 a 30 libras. Como ya hemos mencionado antes, cualquier compuesto que sea requerido en cantidades menores que una libra debe ser pesado usando un balanza en gramos. Generalmente es mucho más rápido si se pesan por lo menos 5 lotes cuando se preparan las formulaciones. No hacer demasiadas formulaciones, pues puede ser necesario cambiar éstas debido al desarrollo de las plantas o a las condiciones climáticas.

Con tanques de gran volumen, pesar solamente los fertilizantes necesarios para ese lote. Pesar cada sal fertilizante por separado, disponiéndola en pilas sobre láminas de polietileno o en cubos, para que no haya pérdidas. Esto se debe hacer con exactitud, para estar dentro de un más o menos 5 por 100, utilizando una balanza en gramos o una balanza en libras, según los pesos requeridos de cada sal.

Continuar usando el siguiente procedimiento:

1. Llenar el tanque de almacenamiento de la solución de nutrientes con agua, aproximadamente un tercio del volumen.
2. Disolver cada sal fertilizante individualmente en un cubo de 5 galones de agua. Añadir agua al fertilizante y remover con fuerza. Utilizar una manguera y una boquilla para facilitar la mezcla. Normalmente, la cantidad total de fertilizante se disolverá en la primera adición de agua. Verter la porción disuelta de líquido en el tanque de almacenamiento y repetir la adición de agua, removiendo la porción disuelta hasta que toda la sal haya entrado en la solución. Usar agua caliente con sales que sean difíciles de disolver.
3. Disolver primero los macronutrientes y después los micronutrientes.
4. En sistemas pequeños, como los invernaderos de jardín, se pueden mezclar todos los sulfatos en forma seca antes de disolverlos; por ejemplo: K_2SO_4 y $MgSO_4$. Después, se pueden mezclar los nitratos y los fosfatos en forma seca antes de disolverlos; por ejemplo: KNO_3 y KH_2PO_4 . Añadir finalmente $Ca(NO_3)_2$.
5. Con sistemas mayores, añadir primero sulfato potásico. Para una mejor mezcla, hacer funcionar la bomba de alimentación del sistema de solución de nutrientes con la válvula by-pass abierta y la válvula al invernadero cerrada. Mantener funcionando la bomba que circula la solución de nutrientes al tanque de almacenamiento hasta que esté preparada toda la solución.
6. Llenar el tanque al menos hasta la mitad, pero no más de los dos tercios, y añadir después nitrato potásico.
7. Llenar el tanque hasta las tres cuartas partes, y añadir después sulfato magnésico y fosfato monopotásico.
8. Añadir lentamente nitrato cálcico, mientras se hace circular la solución.
9. Añadir los micronutrientes, a excepción del quelato de hierro.
10. Comprobar el pH de la solución de nutrientes y ajustar, si fuera necesario, con ácido sulfúrico (H_2SO_4) o hidróxido potásico (KOH). Un alto pH (más de 7.0) provoca la precipitación de Fe^{++} , Mn^{++} , PO_4^{--} , Ca^{++} y Mg^{++} a sales insolubles y no disponibles.
11. Añadir el quelato de hierro (FeEDTA) y llenar el tanque hasta el volumen final.

12. Comprobar el pH y ajustar entre 5,8 y 6,4, dependiendo del nivel óptimo de pH para la cosecha.

13. Si se está utilizando un sistema hidropónico de recirculación cerrada, hacer circular la solución de nutrientes a través del sistema durante 5 a 10 minutos, y comprobar después el pH de nuevo y ajustarlo si fuera necesario.

3.7.2. Preparación de las soluciones stock

Cuando se preparen las soluciones stock, se requerirán pesos mayores de cada compuesto; por tanto preparar solamente un lote de solución. Pesar cada compuesto separadamente. Se usarán a menudo sacos enteros (50 lb ó 100 lb), de forma que hay que pesar solamente la cantidad adicional necesaria. Por ejemplo, si 414 libras de sulfato magnésico son un componente, usar ocho sacos de 50 lb ó cuatro de 100 lb, y después pesar las 14 libras adicionales en una balanza.

Si se utilizan cubos de 5 galones para disolver las sales fertilizantes, llenar los cubos sólo hasta un tercio de su capacidad, para que haya suficiente agua para disolver el compuesto. Utilizando 15 a 20 cubos, una persona puede fácilmente estar disolviendo el fertilizante, mientras otra vierte la solución en el tanque de almacenamiento. Otro método, distinto al uso de los cubos, es tener un depósito mezclador con una bomba de circulación para mezclar cada fertilizante separadamente; después, una vez disuelto, bombear la solución al tanque de almacenamiento de la solución stock, como se muestra en la figura 3.9. Tener cuidado de no utilizar más agua en el proceso de mezcla que la que el tanque stock pueda contener.

Cuando se preparen las soluciones stock, no añadir mucha agua al tanque stock antes de empezar el proceso de mezcla, pues se puede sobrepasar el volumen final en el proceso de disolución.

Añadir solamente la mitad del nitrato potásico a cada tanque stock.



Figura 3.9. Depósito mezclador con bombas para tanques de stock.
(Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

Para el stock A, la secuencia de adición de los fertilizantes es la siguiente: mitad del nitrato potásico, nitrato cálcico, nitrato amónico y quelato de hierro después de ajustar el pH a aproximadamente 5,5. Llenar el tanque con agua hasta 10 galones del nivel final de solución antes de ajustar el pH y añadir el quelato de hierro.

Para el tanque B, la secuencia es: la otra mitad del nitrato potásico y sulfato potásico. Llenar el tanque hasta las tres cuartas partes y continuar añadiendo después el sulfato magnésico y el fosfato monopotásico. Ajustar el pH a aproximadamente 5,5, llenando el tanque con agua hasta 30 galones del nivel final, y añadir después los micronutrientes. Finalmente, comprobar de nuevo el pH y ajustarlo si fuera necesario.

El ácido, tanque C, se prepara el último utilizando uno de los ácidos anteriormente descritos. Llenar el tanque del ácido hasta las tres cuartas partes con agua, antes de añadir el ácido al agua. A continuación, después de remover con un tubo de plástico, llenar despacio el tanque con agua hasta el nivel final.

3.8. Relaciones de las plantas y causas de los cambios en la solución de nutrientes

En un sistema cíclico (cerrado), en el cual la solución de nutrientes pasa al tanque a través de un drenaje después de ser utilizada, la vida de ésta es de dos a tres semanas, dependiendo esto de la estación del año y del estado de desarrollo de la planta. Durante los meses de verano, en plantas maduras de alta cosecha, puede ser frecuentemente necesario el cambio semanal de la solución de nutrientes. La razón para este cambio es la diferente absorción por las plantas de los diversos elementos. Esto da lugar a que algunos elementos escaseen antes que otros, pudiendo conocerse en qué grados existen estas deficiencias en un momento determinado del cultivo solamente por un análisis de absorción atómica de la solución de nutrientes. Estos análisis pueden efectuarse solamente en laboratorios con instalaciones muy costosas y, por tanto, mucha gente es incapaz de poder obtener dichos análisis. Así pues, la única seguridad contra un desorden en la solución de nutrientes será el cambiar periódicamente dicha solución. En algunos casos es posible el añadir una parte de la formulación entre uno u otro cambio, pero esto es solamente una aproximación, y puede cometerse un grave error al producirse concentraciones excesivas en los nutrientes de algunas sales de las que las plantas toman solamente pequeñas cantidades.

La absorción relativa de los diversos elementos minerales por las plantas está efectuada por:

- a) condiciones ambientales (temperatura, humedad, intensidad lumínica);
- b) naturaleza de la cosecha;
- c) estado de desarrollo de la planta.

Como resultado de las diferencias de absorción de los diversos elementos, la composición de la solución de nutrientes cambiará continuamente, siendo consumidos algunos de los elementos más rápidamente que otros e incrementándose la concentración frecuentemente a causa de que las plantas efectúan una absorción de agua más grande que de sales. En adición a los cambios en la composición de las sales, el pH cambiará como resultado de las reacciones entre los agregados y la absorción no compensada de los aniones y cationes de las soluciones.

3.8.1. Análisis de nutrientes

Antes de reemplazar los elementos minerales es necesario determinar su concentración por métodos químicos de análisis, con el fin de conocer las cantidades absorbidas por las plantas. La diferencia de concentración de los elementos minerales desde el momento en que se hizo la primera mezcla de la solución de nutrientes hasta el momento de análisis, nos dirá cuánto debemos añadir de cada uno de los elementos para llevar la concentración a su nivel original.

Después de comprobar las soluciones a causa de la disminución de los elementos es necesario también analizar éstas para comprobar la acumulación de los iones que no se han utilizado, tales como el sodio, el sulfato o el cloruro, o para conocer la presencia de un exceso de elementos tóxicos, como el cobre o el zinc.

3.8.2. Análisis del tejido de las plantas

Utilizando tanto el análisis del tejido de las plantas como el de la solución de nutrientes podremos comparar y relacionar la absorción fisiológica de las plantas, para de esta forma poder efectuar un balance de los diversos elementos minerales en la solución de nutrientes. Es posible de esta forma el controlar los cambios en la solución de nutrientes, una vez que conozcamos la relación exacta entre las fluctuaciones que puedan producirse en los elementos minerales, en el tejido de la planta y los mismos en la solución de nutrientes. La solución de nutrientes deberá ser ajustada antes que aparezca algún síntoma en el tejido de la planta. Esto nos evitará el que exista algún desarreglo mineral en la planta, y de esta forma incrementaremos las cosechas, por medio de proporcionar a los vegetales un desarrollo bajo las condiciones óptimas de nutrición mineral.

Una ventaja del análisis de tejidos sobre el análisis de nutrientes es que el primero nos indica lo que ha sido o está siendo tomado por la planta de las soluciones de nutrientes, mientras que el segundo nos da solamente la disponibilidad de nutrientes para la planta. La absorción por las plantas de los elementos esenciales en un momento determinado, depende de las condiciones del medio, solución, los factores ambientales o las mismas plantas. Por ejemplo, si el medio no es inerte y reacciona con la solución de nutrientes, los iones pueden quedar retenidos por las partículas y no ser utilizables por las plantas. Los desequilibrios en la solución de nutrientes o las fluctuaciones en los niveles de pH reducen la absorción de las plantas, al igual que las enfermedades de la raíz o los ataques de nematodos en éstas. Los factores ambientales, tales como la falta de luz, temperaturas extremas o niveles bajos de dióxido de carbono evitan también a las plantas el aprovechamiento adecuado de los nutrientes de la solución. Por medio de los análisis de tejidos se pueden medir los efectos de los factores ya indicados en la absorción de nutrientes.

El uso de los análisis de tejidos en relación con el estado nutricional está basado en que, en las plantas sanas y vigorosas, los contenidos de nutrientes en los diversos tejidos suelen ser constantes. Al no ser igual los resultados para cada uno de los distintos tejidos o para las diversas especies, es preciso el seleccionar un tejido como indicador representativo de cada planta en los diversos estados de desarrollo, normalmente se seleccionan las hojas con buen aspecto, jóvenes y vigorosas, situadas cerca del punto de desarrollo del tallo principal. Es más fiable el tomar muestras en diversos estados de crecimiento que el tomar un gran número de éstas en un momento determinado, ya que la concentración de la mayoría de los nutrientes decrece con la edad y la madurez.

Para poder basarnos en el análisis de tejidos necesitamos un número elevado de datos tomados de cada especie, tejido y momento de desarrollo, todos ellos de plantas sanas y vigorosas, como ya se ha indicado. Esta información es disponible para lechuga de invernadero, tomates y pepinos (tabla 3.8). El tejido indicador para los tomates es la quinta hoja a partir del extremo del tallo principal, e incluye el tejido del peciolo y del limbo, debiendo tomarse al menos diez muestras de cada variedad con igual tratamiento fertilizante. En el caso de los pepinos se toman las hojas jóvenes sin peciolo, de unos 10 cm de diámetro, normalmente ésta suele ser la tercera hoja visible a partir del extremo del tallo principal, debiendo utilizarse también un número no inferior a 10 hojas. Las hojas deberán desecarse en estufa (70° C, unas 48 horas) o ser enviadas rápidamente, sin perder el frescor, al laboratorio, debiendo separar las hojas de los peciolos antes de secarlas, ya que normalmente los análisis de $\text{NO}_3^- \text{N}$, $\text{PO}_4^- \text{P}$, K, Ca y Mg se toman de los peciolos, y los elementos menores de las hojas.

Para analizar los resultados es preciso conocer la edad de la planta, el estado de desarrollo y la fertilización utilizada. Una serie de análisis semanales indicarán claramente la tendencia en cualquier nivel de nutriente.

La combinación de análisis de tejido y nutrientes permitirá al agricultor anticiparse a los problemas y efectuar los ajustes necesarios en la formación de la solución de nutrientes.

TABLA 3.8
Niveles de nutrientes en tejido de plantas aparentemente sanas

<i>Elementos</i>	<i>Tomates</i>	<i>Pepinos</i>	<i>Lechugas</i>
N %	4,5 4,5-5,5	5,25 5,0-6,0	4,3 3,0-6,0
P %	0,7 0,6-1,0	0,75 0,7-1,0	1,0 0,8-1,3
K %	4,5 4,0-5,5	4,75 4,5-5,5	5,4 5,0-10,8
Ca %	1,5 1,5-2,5	3,0 2,0-4,0	1,5 1,1-2,1
M %	0,5 0,4-0,6	0,75 0,5-1,0	0,42 3,0-0,9
Fe (ppm)	100 80-150	125 100-150	120 130-600
B (ppm)	50 35-60	40 35-60	32 25-40
Mn (ppm)	70 70-150	70 60-150	70 20-150
Zn (ppm)	30 30-45	50 40-80	45 60-120
Cu (ppm)	5 4-6	8 5-10	14 7-17
Mo (ppm)	2 1-3	2 1-3	2-3 1-4
N/K ratio	1,0 0,9	1,1 1,0-1,5	

3.8.3. Cambio de solución

El trabajo de Steiner (1980) sobre las soluciones de nutrientes indica que, si las proporciones de la absorción de nutrientes para un cultivo bajo condiciones dadas son

conocidas, los iones pueden ser aplicados continuamente a la solución en estas proporciones, controladas sólo por un conductímetro.

Aunque, generalmente, esto es cierto, el uso extendido de la misma solución nutritiva puede resultar que produzca una acumulación de cantidades tóxicas de elementos menores, tales como zinc y cobre, provenientes de metales del sistema de fontanería, impurezas de los fertilizantes o de las mismas aguas.

La vida útil de una solución de nutrientes depende principalmente del porcentaje de acumulación de los iones extraños que no son utilizados por las plantas de forma inmediata. Tales acumulaciones dan como resultado una elevación de la concentración osmótica de la solución de nutrientes. Un medidor eléctrico de conductividad de los normalmente utilizados en el comercio debería usarse para determinar el momento en el cual la solución de nutrientes empieza a estar demasiado concentrada. Las determinaciones se efectuarán sobre las soluciones de nutrientes en el momento de su aporte, y después se irán repitiendo cada vez que se les añadieran nuevas sales. Al incrementarse el nivel de sales totales se incrementará también rápidamente la conductividad eléctrica. La unidad de medida utilizada para expresar la conductancia es un mho. Para simplificar, la conductividad se expresa, a menudo, como milimhos/cm, con el alcance deseado de 2,00 a 4,00. Los niveles de sales por encima de 4 milimhos/cm pueden dar lugar a un marchitamiento, deteniendo el desarrollo y desecando los frutos. Un mMho/cm = 1 miliSiemen/cm (mS/cm).

La concentración total de elementos en una solución nutritiva debería ser de 1.000 y 1.500 ppm, de forma que la presión osmótica facilite el proceso de absorción por las raíces. Esto correspondería a las lecturas del contenido total de sales, entre 1,5 y 3,5 mMho. En general, los valores más bajos (1,5-2,0 mMho) son preferidos para cultivos como los pepinos, mientras que los valores más altos son más adecuados para las cosechas de tomates (2,5-3,5 mMho). Un mMho/cm es, aproximadamente, igual a 650 ppm de sales.

En general, nunca debería utilizarse la solución de nutrientes por un espacio mayor de tres meses sin que se efectuase un recambio completo de ella, a la vez que se efectuase un lavado de agua limpia de la totalidad del sistema, incluyendo las bancadas. La media de vida económica de una solución de nutrientes que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En el caso de que no se efectuasen dichos análisis, la vida de la solución nunca podría ser mayor de dos o tres semanas.

3.8.4. El ajuste de soluciones de nutrientes por el uso de la conductividad eléctrica

Los instrumentos para el cálculo de sólidos solubles (TDS), que determinan los sólidos disueltos en agua, están basados en instrumentos de medida de la conductividad de ésta.

La cantidad de sólidos disueltos en partes por millón (ppm) o mg/l por peso es directamente proporcional a la conductividad en mMho por unidad de volumen. Sin embargo, la conductividad eléctrica (EC) crece no sólo por las concentraciones de sales presentes, sino también por la composición química de la solución de nutrientes. Algunas sales fertilizantes conducen la electricidad mejor que otras. Por ejemplo, el sulfato de amonio conduce dos veces más la electricidad que el nitrato de calcio y más de tres veces que el sulfato de magnesio, mientras que la urea no es conductora en absoluto.

Los iones de nitrato no producen una correlación tan aproximada con la conductividad eléctrica como lo hacen los iones de potasio (Alt. D. 1980).

Mientras más alta es la relación del nitrógeno al potasio, más bajos serán los valores de conductividad eléctrica en la solución de nutrientes.

Las medidas de conductividad eléctrica del total de solutos no se diferencian entre los diversos elementos; por esta razón, mientras existe una teórica proporcionalidad entre TDS y EC, las soluciones estándar para una formulación de nutrientes deberán ser calculadas para determinar su correlación en la solución indicada.

Por ejemplo, en la tabla 3.9, una 660 ppm TDS es equivalente a 1,0 mMho, lo cual es la medida de una solución que contenga 490 ppm de cloruro sódico o una solución de 420 ppm de carbonato cálcico. Es decir, una solución de 490 ppm de cloruro sódico u otra de 420 ppm de carbonato cálcico tienen ambas una lectura de 1,0 mMho de conductividad eléctrica.

La tabla 3.9 relaciona la concentración del cloruro sódico y el carbonato cálcico con la conductividad.

TABLA 3.9

Proporciones entre Sólidos Totales Disueltos (TDS) y Conductividad Eléctrica (EC) para soluciones de cloruro sódico y carbonato cálcico (Solución A)

<i>TDS</i> (ppm)	<i>EC</i> (mMho)	<i>NaCl</i> (ppm)	<i>CaCO₃</i> (ppm)
10.000	15	8.400	7.250
6.660	10	5.500	4.700
5.000	7,5	4.000	3.450
4.000	6	3.200	2.700
3.000	4,5	2.350	2.000
2.000	3	1.150	1.300
1.000	1,5	750	640
750	1,125	560	475
666	1	490	420
500	0,75	365	315
400	0,6	285	250
250	0,375	175	150
100	0,15	71	60
66	0,10	47	40
50	0,075	35	30
40	0,06	28	24
25	0,0375	17,5	15
6,6	0,01	4,7	4

En la tabla 3.10 se da una lista de conductividad para soluciones al 0,2 por 100 (2 gramos de fertilizante en un litro de agua destilada) de varios fertilizantes.

Las conductividades de varias concentraciones de nitrato de calcio están señaladas en la tabla 3.11.

Estas conductividades estándar deberían utilizarse para obtener una proporcionalidad teórica entre la conductividad y el TDS.

Las medidas actuales de conductividad para fertilizantes pueden variar entre las indicadas en las tablas 3.10 y 3.11, debido a la solubilidad y pureza de las diversas fuentes de fertilizantes.

TABLA 3.10
Conductividad (EC) de una solución al 0,2 por 100 en agua destilada

<i>Compuesto fertilizante</i>	<i>EC (mMho)</i>
Ca(NO ₃) ₂	2,0
KNO ₃	2,5
NH ₄ NO ₃	2,9
(NH ₄) ₂ SO ₄	3,4
K ₂ SO ₄	2,4
MgSO ₄ - 7H ₂ O	1,2
MnSO ₄ - 4H ₂ O	1,55
NaH ₂ PO ₄	0,9
KH ₂ PO ₄	1,3
HNO ₃	4,8
H ₃ PO ₄	1,8

TABLA 3.11
Conductividad (EC) de diversas concentraciones de nitrato cálcico en agua destilada

<i>Concentración (%)</i>	<i>EC (mMho)</i>
0,05	0,5
0,1	1,0
0,2	2,0
0,3	3,0
0,5	4,8
1,0	9,0

Si las lecturas de conductividad eléctrica no se toman a la temperatura estándar de 25° C, debe utilizarse un factor de corrección (tabla 3.12).

Algunos instrumentos tales como el conductímetro (Volmatic) tienen un compensador de temperaturas que, automáticamente, hace los ajustes necesarios.

En el Apéndice 2 vienen indicados algunos laboratorios de plantas capaces de utilizar soluciones de nutrientes, además, muchas universidades están preparadas para hacer dichos análisis.

La utilización de las soluciones de nutrientes por medio del uso de la conductividad eléctrica se aplica particularmente a los sistemas cerrados de NFT y subirrigación. Sin embargo, pueden utilizarse también para controlar los sistemas abiertos que tengan grandes depósitos de almacenamiento, de solución mejor que para aquellos que utilizan reguladores.

3.8.5. Conservación del volumen de la solución

El volumen de la solución deberá conservarse relativamente constante para de esta forma poder asegurar un adecuado crecimiento de las plantas. Las plantas toman mucha más agua y a mucha más velocidad que elementos minerales. Conforme se efectúa esta toma de agua de la solución de nutrientes, disminuye dicho volumen, como es natural. Esto da lugar a un incremento de la concentración total de la solución, así como de la concentración de los diversos iones.

TABLA 3.12
Factores de temperatura para corrección de la conductividad.
Datos para una temperatura estándar de 25° C*

°C	°F	Temperatura Factor
5	41,0	1,613
10	50,0	1,411
15	59,0	1,247
16	60,8	1,211
17	62,6	1,189
18	64,4	1,163
19	66,2	1,136
20	68,0	1,112
21	69,8	1,087
22	71,6	1,064
23	73,4	1,043
24	75,2	1,020
25	77,0	1,000
26	78,8	0,979
27	80,6	0,960
28	82,4	0,943
29	84,2	0,925
30	86,0	0,907
31	87,8	0,890
32	89,6	0,873
33	91,4	0,858
34	93,2	0,843
35	95,0	0,829
40	104,0	0,763
45	113,0	0,705

* De «Saline and Alkali Soils», U. S. Salinity Laboratory Staff, Agricultural Handbook, núm. 60, pág. 90.

Ca:	35 ppm, fuente: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Necesidades: $35 \times 4,094 = 143,3 \text{ mg/l}$ Para 30.000 litros: $30.000 \times \frac{143,3}{1.000} = 4.299 \text{ g ó } 4,3 \text{ kg}$ Cantidad de N: $143,3 \times 0,171 = 24,5 \text{ mg/l (ppm)}$
Mg:	30 ppm, fuente: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Necesidades: $30 \times 10,14 = 304 \text{ mg/l ó } 9,1 \text{ kg/30.000 l}$ Cantidad de S: $304 \times 0,130 = 39,5 \text{ ppm}$
P:	30 ppm, fuente: KH_2PO_4 Necesidades: $30 \times 4,394 = 131,8 \text{ mg/l ó } 3,95 \text{ kg/30.000 l}$ Cantidad de K: $131,8 \times 0,287 = 37,8 \text{ ppm}$
K:	38 ppm, fuente: KH_2PO_4 ; 7 ppm, fuente: KNO_3 Necesidades: $7 \times 2,586 = 18,1 \text{ mg/l ó } 0,54 \text{ kg/30.000 l}$ Cantidad de N: $18,1 \times 0,1385 = 2,5 \text{ ppm}$
S:	39,5 ppm, fuente: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
*N:	24,5 ppm, fuente: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2,5 ppm, fuente: KNO_3 Total: 27 ppm

* Puesto que la cantidad de N que pueda obtenerse está limitada por la cantidad de KNO_3 utilizada como fuente de K, el N adicional podría añadirse del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , o alternativamente, el nivel de N podría ser menor a 27 ppm, por los niveles presentes de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y KNO_3 necesarios para suministrar el Ca y K, respectivamente.

La pérdida media de agua diaria puede variar de un 5 a un 30 por 100, según la unidad de cultivo y el número y tipo de plantas. El agua necesaria para compensar esta pérdida se debe añadir diariamente mientras que se utilice la solución. Usando los sistemas NFT, los investigadores pueden determinar exactamente la cantidad de agua tomada por las plantas. En Inglaterra, Spensley y sus colaboradores (1978) determinaron que un día claro de verano un cultivo de tomate consume 1,33 litros (1/3 gal) de agua por planta. Winsor y sus colaboradores (1980) determinaron que las plantas de tomate perdían por evapotranspiración 15 ml/planta/hora durante la noche, alcanzando un día claro de verano hasta un máximo de 134 ml/planta/hora a mediodía. Adams (1980) calculó que los pepinos consumían aproximadamente el doble de agua que los tomates, debido a su mayor área foliar. El agua absorbida alcanzó un máximo de 230 ml/planta/hora durante las horas de máxima intensidad luminosa y temperatura. Mediante una experiencia se estimó que el agua utilizada en un invernadero fue 1 litro/pie cuadrado/día para cultivos entutorados, tales como los tomates y los pepinos. Los agricultores con experiencia pueden añadir el agua semanalmente o incluso utilizar un flotador automático que, unido a una válvula de la tubería de retorno del tanque de la solución de nutrientes, hará que éste se encuentre en el nivel deseado en cualquier momento del día. Cuando el agua se añade semanalmente, puede recomendarse un exceso en el aporte de la misma en relación al volumen original. Esto nos permitirá reducir la concentración de la solución, a medida que las plantas tomen el agua, por debajo del nivel de la solución original. Normalmente, el mejor procedimiento es permitir al volumen de la solución que fluctúe por igual en ambos sentidos del nivel original. En este caso, se deberá utilizar un test de control de la solución unido al método de regulación del volumen de la solución.

Referencias

- ADAMS, P.: Nutrient uptake by cucumbers from recirculating solutions. *Acta Hort.* 98:119-126, 1980.
- : Crop nutrition in hydroponics. *Acta Hort.* (323) 289-305, 1993.
- ALT, D.: Changes in the composition of the nutrient solution during plant growth—an important factor in soilless culture. *Proc. of the 5th Int. Congress on Soilless Culture*, Wageningen, May 1980, pp. 97-109, 1980.
- BAUERLE, W. L., y FLYNN, P.: Precision nutrient control—A window into the future. *Proc. of the 11th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Vancouver, B.C. pp. 25-32, 1990.
- BERRY, W. L.: Nutrient control and maintenance in solution culture. *Proc. of the 10th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Tucson, AZ. pp. 1-6, 1989.
- BUTLER, J. N.: *Solubility and pH calculations*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1964.
- MCASKILL, J., GERMANN, D. y ERICKSON, R. *Plant nutrient facts for hydroponics: How to make your own fully formulated plant nutrient*. Foothill, 1998.
- MUCKLE, M. E.: *Hydroponic nutrients—easy ways to make your own*. rev. ed. Princeton, B.C.: Growers Press, 1990.
- RESH, H. M.: *Hydroponic home food gardens*. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press, 1990.
- RYALL, D.: Commercially growing tomatoes in rockwool in British Columbia. *Proc. of the 14th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Portland, OR. pp. 33-39, 1993.
- SCHAUM, D.; BECKMANN, C. O., y ROSENBERG, J. L.: *Schaum's outline of theory and problems of college chemistry*, 4th ed. New York, NY: Schaum, 1962.
- SCHIPPERS, P.A.: Practical aspects to fertilization and irrigation systems. *Proc. of the 12th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, St. Charles, IL, 1991.
- SCHON, M.: Tailoring nutrient solutions to meet the demands of your plants. *Proc. of the 13th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Orlando, FL. pp. 1-7, 1992.
- SCHWARZ, M.: *Guide to commercial hydroponics*. Jerusalem: Israel Univ. Press, 1968.
- SIENKO, M. J., y PLANE, R. A.: *Chemistry*, 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1961.

LA SOLUCION DE NUTRIENTES

- SPENSLEY, K., WINSOR, G. W., y COOPER, A. J.: Nutrient film technique crop culture in flowing nutrient solution. *Outlook on Agriculture*. 9:199-305, 1987.
- STEINER, A. A.: The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. *Proc. of the 5th Int. Congress on Soilless Culture, Wageningen*, May 1980, pp. 83-95, 1980.
- ULISES DURANY, C.: *Hidroponía-Cultivo de plantas sin tierra*, 4th ed. Barcelona, Spain: Editorial Sintes, S.A. p. 106, 1982.
- WALLACE, A.: Regulation of micronutrients and use of chelating agents in solution cultures. *Proc. of the 10th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Tucson, AZ. pp. 14-26, 1989.
- WALLACE, G. A., y WALLACE, A.: Maintenance of iron and other micronutrients in hydroponic nutrients solutions (Tomatoes, cucumbers). *Journal of Plant Nutrition* 7(1/5): 575-585, 1984.
- WILCOX, G.: Nutrient control in hydroponic systems. *Proc. of the 12th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, St. Charles, IL. pp. 50-53, 1991.
- WINSOR, G. W.; ADAMS, P., y MASSEY, D.: *New light on nutrition*. *Suppl. Grower*. 93(8):99-103, 1980.
- WITHROW, R. B., y WITHROW, A. P.: *Nutriculture*. Lafayette, IN: Purdue Univ. Agr. Expt. Stn. Publ. S. C. 328, 1948.

4

El medio

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

4.1. Características del medio

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

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

cloruro sódico, puesto que es frecuente que los troncos hayan permanecido en agua con sal por un largo período de tiempo. Así pues, deberemos testar el contenido en sales y, si aparece alguna cantidad apreciable de cloruro sódico, será necesario lavar el serrín con agua potable. Tanto la grava como la arena, si son de origen calcáreo, deberán ser evitadas, puesto que estos materiales tienen un alto contenido de carbonato cálcico (CaCO_3), el cual pasará desde el medio a la solución de nutrientes, obteniéndose de esta forma un pH muy elevado. Este incremento de la alcalinidad frena la absorción del hierro, causando la deficiencia de éste en las plantas; así pues, estos materiales deberán ser tratados con anterioridad a su uso lavándolos en agua, en ácido, o bien introduciéndolos en una solución de fosfato. Esto tendrá efecto de solución tampón en los iones carbonatos. No obstante, este procedimiento es solamente un remedio a corto plazo y, normalmente, tendrán lugar más adelante problemas nutricionales. Estos problemas hacen que el cultivo en grava y en algunas arenas sea muy dificultoso, tal es lo que ocurre en el Caribe, donde los materiales son todos de origen calcáreo. La mejor grava o arena será siempre aquella de origen ígneo (volcánico).

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

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

4.2. Características del agua

La calidad del agua es de gran importancia en los cultivos hidropónicos. El agua con un contenido de cloruro sódico de 50 ppm o aún mayor no es aconsejable para poder obtener un desarrollo óptimo de las plantas. Conforme el contenido en cloruro sódico se va elevando, el desarrollo o crecimiento de las plantas va disminuyendo, muriendo, por último, las plantas cuando se alcanzan estos niveles en dicho cloruro. Además del contenido en cloruro sódico, deberá considerarse a la vez la cantidad total de solutos que se encuentran disueltos en la solución de nutrientes. La dureza del agua es una medida del contenido en ion carbonato (HCO_3^-). Como ya antes se ha mencionado, conforme aumenta la dureza (pH incrementa), ciertos iones, como, por ejemplo, el hierro, quedan bloqueados. En particular, las aguas subalveas que yacen en estratos calcáreos y de piedra dolomítica pueden contener altos niveles de carbonato cálcico y

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

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

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

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

Ambas soluciones (KNO_3 y KCl) tendrían el mismo número de iones de potasio, y los iones de cloruro de una de las soluciones tendrían el mismo número de los de nitrato de la otra. En la absorción de los nutrientes, la concentración de éstos, y no el peso del elemento o ion, es lo que realmente tiene importancia.

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

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

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

En resumen:

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

p. ej.: KNO_3

M.W. = 101

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

p. ej.: KCl

M.W. = 74,6

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

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

p. ej.: KNO_3

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

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

p. ej.: KCl

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

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

$$1 \text{ equivalente (Eq)} = \frac{\text{M.W.}}{\text{Valencia}} \text{ e j.: } \text{K}_2\text{SO}_4; \text{ M.W.} = 174,3 \\ \text{Valencia} = 2$$

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

$$1 \text{ miliequivalente (me)} = \frac{\text{Eq}}{1.000} \text{ e j.: } \text{K}_2\text{SO}_4; \frac{87,15}{1.000} = 0,08715$$

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

$$1 \text{ me/l} = \frac{\text{ppm}}{\text{Eq}}; \text{ e j.: } 1000 \text{ ppm de } \text{SO}_4^{2-}; \text{ el equivalente } \text{SO}_4^{2-} \text{ es: } \frac{96}{2} = 48$$

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

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

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

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

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

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

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

4.3. Riego

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.5. Esterilización del medio de cultivo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Referencias

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

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 a 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).

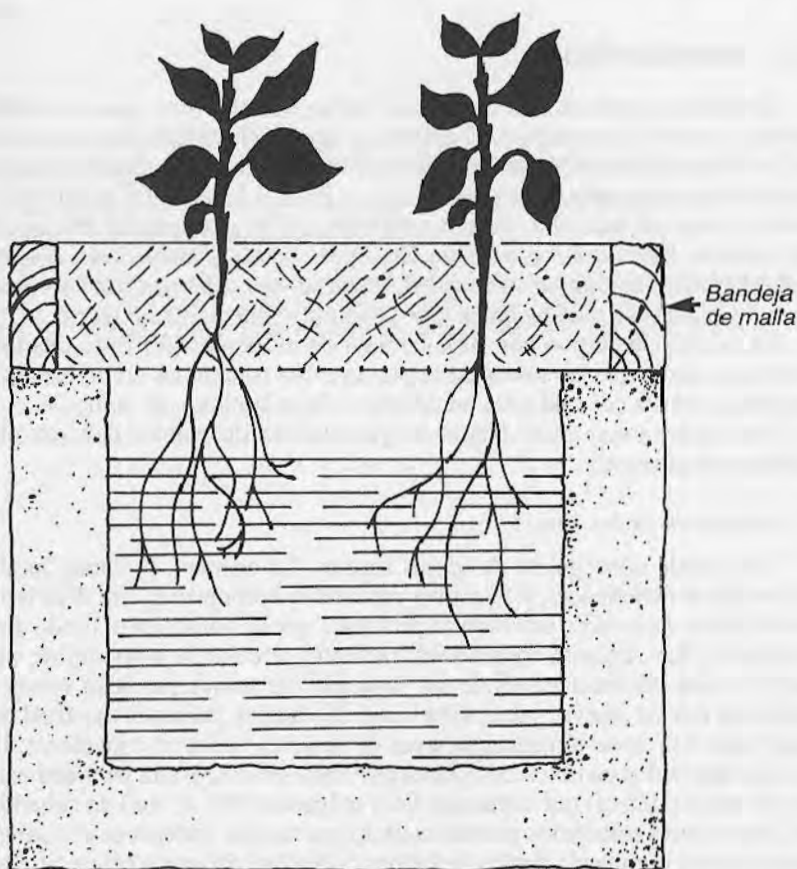


Fig. 5.1. Sección de una bancada típica de cultivo en agua.

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-

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.

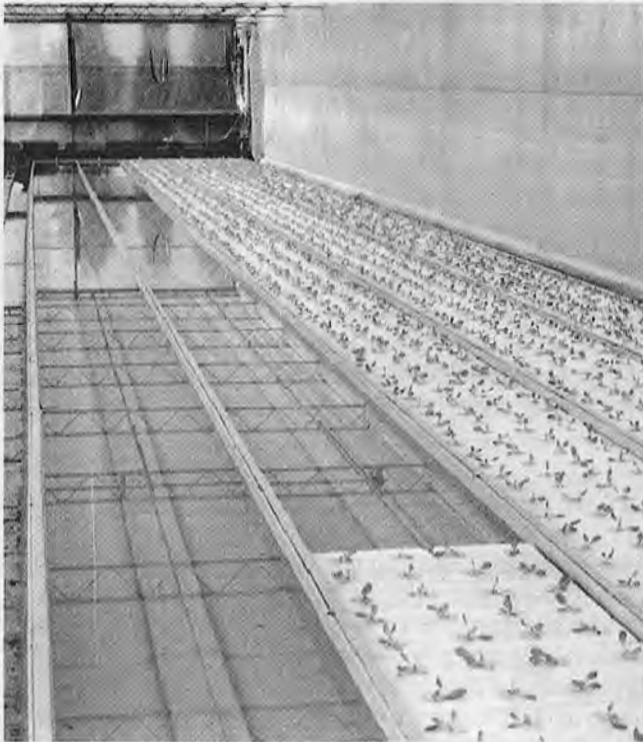


Fig. 5.2. Cultivo en balsas de lechuga. Las lechugas del fondo, de derecha a izquierda, han sido trasplantadas hace cuatro, tres, dos y un día. Las plántulas se trasplantan después de doce-catorce días de la siembra. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).

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.

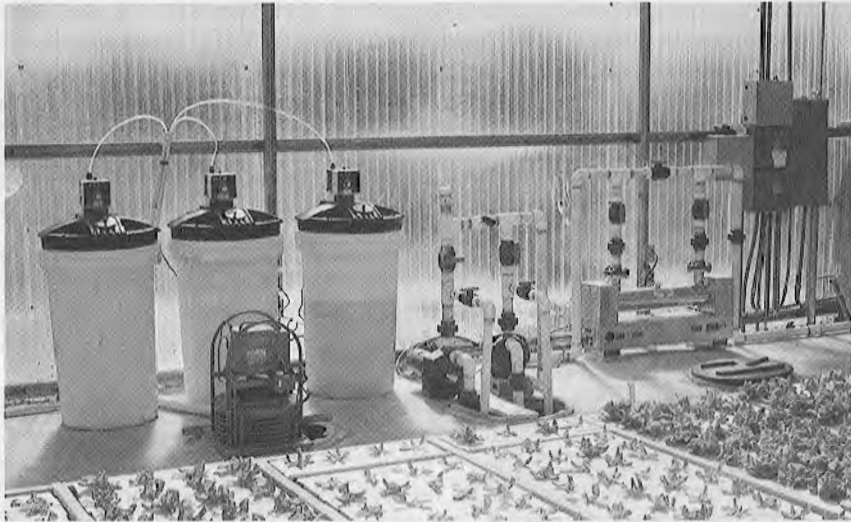


Fig. 5.3. Sistema de balsas de cultivo en agua. Unidad refrigeradora, a la izquierda, frente a los tanques de reserva y de ácido con inyectores individuales. Bombas de circulación en el centro y esterilizador UV a la derecha. (Cortesía de Hoppmann Hydroponics, Waverly, Florida).



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

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 × 15 × 61 cm (1 pulgada × 6 pulgadas × 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.

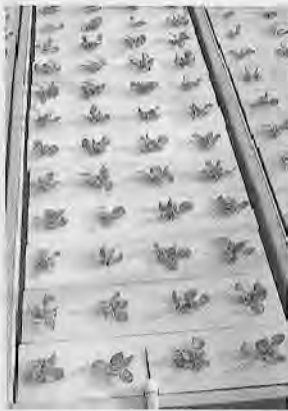


Fig. 5.5. Lechugas con seis días después del trasplante. En primer plano está la tubería de admisión de la solución a la planta. Obsérvese el gancho metálico atado a la primera balsa, que permite tirar de las mismas durante la recolección.



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).



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 180×403 pies (33×123 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 m^2). 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/ m^2 (2,6 lechugas por pie cuadrado), del invernadero o 32 lechugas/ m^2 (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 ($1,2 \times 2,4$ metros). Las láminas se deben cortar por la mitad para conseguir tamaños de 4 por 4 pies ($1,2 \times 1,2$ 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-

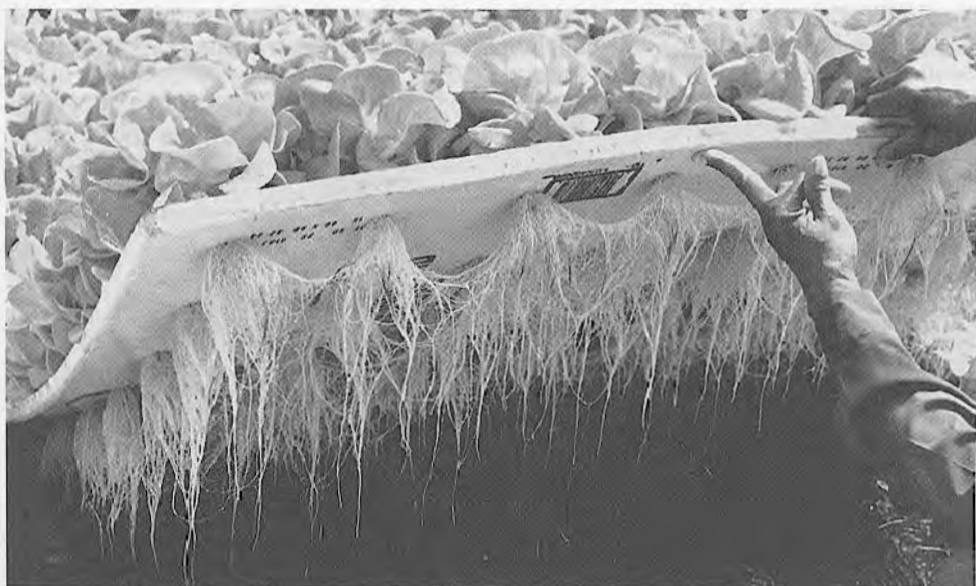


Fig. 5.13. Láminas de styrofoam con 64 cabezas de lechuga.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

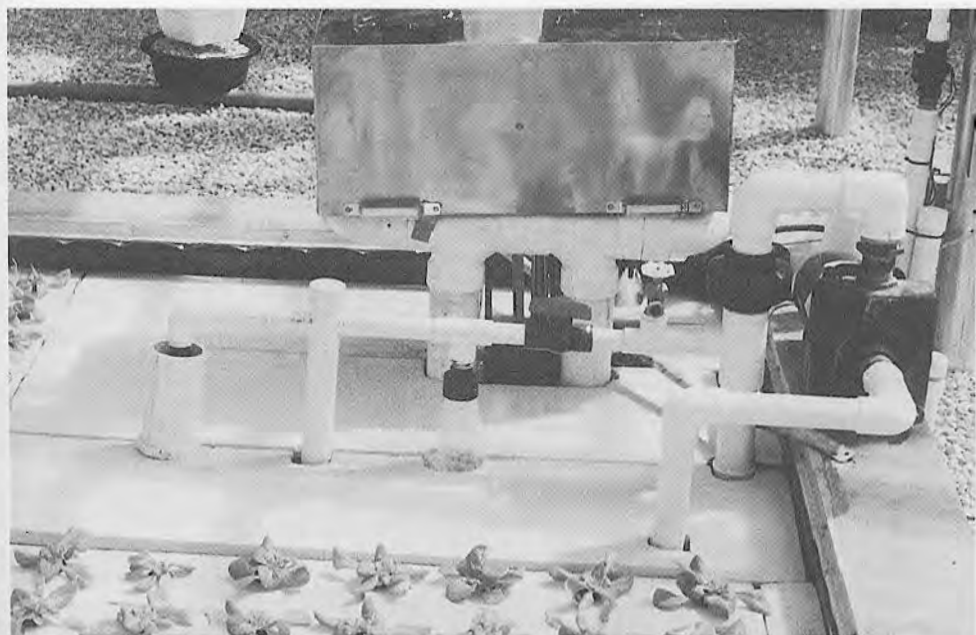


Fig. 5.14. Bomba de circulación con cabezas y refrigeradores de agua.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

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).

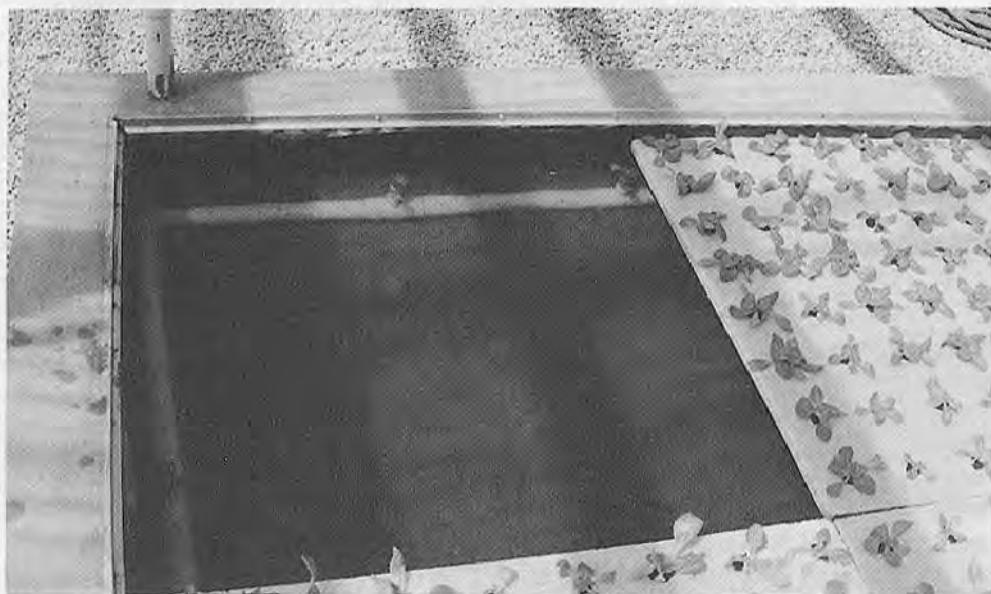


Fig. 5.15. Tubería de circulación y válvulas de plástico.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 5.16. Cultivo de berros en balsas.

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 fijas en láminas de styrofoam flotan 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).

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).

Granos como cebada, trigo, avena, arroz, sorgo o maíz suelen ser humedecidos durante veinticuatro horas antes de colocarse en las bandejas de cultivo (cerca de 0,5 metros cuadrados) durante 6 días. Las bandejas colocadas sobre estantes pueden ser regadas en exceso manualmente con una solución de nutrientes que irá drenando de una a otra (fig. 5.22) o bien el conjunto del sistema de bandejas puede ser montado sobre tambores rotativos que serán llenados automáticamente con una solución de nutrientes que irá siendo reciclada. La luz se suministra artificialmente utilizando luz blanca fluorescente de carbono. Después de crecer la hierba durante seis días, habrá alcanzado una altura de 15 a 20 cm (4 a 5 pulgadas) y estará lista para cosecharla y alimentar a los animales (fig. 5.23).

Actualmente, se encuentran en el mercado gran número de unidades comerciales de diversos tamaños para el cultivo de forrajes. En la figura 5.24 podemos ver una unidad de 6 metros por 2,4 metros por 3,6 metros (20 pies de largo por 8 pies de alto y 10 pies



Fig. 5.22. Estantes con bandejas de cultivos forrajeros.
(Cortesía de La Serenísima, Buenos 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).

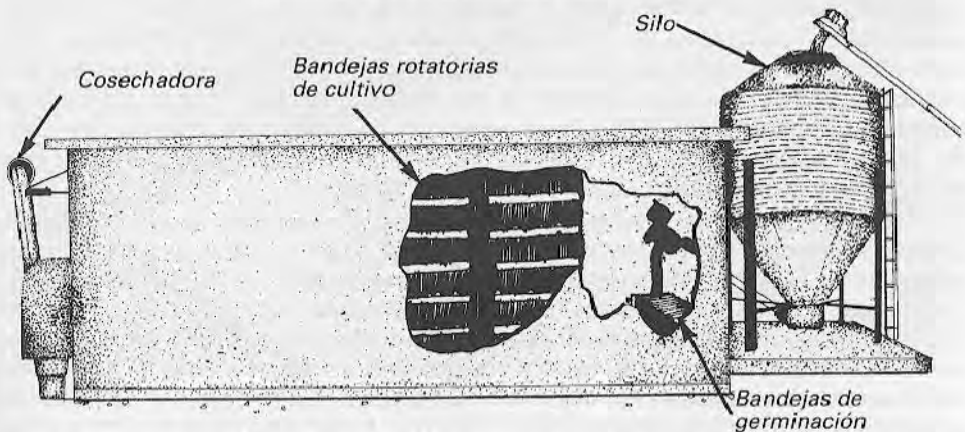


Fig. 5.24. Unidad comercial automática para el cultivo forrajero.

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 paredés 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,



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).

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.

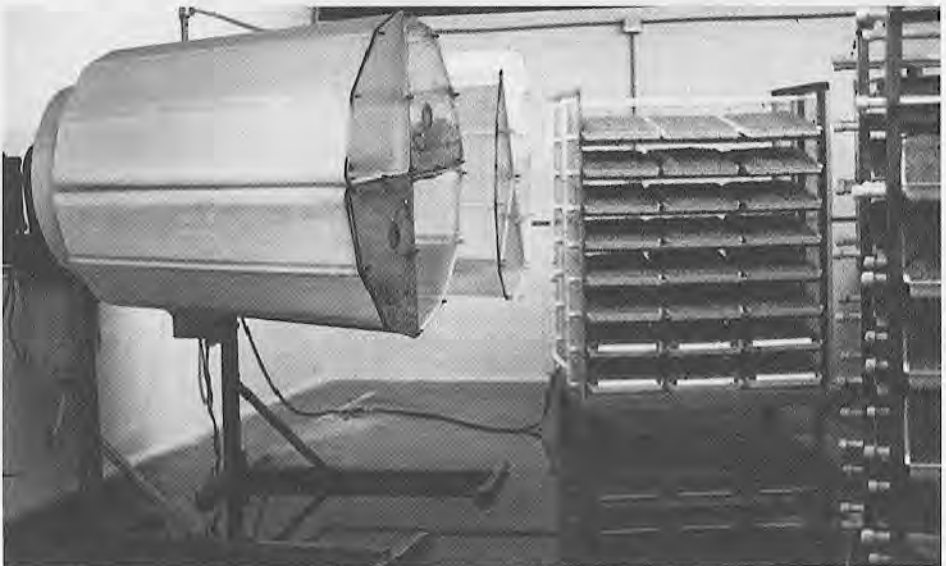


Fig. 5.29. Sistema cultivo de alfalfa con estanterías y tambores rotatorios.

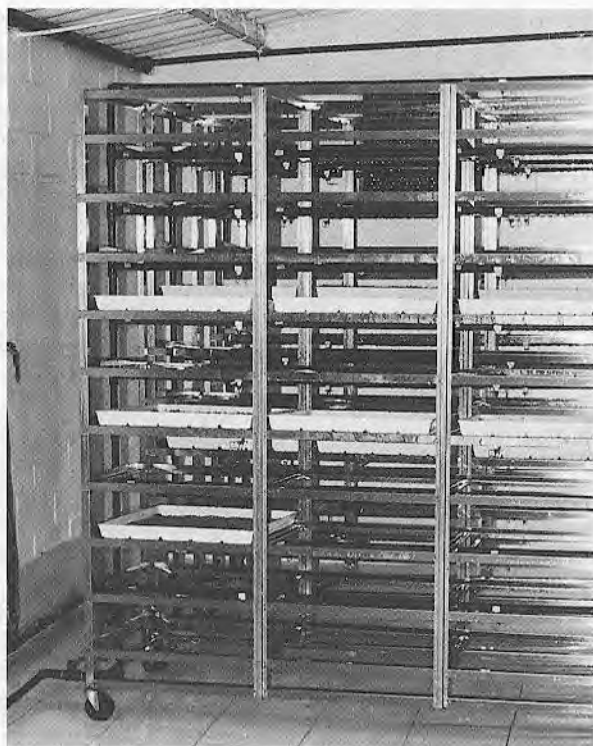


Fig. 5.30. Estanterías de acero inoxidable con ruedecitas.
(Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S. A., Caracas, Venezuela).



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.

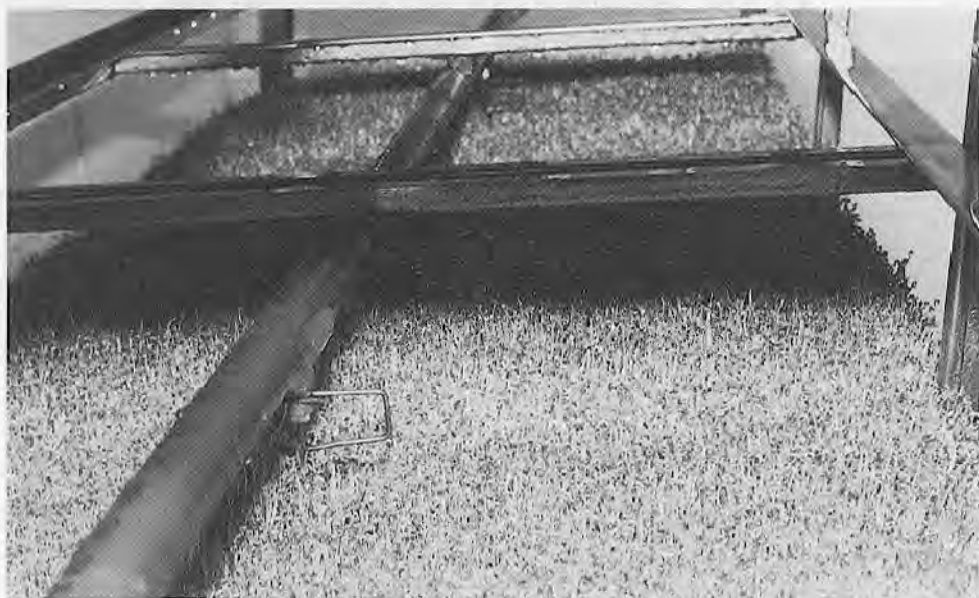


Fig. 5.32. Brotes de alfalfa listos para ser recolectados después de 4 días.
(Cortesía de Hidroponías Venezolanas, Caracas, Venezuela).

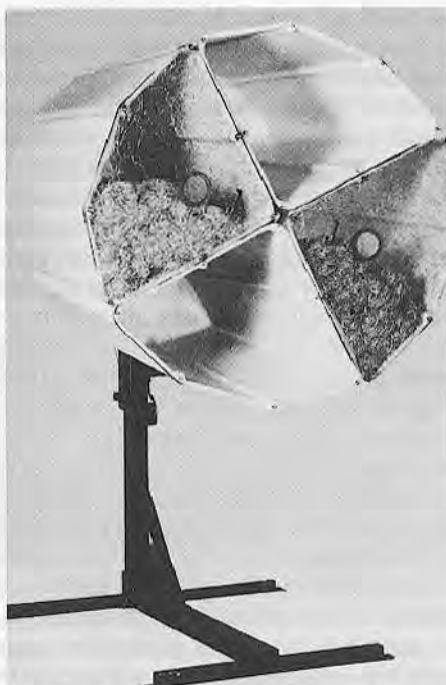


Fig. 5.33. Tambor rotatorio completamente automatizado.

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" × 24" × 22" (60 × 60 × 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.

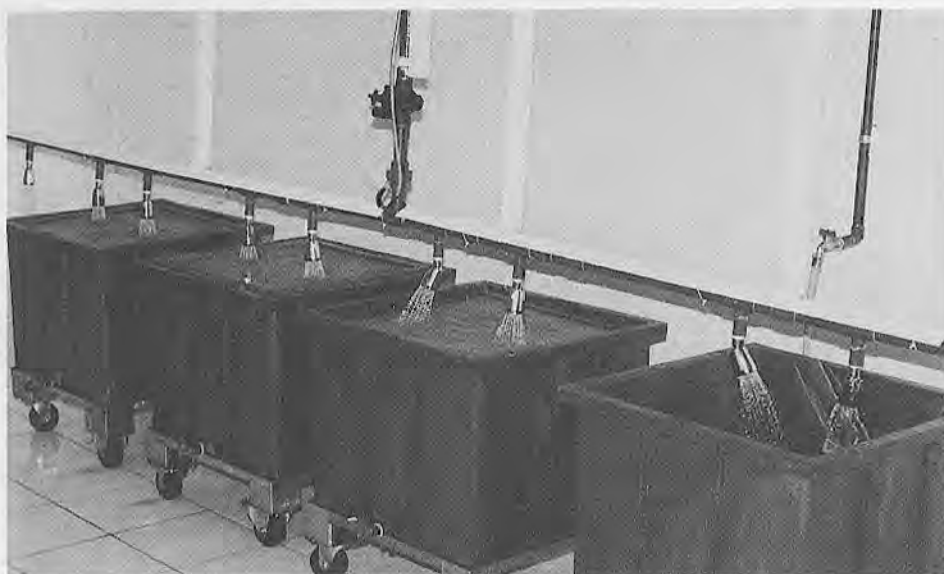


Fig. 5.34. Recipientes para brotes de judías mung.
(Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S. A., Caracas, Venezuela).

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. Narra-been, 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.

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

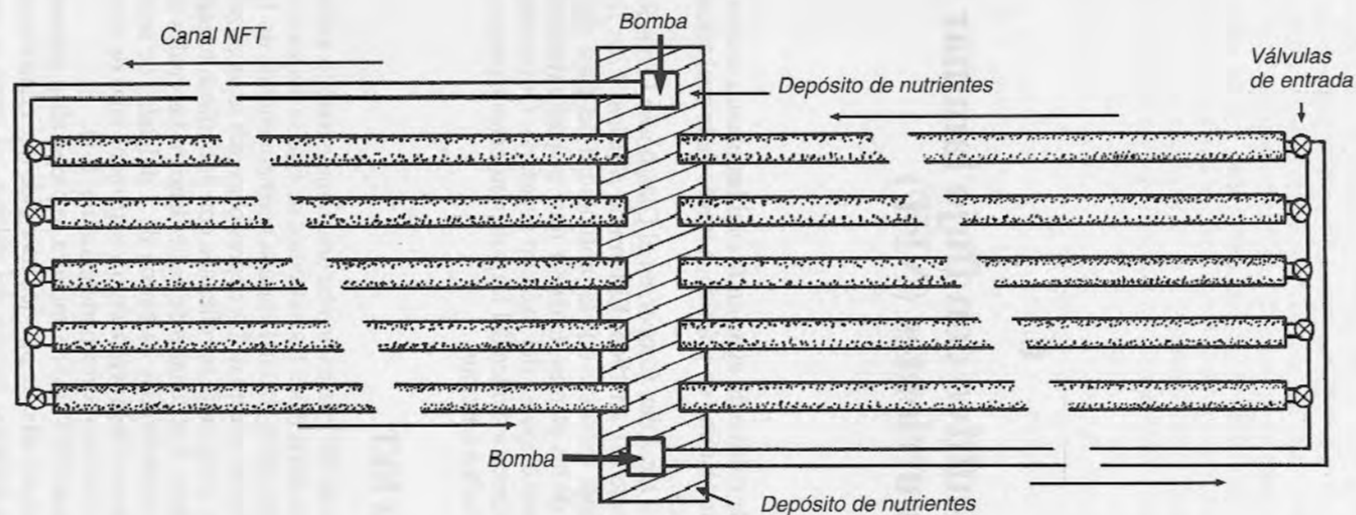


Fig. 6.1. Diseño de un sistema NFT en invernadero. (Tomado de The Grower, Londres).

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.

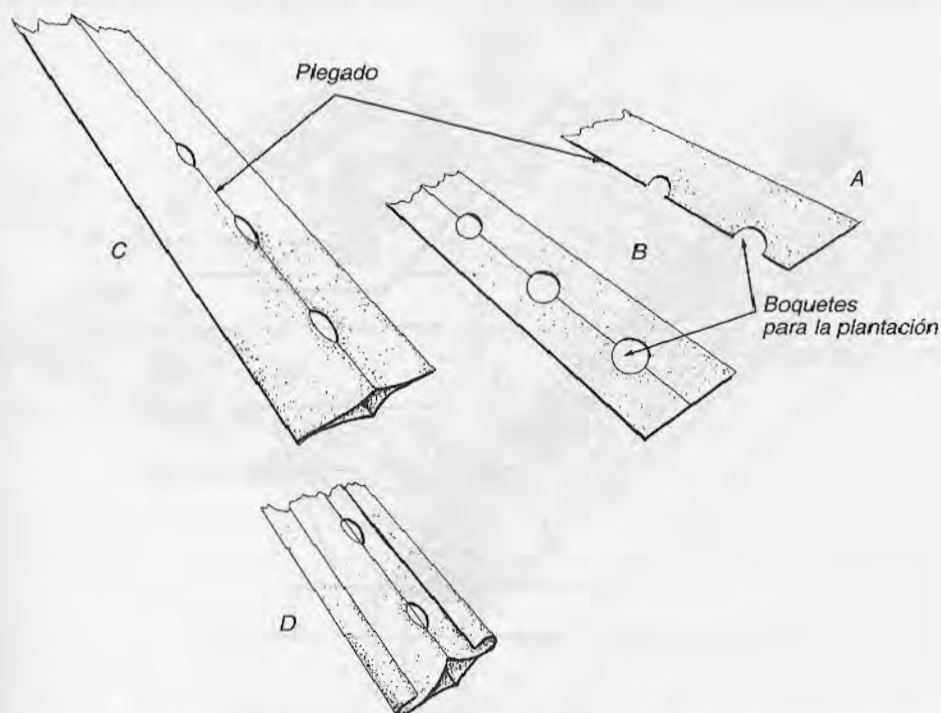


Fig. 6.2. Detalles de la preparación de los canales de polietileno en un sistema NFT. (Tomado de The Grower, Londres).

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.

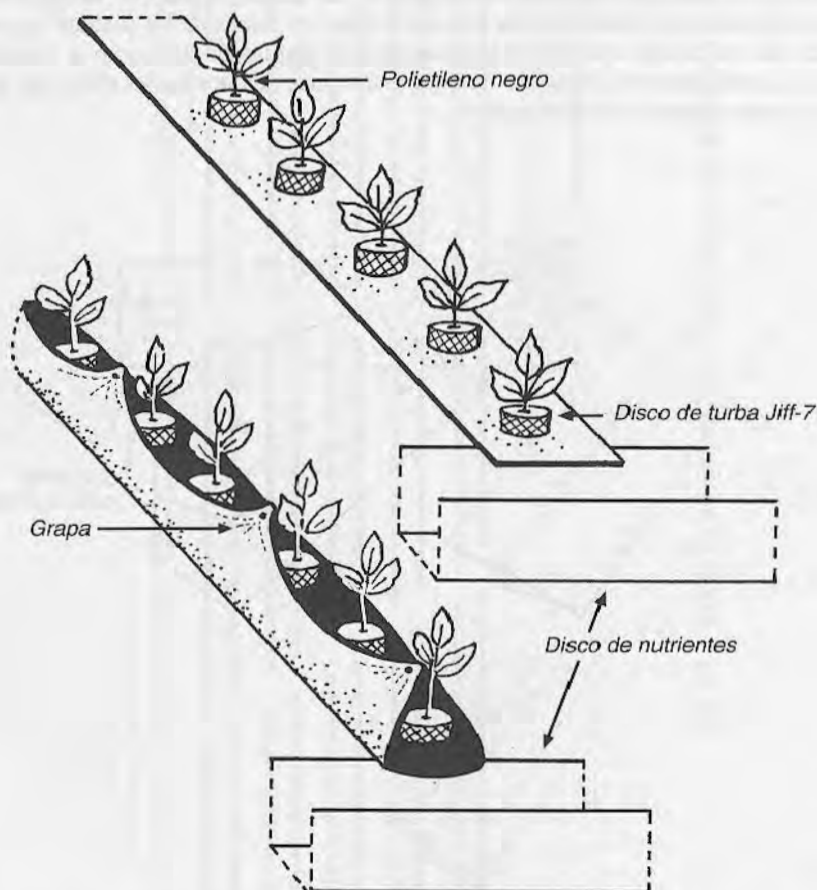


Fig. 6.3. Canal NFT con macetas o cubos de cultivo que soportan a éste y a las plantas. (Tomado de The Grover, Londres).

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

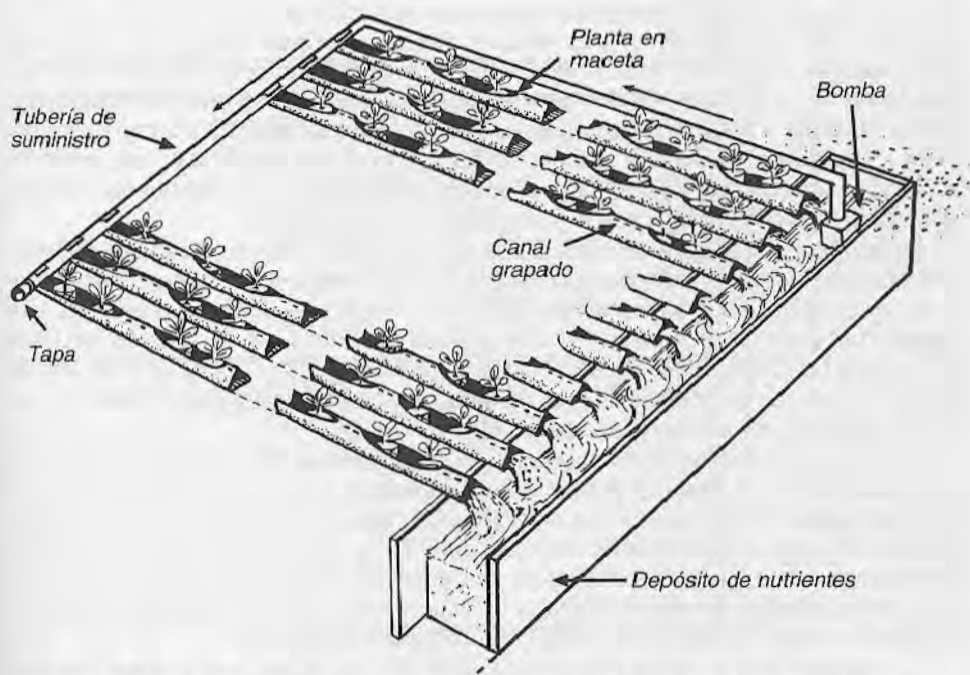


Fig. 6.4. Plan de canales en serie NFT y el depósito de la solución de nutrientes. (Tomado de The Grower, Londres).

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 radicales, 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-

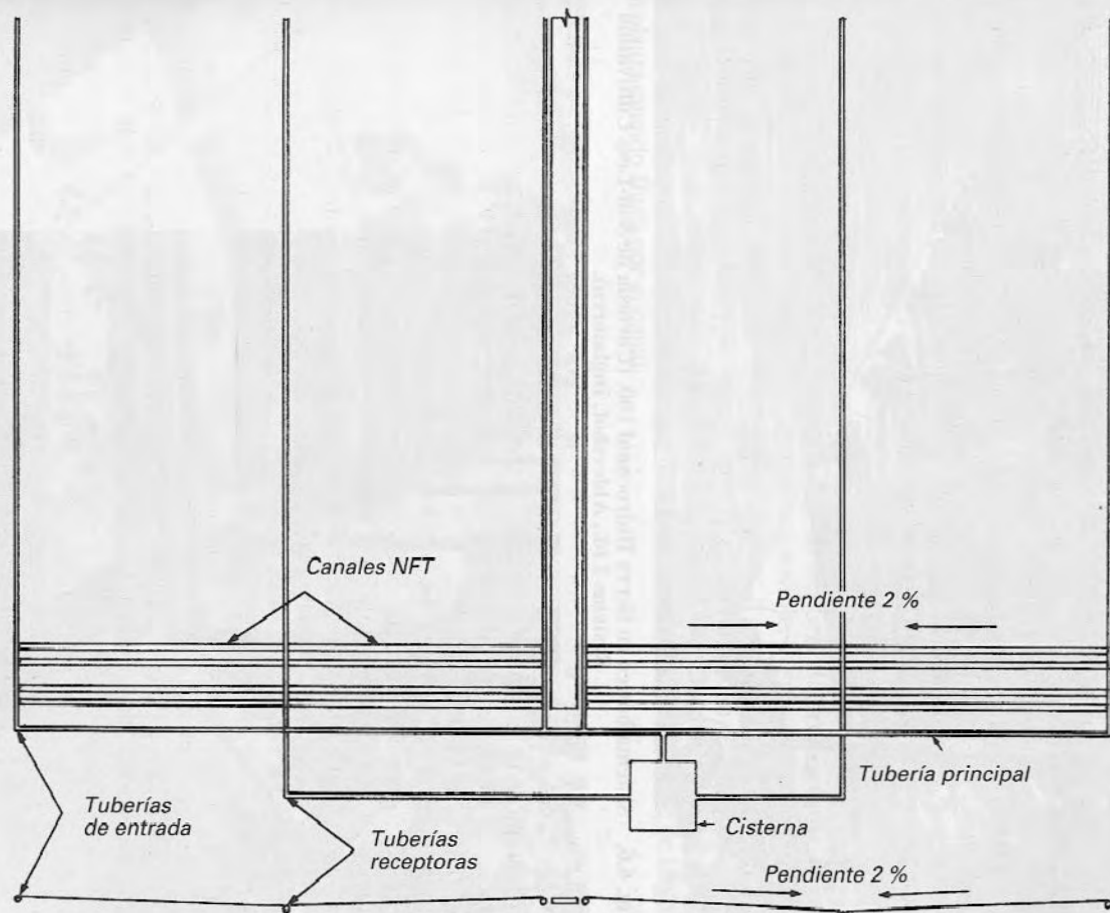


Fig. 6.5. Esquema de un sistema NFT.



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).

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.

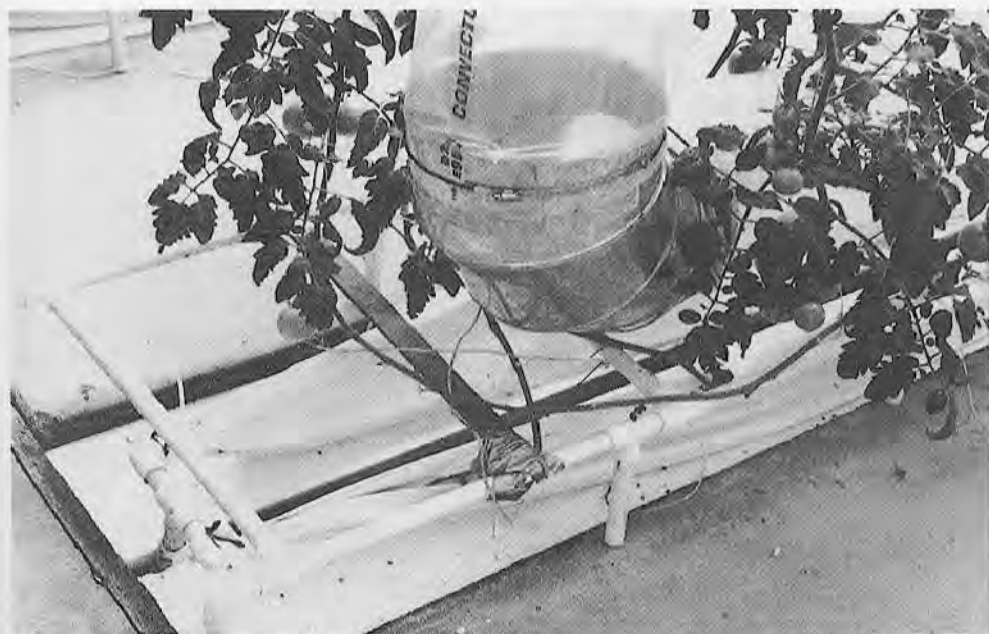


Fig. 6.8. Uso de planchas de styrofoam debajo de los canales NFT. Obsérvese la tubería de calefacción que lleva aire caliente a la base de las plantas de tomate.
(Cortesía de R&P Hydrofarm, McMinnville, Oregón).

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).



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).



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).

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 abecé 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.

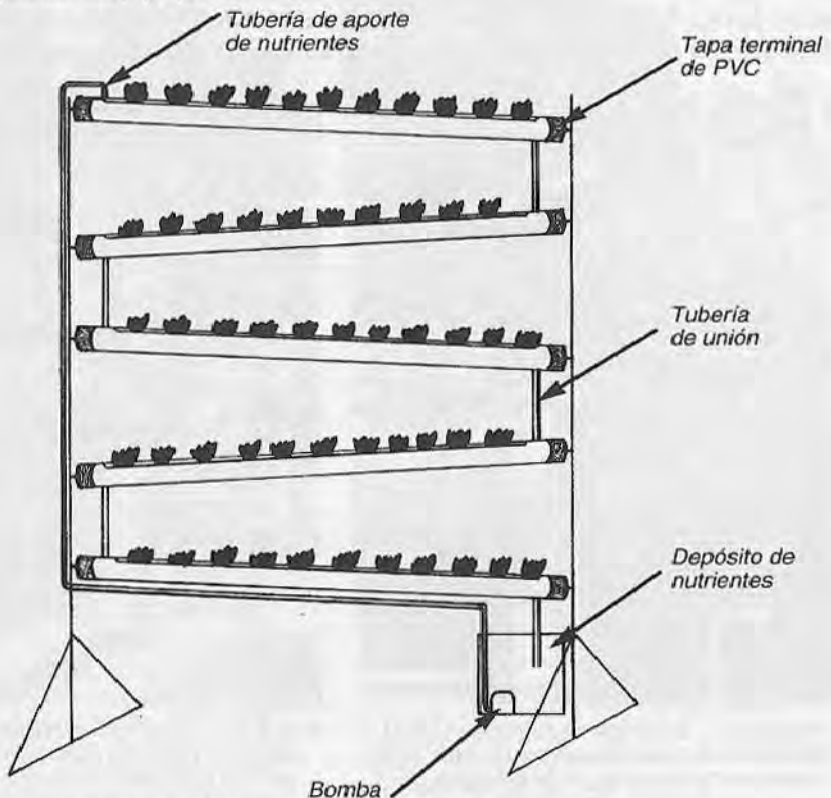


Fig. 6.16. Detalles de un sistema NFT en «cascada».

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 x 1/8 pulgada.

Las plantas deben sembrarse en cubos de lana de roca (1 1/2 pulgadas x 1 1/2 pulgadas x 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

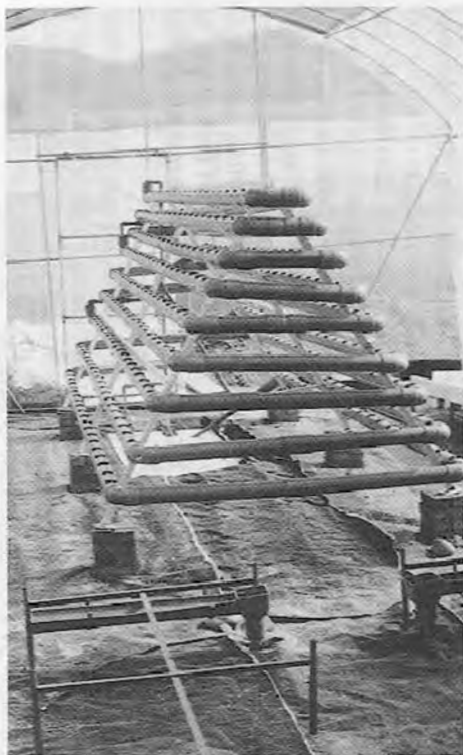


Fig. 6.17. Sistema NFT en «cascada» montada sobre una estructura en A. Los tubos son de PVC de 2 1/2 pulgadas de diámetro, formando un espiral y paralelos entre los de una cara, y con pendientes opuestas respecto a los de la otra cara.



Fig. 6.18. 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. 6.19. Sistema en «cascada» sobre estructura en A, con plántulas de lechuga en macetas soportadas por los orificios de los canales de PVC.

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 m² (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

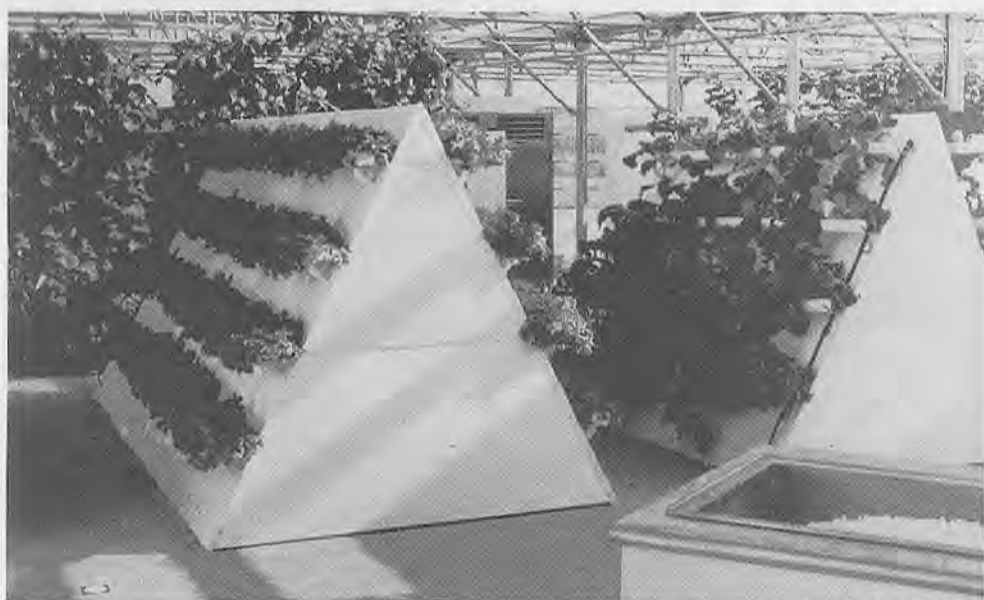


Fig. 6.21. Cultivo de lechugas y brécol Raab sobre estructuras en A. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

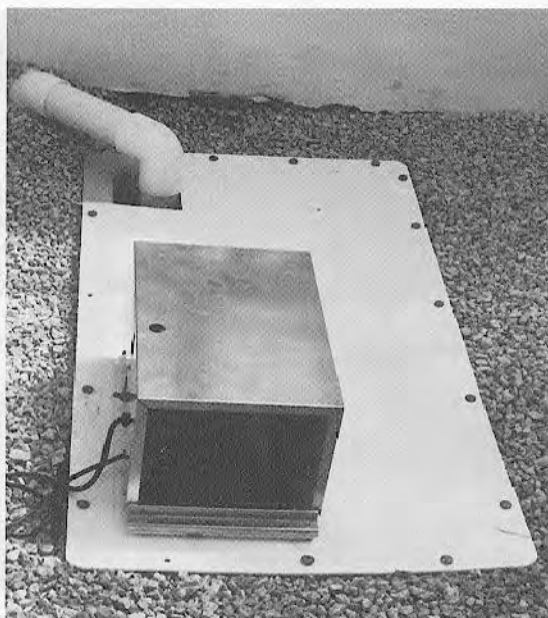


Fig. 6.22. Cisterna con tubería de retorno y refrigerador.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

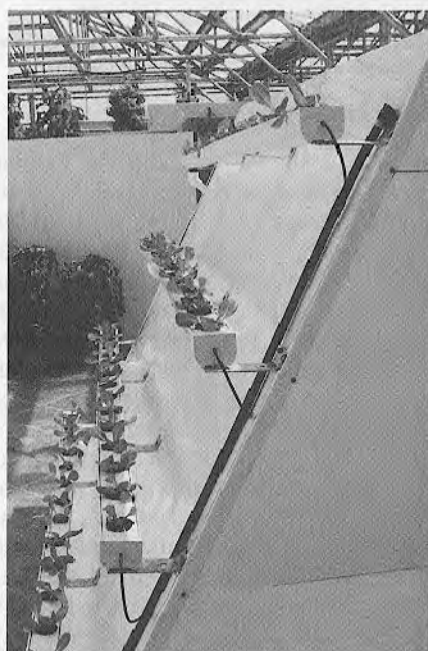


Fig. 6.23. Tubería de entrada a la estructura en A con líneas de goteo en los canales
NFT. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

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

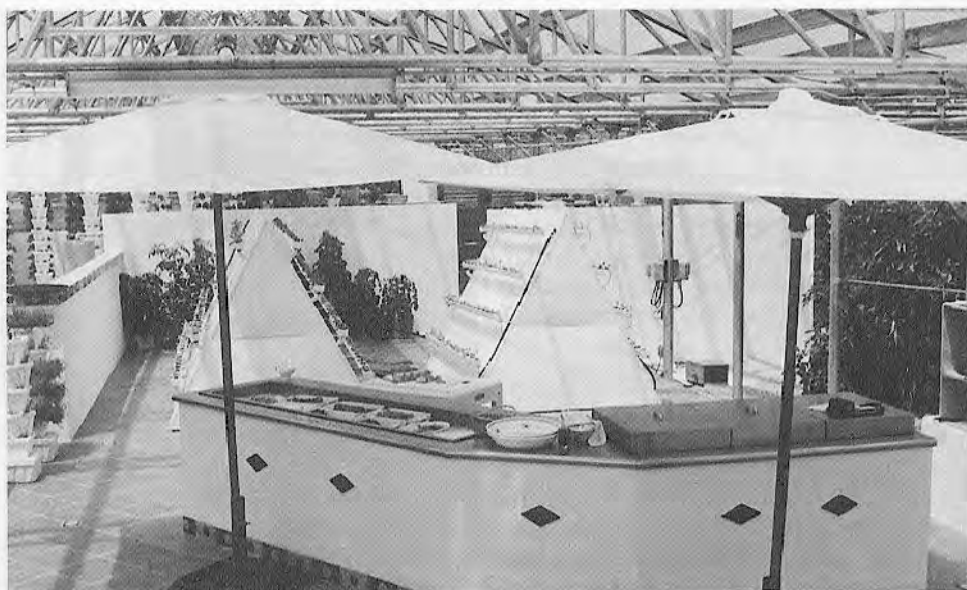


Fig. 6.25. Barra para la preparación de ensaladas situada cerca de las estructuras en A.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

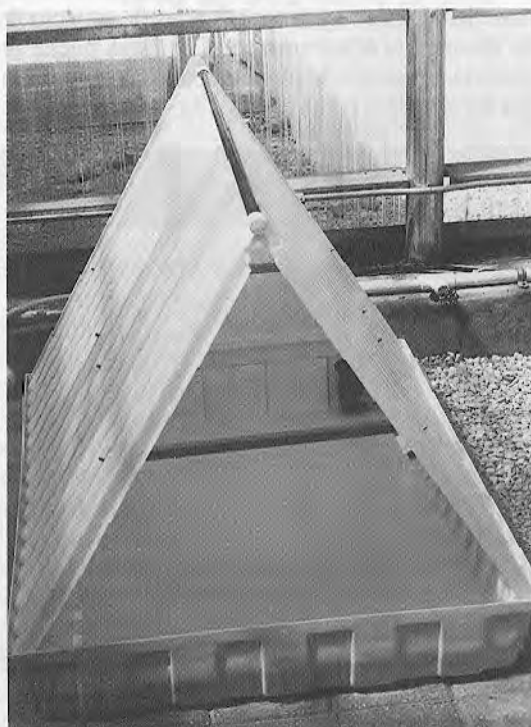


Fig. 6.26. Una pequeña estructura en A se asienta encima del depósito de nutrientes. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

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" x 1" x 1 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-

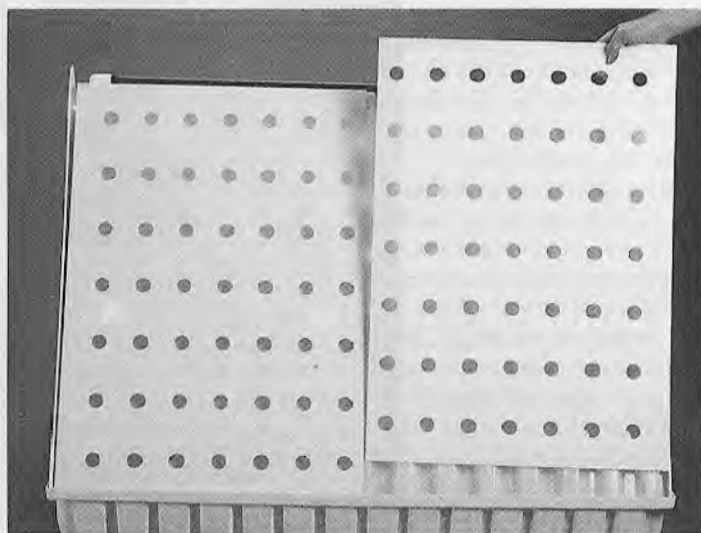


Fig. 6.27. Cada panel de cultivo contiene 49 plantas.
(Cortesía de Future Farms, San Francisco, CA).



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.

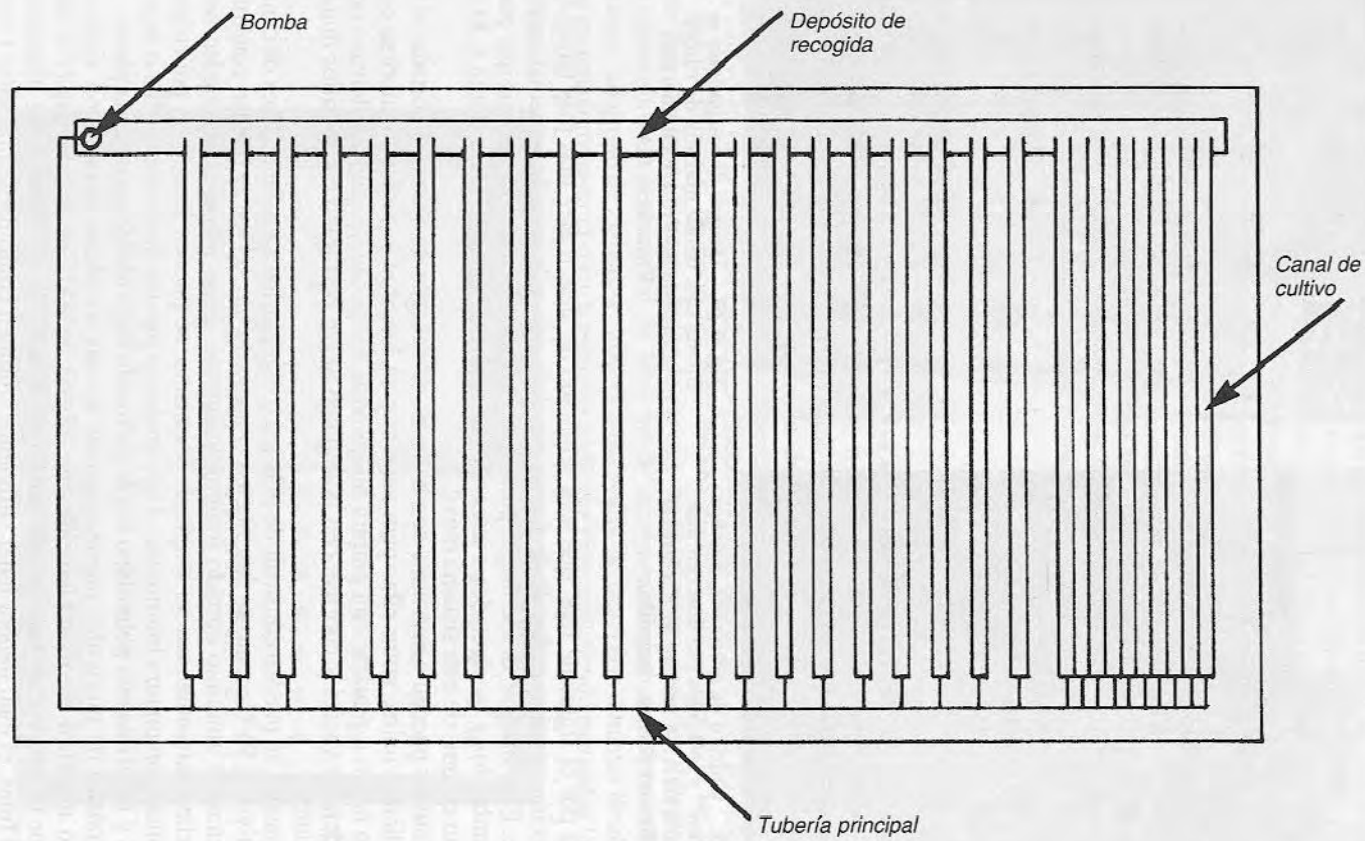


Fig. 6.30. Vista general de un sistema móvil NFT.

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

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.

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. Obsérvese 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).

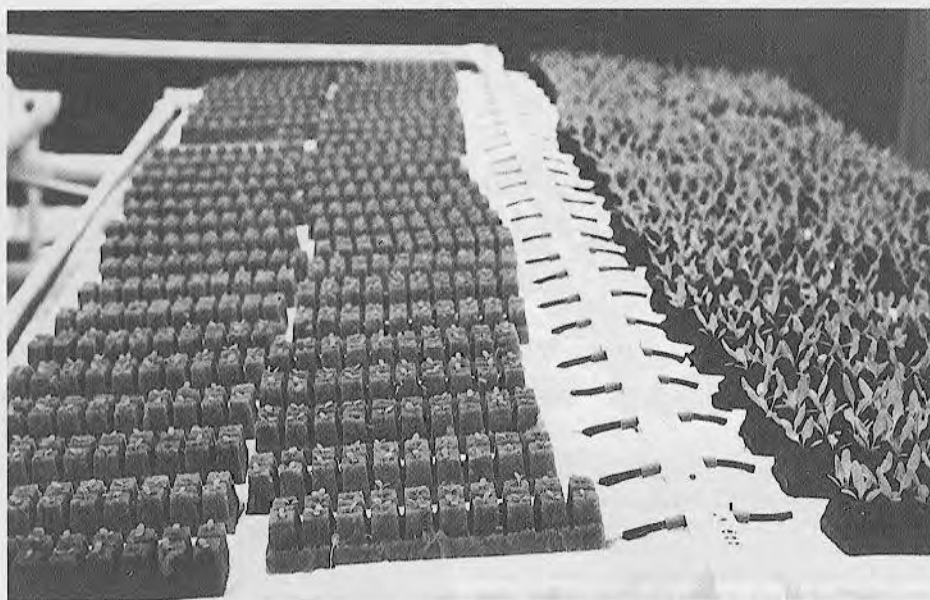


Fig. 6.35. Cubos de lana de roca utilizados para el inicio de plántulas de lechuga.

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).

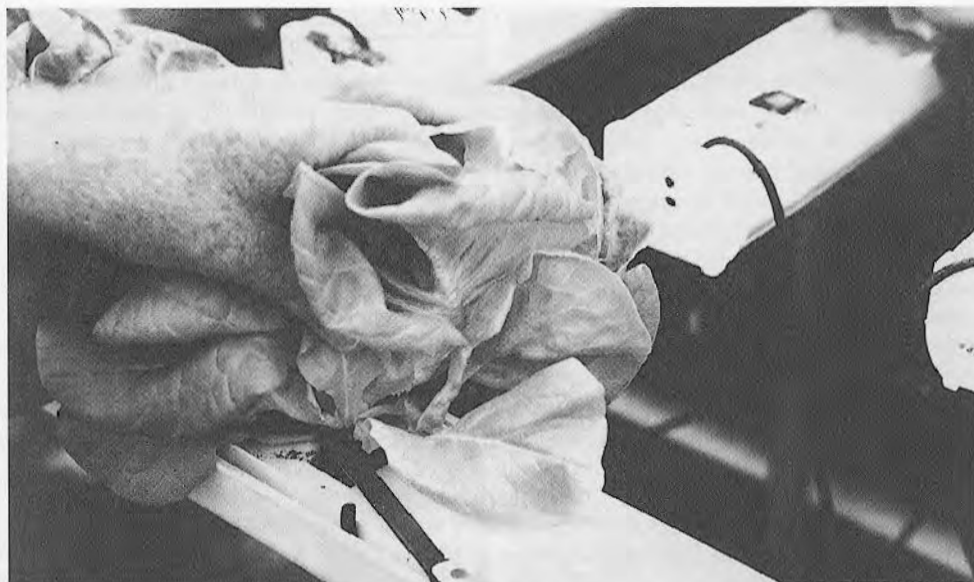


Fig. 6.39. Cortar la base de la planta en la superficie del canal NFT durante la cosecha. (Cortesía de Gourmet Hydroponics Inc., Lake Wales, Florida).

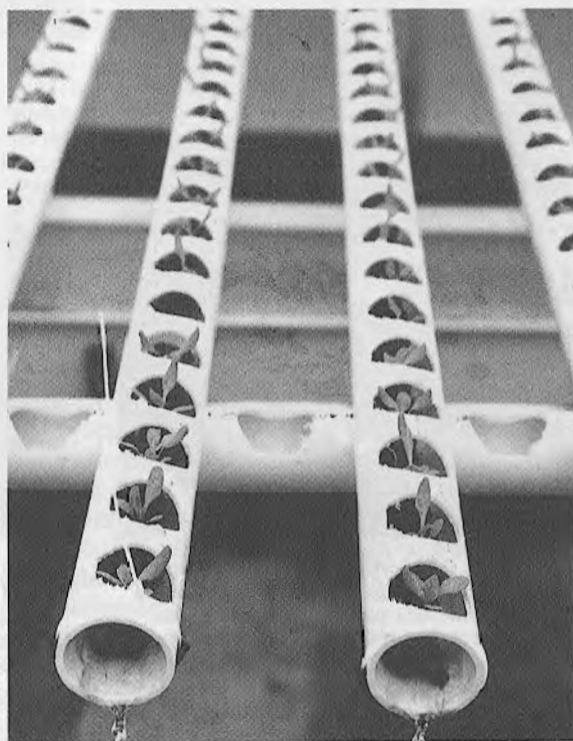


Fig. 6.40. Canales NFT de tuberías PVC para el cultivo de lechugas. Obsérvese el canal de retorno en primer plano.

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.



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 m²) es suficiente para abastecer a una zona de producción de 10.760 pies cuadrados (1.000 m²). 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 zanjías recolectoras llevan la solución de retorno a una cisterna, en la cual el pH y el EC son ajustados automática-

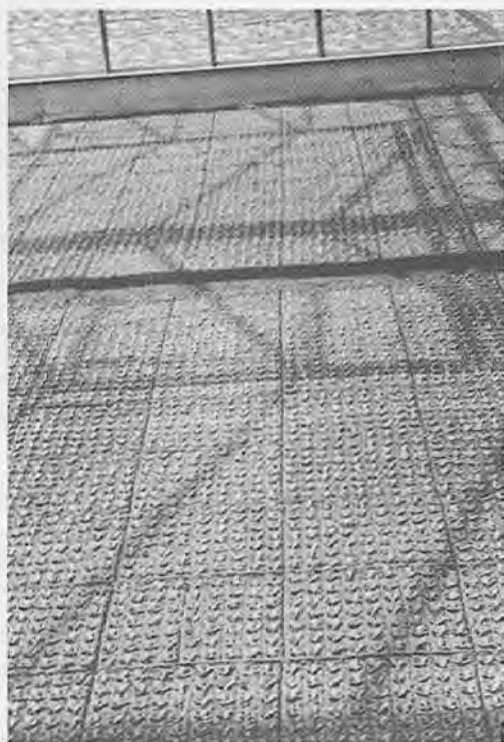


Fig. 6.45. La lechuga se siembra en bloques de turba prensada. Lechugas dos-tres días después de haber germinado.

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 132×330 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: 27×120 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/m²) y la del área del invernadero es de 1,36 plantas/pie cuadrado (14,5 cabezas/m²).

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. 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 una 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 resaltos 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 resaltos 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).



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).

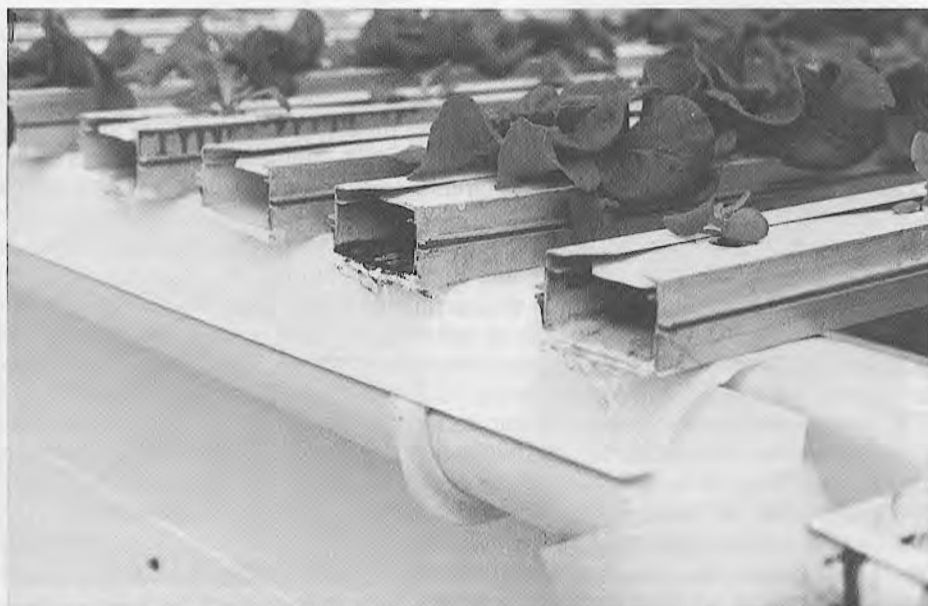


Fig. 6.54. Los canales NFT de aluminio desembocan en un tubo de recogida que devuelve la solución de nutrientes a una cisterna. (Cortesía de F. W. Armstrong Greenhouses Inc., Oak View, California).

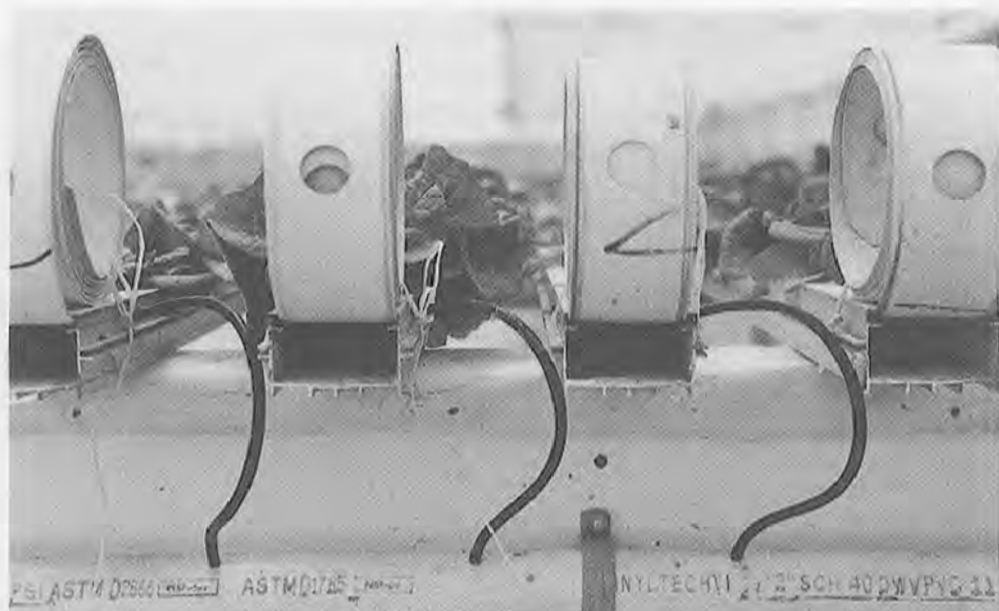


Fig. 6.55. Terminales de entrada de los canales NFT. Obsérvense los resaltes en la base de los canales, la tubería de entrada con un tubo alimentador para cada canal y la cubierta del canal con cinta flexible enrollable, soportada por resaltes en la parte superior del canal. (Cortesía de F. W. Armstrong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

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 reflujo

La técnica de flujo y reflujo 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 reflujo 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 reflujo para propagar trasplantes para invernaderos comerciales 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 × 100 pies (6 × 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).

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 8×8 pulgadas (20×20 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 pimiento 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 arcnos.

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 arce-



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 arceles elevados de 1 pie (30 cm) de ancho por 6 pulgadas (15 cm) de alto, formados utilizando dobles 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 arceles, con el suficiente solape sobre los arceles 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 arceles 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

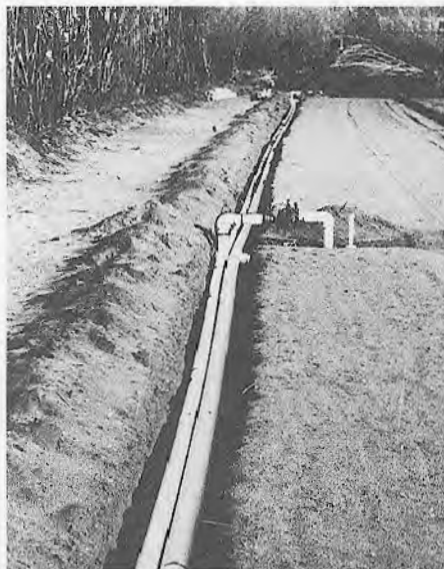


Fig. 6.66. Tuberías de riego a un lado del campo. Tubería principal de 4 pulgadas de diámetro para el agua y tubería principal de 3 pulgadas de diámetro para la solución de nutrientes. Obsérvense las válvulas solenoides sobre las tuberías secundarias de 2 pulgadas que van por las bancadas. (Cortesía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



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).

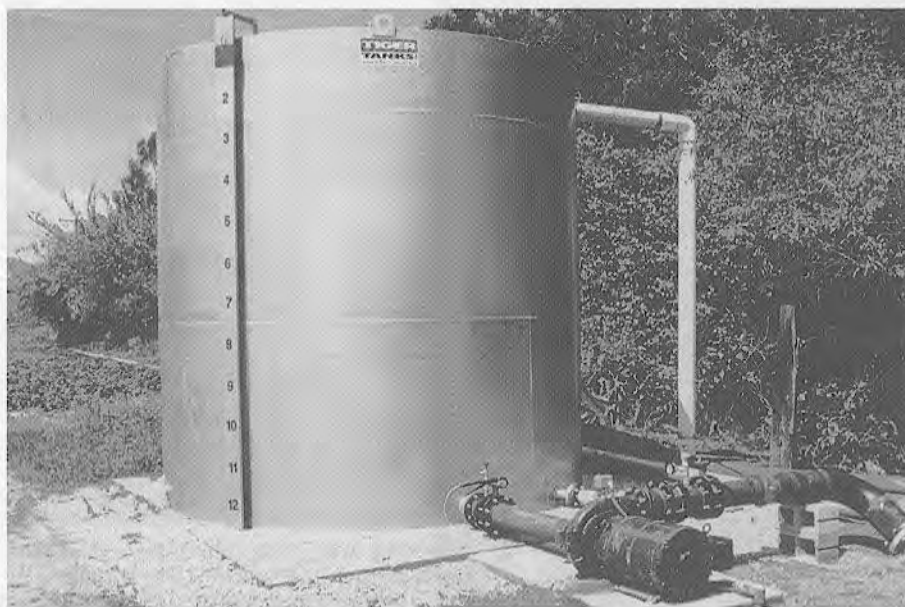


Fig. 6.72. Compresor para aumentar la presión del agua de la tubería de 8 pulgadas que sale del tanque de 10.000 galones, que es llenado con agua de un pozo. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

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).



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).

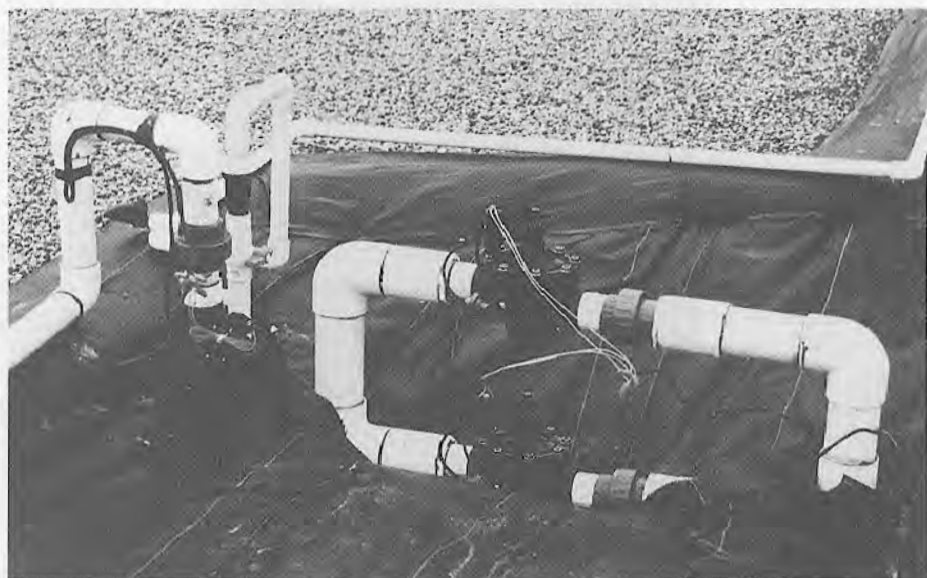


Fig. 6.75. Tubería con válvulas solenoides de 2 pulgadas en cada una de los cinco sectores del campo. El solenoide superior es para la tubería de la solución y el inferior para el agua. Un elevador de una pulgada conduce el agua de riego a lo largo del arcén como una tubería, desde donde corren por las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

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).

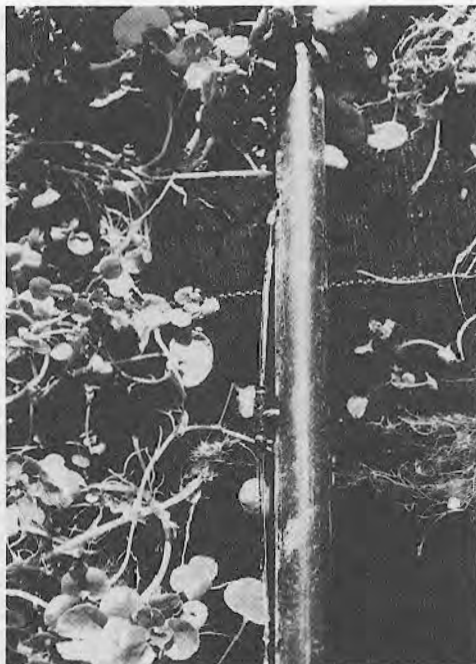


Fig. 6.77. Laterales de polietileno negro con emisores en T cada 18 pulgadas alimentan a las bancadas. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

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		

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 9×450 pies ($2,75 \times 137$ metros) rellenas con grava de garbanzo de 2 pulgadas (5 cm) (fig. 6.81). Unos aspersores elevados situados sobre los arcenes 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).

TECNICA DE CULTIVO CON FLUJO LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT)

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).

CULTIVOS HIDROPONICOS

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).

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).



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 ($1,8 \times 3,65$ m) a un lado de un pasillo central de 3 pies (0,9 metros), y 6×14 pies ($1,8 \times 4,27$ 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).

La solución era recogida por un canal en el extremo inferior, que desembocaba en la tubería de PVC, de 3 pulgadas, de retorno a la cisterna (fig. 6.90). Las mesas descendían 4 pulgadas (10 cm) desde el extremo de entrada al de salida. La parte superior de las mesas estaba cubierta con polietileno negro, de 6 milésimas de pulgada de grueso, para retener la humedad. El nivel del tanque de nutrientes era mantenido por una válvula flotante en la entrada de agua (fig. 6.89). La solución pasaba por un filtro situado en la tubería de entrada de 1 1/2 pulgadas, antes de ser bombeada a las bancadas. Como se observó que aparecía una concentración excesiva de humedad en las bancadas, una vez establecido el cultivo, se instaló un programador horario para hacer funcionar los ciclos de bombeo durante 10 minutos a la hora por el día y varias veces durante la noche.

La albahaca se sembró en bandejas de 98 celdas con un medio de cultivo de perlita. Las plantas se aclararon a dos por celda después de 4 semanas y fueron trasplantadas a las bancadas de cultivo cuando tenían 5 semanas. Se trasplantaron 246 plantas por bancada de 12 pies (3,6 m), con un espaciamiento de 6 pulgadas (15 cm). Los trasplantes se desarrollaron vigorosamente en el tejido capilar en 10 días (fig. 6.88). La primera recogida se hizo a las tres semanas y media después del trasplante (2 meses desde la siembra) (fig. 6.91). A partir de entonces, la cosecha fue recogida cada 3 semanas.

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



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).

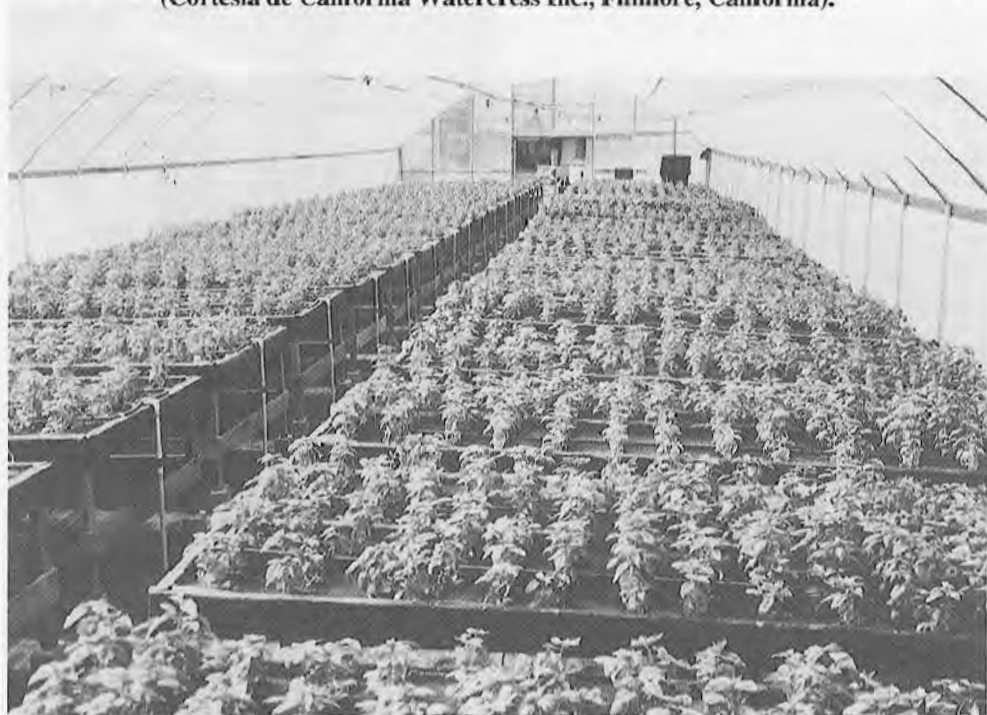


Fig. 6.91. Albahaca (3 semanas después del trasplante) en un sistema NFT de tejido capilar. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

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).

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.

- 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.

Cultivo en grava

7.1. Introducción

El cultivo en grava fue la técnica hidropónica más ampliamente utilizada desde la década de los 50. A finales de los años 60 y principios de los 70, la empresa Hydroton (ant. oficina de Phedon, Auburn, Iowa) con 20 años de experiencia en cultivo en grava. Un gran número de pequeños involucraron comerciales. A lo largo de los años los hidroponistas, atraídos al cultivo en grava, por lo tanto cultivores han sido entusiastas y muy exitosos, tales como Hydroculture, varios pequeños productores de NFT y los productores interesados en añadir sus propias instalaciones hidropónicas.

W.F. Gariche introdujo comercialmente los cultivos hidropónicos que utilizaran el cultivo en grava. Como ya se indicó en el capítulo 1, la mayoría de los hidroponistas se dedicaron al cultivo libre durante la Segunda Guerra Mundial en salas sin calefacción. Estos cultivos se realizaban típicamente en las zonas que tienen gran abundancia de agua (las cercas, el centro urbano de ciudades como Chicago y en Hawaii). Hoy día, estos cultivos están siendo reemplazados por NFT por los cultivos en sala de agua y en medio por lo que las propiedades más convenientes, son más fáciles de establecer después de una cosecha y son menos susceptibles de plagas, muestreo y gestión.

7.2. Características del medio

En el capítulo 4 han sido ya mencionadas algunas de las características generales que debería poseer los medios utilizados en este tipo de técnica. Al elegir la grava adecuada para un sistema de alimentación automática procurar que ésta cumpla con las siguientes condiciones: que sea gruesa, que tenga un diámetro que sea de entre 1/16 de pulgada (1.6 mm) las más finas a 3/4 de pulgada (1.9 cm) las más gruesas. La medida del volumen total de grava debe ser aproximadamente media pulgada (1.3 cm) de diámetro. Las partículas de grava ser lo suficientemente fuertes como para no partirse con facilidad y la vez que expone de sí misma suficiente cantidad en las raíces de las plantas. También disponer de un buen drenaje que permita que los nutrientes en la solución

7

Cultivo en grava

7.1. Introducción

El cultivo en grava fue la técnica hidropónica más ampliamente utilizada desde los años 40 a los 60. A finales de los años 60 y principios de los 70, la empresa Hydroculture, cerca de Phoenix, Arizona, tenía casi 20 acres de invernaderos con cultivo en grava. Un gran número de pequeños invernaderos comerciales, a lo largo de los Estados Unidos, utilizaban el cultivo en grava, pues este cultivo estaba bien documentado y varias empresas, tales como Hydroculture, vendían paquetes «mom & pop» a las personas interesadas en instalar sus propios invernaderos hidropónicos.

W. F. Gericke introdujo comercialmente los cultivos hidropónicos que utilizaban el cultivo en grava. Como ya se indicó en el capítulo 1, la mayoría de las instalaciones se efectuaron al aire libre durante la Segunda Guerra Mundial en islas no cultivables. Estos cultivos son todavía útiles en las zonas que tienen gran abundancia de rocas volcánicas, tal como ocurre en las islas Canarias y en Hawái. Hoy día, están más ampliamente aceptados los cultivos NFT y los cultivos en lana de roca y en perlita, pues tienen propiedades más consistentes, son más fáciles de esterilizar después de cada cosecha y son menos laboriosos de manejar, mantener y gestionar.

7.2. Características del medio

En el capítulo 4 han sido ya consideradas algunas de las características generales que deberán tener los medios utilizados con esta clase de técnica. Al elegir la grava más indicada para un sistema de subirrigación deberemos procurar que ésta esté formada por granito molido cuyas partículas tengan un diámetro que oscile entre 1/16 de pulgada (1,6 mm) las más finas a 3/4 de pulgada (1,9 cm) las mayores. La medida del volumen total de partículas debería tener aproximadamente media pulgada (1,3 cm) de diámetro. Las partículas deberán ser lo suficientemente fuertes como para no partirse con facilidad, a la vez que capaces de retener suficiente humedad en sus espacios vacíos, y también disponer de un buen drenaje que permita una adecuada aireación de las raíces.

Para evitar la elevación del pH deberá procurarse que las partículas no sean de material calcáreo. En caso de que solamente podamos disponer de dicho material calcáreo, habremos de tener mucho cuidado con la cantidad de calcio y magnesio que se aporte en la solución de nutrientes, debiendo ajustar ésta según los niveles de estos elementos que sean suministrados por las partículas en la solución de nutrientes. El carbonato de cal que se encuentra en los agregados calcáreos, como, por ejemplo, en la piedra caliza y en las gravas coralíferas, reacciona con los fosfatos solubles de la solución de nutrientes produciendo los fosfatos bi y tricálcicos que son insolubles. Este proceso continúa hasta que la superficie de las partículas del agregado calcáreo están cubiertas con los fosfatos insolubles. Cuando están completamente cubiertas, la reacción se reduce hasta el punto en que el porcentaje de disminución de los fosfatos en la solución de nutrientes es tan bajo que podemos considerar ya como estables los niveles de fosfato.

Los agregados aún no utilizados que contengan más de un 10 por 100 de materiales solubles en ácido, calculados como carbonato cálcico, deberían de tratarse antes de ser utilizados con fosfatos solubles para de esta forma cubrir las partículas con fosfatos insolubles (Withrow y Withrow, 1948). El agregado deberá ser tratado con una solución de 500 a 5.000 gramos de superfosfato triple por 1.000 litros, o 5 a 50 libras por 1.000 galones. La grava obtenida de esta forma deberá lavarse durante varias horas. El pH de la solución se irá elevando conforme decrezca el contenido en fosfatos. Si la concentración de fosfatos se sitúa por debajo de 300 ppm (100 ppm de P), después de una o dos horas de lavado, dicha solución debería ser conducida al depósito de almacenamiento y recibir un segundo aporte de fosfato, antes de ser bombeada en las bancadas. Todo esto deberá repetirse hasta que el nivel de fosfato permanezca por encima de 100 ppm (30 ppm de P) después de varias horas de contacto con la grava. Cuando esto ocurra, significará que todas las partículas de los carbonatos están ya cubiertas con los fosfatos. El pH de la solución será en este momento de 6,8 o incluso inferior. A continuación, deberemos sacar del depósito de almacenamiento la solución de fosfatos y llenar éste con agua fresca. Antes de efectuar la plantación en las bancadas deberemos lavar éstas varias veces con agua fresca, procurando cambiar dicha agua después de cada lavado.

Cuando después de algún tiempo el pH comience a elevarse conforme los fosfatos se vayan diluyendo, el carbonato de calcio quedará libre en la superficie del agregado. En estos momentos deberá volver a repetirse el tratamiento con fosfatos.

Schwarz y Vaadia (1969) han demostrado que los pretratamientos o lavados de la grava nunca evitarán las clorosis inducidas por la cal. El elevado pH de la grava calcárea hace también muy difícil la absorción del hierro por las plantas. Víctor (1973) encontró que el aporte diario de fósforo y hierro en el porcentaje de 50 mililitros en el ácido fosfórico y 12 gramos de quelato de hierro (FeEDTA) cada 1.000 galones (3.785 litros) de la solución de nutrientes evita la aparición de la clorosis inducida por la cal en las plantas de tomate.

La pizarra tratada a altas temperaturas, «Haydite» o «Herculite», que se puede encontrar en el mercado con una gran diversidad de tamaños en sus partículas, suele utilizarse a menudo en las pequeñas unidades hidropónicas. Es un material poroso que ha dado en muchos casos muy buenos resultados; no obstante, después de un uso continuado, la absorción de las sales fertilizantes por la superficie de las partículas puede dar lugar a dificultades. Las sales que han sufrido este proceso no son fáciles de lavar por medio del lavado. La esterilización del medio entre dos cosechas suele ser bastante difi-

cultosa, puesto que las raíces de las plantas tienden a alojarse en los pequeños poros de esta superficie rocosa, siendo también un gran problema en la utilización de este material la facilidad con que suele romperse en pequeños trozos que forman una fina arena que suele obstruir las tuberías.

Si se utiliza para el suministro de nutrientes un sistema de tubos capilares en vez de la subirrigación, deberá también utilizarse un medio más fino. El diámetro de las partículas de grava deberá oscilar entre 1/8 y 3/8 de pulgada (3 – 10 mm), debiendo tener un diámetro medio de 3/16-1/4 pulgadas (5 – 6 mm), la mitad del volumen total de las partículas de grava. Es importante que nunca aparezcan ni partículas mayores de 3/8 de pulgada (10 mm) ni tampoco barro. La grava de haydite es particularmente apta para un sistema de este tipo, puesto que la acción capilar mueve lateralmente la solución de nutrientes, llevándola alrededor del sistema capilar de las plantas; no obstante, conforme dichas raíces van creciendo lateralmente, acaban por interceptar a su vez el agua y causar un flujo lateral.

7.3. Cultivo en grava por subirrigación

Casi todos los cultivos en grava utilizan un sistema de subirrigación. Esto es, el agua se bombea en las bancadas y fluye entonces algunas pulgadas por encima de la superficie, drenando a continuación hacia el depósito de nutrientes. Este tipo de sistema suele denominarse «cerrado» o «reciclado», puesto que la misma solución de nutrientes es utilizada en cada ciclo de bombeo durante un período de dos a seis semanas. Después de este período suele completarse la solución, o bien cambiarse por una nueva.

La frecuencia y duración de los ciclos de riego son muy importantes de cara al éxito del sistema. Cada ciclo de riego deberá proveer agua, nutrientes y aireación adecuada para las raíces de las plantas.

7.3.1. Frecuencia de los riegos

La frecuencia mínima de los riegos dependerá de:

1. El tamaño de las partículas del agregado.
2. La superficie de las partículas del agregado.
3. La naturaleza de la cosecha.
4. El tamaño de la cosecha.
5. Los factores climáticos.
6. La hora del día.

Agregados lisos de forma regular y relativamente gran tamaño deberán regarse más frecuentemente que los porosos con forma irregular y finos, puesto que estos últimos tienen una mayor superficie. Las cosechas de porte elevado y con frutos necesitarán más frecuentemente los riegos que las más bajas y con mayor superficie foliar, como por ejemplo las lechugas, ya que debido a su mayor superficie tienen más pérdidas por evapotranspiración. El tiempo seco y caluroso dará lugar a una rápida evaporación y, por tanto, será precisa una mayor frecuencia de los riegos. Al mediodía, cuando la intensidad de la luz y temperatura es más elevada, deberá reducirse el período entre los ciclos de riego.

Para la mayoría de las cosechas, el medio deberá regarse por lo menos de tres a cuatro veces por día durante los meses del invierno, mientras que en verano será nece-

sario a menudo el regar al menos una vez por hora durante el día. El bombeo durante la noche no será necesario. En las zonas templadas, los riegos de la temporada de verano deberían efectuarse desde las 6:00 AM a 7:00 PM, mientras que durante el invierno deberían tener lugar desde las 8:00 AM a las 4:00 PM.

Las plantas absorben el agua de la solución de nutrientes mucho más rápidamente que los elementos inorgánicos. Esto tiene como resultado el que el film de solución de nutrientes que fluye en el agregado se vaya concentrando cada vez más en sales inorgánicas conforme la absorción va teniendo lugar. Esta concentración de la solución de nutrientes se irá haciendo mayor conforme la transpiración de las plantas vaya aumentando y, por tanto, se eleve la absorción de agua. Incrementando el número de los ciclos de riego, se puede compensar una demanda elevada de agua por las plantas, y conseguir también de esta forma que el contenido de ésta en los espacios vacíos de la grava pueda mantenerse a un nivel óptimo. De esta forma, la solución de nutrientes no se concentrará demasiado entre los ciclos de riego. Es también necesario el regar frecuentemente para que el film de solución de nutrientes que se encuentra sobre las partículas de grava que están en contacto con las raíces no disminuya su contenido en nutrientes entre cada dos riegos.

Inmediatamente después de cada riego, la solución de nutrientes en la grava tiene aproximadamente la misma composición que la solución que se encuentra en el tanque de almacenamiento. A causa del proceso de absorción, la composición de la solución de nutrientes en las bancadas va cambiando continuamente, incluyendo la proporción de los diversos iones, la concentración de la solución y el pH. Si la frecuencia de los riegos no es suficiente, puede desarrollarse una deficiencia de nutrientes, incluso cuando exista una adecuada cantidad de éstos en la solución del depósito de almacenamiento. Si el agregado no contiene una gran proporción de partículas finas, los riegos frecuentes causarán problemas de aireación siempre que las bancadas se drenen por completo entre cada dos riegos, y que el período de bombeo no sea suficientemente largo. Mientras más a menudo se rieguen las bancadas, más cerca estaremos de conseguir que la composición de la solución en el agregado se aproxime a la solución en el depósito de reserva.

7.3.2. Velocidad de bombeo y drenaje

La velocidad de bombeo y drenaje de la solución de nutrientes en la grava determinará la aireación del sistema radicular de las plantas. Las raíces necesitan del oxígeno para poder efectuar su respiración, la cual a su vez suministra la energía necesaria para la absorción del agua y de los iones de nutrientes. La insuficiencia de oxígeno alrededor de las raíces retarda su crecimiento e incluso les produce la muerte, lo cual da como resultado un daño para las plantas, reduciendo la cosecha e incluso motivando también su muerte.

En un sistema por subirrigación, conforme la grava se va llenando con la solución de nutrientes de abajo a arriba, ésta empujará aire hacia fuera, el cual tendrá un contenido relativamente bajo de oxígeno y alto en dióxido de carbono. Entonces, conforme la solución de nutrientes vaya fluyendo fuera de la grava, irá succionando aire dentro de ésta, el cual tendrá un contenido relativamente elevado de oxígeno y bajo en dióxido de carbono. Conforme mayor sea la velocidad de movimiento de la solución en el medio, mayor será la velocidad de desplazamiento del aire. Así, pues, como el oxígeno es poco soluble en el agua, podríamos reducir el período durante el cual el suministro de oxí-

geno a las plantas es muy bajo a causa de la libre circulación del agua en la grava, por medio de un aumento en la velocidad de llenado y drenaje de las bancadas.

Este factor de aireación está también relacionado con la frecuencia de bombeo. Cuando la frecuencia de la circulación del agua en la grava es muy elevada, los huecos (espacios de aire entre las partículas) se llenarán más fácilmente con agua que con aire húmedo, reduciéndose la concentración de oxígeno alrededor de las raíces.

Generalmente, puede considerarse aceptable un período de diez a quince minutos de llenado y drenaje, respectivamente, o bien una duración total de veinte a treinta minutos. Al ser deseable el mantener una capa de humedad sobre las partículas de grava, deberemos procurar, al efectuar el drenaje, que éste no sea excesivo. La formación en el fondo de las bancadas de una capa de sedimentos de la solución de nutrientes da como resultado un pobre crecimiento de las plantas. La rapidez del llenado y drenaje de las bancadas puede ser favorecida aumentando el diámetro de las tuberías colocadas en el fondo de éstas. En resumen, un ciclo asociado de riego deberá: a) llenar las bancadas rápidamente; b) drenar éstas rápidamente, y c) poder extraer toda la solución de ellas.

7.3.3. Efecto de los ciclos de riego en el desarrollo de las plantas

Reduciendo el número de veces en que se efectúe el bombeo de la solución de nutrientes se disminuirá el contenido de humedad en la grava del medio. Esto repercutirá en la concentración de los iones de nutrientes contenidos en el film de agua en contacto con las partículas de grava. Conforme se aumenta la concentración osmótica de la solución de nutrientes, se irá reduciendo el poder de absorción de agua de la planta, así como su absorción de iones de nutrientes. Por consiguiente, el crecimiento de las plantas se verá retardado, produciéndose un desarrollo más firme y vigoroso de éstas.

En los invernaderos, durante los días más oscuros, nubosos y cortos del invierno, la reducción en el número de ciclos de riego mantendrá las plantas razonablemente duras y vigorosas.

7.3.4. Altura del riego

La solución de nutrientes deberá alcanzar como máximo solamente una pulgada del total del medio de cultivo. De esta forma se conserva seca la superficie de dicho agregado, evitándose el crecimiento de las algas y reduciéndose la pérdida del agua y la formación de un alto nivel de humedad en la base de las plantas. Previene esto también el crecimiento de las raíces en la zona superficial, lo cual, bajo condiciones de alta intensidad lumínica, puede dar lugar a una elevación de la temperatura que dificulte un buen crecimiento de las raíces. El nivel del nutriente en las bancadas puede regularse por medio de una instalación de tubos de desagüe situados en el «pleno». Estos detalles de construcción se comentan en la sección 7.3.6.

7.3.5. Temperatura de la solución de nutrientes

En el cultivo en invernadero, la temperatura de la solución de nutrientes durante la noche no deberá ser nunca inferior a la del aire del recinto. La temperatura de la solución del depósito de nutrientes puede ser elevada por medio del uso de un calentador de inmersión o bien de un cable de calefacción eléctrica. Deberemos tener cuidado de no utilizar ningún elemento de calefacción que tenga una cubierta de plomo o de zinc,

puesto que éstos pueden ser tóxicos para las plantas. El acero inoxidable o los cables cubiertos con plástico serán siempre los mejores. Las lámparas eléctricas de calefacción han sido también usadas con éxito. En muchos lugares, la temperatura del agua exterior utilizada para llenar los depósitos puede estar por debajo de los 45° a 50° F (7° a 10°C). Si los depósitos de gran tamaño necesitan ser rellenados, deberá efectuarse a última hora durante el día, después de haberse completado los últimos ciclos de riego. Esto hará que la solución pueda calentarse antes del siguiente ciclo a la mañana siguiente, pudiendo alcanzar el nivel óptimo de temperatura.

Los cables de calefacción no deberán colocarse en ningún caso en las bancadas de cultivo. Esto daría lugar a la formación de altas temperaturas alrededor de los elementos de calefacción, lo cual dañaría a las raíces.

7.3.6. Diseños de sistemas de subirrigación

Materiales de construcción. Al ser corrosivas las sales utilizadas en la solución de nutrientes, cualquier parte que fuera de metal, como las bombas, tuberías o válvulas, y que estuviera expuesta al contacto con los nutrientes, podría durar muy poco tiempo. Los materiales galvanizados pueden aportar el zinc suficiente como para que aparezcan síntomas de toxicidad en las plantas. Los materiales de cobre ofrecen el mismo problema. Deberemos, pues, utilizar depósitos de plástico no corrosivo, así como tuberías y bombas con palas del mismo tipo de material. Las bancadas pueden construirse con madera y cubrir éstas con una lámina de plástico que tenga como mínimo 6 milésimas de pulgada de espesor, aunque sería preferible el utilizar para esto vinilo de 20 milésimas de pulgada.

Durante la Segunda Guerra Mundial se utilizaron las bancadas de hormigón en la mayoría de las instalaciones comerciales. Estas tienen la ventaja de su permanencia y resistencia a la corrosión, pero su coste es más elevado que las efectuadas con cualquier otro material. Cedro o secuoya son los materiales de construcción más comúnmente utilizados y un forrado directo de éstos, así como la colocación de un sustrato normal compactado en el fondo, será la forma más barata para la construcción de las bancadas.

Bancadas. Las bancadas deberán estar diseñadas de forma que suministren un rápido llenado y drenaje, dando lugar además a que este último sea completo. La utilización de una tubería de PVC de 3 pulgadas (7,6 cm) de diámetro y la configuración en forma de V de su fondo proporcionarán estas necesidades de riego (fig. 7.1). Las bancadas deberán tener una altura mínima de 24 pulgadas (61 cm), una profundidad de 12-14 pulgadas (30,5 a 35,5 cm) y una longitud máxima de 120 a 130 pies (36,5 a 40 metros). La pendiente utilizada deberá ser aproximadamente de 1 a 2 pulgadas (2,5 a 5 cm) por cada 100 pies (30,5 metros). El agua entra y drena en las bancadas a través de pequeños boquetes de 1/4 a 1/2 pulgadas (0,64 a 1,27 cm) de diámetro, o bien a través de perforaciones de 1/8 pulgada (0,32 cm) efectuados tanto los primeros como éstos en el fondo de la tubería de PVC. Estos puntos de entrada y salida están hechos cada 1 ó 2 pies (30,5 ó 61 cm) a lo largo de la totalidad de la tubería. La pendiente puede mejorarse replanteando las paredes laterales y dándole a éstas la inclinación deseada. En algunos casos los cultivadores construyen pasillos de hormigón entre cada dos bancadas. Las bancadas podrían construirse en algunos casos utilizando arena fina de río, y utilizando una plantilla podríamos dar a ésta la forma deseada (fig. 7.2); una vez que hayamos conseguido la forma y pendiente deseada, las bancadas se cubrirán con una hoja de vinilo de 20 milésimas de pulgada de espesor del tipo comúnmente utilizado para la fabricación de piscinas (fig. 7.3).

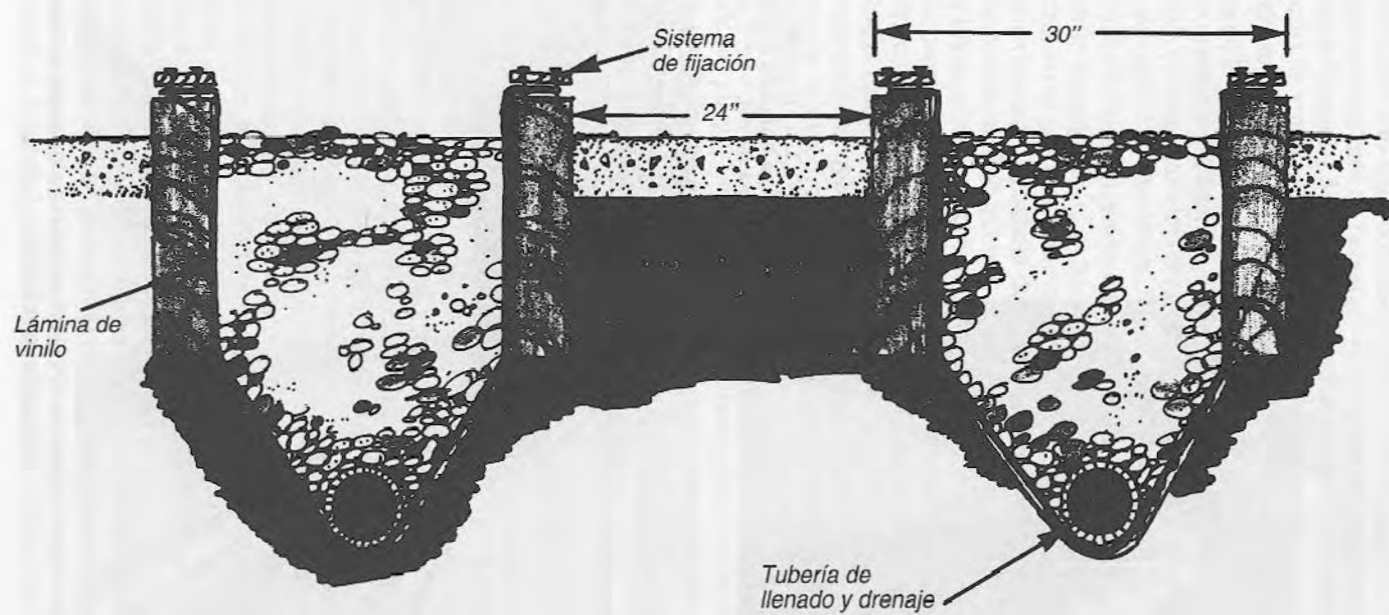


Fig. 7.1. Sección transversal de una bancada en grava con subirrigación.

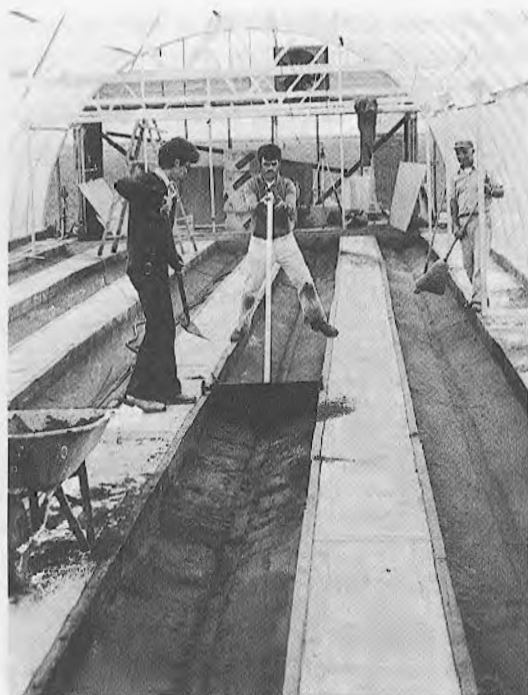


Fig. 7.2. Marcado y compactado de una bancada rellena con arena de río.

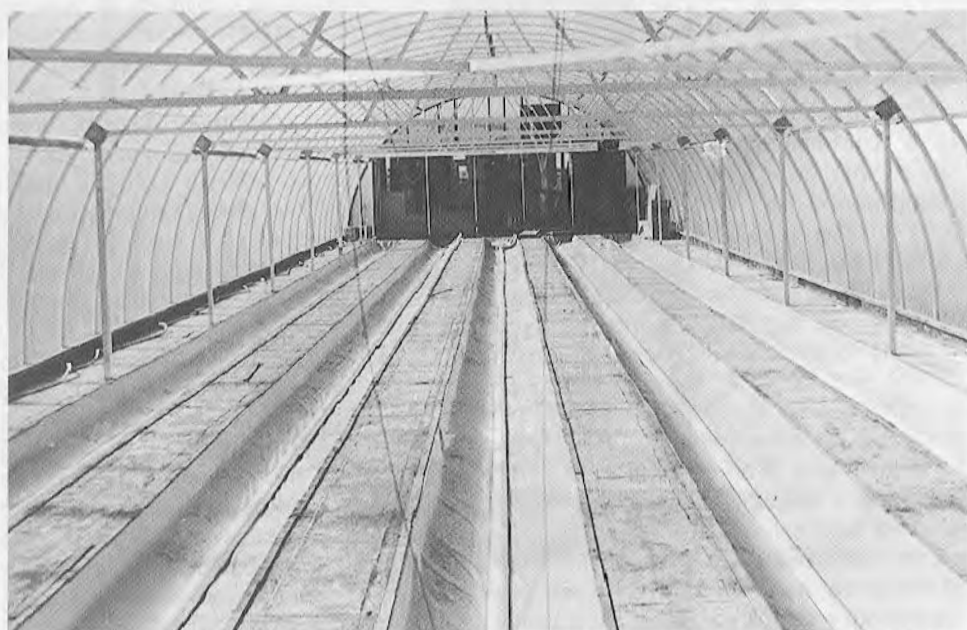


Fig. 7.3. Lámina de vinilo colocada sobre las bancadas con tuberías de drenaje de PVC situadas en el fondo.

La tubería de 3 pulgadas (7,6 cm) de diámetro de PVC se colocará entonces en el fondo de la bancada con los boquetes o perforaciones colocados hacia abajo para evitar un rápido crecimiento de las raíces en su interior. La hoja de vinilo se fijará en los laterales de la bancada, doblándola sobre las paredes de ésta, que tendrán unas 2 pulgadas (5 cm) de espesor y clavándolas a continuación a éstas con un listón de madera en toda su longitud.

La tubería de PVC hará fluir rápidamente el agua a lo largo del fondo de las bancadas y llenará y drenará éstas lateral y verticalmente en toda su longitud. Con este rápido llenado y vaciado, el aire más viejo será empujado fuera de la grava y se succionará aire fresco, como ya explicamos anteriormente.

Las bancadas deberán llenarse con grava, quedando una pulgada (2,5 cm) por debajo del borde superior en el extremo más próximo al depósito de nutrientes y 2 pulgadas (5 cm) en el extremo opuesto. Para evitar un humedecimiento irregular en la zona más próxima a la superficie durante los ciclos de riego, la grava deberá estar perfectamente nivelada. Recordemos que las bancadas pueden no estar niveladas, pero siempre mantendrá el agua un nivel; así pues, si la superficie de las bancadas estuviera muy bien nivelada, el agua, al fluir, se mantendría paralela a éstas. [Si la grava estuviera colocada por igual a 1 pulgada (2,5 cm) del borde de las bancadas a lo largo de todas éstas, si hubiésemos dispuesto una pendiente de 1 pulgada (2,5 cm), nos encontraríamos que, al efectuar el riego hasta una altura de 1 pulgada (2,5 cm) por debajo de la superficie en la parte más próxima al depósito de nutrientes, el agua se encontraría a dicha altura, pero en la parte opuesta, debido a la pendiente, tendría que quedar 2 pulgadas (5 cm) sin humedecer. Esto causaría un riego desigual de las raíces de las plantas entre uno y otro extremo. Las plantas recién trasplantadas podrían sufrir por falta de agua en el extremo opuesto al depósito debido a la insuficiente altura alcanzada por ésta en dicho punto. Si el nivel del agua fuera justo 1 pulgada (2,5 cm) por debajo de la superficie en este extremo, en el opuesto junto al depósito ésta alcanzaría la superficie y aparecerían problemas con la formación de algas].

La tubería de 3 pulgadas (7,5 cm) de PVC deberá tener un codo de 45° en el extremo opuesto al depósito, prolongándose hasta la parte superior de la grava y disponiendo de una tapa roscada que nos permita su limpieza. Normalmente, las tuberías se limpian de raíces una vez al año con una máquina rotativa que se introduce en ellas. El extremo de la tubería más próximo al depósito drenará dentro del «pleno».

Pleno. La duración del llenado y vaciado puede reducirse por medio de la utilización de un pleno, mejor que con los clásicos sistemas de cañerías conectadas a las bombas. El pleno consiste simplemente en un canal a través del cual se bombea el agua del depósito. Las tuberías de 3 pulgadas (7,5 cm) de PVC colocadas a lo largo del fondo de las bancadas tienen situados sus extremos dentro de este pleno (figs. 7.4, 7.5 y 7.6). Estas tuberías deberán estar perfectamente selladas al pleno para evitar de esta forma cualquier pérdida de agua en la parte exterior del depósito, lo que daría como resultado no solamente una pérdida en la solución de nutrientes, sino también un encharcamiento del invernadero y de la parte inferior del depósito.

Para impulsar la solución de nutrientes desde el depósito al pleno pueden ser utilizadas tanto una bomba de sumidero como una de inmersión. La bomba puede ser activada bien por un programador horario, bien por un sistema de realimentación eléctrica unido a un sensor de humedad colocado en la bancada. El nivel del agua en ésta podrá

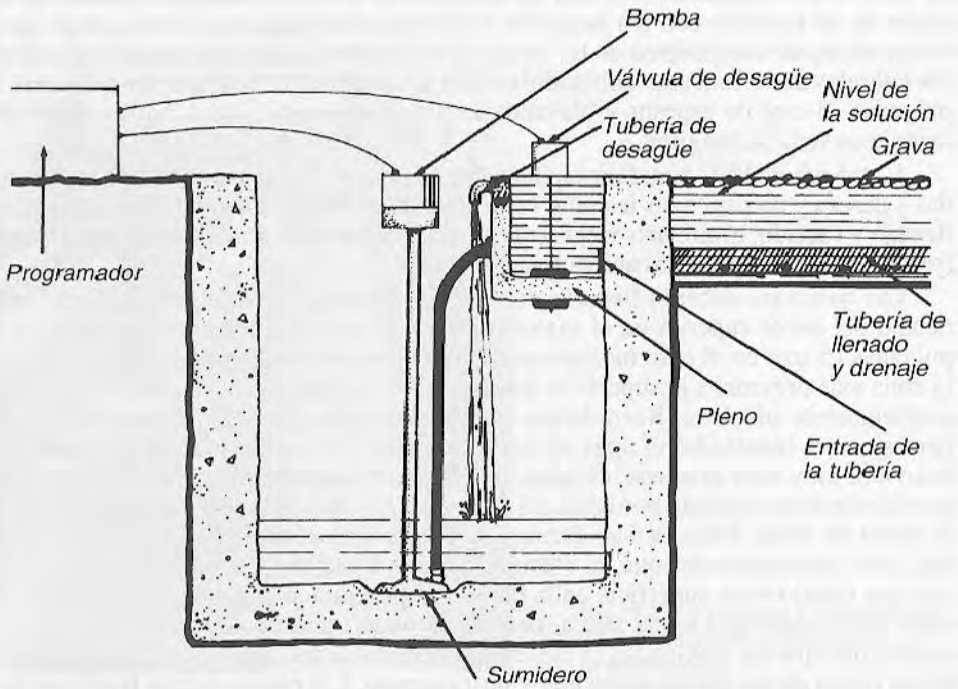


Fig. 7.4. Sección transversal del pleno y del depósito de nutrientes.

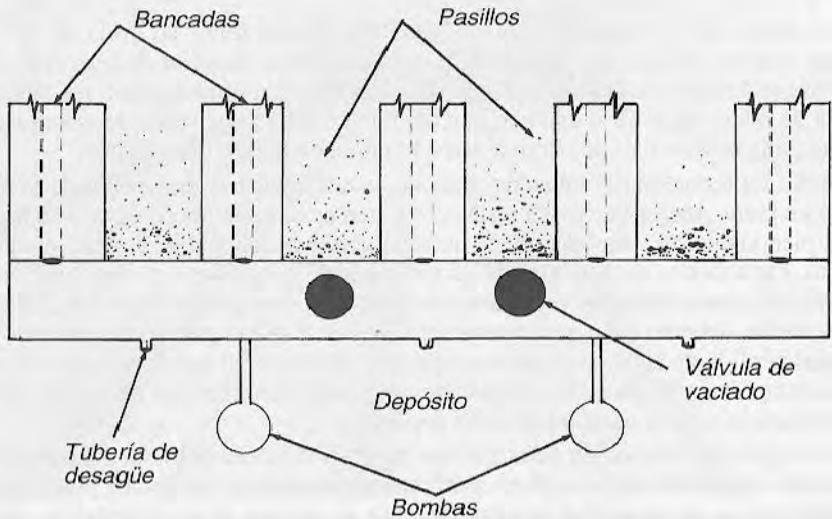


Fig. 7.5. Vista general del pleno y depósito de nutrientes.

regularse con una válvula de flotación situada en el pleno, de esta forma tanto el pleno como las bancadas podrán regularse hasta un nivel que corresponda a una pulgada por debajo de la superficie de ésta. Una válvula normal de fontanería activada por el mismo programador horario o sistema de realimentación cerrará los boquetes de drenaje del pleno durante el período en el que la bomba esté funcionando (fig. 7.4.). La operación es la siguiente:

1. El sensor de humedad en la bancada manda al sistema de realimentación que ponga en marcha las bombas (o bien el programador horario comienza un ciclo de riego) y activa las válvulas del pleno.
2. Las bombas están en funcionamiento; las válvulas del pleno están cerradas.
3. El pleno y las bancadas comienzan a llenarse.
4. El llenado continúa hasta que el exceso de solución cae en el depósito a través de las tuberías superiores de desagüe.
5. El período de riego ha terminado; las bancadas están llenas con la solución.
6. Las bombas se detienen, las válvulas se abren y la solución de nutrientes pasa de las bancadas al pleno y de éste al depósito, aireándose durante este proceso.
7. El ciclo completo de bombeado y drenaje deberá haberse efectuado en veinte minutos.

Depósito de nutrientes. El depósito de nutrientes deberá estar construido con un material impermeable, el hormigón armado de 4 pulgadas (10 cm) de espesor cubierto con una pintura bituminosa que le haga impermeable, ha sido hasta la fecha el material más duradero. El pleno deberá formar parte del depósito de forma que no pueda filtrar la solución entre ellos. El depósito deberá tener un volumen suficiente como para poder llenar las bancadas de grava, basándonos para su cálculo en el porcentaje de espacios vacíos que existen en ésta. Esto puede determinarse tomando una muestra de grava (aproximadamente, 1 pie cúbico) y llenando ésta con agua podremos medir después el volumen necesitado para completar sus espacios vacíos. Una simple extrapolación deberá tener un volumen aproximado de un 30 a un 40 por 100 mayor que el volumen total necesitado para llenar las bancadas. Por ejemplo, para cinco bancadas de 2 pies (61 cm) de ancho por 12 pulgadas (30,5 cm) de profundidad y 120 pies (36,5 metros) de longitud, será necesario un depósito de 2.000 galones imperiales (9.092 litros) (fig. 7.7).

Podría ser de interés el unir una válvula automática de flotación a la línea de llenado del depósito para de esta forma poder mantener el nivel de agua deseado. De esta forma, se podrían reemplazar inmediatamente las pérdidas de agua por evaporación que ocurrieran en cada ciclo de riego. El depósito de nutrientes podría tener un pequeño sumidero en el cual estuviese colocada la bomba de forma que se pudiera drenar de forma completa y limpiar dicho depósito durante los cambios de nutrientes (fig. 7.4).

La estructura del «pleno» podría cambiarse a veces, de forma que se redujera el tamaño. Esto puede efectuarse (tal como se muestra en la fig. 7.8) dividiendo el pleno en dos partes, cada una de las cuales puede servir tres bancadas. Una válvula automática de tres vías podrá descargar alternativamente la solución de nutrientes dentro de cada uno de los plenos activando las bombas y la válvula de vaciado, y de esta forma podremos llenar tres bancadas durante cada uno de los ciclos (fig. 7.9). En estos casos

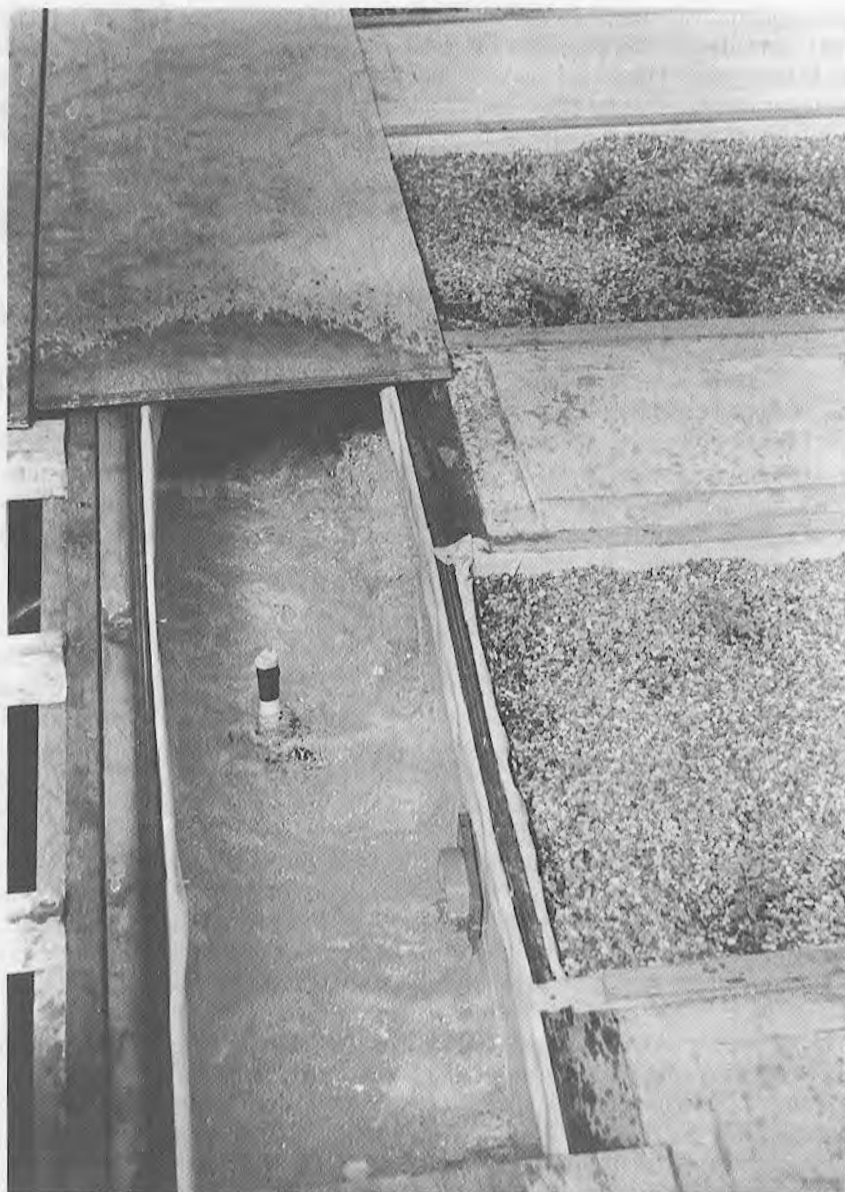


Fig. 7.6. Llegada al pleno de la tubería de drenaje de la bancada.

es preferible quizá un programador horario en vez de un sensor de humedad, puesto que los intervalos entre los ciclos de riego serán mucho más cortos que los necesitados por los plenos de mayor tamaño ya descritos.

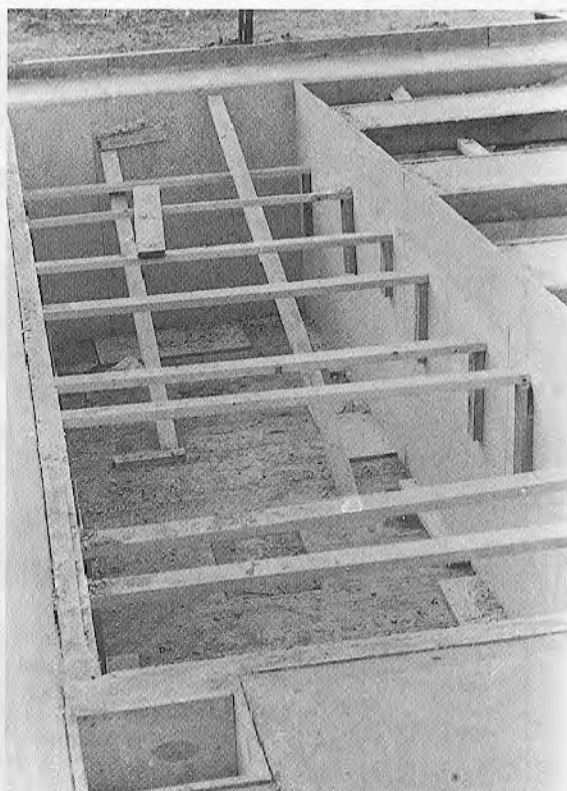


Fig. 7.7. Construcción del depósito de nutrientes.

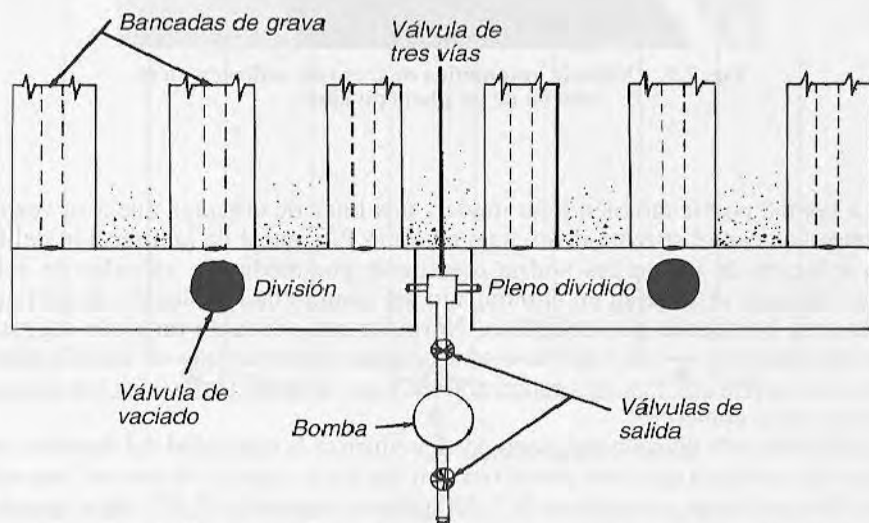


Fig. 7.8. Vista general del depósito de nutrientes con un pleno dividido.



Fig. 7.9. Válvula automática de tres vías utilizada en el diseño de un pleno dividido.

La bomba podría también estar unida a una línea de descarga que a su vez estaría conectada con el sistema de drenaje exterior. El control de la dirección del flujo de la solución de nutrientes podría efectuarse por medio de válvulas de salida. Dichas válvulas se abrirían en el momento del cambio de la solución de nutrientes, siendo ésta bombeada por completo. Normalmente, durante un ciclo regular de aporte de nutrientes, esta válvula estará cerrada, mientras que la situada entre la bomba y la válvula de tres vías estará abierta. Las válvulas de tres vías son fáciles de encontrar en el comercio.

Utilizando esta división del pleno puede reducirse la capacidad del depósito casi a la mitad del volumen que sería preciso en otro que fuera capaz de llenar seis bancadas a la vez. De esta forma, un depósito de 1.200 galones imperiales (5.455 litros) podría ser utilizado fácilmente para trabajar con tres bancadas de grava de 24 pulgadas (61 cm) de ancho, 12 (30,5 cm) de profundidad y 120 pies (36,5 metros) de longitud.

En la figura 7.10 se muestra un diseño para un cultivo en grava que tenga seis bancadas, un pleno y un depósito de nutrientes. La figura 7.11 nos muestra un invernadero con forma de túnel capaz para seis bancadas de grava. En las figuras 7.12 a 7.14 se nos muestran cosechas de alta productividad cultivadas en un sistema de grava con subirri-gación.

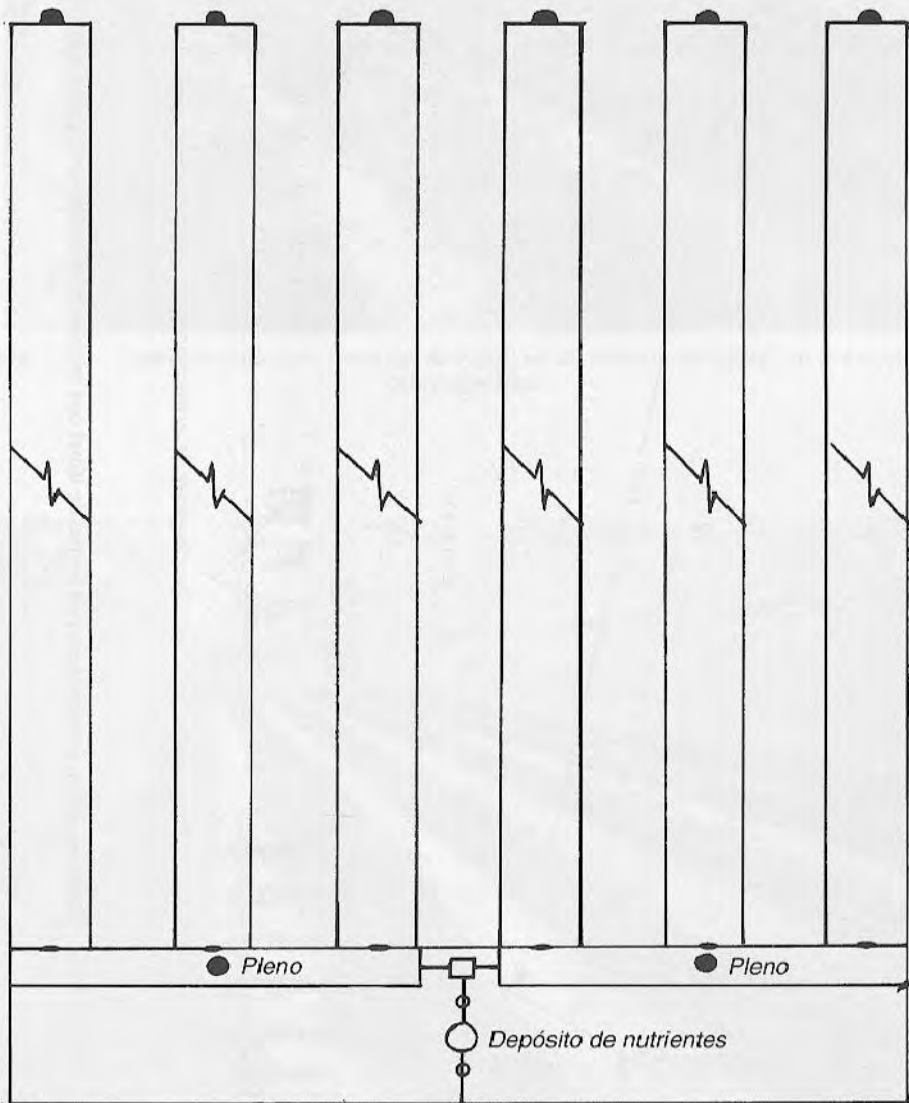


Fig. 7.10. Diseño de un invernadero con seis bancadas de grava, depósitos de nutrientes y pleno dividido.

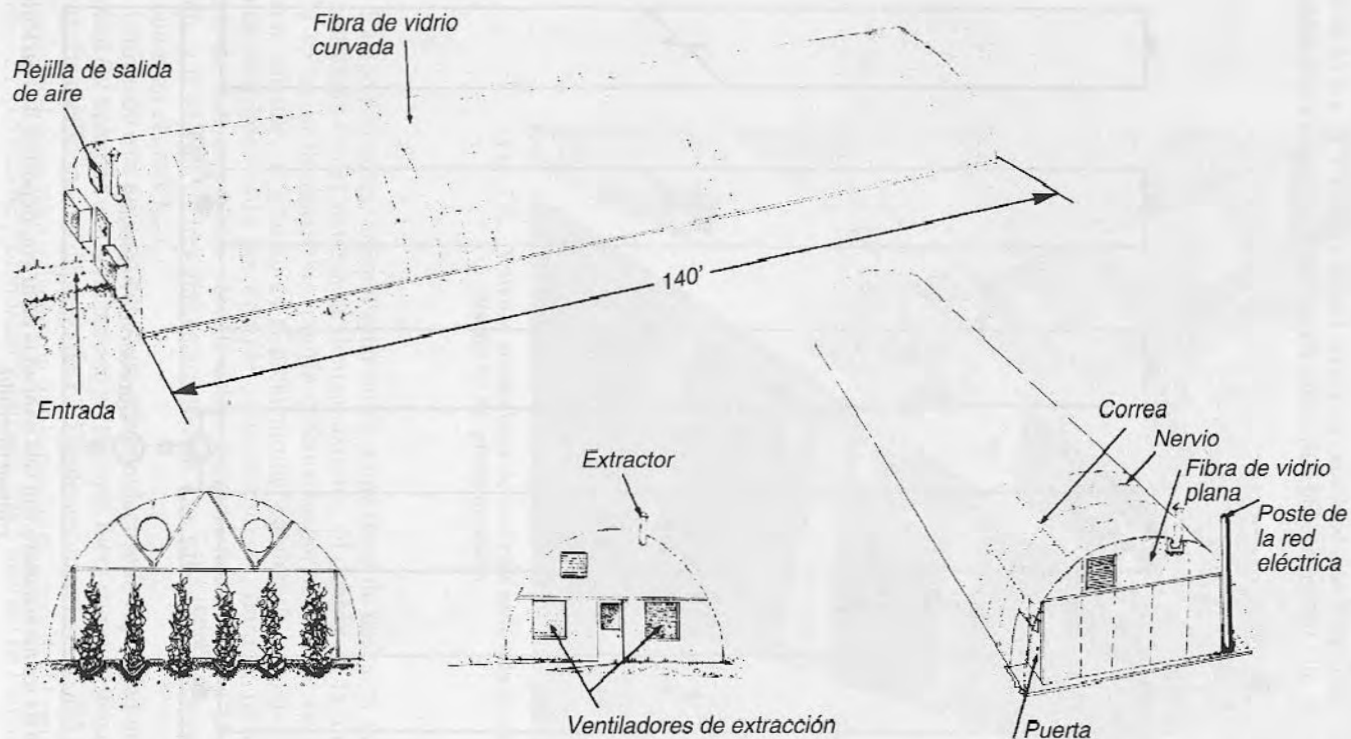


Fig. 7.11. Esquema de un invernadero con forma de túnel con un sistema de cultivo en grava con subirrigación.



Fig. 7.12. Tomates (unas seis semanas de edad) en un sistema de cultivo en grava con subirrigación.



Fig. 7.13. Pepinos (unas cinco semanas de edad) en un sistema de cultivo en grava con subirrigación.



Fig. 7.14. Cultivo de tomates ya maduros listos para la cosecha.

7.4. Diseños de riego por goteo

El diseño y construcción de las bancadas con riego por goteo es semejante al de los sistemas con subirrigación, aunque puede simplificarse algunas veces tal y como se muestra en la figura 7.15. La forma del fondo de la bancada puede ser tanto redonda como en forma de «V», ya que ambas configuraciones nos darán un drenaje apropiado. En este sistema, la solución de nutrientes se aplica en la base de cada una de las plantas por medio de un microtubo o de un tubo de material poroso, infiltrándose de esta forma la solución hasta las raíces de las plantas. El uso de grava fina ($1/8$ - $1/4$ Ø de pulgada) es esencial en este sistema para poder facilitar el movimiento lateral de la solución de nutrientes en el medio, afectando también esta distribución a las raíces laterales.

El sistema de microtubo está formado por tubos de $1/2$ pulgada (1,3 cm) O.D. (Ø externo), con paredes delgadas de polietileno negro, en cuyos laterales se insertan por medio de acoples metálicos los microtubos de 0,045 ó 0,060 pulgadas de diámetro (figs. 7.16 y 7.17). Dichos acoples se insertan fácilmente a presión en los orificios pre-

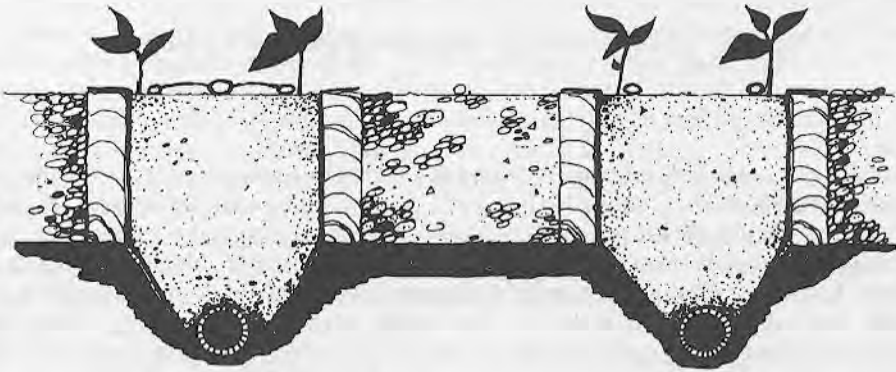


Fig. 7.15. Sección transversal de un sistema de riego por goteo en una bancada de cultivo en grava.

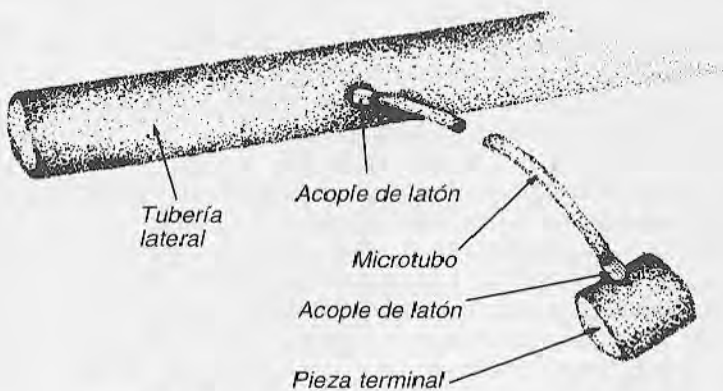


Fig. 7.16. Sistema de fertilización por microtubo.

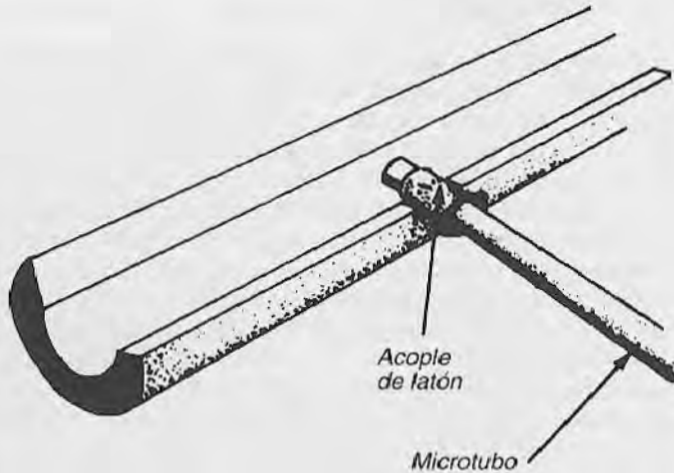


Fig. 7.17. Junta de latón fija en la tubería lateral de 1/2 pulgada.

viamente perforados con un punzón especial, quedando perfectamente fijados de esta forma en la tubería de 1/2 pulgada (fig. 7.17). Hoy ya no se usan los acoples de latón. Al final de cada uno de los microtubos puede colocarse un trozo de una pulgada de la tubería de 1/2 pulgada, para dispersar de esta forma el chorro de solución a la salida de la línea. Esta pieza final evita, al mismo tiempo, la obstrucción de los microtubos por formaciones salinas, motivadas por la evaporación entre los ciclos de riego. Estas piezas pueden conseguirse en los comercios, sirviendo también para fijar los microtubos, siendo naturalmente más costosa que las anteriormente descritas.

Los microtubos deberán ser lo suficientemente largos como para llegar a la base de las plantas que deben alimentar, debiendo evitarse las longitudes mayores de 2 pies (61 cm), ya que la fricción interna disminuirá excesivamente el flujo de solución.

Un sistema alternativo para el microtubo es la tubería de material poroso. Estos tubos de pared fina de 1/2 pulgada O.D. ($\varnothing$ externo) pueden conseguirse en el comercio de diversas procedencias. Dos tipos comerciales son el «Twin-Wall», de Chapin Water-matics, y el «Via Flow», de Dupont, dejando ambos pasar el agua lentamente en forma de gotas a través de toda su superficie, o bien a intervalos de 6 a 8 pulgadas (15 a 20 cm), o según se soliciten en fábrica. Algunas de las dificultades de este sistema son las frecuentes obturaciones y el desarrollo de algas en su interior, así como la necesidad de reemplazarlos con cada cosecha, si bien debemos indicar que son relativamente baratos.

Los inconvenientes del sistema de microtubos son las obturaciones de las tuberías, el crecimiento de raíces en su interior y el no poder retirar éstas durante el cambio de cosecha; también pueden ser a menudo desplazadas de su sitio de forma accidental al paso de los obreros, lo que da como resultado la falta de agua en las plantas más próximas. La colocación de filtros apropiados de 100 a 200 espacios por pulgada, situados en la línea principal, evitarán gran parte de los problemas de obturación. Al desecharse las tuberías de rezume (material poroso) después de la cosecha, no existen dificultades en

los cambios de éstas, y las líneas de riego no se encontrarán tampoco en la zona de trabajo durante los períodos normales de cultivo.

Otro sistema de riego por goteo de uso común en los invernaderos comerciales es el que utiliza tuberías laterales de polietileno de 1/2 pulgada Ø que llevan adaptados un gotero por planta a todo lo largo. Cerca de 30 clases diferentes de goteros y tubos porosos de rezume pueden encontrarse a la venta para las diversas instalaciones de riego localizado. Un sistema clásico de goteo se tratará con profundidad en los capítulos 8 y 10.

La solución de nutrientes se suministrará normalmente con estos sistemas a través de los goteros, bien desde un depósito de almacenamiento, bien por medio de inyector-es; esta técnica se describirá también en el capítulo 8. En caso de que se utilice un sistema de cultivo con grava, será preciso disponer de un depósito colector de la solución nutritiva que irá drenando a través de las tuberías de PVC de 3 pulgadas, colocadas en el fondo de las bancadas. Estas tuberías de drenaje deberán estar unidas por una línea principal que terminará en el depósito colector, el cual conviene que esté próximo a la zona de cultivo, a ser posible en un extremo del invernadero, de manera que todas las bancadas drenen de forma natural hacia él.

El uso del riego por goteo no suele ser frecuente a escala comercial en los cultivos de grava, utilizándose más frecuentemente en cultivos de arena o serrín. En invernaderos de jardín a pequeña escala se ha comprobado que la grava puede utilizarse sin problemas con estos riegos (fig. 7.18), y sin necesidad de instalar tuberías de drenaje, siempre, claro está, que las bancadas no tengan más de 20 pies (6 metros) de longitud. Con este sistema se irá formando una gran masa de raíces a lo largo del cultivo y será precisa la limpieza de la grava al menos una vez al año, cosa que al no ser muy grande el volumen puede efectuarse a mano o con una pala; como puede comprenderse fácilmente, esta operación será imposible a escala comercial; es por esta dificultad de difusión lateral de la solución y las raíces, así como del excesivo desarrollo de éstas en el fondo, por lo que se hacen precisas las tuberías de drenaje en las bancadas de cultivo en grava de más de 25 pies (7,6 metros) de longitud.

En California Watercress se construyó un sistema en grava de garbanzo con recirculación para cultivar hortalizas verdes para ensaladas y después para menta. Para ello se construyó un invernadero de 20 pies (6 m) por 120 pies (37 m) con cuatro bancadas de 4 pies (1,2 m) de ancho cada una. El sistema de riego se instaló en la tierra antes de cubrir el suelo con una lámina contra las malas hierbas para evitar cualquier desarrollo de malas hierbas y establecer una barrera estéril entre el suelo subyacente y el medio ambiente del invernadero. Se instaló un sistema hidropónico cerrado con recirculación utilizando una tubería principal de 2 pulgadas de diámetro que partía de un tanque cisterna de 2.500 galones. Desde esta tubería principal se instalaron tuberías secundarias de 1 pulgada debajo de los pasillos a todo lo largo de la longitud del invernadero. Tres elevadores de 3/4 de pulgada situados a intervalos de 40 pies (12 m) a lo largo de la bancada se acoplan a las tuberías de polietileno negro de 3/4 de pulgada que tienen "Tes" de 1/4 de pulgada cada 12 pulgadas (30,5 m) en toda su longitud para suministrar la solución de nutrientes. La solución retorna a la cisterna por unas tuberías receptoras de PVC, de 4 pulgadas de diámetro, colocadas como un canal colector en la parte inferior de las bancadas (fig. 7.19). Estas tuberías receptoras confluyen en un tubo de retorno, de 3 pulgadas de diámetro, que va a la cisterna.

Encima de unos bloques de hormigón de 8 × 8 × 8 pulgadas (20 × 20 × 20 cm) se colocaron bancadas de 4 pies (1,2 m) de ancho por 110 pies (33,5 m) de largo, construi-



Fig. 7.18. Invernadero de jardín con riego por goteo.



Fig. 7.19. Bancadas elevadas instaladas sobre bloques de hormigón, con tuberías receptoras en los lados inferiores de las bancadas (en el centro bajo la cubierta de polietileno). En la parte izquierda, en primer plano, las plantas tienen 18 días y las del fondo tienen 15 días. (Cortesía de California Watercres, Inc. Fillmore, CA).

das con madera tratada de 2×4 pulgadas y madera contrachapada de $5/8$ de pulgada de espesor (fig. 7.20). Las bancadas tenían una pendiente de 3 pulgadas (7,6 cm) hacia la tubería receptora (en los 4 pies de ancho). Las mesas se construyeron a una altura de 28 pulgadas (71 cm) y se cubrieron con una lámina de polietileno negro de 10 milésimas de pulgada después de aplicar dos capas de pintura. Como medio se utiliza un sustrato de grava de garbanzo de $1\ 1/2$ pulgadas (4 cm) de profundidad.

Los ciclos de riego que emplean una formulación modificada para hierbas, como se muestra en la Tabla 7.1, fueron bombeados cada 2 a 3 horas durante un período de 15 minutos. Sobre cada bancada se instaló un sistema de nebulización elevado (fig. 7.20) para proporcionar la necesaria humedad para la germinación de las semillas directamente sembradas en las bancadas. Durante la germinación, la nebulización se aplicó cada 10 minutos durante 15 segundos con un controlador de nebulización. Una vez que las plántulas habían expandido completamente los cotiledones, los ciclos de nebulización se establecieron cada 30 minutos durante 45 segundos.



Fig. 7.20. Hortalizas baby para ensaladas en bancadas con líneas de nebulización por encima. En la bancada dos tienen 19 días y en la bancada tres 10 días. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

TABLA 7.1
Formulación de nutriente para hierbas

N	150 ppm	P	40 ppm
K	182 ppm	Ca	230 ppm
Mg	50 ppm	Fe	5 ppm
Mn	0,5 ppm	Zn	0,1 ppm
Cu	0,035 ppm	Mo	0,05 ppm
B	0,5 ppm		

Después de calcular la demanda del mercado, se realizaron ensayos con muchas variedades de lechuga y otros cultivos de hortalizas baby para llegar al cultivo de las siguientes mezclas en cada una de las bancadas de 100 x 4 pies (30,5 x 1,2 m):

Bancada 1: solamente remolachas; variedad Bull's Blood. Dos siembras por semana de una sección de 8 pies (2,4 m) de bancada originaron un ciclo de cultivo de 6 semanas. Las remolachas estaban listas para su cosecha 3 semanas después de la siembra y se recolectaron dos veces antes del cambio de cultivo. Esto proporcionó varias cosechas por semana, es decir, dos secciones de 8 pies (fig. 7.21).

Las bancadas 2 y 3 tenían mezclas de lechugas que contenían: Tango (20%), Red Oak (20%), Green Romaine (20%), Red Romaine (20%), Mizuna (5%), Tah Tsai (10%) y Broadleaf Cress (5%). El período de cultivo para la lechuga es de 3 semanas. Por tanto, con dos bancadas de 100 pies (30,5 m) cada una la longitud total de bancada para este cultivo es de 200 pies (61 m). Sembrando dos veces por semana nos produce varias cosechas por semana sobre una base continua. El cultivo se cambia después de cada cosecha. El programa de siembra dos veces por semana es el siguiente: 6 cultivos en los 200 pies de bancada; $200/6 = 33$ pies (10 m) para sembrar; Tango, Red Oak, Green Romaine, Red Romaine – 6 pies y 7 pulgadas (1,25 m) cada variedad (20% x 33 pies); Tah Tsai – 3 pies y 4 pulgadas (1 m); Mizuna y Broadleaf Cress – 20 pulgadas (51 cm) cada una (fig. 7.22).

La bancada 4 contenía Dill (Delikat), Arugula, Spinach y Fennel. Con una siembra por semana, tres semanas por cultivo y una cosecha por cultivo, se sembraron 33 pies (10 m) de bancada cada semana de la forma siguiente: Dill – 16 pies (4,9 m), Arugula – 8 pies (2,4 m), Spinach – 5 pies (1,5 m) y Fennel – 4 pies (1,2 m) de longitud de bancada.

El espaciamiento para las hortalizas rojas es de 3 pulgadas (7,6 cm) entre hileras y aproximadamente 1/8 de pulgada (3 mm) entre semillas dentro de la hilera. Para las hortalizas verdes el espaciamiento es de 3 pulgadas (7,6 cm) y están casi tocándose en las hileras. El mayor espaciamiento para las hortalizas rojas tiene como objeto permitir que entre más luz en el cultivo, lo cual ayuda para producir un color rojo. La semilla se siembra a mano utilizando un palo de madera (torno) como guía.

La semilla se siembra directamente sobre la superficie de grava de guisante y se conserva húmeda durante las horas diurnas mediante la aplicación automática de nebulizaciones durante los 10 primeros días. La nebulización proporciona suficiente humedad para el empapado y el posterior desarrollo de la semilla. Al mismo tiempo, traslada las semillas finas a los espacios vacíos de la grava, protegiéndola del secado entre los ciclos de nebulización. Cuando las plantas hayan alcanzado una altura aproximada de 1 pulgada (2-3 cm), se detiene la nebulización, pues su uso continuo causa manchas blancas en las hojas debido a los altos porcentajes de carbonatos cálcico y magnésico en el

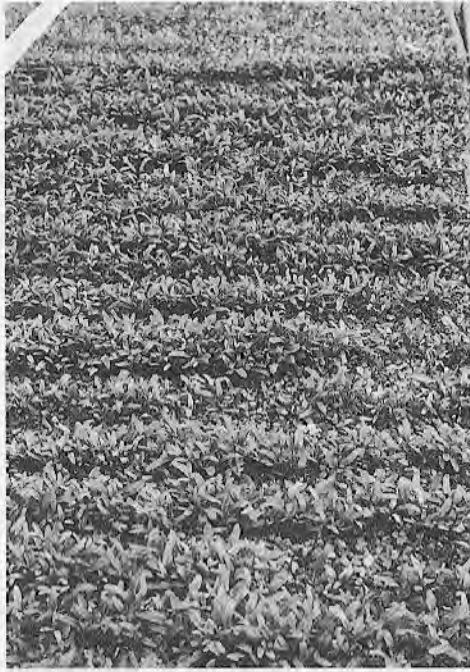


Fig. 7.21. Las secciones de remolacha tienen 18 días desde de la siembra.

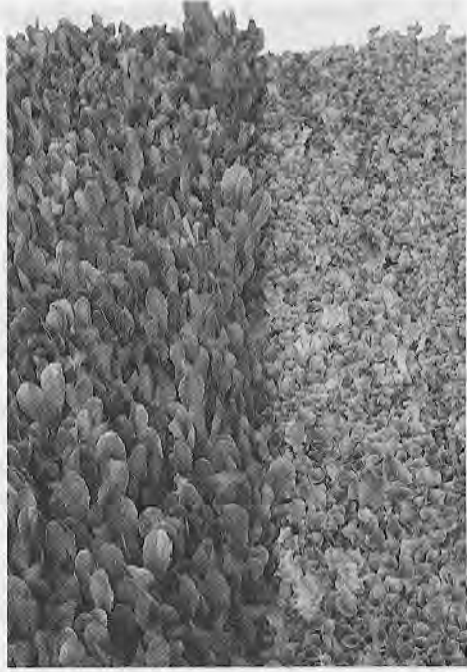


Fig. 7.22. Lechuga baby, Parris Island Cos a la izquierda, y Lolla Rossa a la derecha, 23 días después de la siembra.

(Ambas fotos son cortesía de California Watercres, Inc., Fillmore, CA).

agua dura. Las plantas son regadas después con un sistema recirculante de nutrientes cada 2 horas durante períodos de 15 minutos en las horas solares. Al final del período de cultivo de 3 semanas, las plantas no deben ser mayores de 2 pulgadas (5 cm) en altura, pues si se les permitiera crecer más se harían menos tiernas con la edad.

Los problemas de plagas y enfermedades asociados con un cultivo a corto plazo, como las hortalizas pequeñas, son menos graves que con los cultivos a más largo plazo. Sin embargo, los áfidos, la mosca blanca, los escarabajos de la calabaza y varias larvas de polillas y mariposas son las plagas más importantes. Pueden ser controladas con Pyrenone y Dipel. El problema más difícil es eliminar el exceso de raíces de la grava de guisante después de cada cultivo, pues solamente se corta con un cuchillo la parte superior del cultivo.

Este tipo de cultivo puede ser rentable siempre que se pueda obtener un precio mínimo por libra próximo a los 5 dólares. Para conseguir este precio, hay que concentrarse en los períodos fuera de estación y estar próximos a los mercados y restaurantes altamente especializados. Las mezclas se envasan mejor en forma de preparados para comer que no requieren lavados.

7.5. Ventajas e inconvenientes del riego por goteo

Las ventajas del riego por goteo frente al sistema de subirrigación son:

1. Menos problemas de obturación en las tuberías de drenaje a causa de las raíces.
2. Mejor aireación de las raíces debido a que éstas nunca se encuentran completamente sumergidas en agua. Las gotas de agua caen hacia las raíces llevando aire fresco con ellas.
3. Los costes de construcción son más bajos, puesto que se necesitan depósitos de nutrientes más pequeños y no son precisas válvulas o «plenos».
4. Es un sistema mucho más simple, con muy pocas posibilidades de averías. Al no ser necesaria la coordinación de válvulas, bombas, etc., es mucho más simple de instalar, reparar y operar.
5. La solución de nutrientes alimenta directamente cada una de las plantas.

Existen también algunos inconvenientes: algunas veces el movimiento del descenso del agua toma forma de cono debido al tamaño relativamente grande de las partículas de grava. Es decir, el agua no se mueve hacia los lados en la zona radicular, sino que fluye directamente hacia abajo; esto tiene como resultado una disminución en el riego de las plantas y las raíces crecen, por tanto, a lo largo del fondo de las bancadas, donde se encuentra mayor cantidad de solución, obturando eventualmente las tuberías de drenaje. Un sistema de subirrigación humedece uniformemente tanto el medio de cultivo como las raíces de las plantas.

Las líneas de goteo se obturan a veces, o bien son desplazadas de su sitio por los trabajadores. El uso de filtros en las tuberías principales suelen reducir las obturaciones, así como la utilización de goteros fijos puede evitar los problemas de desplazamientos accidentales de éstos durante los trabajos.

7.6. Esterilización de la grava entre las cosechas

La esterilización de la grava entre dos cosechas puede efectuarse fácilmente con hipoclorito cálcico o sódico o con ácido clorhídrico (muriático) del utilizado en las piscinas. Se preparará una solución de 10.000 ppm de cloro comercial en el depósito de nutrientes, mundando las bancadas por espacio de veinte minutos, tres o cuatro veces; la solución de cloro se bombea por completo a continuación, lavando varias veces las bancadas con agua clara hasta eliminar todos los residuos de hipoclorito. Los invernaderos deberán airearse durante uno o dos días antes de efectuar la plantación siguiente.

En un sistema de riego por goteo deberá taponarse la tubería de drenaje de forma que puedan llenarse las bancadas, bombeándose la solución desinfectante a través de las líneas de goteo. Esto necesitará bastante tiempo, siendo más práctico el utilizar una tubería y bomba auxiliar que inunde las bancadas desde arriba. El mismo procedimiento podría utilizarse a continuación para lavar éstas con agua limpia.

Con cada una de las cosechas irán quedando en el medio algunas de las raíces y al cabo de los años la desinfección con hipoclorito perderá su efectividad a menos que puedan eliminarse. Esta limpieza suele ser muy costosa, recomendándose eventualmente una esterilización más patente como el vapor o algunos medios químicos (Vapam, cloropirina o bromuro de metilo), debiendo tenerse en cuenta la peligrosidad de estos últimos.

7.7. Ventajas e inconvenientes del cultivo en grava

El cultivo en grava tiene gran número de ventajas al principio, algunas de las cuales se van perdiendo con el uso.

Las ventajas son:

1. Riego y nutrición uniforme de las plantas.
2. Puede ser completamente automatizado.
3. Da muy buena aireación a las raíces.
4. Se adapta a una gran cantidad de cultivos.
5. Ha demostrado su efectividad en gran número de cosechas comerciales cultivadas tanto al aire libre como en invernadero.
6. Puede utilizarse en las zonas desérticas donde se encuentran solamente disponibles grava y arena.
7. Gracias al sistema de reciclaje se obtiene un uso eficiente de agua y nutrientes.

Los inconvenientes son:

1. Costoso de construir, mantener y reparar.
2. Con válvulas automáticas, etc., las averías ocurren a menudo.
3. Uno de los mayores problemas es el desarrollo de las raíces en la grava, obteniendo las tuberías de drenaje. Al dejar cada una de las cosechas algunas raíces en el medio, va aumentando la capacidad de absorción de éste, siendo necesario, por tanto, el reducir la frecuencia de riego. Aparecen deficiencias de riego y aireación. Con el paso de los años esta formación de raíces da lugar a la pérdida de las ventajas existentes frente a un sistema de cultivo tradicional. Eventualmente, será preciso limpiar la grava de raíces o incluso cambiarla por completo. La esterilización entre cosechas por medio de cloro se vuelve inefectiva.
4. Algunas enfermedades como *Fusarium* y *Verticillium* pueden extenderse muy rápidamente a causa del sistema cíclico.

Referencias

- SCHWARZ, M., y VAADIA, V.: «Limestone gravel as growth medium in hydroponics». *Plant and Soil* **31**: 122-28, 1969.
- VICTOR ROGER, S.: «Growing tomatoes using calcareous gravel and neutral gravel with high saline water in the Bahamas». *Proc. of Int. Working Group in Soils Culture Congress*, Las Palmas, 1973.
- WITHROW, R. B., y WITHROW, A. P.: *Nutriculture*. Lafayette, Ind.: Purdue Univ. Agr. Expt. Stn Publ. S. C. 328, 1948.

8

Cultivo en arena

8.1. Introducción

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

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

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

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

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



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

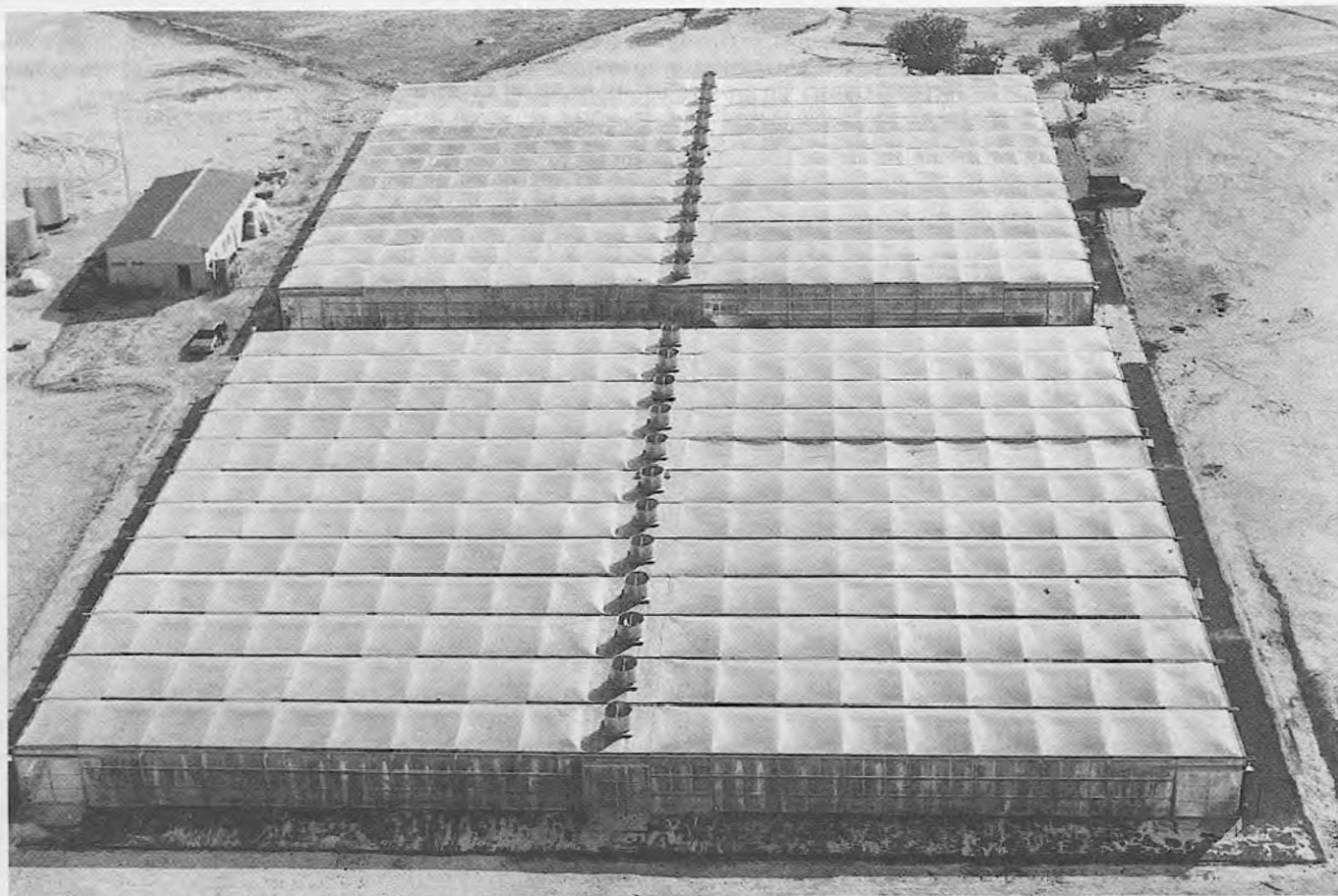


Fig. 8.2. Vista aérea de un complejo de 2 acres de invernaderos con cultivo en arena en la isla de Kharg, Irán. (Cortesía de The Environmental Research Laboratory and Manley, Inc., Tucson, Arizona).

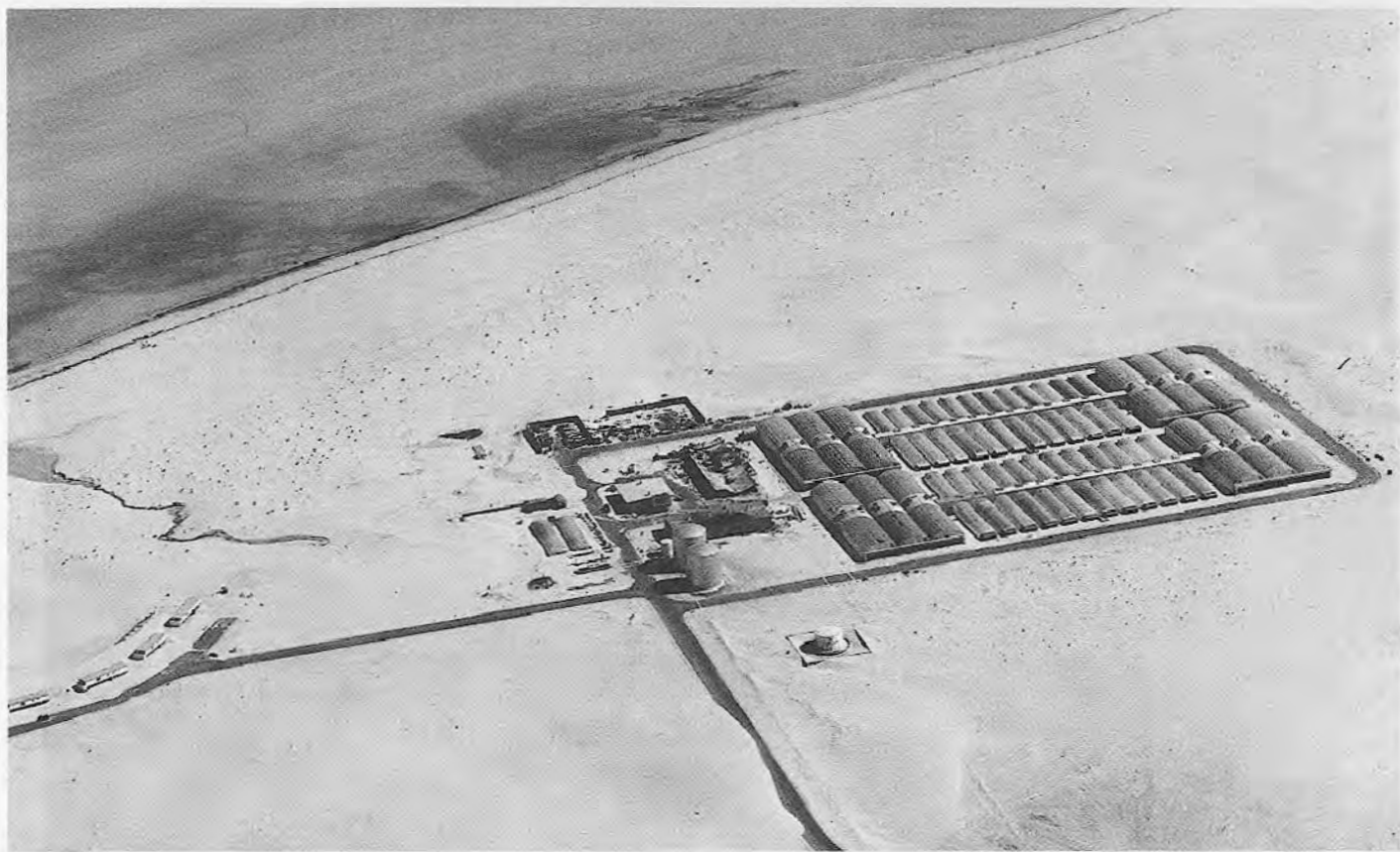


Fig. 8.3. Vista aérea de un complejo de 5 acres de invernaderos en Abu-Dhabi. Obsérvense las dunas estériles y la proximidad del mar desde donde se desalinizaba el agua para usarla en los cultivos de invernadero. Cuando se tomó la fotografía, un fuego había causado daños a las instalaciones de envasado,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

8.2. Características del medio de cultivo

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

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

8.3. Detalles de construcción

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

8.3.1. Bancadas forradas de plástico

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

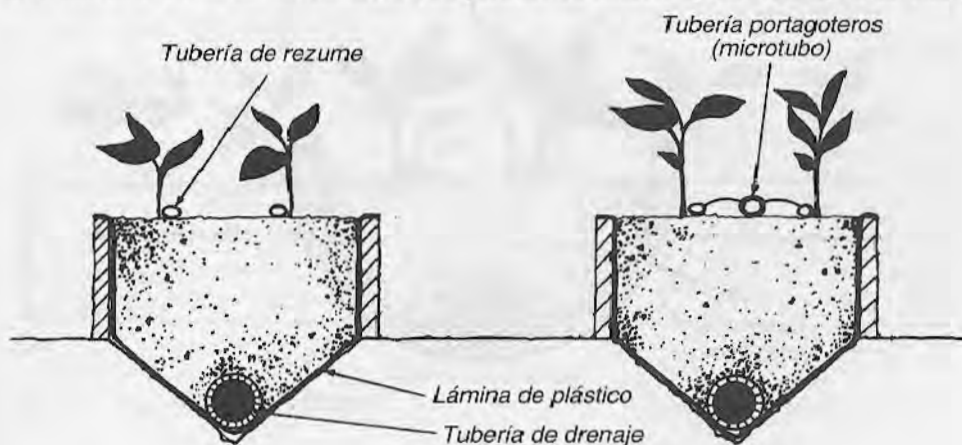


Fig. 8.4. Sección de una bancada de cultivo en arena.

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

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

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

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

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

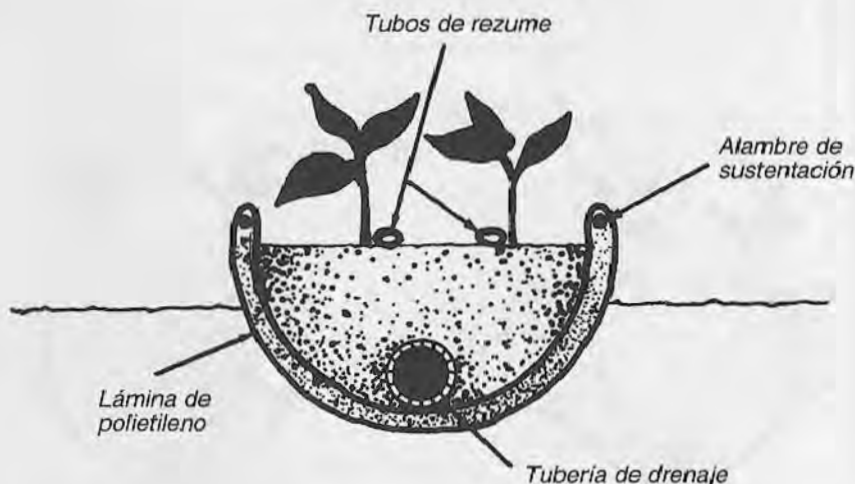


Fig. 8.5. Sección de una bancada utilizando soportes de alambre.

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

8.3.2. Suelo de invernadero cubierto con polietileno

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

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

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

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

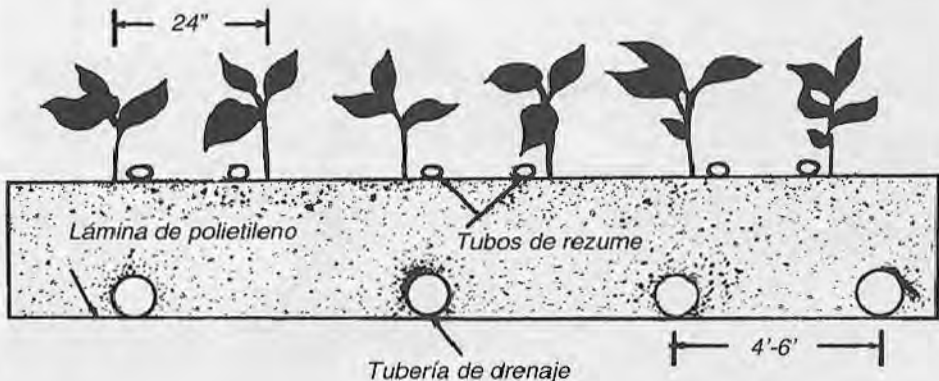


Fig. 8.6. Sección de un suelo de invernadero diseñado para cultivo en arena.

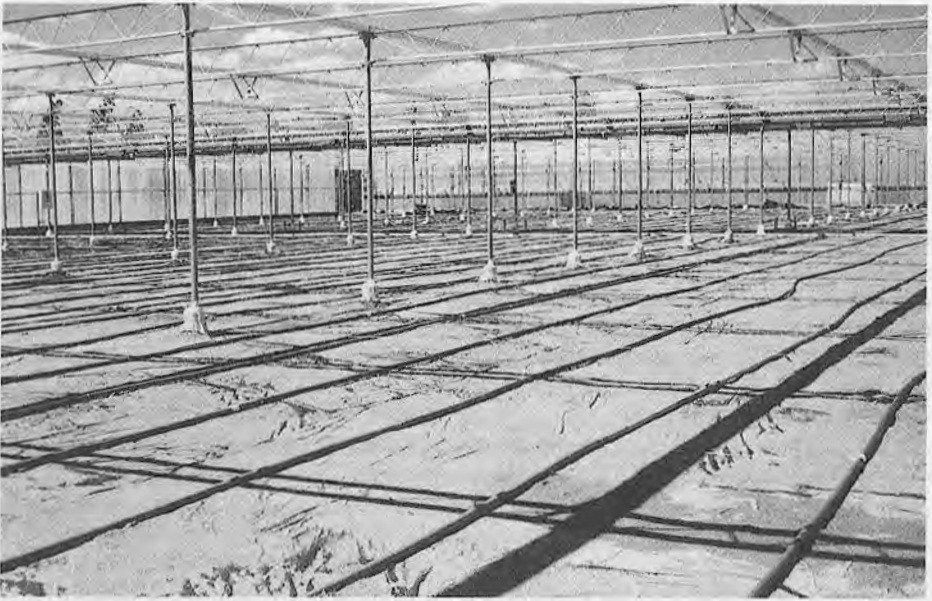


Fig. 8.7. Fondo de polietileno y tuberías de drenaje. (Cortesía de Superior Farming Company and the Environmental Research Laboratory, Tucson, Arizona).

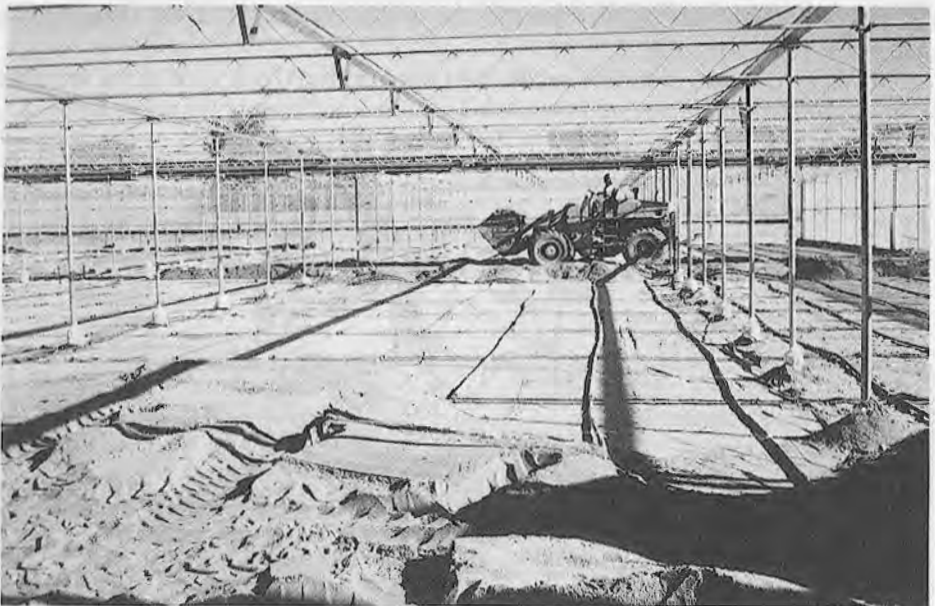


Fig. 8.8. Relleno con 12 pulgadas de arena. (Cortesía de Superior Farming Company and the Environmental Research Laboratory, Tucson, Arizona).

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

8.4. Riego por goteo

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

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

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



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

8.4.1. Planificación de un sistema de riego por goteo

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

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

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

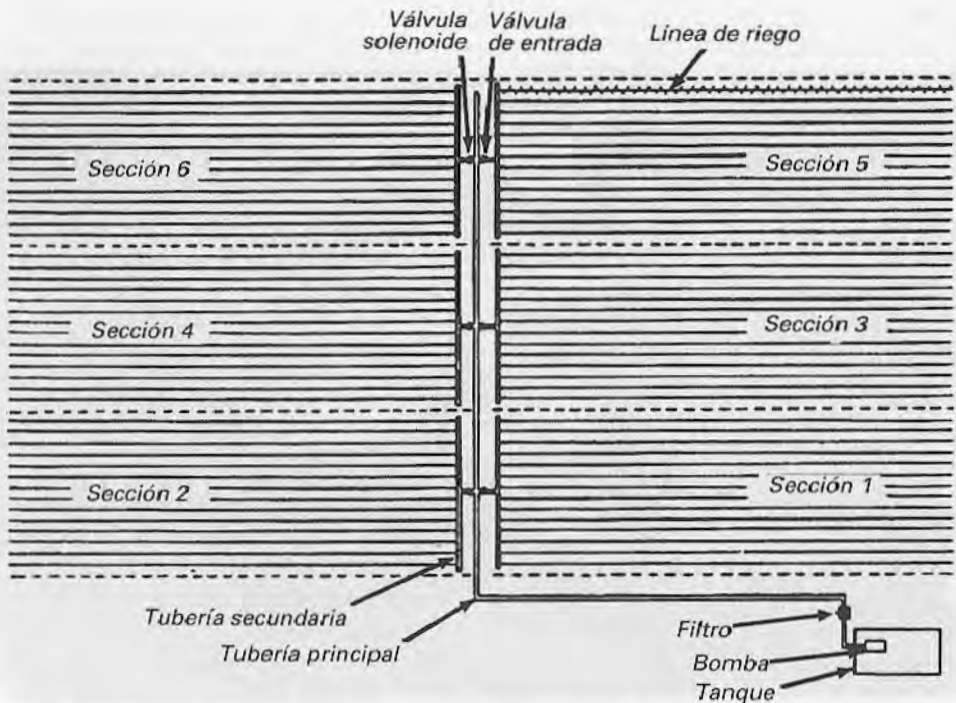


Fig. 8.10. Sistema típico de riego por goteo para secciones de invernadero, que pueden ser regadas automáticamente de forma independiente.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

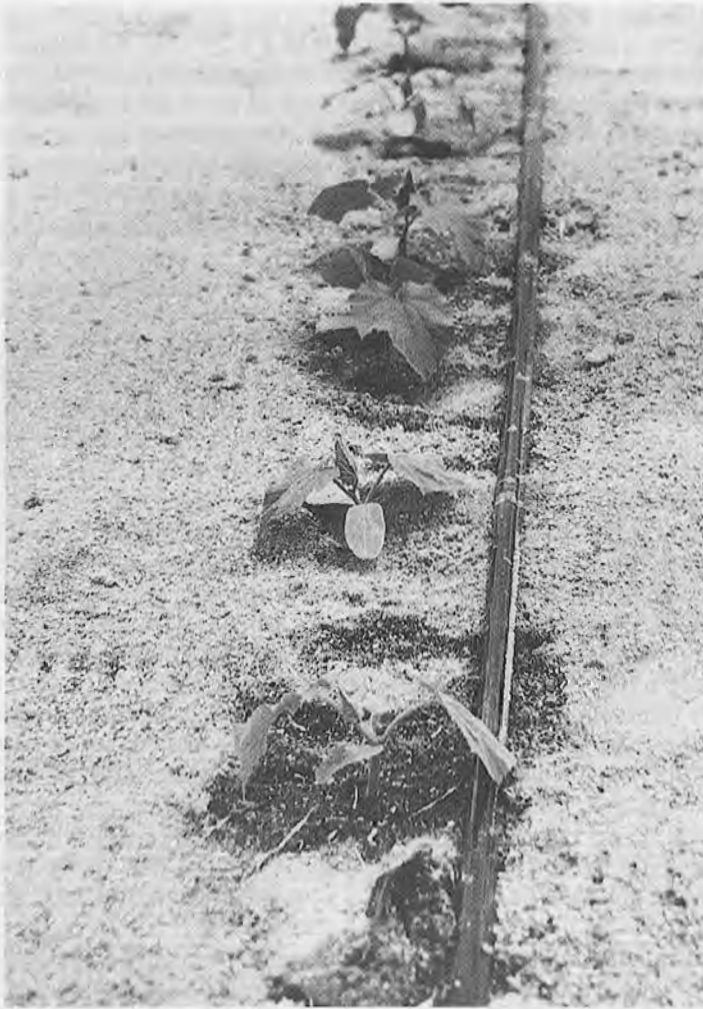


Fig. 8.11. Colocación de los tubos de rezume junto a los pepinos. (Cortesía de Superior Farming Company, Tucson, Arizona).

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

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

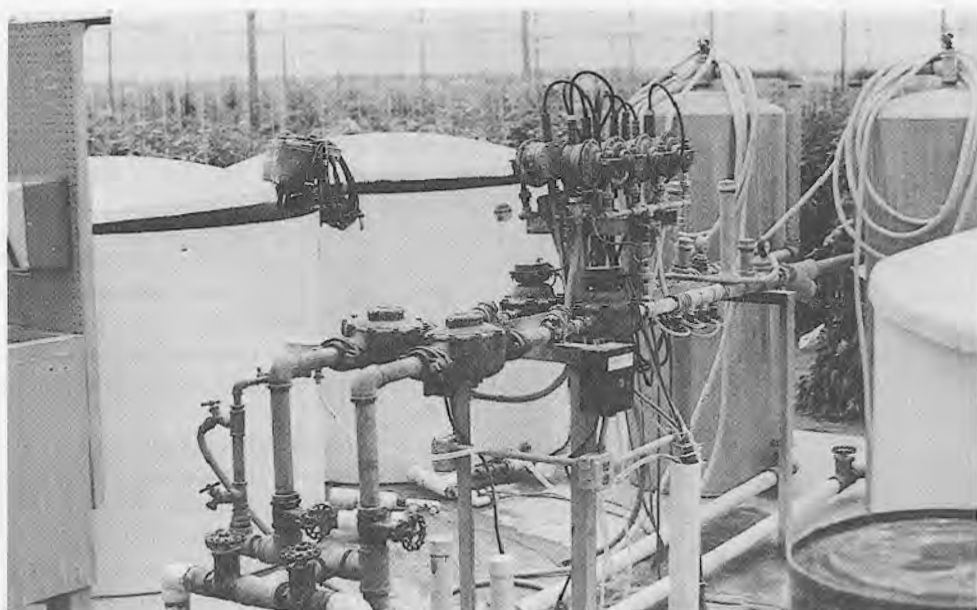


Fig. 8.12. Distribuidor automático de fertilizantes por inyección utilizado por la Superior Farming Company, Tucson, Arizona.

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

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

8.5. Riego

Si se utiliza un programador horario, los cultivos deberán regarse de dos a cinco veces por día, según la edad de las plantas, clima y época del año. Como ya se ha indicado anteriormente, se deberá aportar el agua suficiente como para que la percolación sea de un 8 a un 10 por 100 del agua exigida por las plantas. Dos veces por semana se deberá tomar una muestra del agua drenada para conocer las sales totales disueltas. Si el total de ellas alcanza las 2,000 ppm, la totalidad de la bancada deberá lavarse con agua pura para limpiarla de sales. No obstante, si no hay sales extrañas presentes, como las de sodio, se puede proceder al riego del cultivo con agua pura durante varios días, hasta que las propias plantas bajen el nivel de éstas hasta un punto en el cual se puedan volver a añadir

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

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

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

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

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

8.6. Esterilización de las bancadas de arena entre cosechas

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



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

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

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

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

Con pluviometrías medias inferiores a los 50 mm anuales y frecuentes vientos muy fuertes, los cultivos al aire libre están muy limitados. Invernaderos con estructura inflable de polietileno y una planta de desalinización permiten afrontar estas dificultades, obteniendo muy buenas cosechas. La mitad del complejo de cinco acres de superficie fue construido con invernaderos inflables de polietileno unidos a dos corredores centrales con estructura metálica, tal como se ve en las figuras 8.3 y 8.14. En estos invernaderos inflados por aire se pueden cultivar especies de porte bajo, que no necesiten de soportes colgados de la estructura, tales como nabo (fig. 8.15), lechuga, pimientos, berenjenas, rábanos, etc., mientras que aquellas otras como tomates, pepinos y judías de enrame, que necesitan de entutorado, pueden cultivarse en las zonas centrales con estructura metálica.

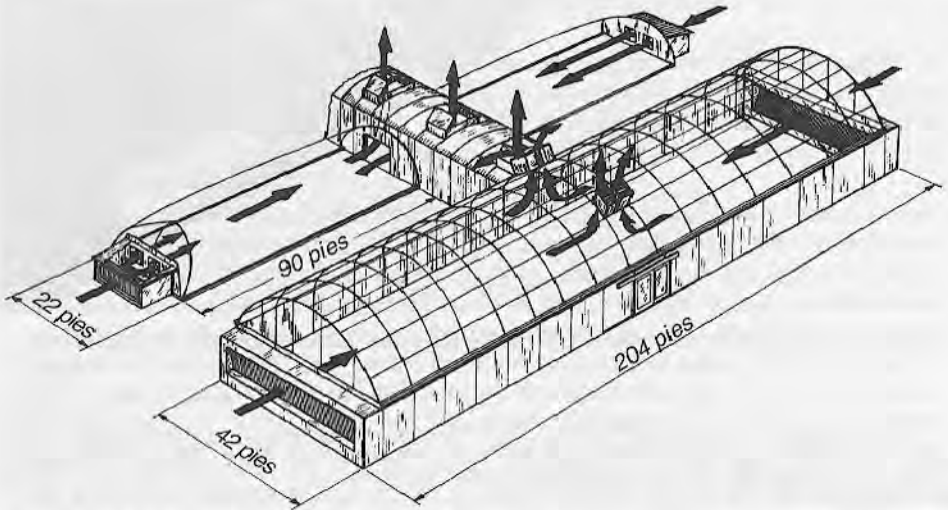


Fig. 8.14. Dibujo esquemático de un sistema de invernaderos inflables, mostrando el recorrido del aire. (Cortesía de The Environmental Research Laboratory and Manley, Inc., Tucson, Arizona).

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

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

CULTIVO EN ARENA

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

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

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



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

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

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

CULTIVOS HIDROPONICOS

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

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

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

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

8.8. Cultivo de hierbas en arena

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

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

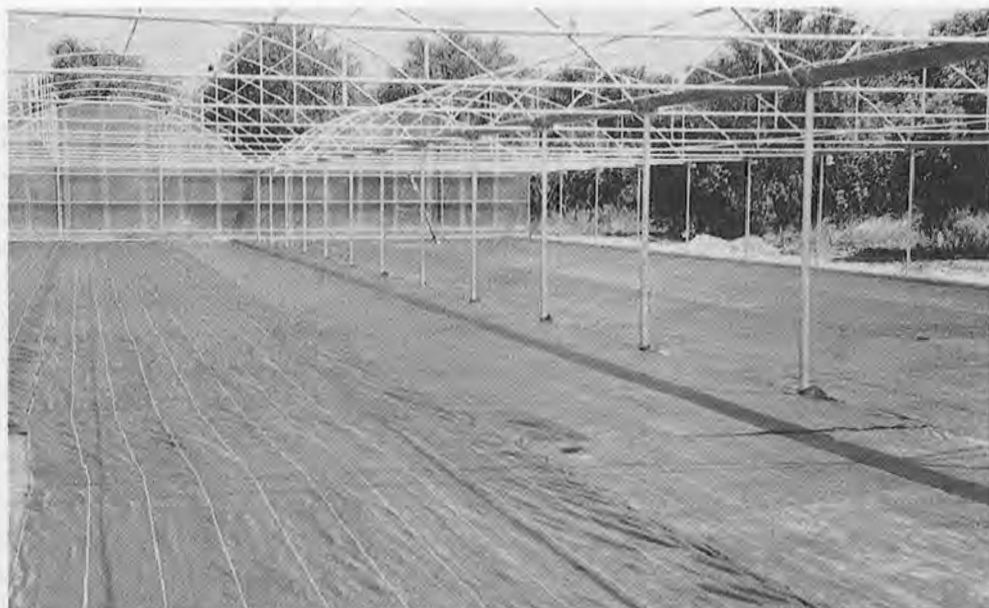


Fig. 8.16. Suelo de invernadero cubierto con una lámina contra las malas hierbas.
(Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

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

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

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

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



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



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

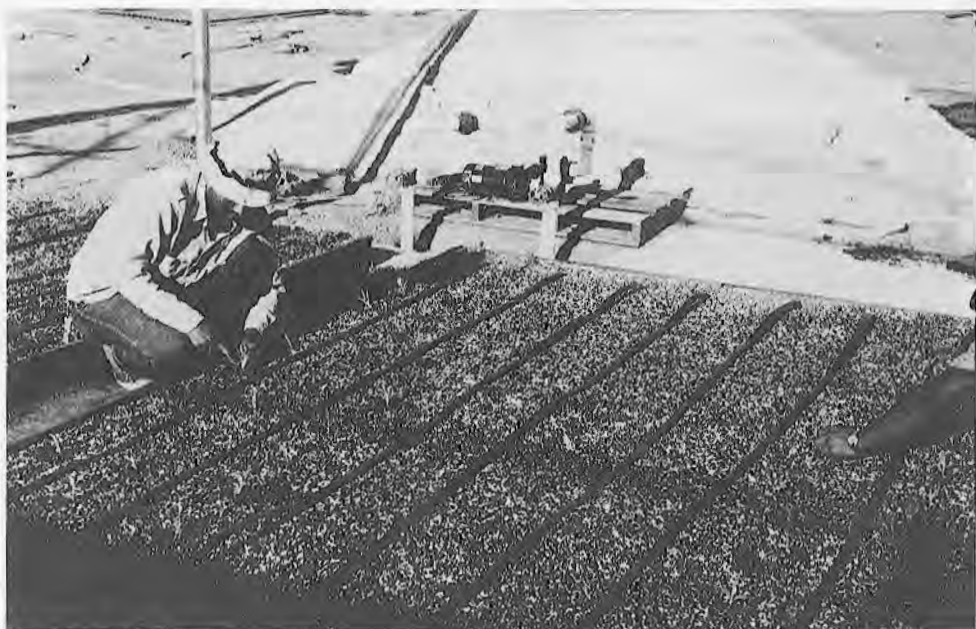


Fig. 8.19. Trasplante de hierbas a las bancadas de cultivo en arena. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



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



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

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



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

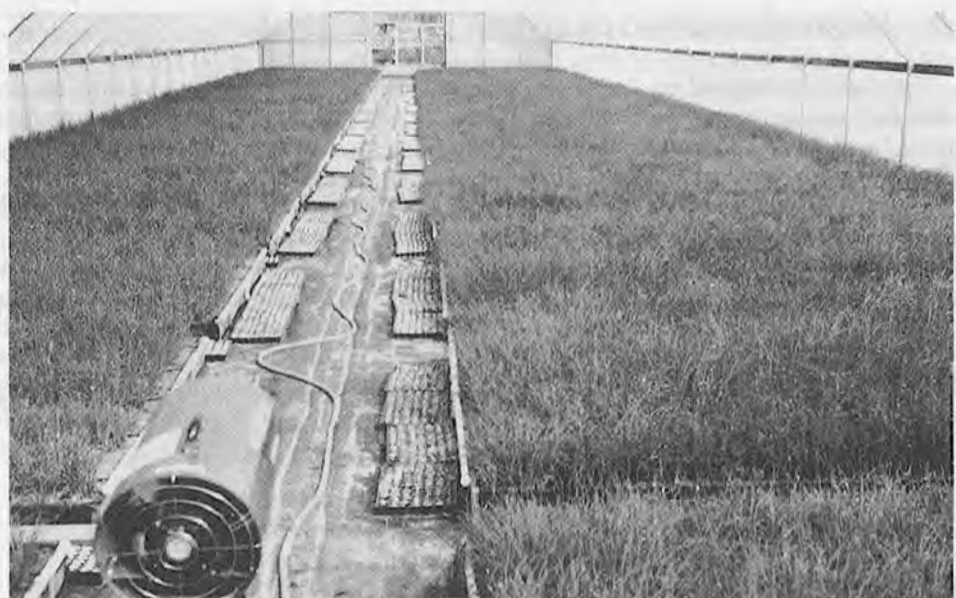


Fig. 8.23. Cebollinos 33 días después de la corta, listos para otra cosecha. Obsérvese el calentador en primer plano. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

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



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

8.9. Sistemas de cultivo en arena a pequeña escala

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

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

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

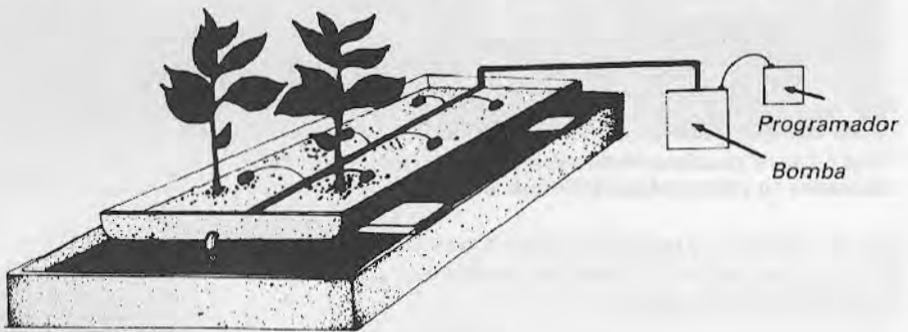


Fig. 8.25. Sistema sencillo de cultivo en arena con goteo a escala reducida.

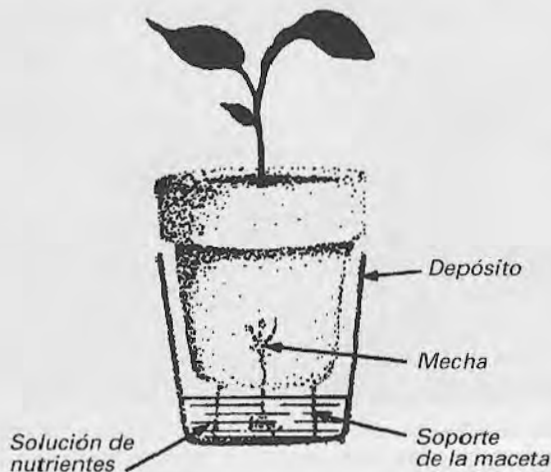


Fig. 8.26. Cultivo en arena con maceta independiente y sistema de absorción por mecha.

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

8.10. Ventajas e inconvenientes del cultivo en arena

Ventajas sobre el cultivo en grava

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

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

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

Inconvenientes del cultivo en arena comparados con el cultivo en grava

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

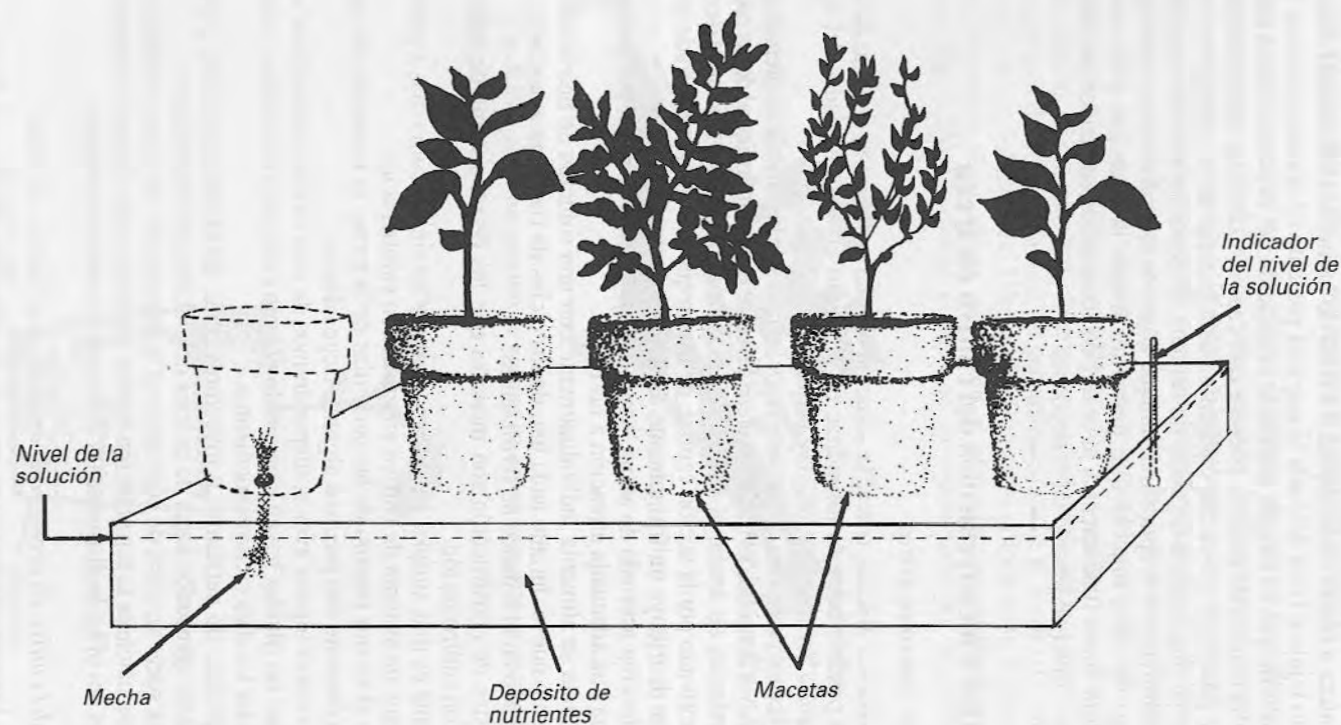


Fig. 8.27. Cultivo en arena con sistema de absorción por mecha, formado por algunas macetas en una caja-depósito de ventana.

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

Referencias

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

9

Cultivo en serrín

9.1. Introducción

El cultivo en serrín es especialmente popular en las zonas que poseen una gran industria forestal, tales como la costa oeste de Canadá y de los Estados Unidos. En el Canadá, en la Columbia Británica, la Estación de Investigaciones Agrarias de Saanich-ton, del Departamento de Agricultura, ha llevado a cabo desde hace muchos años numerosas investigaciones para el desarrollo de un sistema de cultivo en invernadero con un medio de serrín (Maas y Adamson, 1971). La necesidad de un cultivo sin suelo se hace evidente por las infecciones que éstos sufren con nematodos y algunas enfermedades que van unidas a la pobre estructura de aquellos suelos, cosa que está haciendo marginal el beneficio de los cultivos a cubierto.

Hoy día, en la Columbia Británica, cerca del 80 por 100 de todos los invernaderos utilizan alguna de las formas del cultivo sin suelo, tanto para hortalizas como para flores. Los cultivadores de hortalizas generalmente utilizan el cultivo en serrín, mientras que los productores de flores prefieren una mezcla de arena, turba y piedra pómez.

9.2. El medio de cultivo

El serrín fue adoptado en la región costera de la Columbia Británica como medio de cultivo, a causa de su bajo coste, ligereza y disponibilidad. Un serrín moderadamente fino, o mezclado con una buena proporción de virutas planas, suele ser el más adecuado, a causa de que la humedad se difunde lateralmente mejor con éstos que con el serrín grueso.

El serrín del abeto Douglas [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] y del tsuga [*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.] han dado los mejores resultados (Maas y Adamson, 1971). La tuya roja (*Thuja plicata* D.) es tóxica y no deberá utilizarse.

Aunque otros medios tales como la turba de *sphagnum*, corteza de abeto o mezclas de serrín con arena y/o turba han sido probados con éxito, son más caros que el serrín y, por tanto, deberán utilizarse solamente cuando éste sea difícil de conseguir.

Una precaución que deberá tomarse siempre con el serrín es determinar su contenido en cloruro sódico. Las maderas son transportadas en barcas por el océano y a menudo permanecen en el agua algunos meses antes de ir al aserradero. Durante este tiempo absorben agua de mar, y de esta forma adquieren la sal (cloruro sódico), en niveles tóxicos para las plantas. Así pues, tan pronto como se reciba el serrín, deberán tomarse muestras de él y analizar su contenido en cloruro sódico. En caso de encontrar alguna cantidad significativa de éste (mayor de 10 ppm), el serrín deberá de ser completamente lavado con agua pura, una vez que se coloque en las bancadas y antes de efectuarse la plantación.

Este proceso de lavado puede necesitar hasta una semana para poder reducir el contenido en cloruro sódico hasta un nivel aceptable.

9.3. Sistema de bancadas

Las bancadas de cultivo se construyen normalmente con tabloncillos de tuya forrados con polietileno negro o vinilo, de forma semejante a los diseños ya explicados para el cultivo en arena (fig. 9.1). Las tablas de tuya de 1×8 pulgadas ($2,5 \times 20$ cm) se utilizarán para los laterales, pudiendo tener el fondo forma redonda o de «V» (fig. 9.1). La profundidad de las bancadas estará entre las 10 y 12 pulgadas (25 y 30,5 cm), debiendo colocarse en el fondo una tubería de drenaje de 2 pulgadas (5 cm). Las bancadas suelen tener normalmente 24 pulgadas (61 cm) de ancho; no obstante, las de 20 pulgadas (51 cm) (dimensión interior) son también aceptables con pasillos de separación de 32 pulgadas (81 cm) (fig. 9.2). Los estudios de Maas y Adamson (1971) han demostrado que incluso con bancadas más bajas y estrechas puede obtenerse un cultivo satisfactorio siempre que las plantas dispongan por lo menos de un volumen de $1/3$ de pie cúbico (0,009 metros cúbicos) de medio para cada una de ellas. Si se utilizan bancadas más estrechas, los pasillos deberán ampliarse para suministrar la misma cantidad total de espacio de invernadero a cada una de las plantas, puesto que las necesidades de iluminación de éstas son constantes, independientemente del volumen del medio, que será el que las provea de una nutrición adecuada.

Un diseño alternativo para estas bancadas estándar es el que utiliza un fondo inclinado (fig. 9.1); de esta manera, las bancadas se construyen de madera con 1×8 pulgadas ($2,5 \times 20$ cm), por un lado, y 1×12 pulgadas ($2,5 \times 30,5$ cm), por el otro. El tablón de 1×12 pulgadas ($2,5 \times 30,5$ cm) se forra con plástico por el interior, así como por los bordes superior e inferior, mientras que el de 1×8 pulgadas se forra por su parte inferior continuando el plástico sobre la superficie del fondo y dejando un pequeño espacio de $1/4$ pulgadas (0,6 cm) al final de la pendiente que permitirá el drenaje del exceso de solución hasta una tubería de drenaje colocada algunos pies por debajo de la bancada (fig. 9.1).

Las tuberías de drenaje deberán instalarse en el terreno cuando está siendo nivelado, con anterioridad a la construcción del invernadero, utilizándose tuberías de drenaje estándar de plástico perforado. La colocación suele efectuarse en zanjas hechas a máquina y, en caso de que el suelo sea muy arcilloso, deberá colocarse debajo y alrededor de ésta un material de filtrado que evite la obturación de las perforaciones de la tubería (fig. 9.3). El mejor material para esto es una mezcla de arena gruesa y fina y gravilla. Este material deberá colocarse de forma que rodee la tubería en su totalidad de 6 a 8 pulgadas (15 a 20 cm).

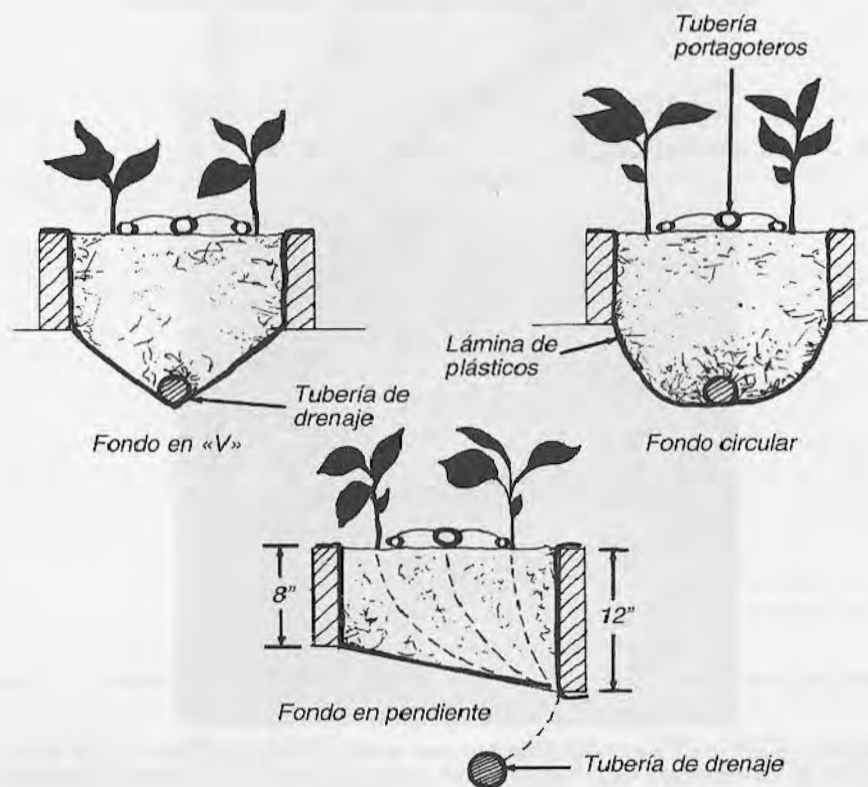


Fig. 9.1. Secciones de bancadas de cultivo en serrín.

9.4. Sistema en sacos

Una alternativa para las bancadas es el uso de sacos de polietileno llenos de serrín (fig. 9.4), pudiéndose emplear bolsas normales de basura de 20 por 26 pulgadas (51 × 56 cm), y 1,25 milésimas de pulgada de espesor, siendo preciso pinchar repetidamente el fondo de los sacos para obtener un buen drenaje. Los sacos suelen colocarse, a menudo, sobre una lámina de polietileno para evitar que las raíces salgan del saco por los boquetes del drenaje y alcancen el suelo del invernadero. Según el tamaño de los sacos se pueden plantar hasta tres plantas en cada uno de ellos, colocándolas en fila, si bien durante el cultivo, al entutorarse verticalmente (p. ej., tomates), se formarán dos hileras.

Para el cultivo del pepino holandés se colocan los sacos en una fila, plantándose alternativamente un pepino por saco (fig. 9.5.), el cual se conducirá en espaldera. Una vez que la primera cosecha esté a punto de completarse, se efectuará un nuevo trasplante en los sacos vacíos que están colocados de forma alterna, y repitiendo este proceso después de reemplazar o esterilizar el medio de las plantas ya cosechadas se pueden conseguir anualmente hasta seis cosechas.



Fig. 9.2. Cultivo de tomate en bancadas con serrín. Obsérvese la colocación de las tuberías de calefacción y de las del riego por goteo. (Cortesía de Seaport Greenhouses Ltd., Vancouver, Canadá).

Una modificación del sistema en sacos es la utilización de recipientes de plástico de 5 galones (20 litros), en lugar de las bolsas de basura, lo cual elimina el gasto anual de reemplazamiento de las bolsas. Serrín, arena, grava o una mezcla de turba-arena-serrín pueden utilizarse en ellos como medio de cultivo, aportándose riego y fertilizantes con un sistema de riego por goteo. Si se utiliza el serrín es importante extender media pulgada (1 cm) de arena sobre la superficie para ayudar de esta forma al movimiento lateral de la solución al aplicarla con el goteo, evitando también esto la percolación en forma de cono a través de las raíces.

Los recipientes tienen algunas ventajas sobre las bolsas. Los recipientes de plástico utilizados normalmente en la industria de contenedores para viveros pueden utilizarse durante tres o cuatro años. Si se utiliza serrín se puede vaciar en una pila y esterilizar ésta fácilmente con vapor o productos químicos entre cada dos cosechas; incluso si éstas se desechan anualmente, compensa su utilización por la facilidad con que pueden llenarse y manejarse, utilizando la misma maquinaria que se emplea en los viveros. Con dicho equipo, seis personas pueden llenar y plantar 5.000 recipientes diarios. El llenado de las bolsas de plástico es mucho más lento y difícil y, a diferencia de los recipientes, no es fácil su transporte con los medios de que se dispone. Los recipientes

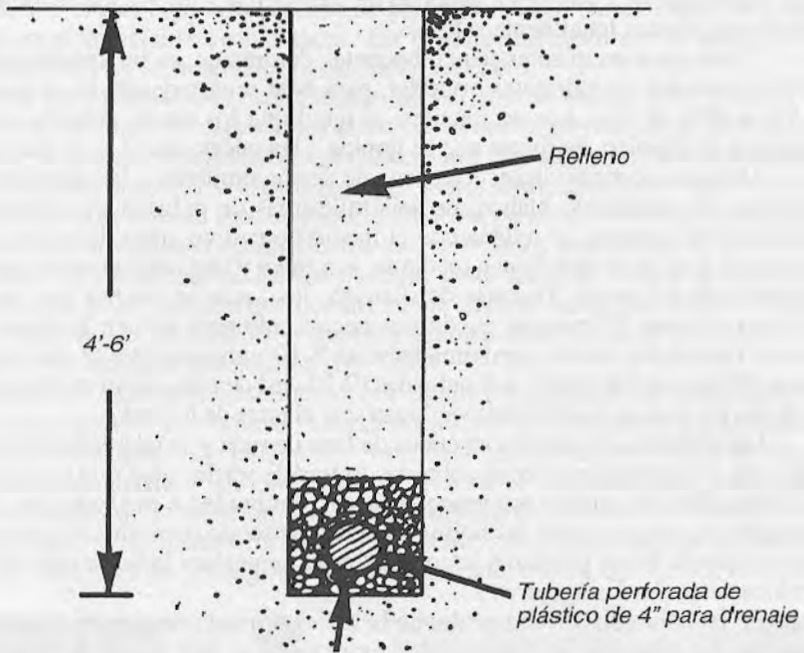


Fig. 9.3. Sección de una zanja de drenaje con una tubería perforada de 4 pulgadas.



Fig. 9.4. Sistema de cultivo en bolsas con serrín (tomates).



Fig. 9.5. Pepinos tipo europeo cultivados en un sistema de bolsas con serrín.

tes de plástico de 5 galones a igualdad de volumen de cultivo que las bolsas de plástico producen plantas igualmente sanas.

Como estos recipientes tienen boquetes de drenaje, es importante ajustar la cantidad de solución de nutrientes a aportar, para estar seguro de que no se pierde más de un 15% a 20% de ésta. Los recipientes, al igual que los sacos, deberán colocarse sobre láminas de plástico, de forma que se impida a las raíces crecer en el suelo.

Ahora es corriente hacer los sacos de serrín similares a las planchas de serrín. El plástico de polietileno blanco, de seis milésimas de pulgada de espesor y sellado al calor en un extremo, se rellena con el medio de cultivo antes de sellar al calor el otro extremo. Los sacos se rellenan mediante una tolva y una rampa que se ajustan a la parte superior de los sacos. Después del llenado, los sacos se cierran con una máquina de sellado al calor. El proceso puede ser mecanizado para reducir la mano de obra. Los sacos finalizados miden aproximadamente 8-10 pulgadas (20-25 cm) de ancho por 3 pies (90 cm) de longitud y 3-4 pulgadas (9-10 cm) de alto, como se muestra en la figura 9.6. En un saco se pueden cultivar hasta seis plantas de tomate.

Las plántulas se colocan en cubos de lana de roca y se trasplantan a bloques de lana de roca, los cuales se colocan sobre las bolsas de serrín igual que en el cultivo en lana de roca. Para un cultivo temprano (cultivos sembrados a mediados de diciembre) los bloques se colocan sobre las bolsas de serrín, pero sin permitir salir a la raíz hasta que un racimo de flores produzca frutos. Entonces se perfora la bolsa bajo los bloques y se colocan éstos en los agujeros.

En la Columbia Británica, donde la luz es limitada durante los meses de invierno, cuando las plántulas de tomate están empezando a salir es aconsejable el empleo de bombillas de 400 W de vapor de sodio de descarga de alta densidad (HID) para dar una intensidad de 5.500 lux a la superficie de la planta con un fotoperíodo de 20 horas, las

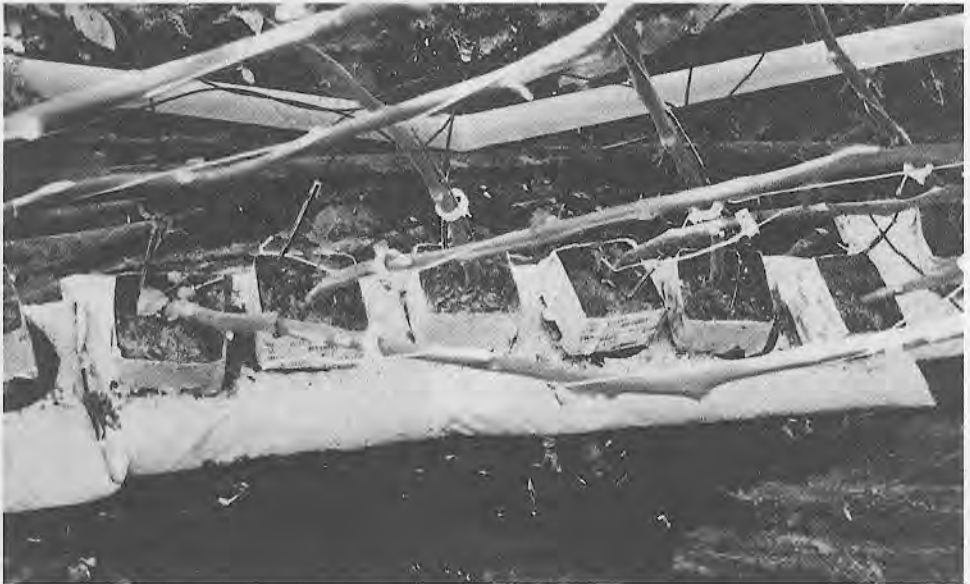


Fig. 9.6. Planchas de serrín con 6 plantas. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).

plántulas deberían crecer bajo esta sección de propagación del invernadero hasta que estén listas para el trasplante en los sacos. En general, las plántulas se siembran a mediados de diciembre y se trasplantan a mediados de enero.

El suelo de los invernaderos está cubierto de polietileno blanco para prevenir el contacto de las raíces que crecen desde los sacos con el suelo subyacente. El polietileno blanco también sirve para reflejar la luz (muy necesaria durante los meses de invierno) e impide que algunos insectos y organismos patógenos aparezcan en el suelo subyacente. Igual que en el cultivo en lana de roca, se crea una pendiente en el suelo para formar una depresión entre cada conjunto de dos líneas de sacos para drenar el exceso de la solución fuera del invernadero. En los pasillos, entre las filas dobles de sacos, se colocan las tuberías de calefacción que llevan el agua caliente desde una caldera central (fig. 9.7). Las tuberías de calefacción se emplean también como un carril por donde circula una plataforma móvil de recolección (fig. 9.8).

Cada planta se nutre individualmente utilizando una línea de alimentación de microtubos colocada sobre el bloque de lana de roca en el saco de serrín. La tubería de riego se extiende a lo largo de las hileras entre cada grupo de dos líneas de sacos (fig. 9.9). La solución nutritiva se bombea desde un sistema inyector central utilizando los tanques de reserva de la solución. El enriquecimiento de dióxido de carbono también se le distribuye a las plantas mediante unas pequeñas tuberías de conducción de polietileno que recorren toda la longitud de las camas entre cada grupo de dos líneas de



Fig. 9.7. Cultivo en serrín con tuberías de calefacción de agua caliente en el centro de los pasillos y tubería para el dióxido de carbono en la parte derecha de la fila de plantas. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).



Fig. 9.8. Los carros para la recogida o para el trabajo corren sobre las tuberías de calefacción. (Cortesía de Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, B.C. Canadá).

plantas (fig. 9.7 y 9.9). El dióxido de carbono se genera como un subproducto de la combustión de gas natural de las calderas centrales y se lleva a cada invernadero a través de tuberías (fig. 9.10).

Los tomates se recogen en recipientes de plástico de 11 kg (25 libras) (fig. 9.11) empleando las plataformas móviles que se desplazan sobre las tuberías de calefacción. La polinización, la poda y el entutorado, etc., se realizan fácilmente utilizando una plataforma elevada mecánicamente que se mueve sobre las tuberías de calefacción. Los tomates recogidos en recipientes de carga se desplazan mediante una plataforma (fig. 9.12), una carretilla elevadora o remolques arrastrados por un tractor.

En la Columbia Británica la variedad de tomates más comúnmente cultivada es «Trust». Con el sistema de cultivo en serrín, normalmente un cultivo de tomates está produciendo durante un año. Sembrando a mediados de diciembre comienza la producción a finales de marzo y continúa hasta noviembre.

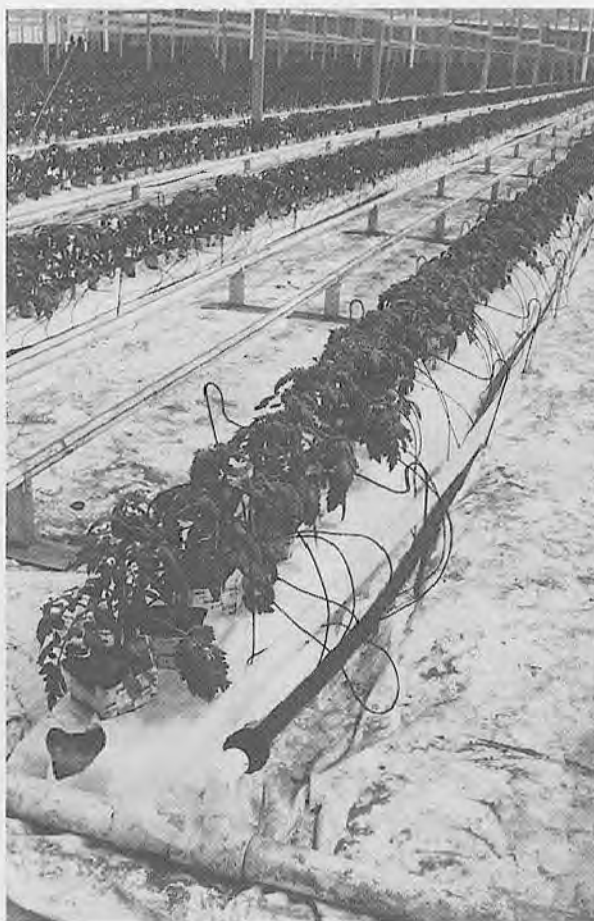


Fig. 9.9. Cultivo en serrín con línea de riego por goteo y tuberías de calefacción de agua caliente. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).

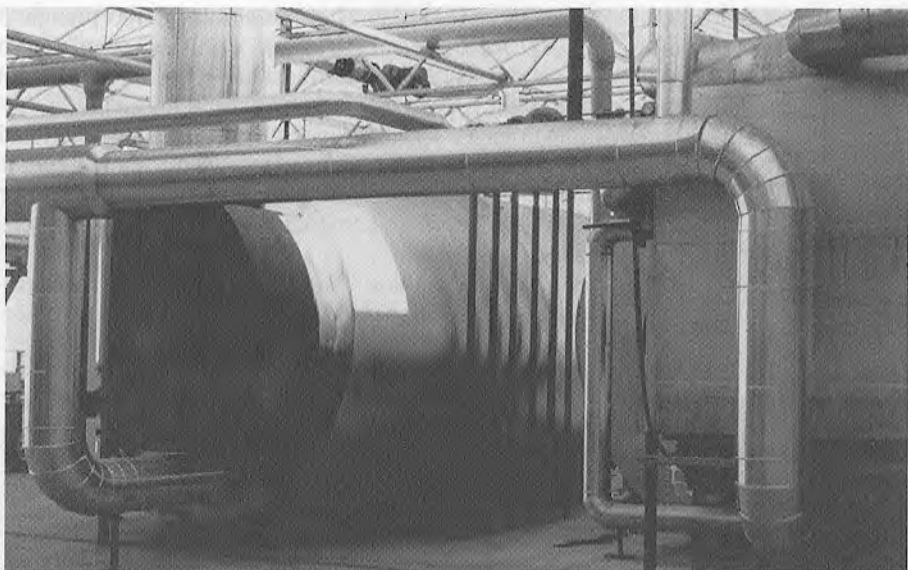


Fig. 9.10. Unidad de recuperación de dióxido de carbono acoplada a la caldera central.



Fig. 9.11. Los tomates se recogen en recipientes plásticos de carga. (Cortesía de Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, Canadá).



Fig. 9.12. Plataforma empleada en el transporte de recipientes de carga «paletizados» en la zona de envasado del invernadero. (Cortesía de Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, Canadá).

La densidad de plantación de unas 20.000 plantas por hectárea (8.000 plantas por acre) produce una media de 255-300 toneladas por hectárea (110-130 toneladas por acre). Esta densidad de plantación supone 5,45 pies cuadrados de superficie de invernadero por planta, produciendo de 5 a 6 libras por pie cuadrado (25-30 kg/m²).

Los mejores agricultores obtienen hasta 370 toneladas por hectárea (160 toneladas por acre) o 37 kg/m². Esto equivale a 19 kg (42 libras) por planta y año. En la Columbia Británica los tomates y los pepinos se comercializan a través de cooperativas de horticultores de invernaderos. La cooperativa vende los embalajes a los agricultores, clasifica, envasa y comercializa el producto (fig. 9.13).

Muchos cultivadores del Norte de los Estados Unidos y canadienses han creado ahora empresas subsidiarias en el sudoeste de los Estados Unidos. Houweling Nurseries Oxnard, Inc., ubicada en Camarillo, California, construyó 20 acres (8 hectáreas) en 1997 y ha continuado expandiéndose hasta un total de 86 acres (34 hectáreas) en 1999 (fig. 9.14). El primer año cultivaron tomates, principalmente Trust, en un sustrato de espuma preparado igual que los cultivos en lana de roca y serrín, utilizando un sistema de riego por goteo. Ciertos problemas con la distribución uniforme de la humedad en las planchas de espuma les obligó a volver a su cultivo tradicional en serrín. Al expandirse, volvieron a cultivar un gran porcentaje de tomates entutorados (TOV) empleando la variedad Tradiro.

Esta ubicación en el sur posibilita que la compañía de invernaderos se centre en la producción de invierno, cuando los precios son los más altos y su empresa canadiense tiene menos o ninguna producción. Los tomates se siembran en julio y se trasplantan en agosto para empezar la producción en octubre. La recolección se realiza hasta junio.

Las planchas (sacos) llenas de serrín, similares en dimensiones a las planchas de lana de roca, son transportadas desde Canadá (fig. 9.15). Antes de instalar las planchas, el suelo se cubre con una lámina de polietileno blanco sobre negro de 6 milésimas de pulgada para evitar el contacto de las raíces de las plantas con el sustrato subyacente (fig. 9.16). Las planchas miden 8 pulgadas (20 cm) de ancho por 3 pulgadas (7,5 cm) de grueso y 39 pulgadas (1 m) de largo. La semilla se siembra en cubos de lana de roca,



Fig. 9.13. Tomates de invernadero embalados por B.C. Hothouse Foods, Inc.

que después de varias semanas se trasplantan a grandes bloques de lana de roca (bloques dobles) que miden $6 \times 3 \times 2 \frac{1}{2}$ pulgadas ($15 \times 7,5 \times 6,5$ cm) (longitud $\times$ ancho $\times$ altura). Se trasplantan dos plántulas por bloque doble. Muchos cultivadores compran sus plántulas a un cultivador especializado en trasplantes, como Bevo Farms ya mencionado antes en el capítulo 6. Los trasplantes se instalan en las planchas cuando tienen



Fig. 9.14. Invernadero de 86 acres de Houweling Nurseries Oxnard, Inc. Este campo en primer plano tiene 20 acres. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).



Fig. 9.15. Planchas de serrín enviadas desde Canadá. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).



Fig. 9.16. Cubierta del suelo con polietileno blanco sobre negro. Obsérvese en primer plano que hay una tubería de drenaje bajo la cubierta de polietileno.

Asimismo, las tuberías de la calefacción son temporalmente colgadas antes de colocarlas sobre los soportes de las tuberías encima de la cubierta.

(Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).

4 a 5 semanas, aproximadamente con una altura de 6 pulgadas (15 cm) (fig. 9.17). Cada plancha contiene seis plantas que son guiadas alternativamente con cuerdas en forma de cordón en V hasta los alambres superiores de soporte (fig. 9.18).

Cada planta se riega con una línea de goteo asegurada por una pequeña estaca. En la envoltura de polietileno de cada plancha se hacen varios cortes para permitir un buen drenaje, que fluye hasta las tuberías subterráneas de drenaje a través de las hendiduras en la cubierta del suelo.

En California no existe ninguna cooperativa para la comercialización, de forma que cada cultivador necesita su propio equipo de clasificación y envasado. Houweling Nurseries Oxnard, Inc. emplea un sistema único para transportar los tomates recolectados hasta las naves de envasado. Los recipientes especiales de plástico se mueven desde las hileras de las plantas hasta el pasillo central en carros que corren sobre las tuberías de calefacción. Un gran canal corre paralelamente al pasillo y fuera de él a lo largo del lateral del invernadero hasta la nave de envasado (fig. 9.19). El canal está construido con tubería de PVC de 30 pulgadas (76 cm) de diámetro. Los tomates son descargados

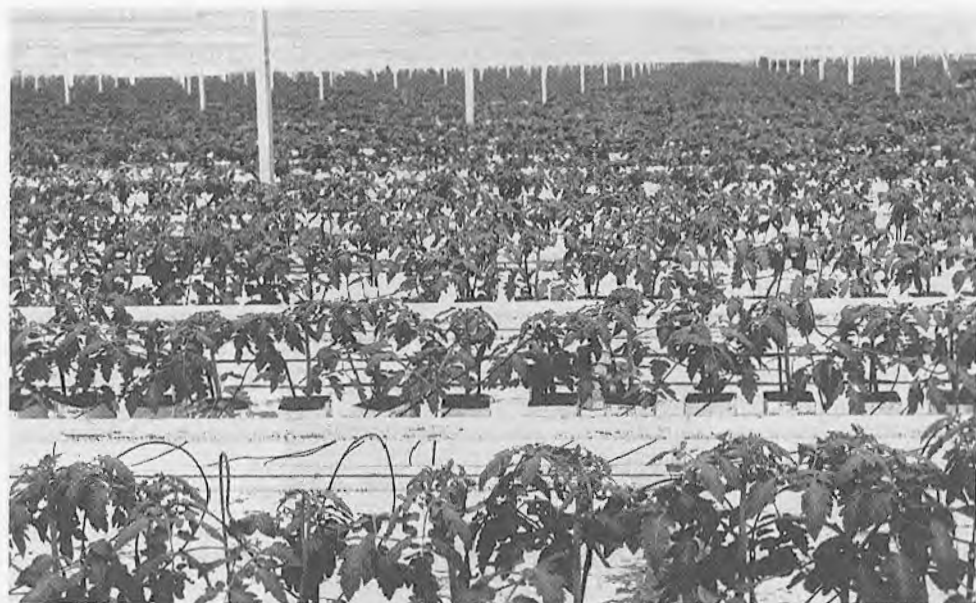


Fig. 9.17. Los trasplantes de cinco semanas se instalan en las planchas de serrín.
(Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).



Fig. 9.18. Sistema de guía en forma de cordón en V de tomates entutorados (TOV).
(Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).

en el canal donde flotan en agua hasta la entrada a la nave de envasado (fig. 9.20). Allí, una cinta los transporta bajo un sistema de lavado con rociadores cuando entran en la cinta de envasado. El agua del canal se filtra y después se recircula mediante un sistema de bombeo. Los tomates son clasificados por tamaño y color con varias máquinas antes de ser colocados en cajas listas para su envío (fig. 9.21).

El incentivo para producir tomates entutorados (TOV) es el alto precio. En el supermercado, los tomates «beefsteak» se venden durante los meses de invierno desde 2,49 a 2,99 dólares por libra, mientras que los tomates TOV se venden a 3,99 dólares. Muchos de ellos se envuelven ahora en un saco de malla para evitar que se caigan o se separen del racimo (fig. 9.22). Normalmente, en los mercados son aceptables de 3 a 5 frutos por racimo. Ciertas variedades específicas TOV, como Tradiro, maduran uniformemente en el racimo, a diferencia de los tomates beefsteak que se vuelven rojos uno a uno. Tienen que madurar todos juntos de forma que todo el racimo se pueda recolectar al mismo tiempo. Cualquier fruto verde será extraído y vendido como «producto secundario». El tamaño de los frutos es algo más pequeño que en las variedades «beefsteak», pero tienen un sabor muy distinto parecido a los tomates «cherry».

9.5. Sistema de distribución de la solución de nutrientes

Tanto en el sistema de cultivo en saco como en el de bancadas, con un medio de serrín, será precisa la utilización del riego por goteo para el suministro de agua y



Fig. 9.19. Un canal transporta los tomates a la nave de envasado. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard., Inc., Camarillo, CA).



Fig. 9.20. Los tomates flotan en el canal hasta la nave de envasado. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).



Fig. 9.21. Clasificación y envasado de tomates. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).



Fig. 9.22. Tomates TOV envasados en bolsas de malla. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Camarillo, CA).

nutrientes a las plantas. Como ya se explicó en el capítulo 8, es preciso un cálculo adecuado de válvulas y tuberías para que el flujo de solución sea el indicado. Las tuberías portagoteros son normalmente de plástico de 3/4 de pulgada, lo que permite la inserción de 200 microtubos (0,045 pulgadas de diámetro interno). Tuberías de 1/2 ó 1 pulgada podrán llevar 100 ó 300 microtubos, respectivamente.

En el sistema de bancadas se pueden utilizar tubos de material poroso o tuberías de goteo con emisores con una velocidad de flujo de 0,5 gal/hora (2 litros/hora), pero en el sistema de bolsas (planchas) hay que usar tuberías de goteo con emisores.

El suministro de la solución de nutrientes a las plantas podrá hacerse, al igual que ya vimos en el cultivo de arena (ver apartado 8.4), bien directamente desde un depósito de almacenamiento de solución diluida, o bien con un sistema de dosificación. El sistema de solución diluida necesita un depósito de almacenamiento, una bomba y un sistema de distribución.

La capacidad del depósito se determina a partir del número de plantas a fertilizar en una sola vez. El depósito deberá ser capaz de aportar al menos 1 litro de solución por planta, cada vez que se rieguen y durante el período de una semana.

El volumen total utilizado dependerá del número de ciclos de riegos que sean precisos de dar, lo cual a su vez dependerá de las condiciones climáticas, del desarrollo de las plantas y de la naturaleza de éstas. Algunos cultivadores instalan más de un depósito, de forma que puedan preparar la solución por lo menos con un día de anticipación sobre el momento de vaciado del tanque en uso, para que la solución pueda calentarse, sumergiendo un calentador en el depósito al menos durante doce horas, y así poder llevarla hasta un nivel óptimo (65° a 70° F) (18° a 21° C) antes del riego.

Los depósitos pueden construirse también con contrachapado de 3/4 de pulgada y forrarse con vinilo o polietileno de 6 milésimas de pulgada. El vinilo es más recomendable, pues no se pincha con facilidad, y si ocurriera esto se puede reparar con un kit de tapar boquetes de piscina o de dicho material.

Los depósitos de almacenamiento de fuel o gas pueden ser también utilizados, aunque se deberán tomar precauciones, no vayan a quedar restos de gas y se produzca una explosión. Estos depósitos deberán tener un orificio principal de entrada y además las perforaciones precisas para las conexiones de las tuberías. El interior deberá pintarse con varias capas de pintura asfáltica o de epoxy-resina, así como una en el exterior, siempre que sean metálicos, para evitar la corrosión y/o el enmohecimiento a causa de la solución nutritiva.

También pueden utilizarse depósitos de hormigón cubiertos con pintura asfáltica. En el comercio pueden encontrarse grandes depósitos de fibra de vidrio que no presentan estos problemas de corrosión. El uso de un agitador dentro del depósito facilita la mezcla de los fertilizantes y su disolución en el agua. El depósito deberá estar provisto de un filtro de malla de 50 espacios por pulgada lineal en el extremo de la tubería de entrada a la bomba y disponer de un sistema que le permita limpiar y drenar con facilidad. Estos depósitos deberán estar situados en unidades cerradas próximas a las calderas y depósitos de agua.

Los sistemas de distribución consisten en una tubería principal, tuberías secundarias, laterales, líneas de riego por goteo con emisores, accesorios y controles (fig. 9.23).

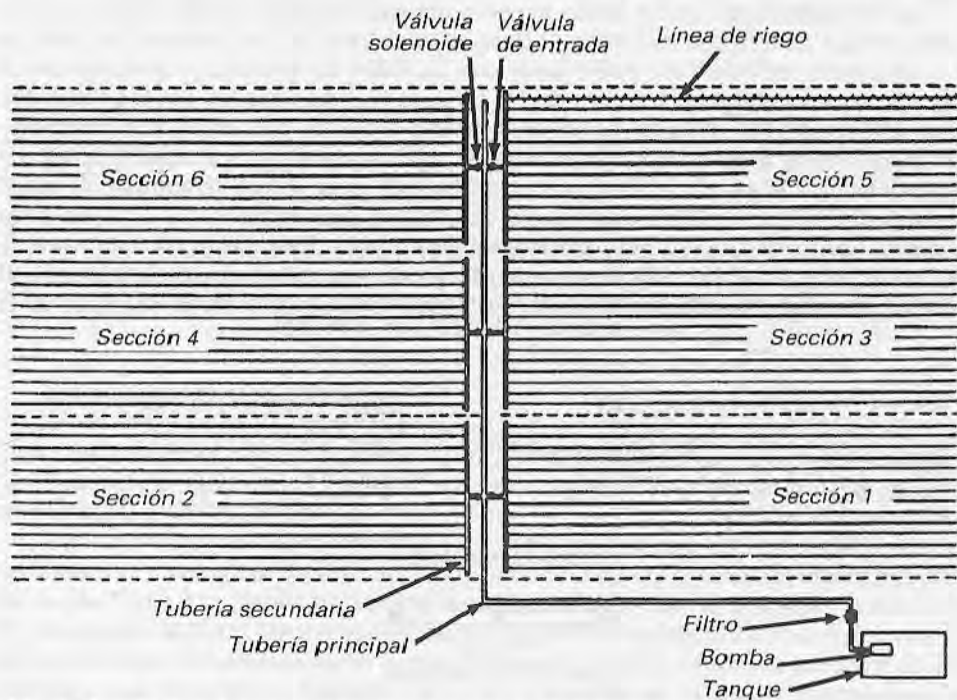


Fig. 9.23. Típico sistema de riego por goteo para secciones de invernadero, que pueden ser regadas automáticamente de forma independiente.

Las válvulas de entrada y solenoides deberán instalarse en las tuberías principales, de forma que se pueda controlar la fertilización opcional de cada sección de invernadero. De esta forma, se puede controlar el volumen del flujo de entrada de cada sección según las diferentes necesidades que presentan las diferentes cosechas.

La tubería secundaria va enterrada y está conectada a la principal. Es mejor colocar la tubería principal de forma que no obstruya el paso (fig. 9.24).

Los cálculos de las tuberías principales deberán efectuarse cuidadosamente y es importante contar con futuras ampliaciones. Para un cálculo eficiente con bombas de medio volumen y baja presión, nunca deberán exceder las pérdidas totales por fricción de 25 psi (172,5 kPa); por ejemplo, las pérdidas por fricción en 100 pies (31 m) de tubería de 2 pulgadas (5 cm) de diámetro, con un caudal de 60 galones imperiales (273 litros)/minuto, serán 3,8 psi (26,2 kPa), mientras que la misma longitud con tubería de 1 1/2 pulgada (3,8 cm) para el mismo caudal serán 13 psi (89,7 kPa), lo cual es muy elevado, ya que en 200 pies (61 metros) las pérdidas totales por fricción serán de 25 psi y no se podrán compensar.

Para determinar el tamaño de las tuberías pueden utilizarse ábacos como el de la figura 9.25, disponibles por la mayoría de los suministradores de tuberías. Para calcular las pérdidas totales por rozamiento, se tomarán tanto la de las tuberías primarias y secundarias como las originadas por los acoples y racores, y añadiendo a éstas la presión necesaria en los goteros (normalmente, de 5 a 10 psi) y tomando las necesidades totales de caudal en galones por minuto podrán determinarse los diámetros para las tuberías a partir de dichos cuadros.

Las irregularidades en las líneas laterales deberán evitarse, ya que a veces se forman burbujas de aire que dificultan el flujo en el sistema. En los extremos se deberán instalar cierres móviles para poder lavar con facilidad las tuberías y desatascarlas si fuera preciso. Las tuberías laterales de 1/2 pulgada (1,3 cm) pueden llevar conectados hasta 150 goteros; no obstante, se utilizará tubería de 3/4 de pulgada (1,9 cm) para llevar hasta 300 microtubos de salida, siendo esta última más fácil de instalar y mantener en posición, y ofrece, en general, menos problemas. Esta última suministra 20 onzas líquidas (0,59 l) por salida a una presión de 2 psi en diez minutos, o a 1 psi en trece minutos. Con frecuencia se usan presiones a 10 a 15 psi. Para medir correctamente la salida en cualquier emisor, simplemente regar durante un cierto tiempo, por ejemplo 10 minutos, y recoger la solución en un frasco. Medir entonces la solución recogida en el

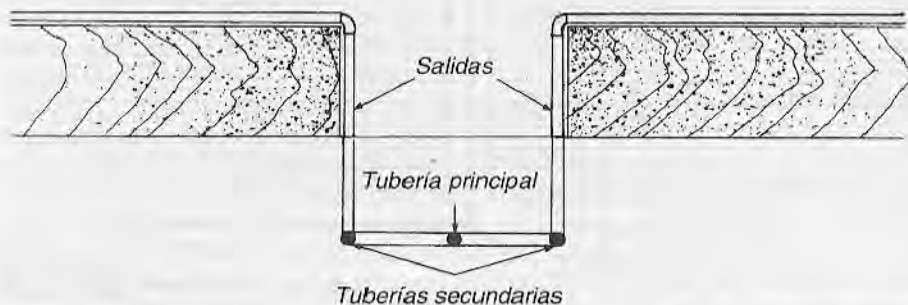


Fig. 9.24. Tubería principal con dos secundarias, colocadas bajo tierra, con salidas superficiales laterales a lo largo de la bancada.

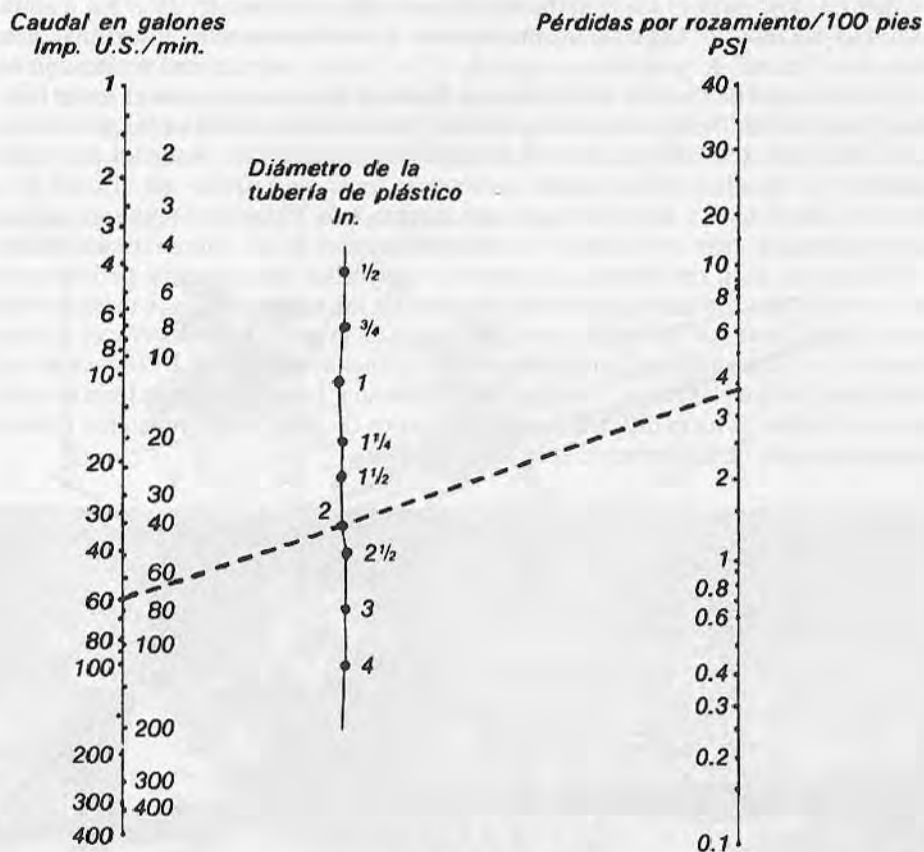


Fig. 9.25. Abaco para determinar el tamaño de una tubería. Para un caudal de 60 galones imperiales por minuto y una pérdida total por rozamiento de 3,8 psi/100 pies, el diámetro adecuado de tubería será de 2 pulgadas. (Tomado de Mason y Adamson, Trickle Watering and Liquid Feeding System).

frasco utilizando un cilindro graduado u otro recipiente medidor. Para evitar las pérdidas de agua y presión de los finales de las tuberías laterales se deberá instalar en éstas un adaptador y un tapón terminal.

Los microtubos de 0,045 pulgadas (1,1 mm) de diámetro interior suelen cortarse normalmente en longitudes de 12 a 15 pulgadas (31 a 38 cm), debiendo efectuarse cortes en bisel en sus extremos para evitar su obstrucción en caso de que estén insertos en el extremo de la línea. Para una distribución uniforme se deberán cortar todos con la misma longitud. Se deben instalar juntas de latón en la línea opuesta a cada una de las plantas, como muestran las figuras 7.16 y 7.17; de esta forma, al quedar siempre llena la tubería, se obtendrá un aporte de caudal de la solución de nutrientes en el mismo momento en que la bomba comience a funcionar.

Muchos agricultores utilizan ahora emisores con un volumen de 1/2 a 1 galón (2 a 4 litros) por hora, en lugar de los microtubos. Los emisores están insertados directamente en el lateral de polietileno negro de 1/2 ó 3/4 de pulgada con un punzón especial. Al otro lado del emisor se acopla una línea de goteo que se coloca en la base de cada planta con una estaca especial que dirige la solución en toda su longitud hasta su base, como muestra la figura 9.26. Los emisores producen un volumen uniforme de solución y se pueden utilizar como «compensadores de presión» en el caso de que existieran diferencias a nivel del suelo del invernadero. Estos emisores son más caros que los normales, pero su volumen es constante a pesar de las diferencias de altura.

Cuando se usen microtubos, se deberán comprobar sus extremos periódicamente para ver si se han formado sales o crecimientos de las raíces en ellos causando obturaciones. Si así fuera, se cortará un trozo suficiente de la punta para desatascar el interior del tubo, o se introducirá el microtubo en una solución de lejía al 10% durante varias horas para disolver las raíces. Al final de la estación, hacer funcionar todo el sistema con agua limpia. Si fuera difícil quitar los depósitos de sales, hacer funcionar el sistema con una solución de ácido para disolver los depósitos.

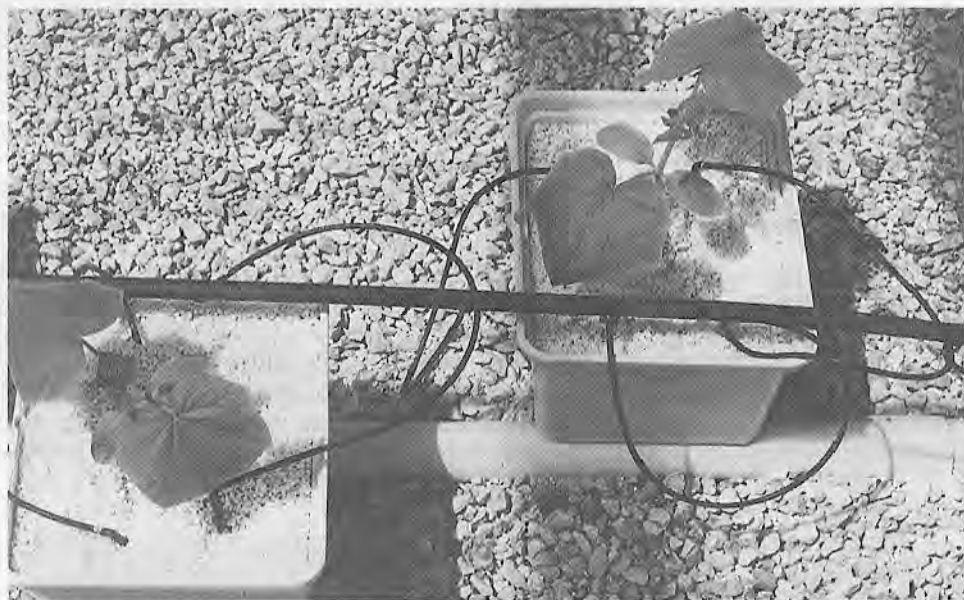


Fig. 9.26. Emisores, líneas de goteo y estacas. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

9.6. Sistemas de cultivo en serrín a pequeña escala

Se puede establecer un cultivo a pequeña escala mediante el uso de un sistema de riego por goteo y el sistema de cultivo en sacos de serrín (fig. 9.27). Esto se puede hacer de cualquier tamaño incrementando simplemente el número de sacos de cultivo. Incluso se podría usar al aire libre para el cultivo de hortalizas durante los meses de

verano en latitudes más nórdicas. En caso de no disponer de medios para la esterilización del serrín entre cosechas, bastará con tirar éste al estercolero y utilizar uno nuevo en la siguiente estación.

Se puede construir una sencilla unidad casera similar a las unidades caseras de cultivo en arena. Consistirá en una bandeja de cultivo, un depósito de nutrientes y un sistema de riego por goteo que funciona con una bomba y un programador horario (fig. 9.28).

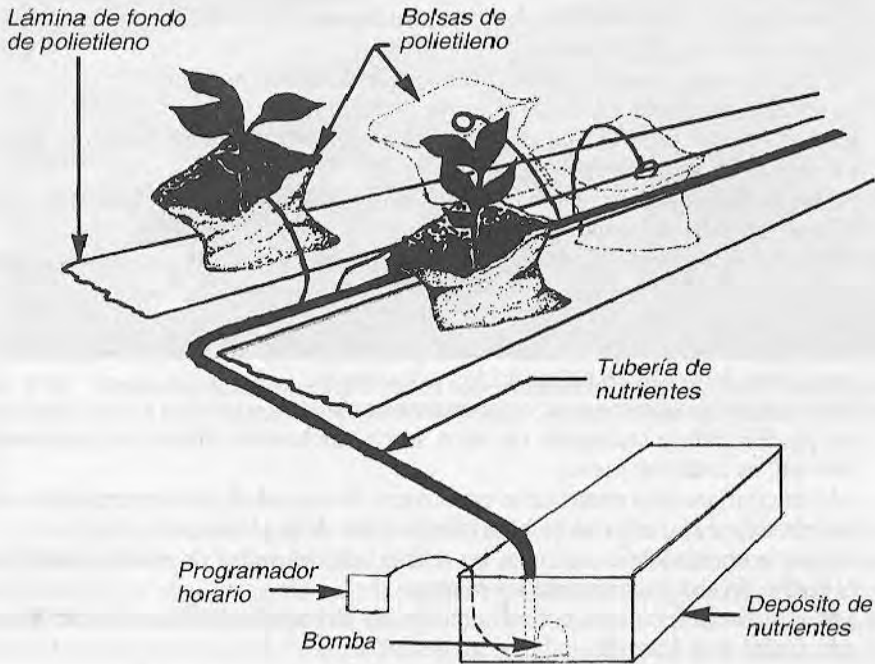


Fig. 9.27. Unidad casera de cultivo en sacos con serrín.

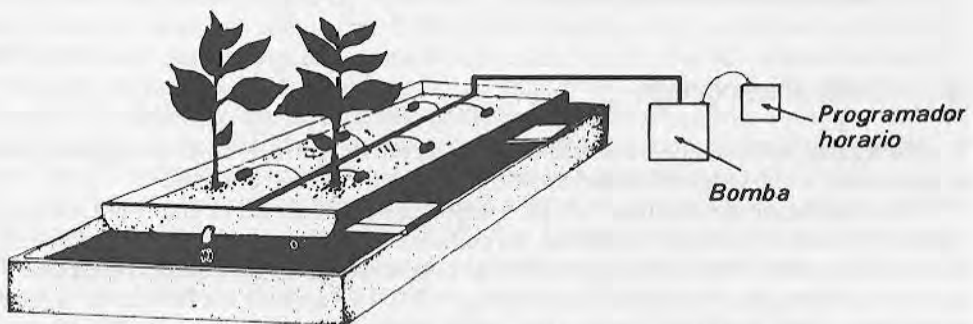


Fig. 9.28. Sistema sencillo de cultivo en serrín a escala reducida.

9.7. Ventajas e inconvenientes del cultivo en serrín

Las ventajas son:

1. Puesto que al igual que el cultivo en arena es un sistema abierto, hay menos posibilidades de que se extiendan enfermedades como la *Fusariosis* o el *Verticillium*, especialmente en tomates.
2. No existen problemas de obstrucción de las tuberías de drenaje con las raíces.
3. El movimiento lateral de la solución entre las raíces es muy bueno.
4. Buena aireación de las raíces.
5. En cada ciclo de riego se añade una solución nueva de nutrientes.
6. El sistema es simple y fácil de mantener y reparar.
7. La alta retención de la humedad por parte del serrín evitará cualquier estrés hídrico en caso de avería de la bomba.
8. Se le puede adaptar un sistema de fertilización por inyectores y, por tanto, precisa un depósito de menor tamaño.
9. El serrín siempre ha sido barato y fácil de conseguir en las zonas de grandes industrias forestales.

Los inconvenientes son:

1. Es solamente utilizable en zonas con grandes industrias madereras; así pues, no es posible su uso en países áridos y desérticos.
2. Debe esterilizarse con vapor o compuestos químicos.
3. La posibilidad de conseguir un buen serrín, incluso en áreas con gran masa forestal, es cada vez menor.
4. Al principio pueden presentarse problemas de toxicidad por cloruro sódico en las plantas, si el medio no es bien lavado antes de la plantación.
5. En los momentos de la cosecha, las acumulaciones salinas pueden alcanzar en el medio niveles tóxicos para las plantas.
6. Las obstrucciones de los goteros pueden ser frecuentes si no se utilizan filtros adecuados o se descuida la limpieza de éstos.
7. Si el serrín utilizado es muy basto, el agua puede percolar en forma de cono haciendo desarrollarse hacia abajo a las raíces en vez de lateralmente.
8. Como el serrín es de naturaleza orgánica se descompondrá con el tiempo. Entre cada dos cosechas deberá rastrillarse y se añadirá una parte nueva proporcional a la descompuesta o eliminada por fijación a las raíces, al retirarse las plantas al final del cultivo.

9.8. Cultivo en corteza

En algunas áreas donde no se dispone fácilmente de serrín, pero sí de corteza, ésta se puede usar como cultivo hidropónico de la misma forma que el serrín.

Una instalación de invernaderos de 5 acres (2 hectáreas) de la empresa Gourmet Garden Produce, de Sonora, California, ha cultivado pepinos europeos en un cultivo en corteza. Este proyecto ha sido un proyecto de cogeneración. El invernadero estaba ubicado en los terrenos de una gran serrería (fig. 9.29). El vapor de los hornos de secado de la serrería era dirigido al invernadero a través de unas grandes tuberías subterráneas, donde se convertía en calefacción de agua caliente.



Fig. 9.29. Proyecto de cogeneración en un invernadero de 5 acres. Las instalaciones de la serrería están a la derecha. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).

Los pepinos se sembraron en bloques de lana de roca colocados en un sistema NFT con canales de plástico (fig. 9.30), en una nave separada para plántulas. Los invernaderos se dividieron en cuatro secciones, cada una con una superficie de 1/4 de acre (0,5 hectáreas), para permitir una secuencia de fechas de plantación. Cada sección se plantó con una distancia de unos 2 meses, consiguiéndose de esta forma una producción continua. Las plántulas se trasplantaron 2 semanas después de la siembra.

Antes de la colocación de los sacos de corteza, se cubrió el suelo del invernadero con polietileno blanco sobre negro, o bien con una lámina contra las malas hierbas, para evitar el contacto con el suelo subyacente. La corteza del abeto de Douglas, con un pequeño porcentaje de serrín para mejorar el movimiento capilar de la solución, se colocó en sacos de plástico negro de 5 galones (20 litros), aproximadamente del tamaño de las bolsas de basura de cocina (fig. 9.31). Estos mismos sacos, con el medio de cultivo, se reutilizaron durante dos años y medio sin esterilización, sin que apareciera ninguna infección de hongos *Pythium*. El medio de cultivo de corteza tenía naturalmente los hongos *Trichoderma*, que se sabe que producen antibióticos tóxicos a patógenos como *Pythium*, *Fusarium* y *Helminthosporium* (que causan enfermedades de las raíces), o son, por el contrario, antagonistas de su crecimiento y actividad (Agrios 1978).

Los sacos se colocaron adyacentes unos a otros en una sola línea, con una tubería de riego por goteo en cada saco (fig. 9.32). Las líneas estaban separadas aproximadamente 4 pies (1,2 metros). Inicialmente, se plantó un pepino en cada saco, y más tarde se quitó un tercio de éstos. Una semana después del trasplante, los pepinos estaban bien arraigados y crecían vigorosamente (fig. 9.33). Obsérvese en la figura 9.25 que se usó un sistema de refrigeración por nebulización en el invernadero, para bajar la tem-



Fig. 9.30. Propagación de plántulas de pepino en bloques de lana de roca colocados en un sistema NFT de canales. El canal principal de entrada y los tubos de riego por goteo van por los canales. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).

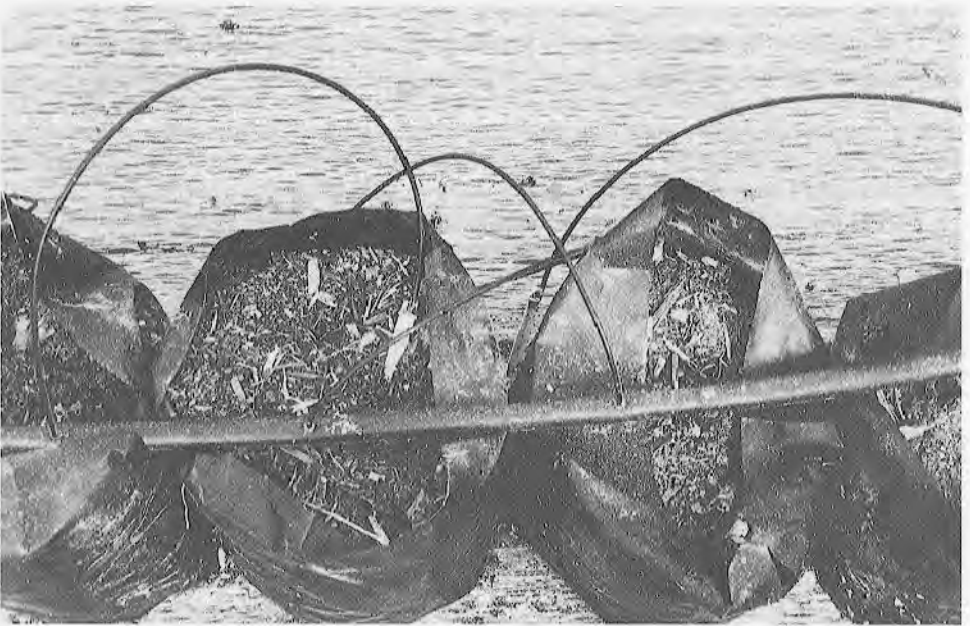


Fig. 9.31. La lámina contra las malas hierbas sobre el suelo evita éstas y las enfermedades del suelo. La corteza del abeto Douglas y el medio de cultivo de serrín se contiene en sacos de plástico de 5 galones. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).

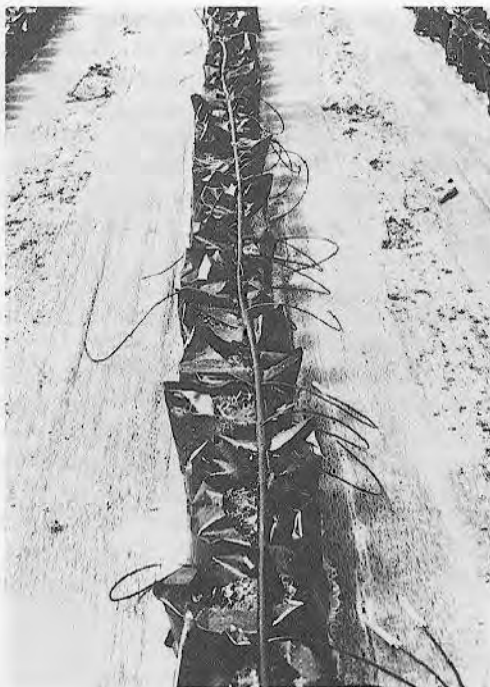


Fig. 9.32. Se requiere un amplio espaciamento de las filas de pepinos. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).



Fig. 9.33. Una semana después del trasplante de las plántulas de pepino a los sacos, las plantas crecen vigorosamente. Obsérvese el uso de un sistema de refrigeración por nebulización. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).

peratura por debajo de la temperatura ambiente durante los días calurosos. Las plantas alternas se guían por cuerdas en un sistema de cordón en «V»; sin embargo, el tercio de plantas que había que quitar se guiaron por cuerdas hacia el interior, junto con la segunda planta de cada grupo de tres (figs. 9.34 y 9.35). Se forma así una cubierta muy densa cuando las plantas llegan a los alambres que sirven de soporte (fig. 9.36). La parte superior de las plantas que hay que quitar (una de cada tres) se corta, permitiendo que el fruto madure en el tallo principal antes de su extracción (figs. 9.37 y 9.38). Este aclareo de la cosecha reduce su densidad a 8.000 plantas por 1,25 acres (0,5 hectáreas). Dicha densidad es relativamente alta, correspondiendo 6,8 pies cuadrados (0,63 metros cuadrados) por planta.

Mediante el riego por goteo y el sistema inyector, se aportan individualmente los nutrientes a las plantas (figs. 9.34, 9.37, 9.38 y 9.39).

Los pepinos fueron envasados en bolsas de plástico selladas con una máquina y enviadas al mercado a razón de 16 pepinos por caja (fig. 9.40). Los pequeños pepinos curvados se envasaron en manojos en bolsas de plástico (fig. 9.41) y se vendieron al peso. Estos pepinos curvados tienen que ser extraídos de las plantas y normalmente son desechados. Los precios en el pasado fueron de 25 a 30 dólares por caja durante los meses de invierno para pepino de alta calidad. Los curvados se vendieron a 1,50 dólares por libra.

Aunque la operación parece que tuvo financieramente éxito, la dirección de la serrería cambió recientemente y se abandonó el proyecto de invernadero, como conse-



Fig. 9.34. Método del cordón en «V», para guiar por cuerdas los pepinos. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).



Fig. 9.35. Entutorado alterno. Un tercio de las plantas serán extraídas posteriormente. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).



Fig. 9.36. Densa cubierta de plantas cuando alcanzan el alambre que sirve de soporte. Se corta la parte superior de un tercio de las plantas. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).

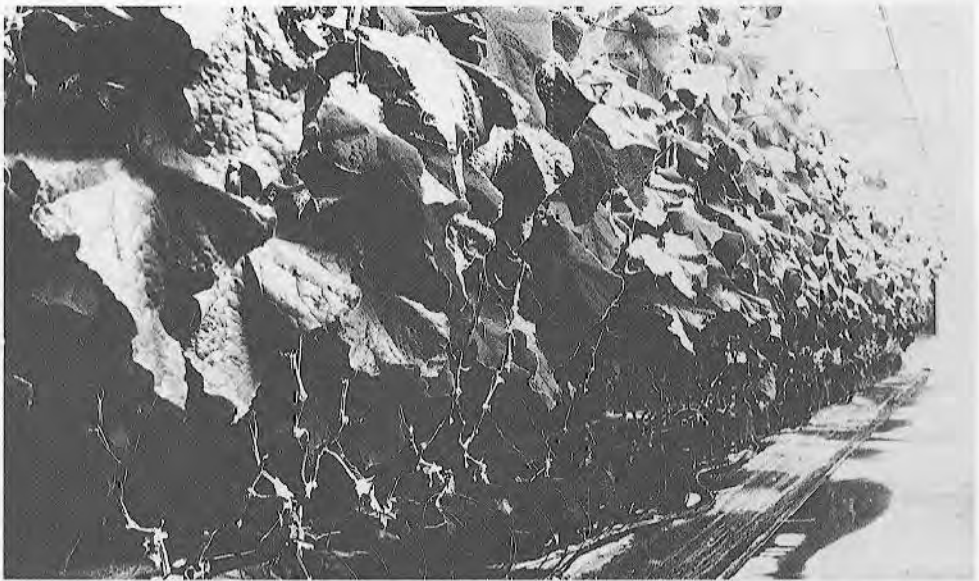


Fig. 9.37. Un tercera parte de las plantas ha sido extraída y es evidente entonces la guía por cuerdas alternas del método del cordón en V. (Cortesía de Gourmet, Garden Produce, Sonora, California).

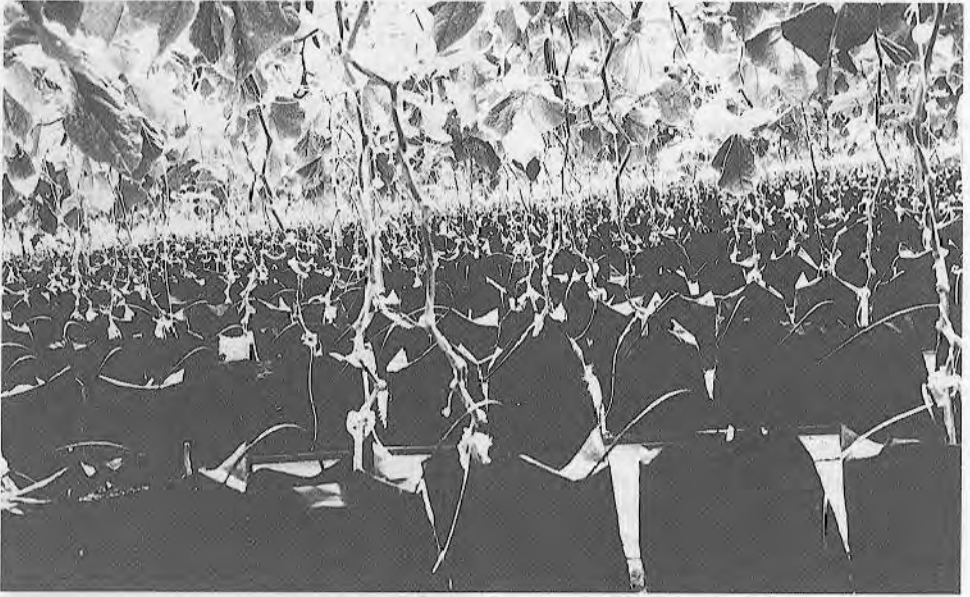


Fig. 9.38. La extracción de un tercio de las plantas y de todas las hojas muertas de la base de las plantas existentes mejora la ventilación y la luminosidad de la cosecha. Obsérvense las líneas de goteo en los sacos. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).



Fig. 9.39. Inyector Anderson al fondo y tanques de solución en primer plano. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).

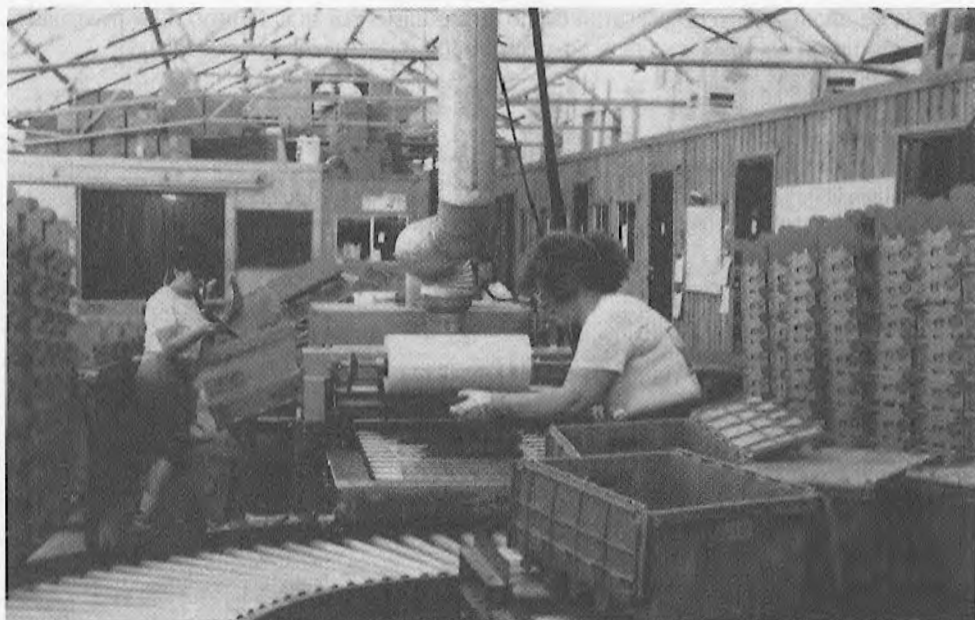


Fig. 9.40. Envasado de pepinos con una máquina selladora. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).



Fig. 9.41. El fruto torcido se envasa en manojos con una lámina de plástico. (Cortesía de Gourmet Garden Produce, Sonora, California).

cuencia de una decisión empresarial de no continuarlo por más tiempo. Los invernaderos se vendieron en 1992 y se instalaron en un lugar de Arizona.

Referencias

- AGRIOS, GEORGE, N.: *Plant pathology*. 2nd Ed., Academic Press, New York, NY. 1987.
- MAAS, E. F., y ADAMSON, R. M.: «Soilless culture of commercial greenhouse tomatoes». *Can. Dept. Agric. Publ.* **1460**, 1971.
- MASON, E. B. B., y ADAMSON, R. M.: «Trickle watering and liquid feeding system for greenhouse crops». *Can. Dept. Agric. Pub.* **1510**, 1973.

10

Cultivo en lana de roca

10.1. Introducción

Durante los últimos veinte años el cultivo en lana de roca se ha convertido en una de las técnicas principales para la producción de cultivos entutorados, especialmente tomates y pepinos. La lana de roca es ampliamente usada en el cultivo de invernaderos de pepinos en América del Norte y Europa. De acuerdo con un estudio realizado en 1986 por C. J. Graves del Glasshouse Crops Research Institute de Littlehampton, de Inglaterra, el área total (hectáreas) de la producción de tomates en Gran Bretaña en lana de roca en 1978 fue menor de una hectárea (2 acres). Esta aumentó a 77,5 ha (197 acres), 126 ha (320 acres) y 148 ha (376 acres) desde 1984 a 1986, respectivamente. De la misma forma, la superficie de pepinos sobre lana de roca se incrementó desde menos de una hectárea (2 acres) hasta 68 hectáreas (173 acres) durante el mismo período de 1978 a 1986. En 1991, Desmon Day indica que, en el Reino Unido, la superficie estimada de cultivo en lana de roca para pepinos es de 230 hectáreas (575 acres), y para tomates 160 hectáreas (400 acres).

En la actualidad, el cultivo sobre lana de roca es el cultivo hidropónico más extensamente usado en el mundo, con más de 2.000 hectáreas (5.000 acres) de invernaderos cultivados mediante este sistema en los Países Bajos. La tecnología se inició en Dinamarca en 1969 con el cultivo de tomates y pepinos.

Durante la rápida expansión de los invernaderos en los últimos 5 años, el cultivo más extendido ha sido el cultivo en lana de roca. Sin embargo en la actualidad, especialmente en Europa, existe cierta preocupación por la disposición de lana de roca. Por esta razón, el cultivo en perlita ha aumentado como una alternativa.

10.2. Cultivo de hortalizas en invernaderos en América del Norte

Las siguientes estadísticas indican el tremendo crecimiento del cultivo de hortalizas en invernaderos en América del Norte durante los últimos cinco años. Es cierto que

en Europa ha tenido lugar un crecimiento similar, pero creo que es importante concentrarnos en América del Norte con quien el lector puede estar estrechamente relacionado. La mayor parte de esta expansión ha sido con el cultivo en lana de roca.

Las estimaciones para 1997 indicaban que había aproximadamente 1.200 acres (485 hectáreas) de cultivos de hortalizas en invernaderos en los Estados Unidos y en Canadá. Esto parece que es una subestimación. En 1998 se informó que estos cultivos ocupaban 1.140 acres (456 hectáreas) en British Columbia y Ontario, Canadá. El consejo de dirección del mercado de Ontario ha afirmado que en 1999 había más de 800 acres (320 hectáreas) de hortalizas en invernaderos, comparados con los 600 acres (240 hectáreas) del año anterior. Se espera que la superficie supere los 1.000 acres (390 hectáreas) en el año 2000.

En 1997, B.C. Hothouse Foods, Inc., una cooperativa para la comercialización, representó a 52 invernaderos con más de 230 acres (93 hectáreas) en British Columbia. En 1997, la compañía esperaba envasar 1,8 millones de cajas de tomates beefsteak, 1,6 millones de cajas de pimentón dulce y 800.000 cajas de tomates entutorados (TOV) y pepinos europeos. Su presidente pronosticó en 1999 que sus cultivadores se expandirían hasta llegar a los 340 acres (136 hectáreas) en 1999 y a unos 500 acres (200 hectáreas) en 2000.

En cuanto a la producción de tomate, sólo en los Estados Unidos algunos de los principales productores son Colorado Greenhouses, con 131 acres (52 hectáreas) en Colorado y New Mexico; ADP, Inc., (sector Village Farms), que tiene 30 acres (12 hectáreas) en New York, 20 acres (8 hectáreas) en Pennsylvania, 42 acres (17 hectáreas) en Virginia y 82 acres (33 hectáreas) en Texas; Bonita Nurseries, que tiene 60 acres (24 hectáreas) cerca de Wilcox, Arizona, con una expansión prevista a 80 acres (32 hectáreas) dentro de un año. Suntastic, Inc., con 20 acres (8 hectáreas) cerca de Snowflake, Arizona, con planes para expansionarse a 80 acres (32 hectáreas) en varios años; y Houweling Nurseries Oxnard Inc., con 86 acres (34 hectáreas), que tiene previsto ampliar sus instalaciones a 125 y 150 acres (50-60 hectáreas) durante los próximos años.

Estas cinco compañías producen actualmente más del 50% del tomate total de invernadero en los Estados Unidos en sus 471 acres (188 hectáreas). En enero de 1999, Rick Snyder declaró en la revista *American Vegetable Grower* que los Estados Unidos tenían aproximadamente 700 acres (280 hectáreas) de invernaderos para tomates. Con estas estadísticas, los invernaderos actuales para hortalizas en América del Norte deben sobrepasar los 2.000 acres (800 hectáreas).

10.3. Composición de la lana de roca

La lana de roca es un material fibroso inerte obtenido por la mezcla de roca volcánica, caliza y cok fundidos de 1.500° a 2.000° C. Esto se estira en finas hebras y se prensa ligeramente tejiendo capas. Aunque la composición de la lana de roca varía ligeramente de unos fabricantes a otros, básicamente consta de dióxido de silicio (45 por 100), óxido de aluminio (15 por 100), óxido de calcio (15 por 100), óxido de magnesio (10 por 100), óxido de hierro (10 por 100) y otros óxidos (5 por 100). La lana de roca es ligeramente alcalina, pero inerte y biológicamente no degradable. Tiene una buena capacidad de retención de agua con un 95 por 100 del espacio poroso. Todos los fertilizantes se deben añadir con el agua de riego. La lana de roca tiene una capacidad de

retención de agua de aproximadamente un 80 por 100. Su pH oscila entre 7 y 8,5. Aunque no tiene capacidad reguladora, el pH se puede reducir fácilmente a niveles óptimos para tomates y pepinos, de 6,0 a 6,5 usando una solución nutritiva ligeramente ácida.

El cultivo en lana de roca es un sistema hidropónico abierto, no reciclable generalmente; los nutrientes se les suministran a cada planta con un emisor e hileras de riego por goteo. Aproximadamente un 15% a 20% de exceso de la solución se aplica durante cada riego para lavar los minerales de las planchas de lana de roca y evitar la formación de sales.

10.4. Cubos y bloques de lana de roca

Los tomates y pimientos se siembran en cubos de lana de roca de $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas ($3,75 \times 3,75 \times 3,75$ cm) (fig. 10.1) o en lana de roca granular en bandejas de styrofoam de 240 celdas. Los pepinos se pueden sembrar en cubos de lana de roca o directamente en bloque de lana de roca (figs. 10.2 y 10.3). Después de sembrar la semilla en cubos o bloques, se puede cubrir la semilla con vermiculita gruesa. Esto ayuda a mantener la humedad durante la germinación y facilita a la planta la eliminación de la cubierta de la semilla. Sin embargo ésta no es una práctica habitual pues lleva mucho tiempo. Las bandejas se riegan sólo con agua hasta que tiene lugar la germinación, luego con una solución nutritiva diluida hasta que se comienzan a desplegar las primeras hojas verdaderas. Entonces estos tacos se trasplantan a bloques de lana de roca mayores (figs. 10.4-10.6) disponibles en distintos tamaños, $7,5 \times 7,5 \times 6,5$ cm ($3 \times 3 \times 2,5$ pulgadas); $7,5 \times 7,5 \times 10$ cm ($3 \times 3 \times 4$ pulgadas); $10 \times 10 \times 6,5$ cm ($4 \times 4 \times 2,5$ pul-

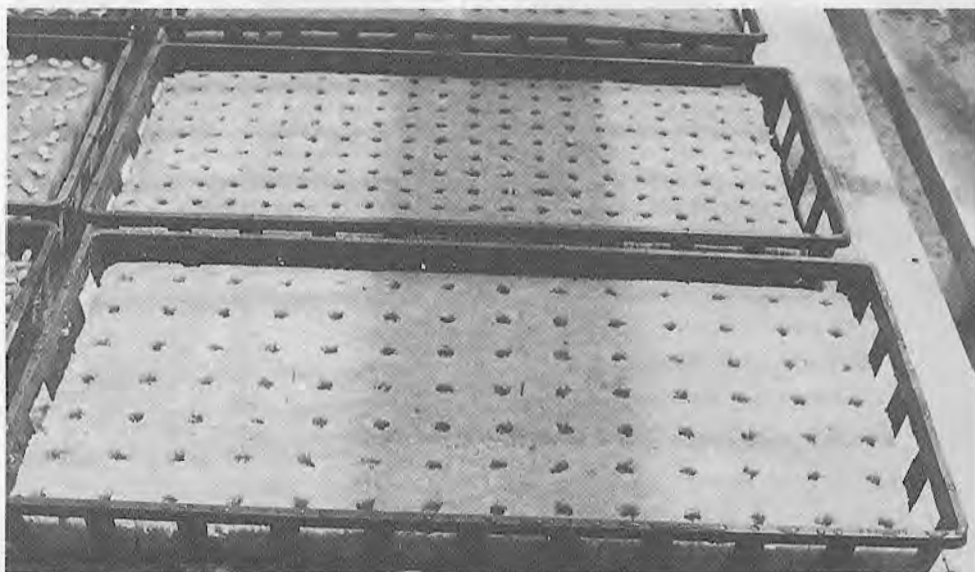


Fig. 10.1. Cubos de lana de roca – primer plano: $1 \times 1 \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas de profundidad (200 cubos por bandeja); al fondo: $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas de profundidad (98 cubos por bandeja).

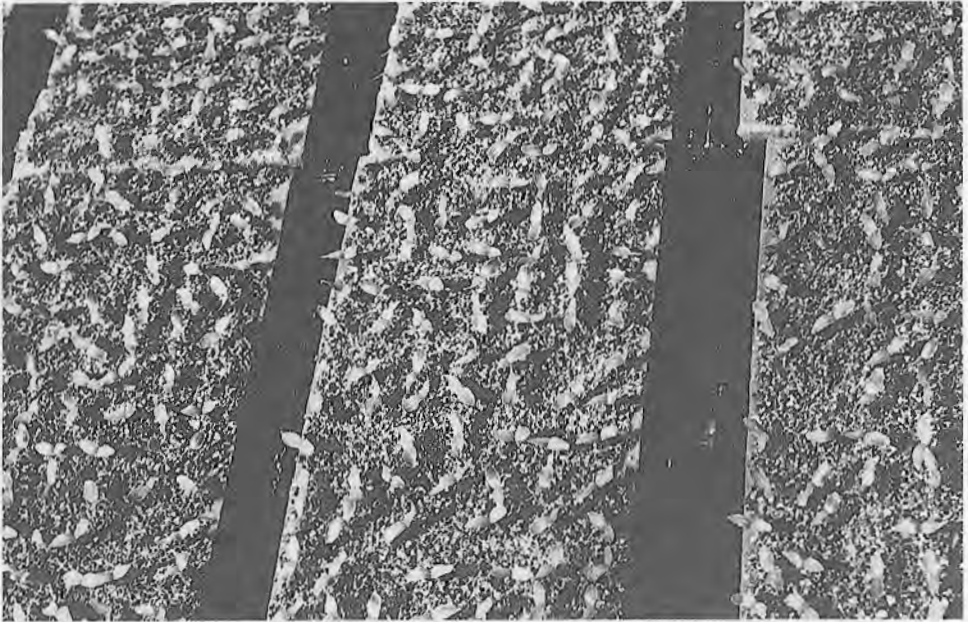


Fig. 10.2. Pepinos sembrados en cubos de lana de roca. Obsérvese que los cubos están cubiertos con vermiculita para conservar la humedad mientras germinan las semillas. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.3. Pepinos sembrados en bloques de lana de roca. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.4. Plantas de tomate trasplantadas a bloques de lana de roca después de haber desarrollado las primeras hojas verdaderas.

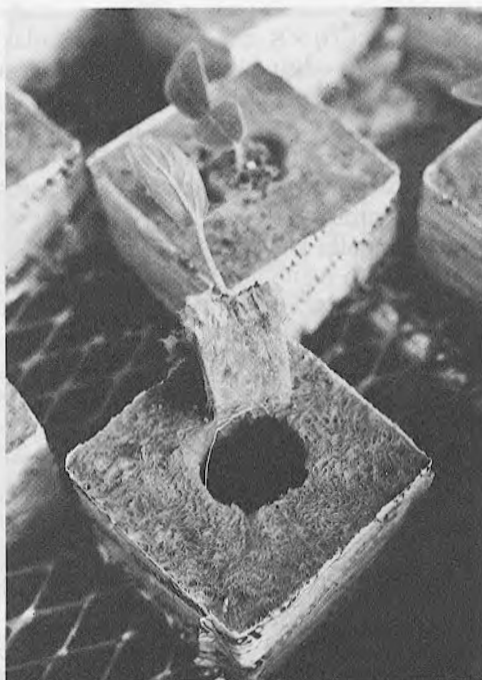


Fig. 10.5. La plántula de pepino en cubo de lana de roca se trasplanta a un bloque de lana de roca con un hueco grande. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.6. El autor trasplantando plántulas de pepino en cubos de lana de roca a bloques de lana de roca. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

gadas); $10 \times 10 \times 8$ cm ($4 \times 4 \times 3$ pulgadas) (longitud $\times$ anchura $\times$ altura). La elección del bloque de cultivo estará determinada por la planta que se cultiva y en qué estado el agricultor desea realizar el trasplante a las planchas de lana de roca definitivas. Cuanto más tiempo se desee mantener las plantas en el semillero, mayores deberán ser los bloques empleados (figs. 10.3 a 10.8). Los bloques menores son buenos para tomates y pimientos, mientras que los mayores son más convenientes para pepinos que crecen rápidamente. Colocando los bloques en tablillas de madera (fig. 10.7) o sobre un banco de malla de alambre (figs. 10.8 y 10.9), las raíces que salen de la base se pueden repicar. Esto mantiene todas las raíces dentro del bloque y alivia la crisis del trasplante. Los bloques de cultivo se fabrican en tiras, cada bloque rodeado individualmente de una envoltura de plástico.

10.5. Planchas de lana de roca

Las planchas están disponibles enfundadas o no en una lámina de polietileno blanco. Pueden tener los tamaños siguientes: $90 \times 30 \times 5$ cm ($35,5 \times 12 \times 2$ pulgadas), $90 \times 15 \times 7,5$ cm ($35,5 \times 6 \times 3$ pulgadas), $90 \times 20 \times 7,5$ cm ($35,5 \times 8 \times 3$ pulgadas), $90 \times 30 \times 7,5$ cm ($35,5 \times 12 \times 3$ pulgadas) y $90 \times 45 \times 7,5$ cm ($35,5 \times 18 \times 3$ pulgadas) (longitud $\times$ anchura $\times$ espesor).

Las planchas de 15 a 20 cm (6 a 8 pulgadas) están recomendadas normalmente para tomates, las de 20 a 30 cm (8 a 12 pulgadas) para pepinos y las de 30 cm (12 pulgadas) de



Fig. 10.7. Plántulas de tomate creciendo en bloques de lana de roca bajo iluminación artificial suplementaria en la zona del semillero del invernadero. (Cortesía de Gipaanda Greenhouses, Surrey, BC Canadá).



Fig. 10.8. Plántulas de pepino creciendo en bandejas de malla de alambre que permiten un buen repicado de las raíces. Las plántulas se riegan a mano con una solución de nutrientes. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.9. La base del bloque de lana de roca muestra un buen repicado de las raíces de la planta de pepino. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

anchura para melones. Las planchas más anchas para tomates pueden permitir un exceso de crecimiento vegetativo, si sólo se cultivan dos o tres plantas en cada una de ellas. La tendencia ahora es usar planchas anchas y cultivar 4 a 5 plantas en ellas. Las planchas están también disponibles en varias densidades. Las planchas de altas densidades mantendrán su estructura cuando se usen para varias cosechas durante un período de dos a tres años, y especialmente cuando se use la esterilización al vapor después de cada cosecha. Las planchas envueltas ya se emplean para cultivos anuales de tomates, pepinos y melones. Las han diseñado horticultores tratando de encontrar un medio de cultivo nuevo cada año para asegurar una proporción ideal aire/agua y un medio estéril. Sin embargo, debido a su coste, es más rentable utilizar las mismas planchas durante dos ó tres años (cosechas), esterilizando al vapor después de cada cosecha o cambiando la cosecha. Por ejemplo, si una instalación de invernadero cultiva tomates, pepinos y pimientos, los tomates se pueden cultivar en nuevas planchas, que se usan después para pepinos y pimientos. Habrá algunas averías estructurales que se traducirán en una pérdida del 10 al 15 por 100, pero esto se puede reducir usando planchas de mayor densidad.

Para esterilizar las planchas, éstas tienen que estar apiladas en paletas, después de quitar la envoltura de plástico. Se deben apilar de forma que cada capa esté en dirección contraria a la anterior, con algunos espacios de aire entre ellas, de modo que el vapor penetre en toda la pila. Se cubren con lonas y el vapor es introducido en las pilas debajo de la cubierta. Las planchas centrales tienen que alcanzar la temperatura de 60° a 80°C (140°-180°F) durante 30 minutos, para estar seguros de una total esterilización. Las planchas son envueltas de nuevo después de la esterilización.

10.6. Diseño de la lana de roca

El cultivo en lana de roca fue diseñado primeramente como un sistema hidropónico abierto y no reciclable. Más recientemente, se ha puesto el acento en el uso de sistemas reciclables con cultivo en lana de roca, pues cada vez es más importante el respeto del medio ambiente y la conservación del agua. Estos sistemas reciclables se discutirán más adelante. Los nutrientes se aportan a la base de cada planta con una línea de riego por goteo y un emisor. Se suministra aproximadamente un 15-20 por 100 de exceso de solución durante cada riego, para permitir contrarrestar la lixiviación de los minerales de la plancha de lana de roca.

Una disposición típica para un cultivo en lana de roca de sistema abierto se muestra en la figura 10.10. En primer lugar colocando fuera las planchas de crecimiento, el suelo del invernadero se debe desinfectar con una solución de formaldehído al 2 por 100. Se debe nivelar la superficie del suelo. Las camas están constituidas por dos planchas fijas de lana de roca separadas 60-75 cm (2-2,5 pies) para pepinos. Con tomates y pimientos, las planchas pueden estar más juntas, generalmente 40-45 cm (16-18 pulgadas), dependiendo del específico espaciamiento de línea requerido por la planta. Grava o arena constituyen los mejores suelos ya que fácilmente se pueden adoptar para obtener un buen drenaje. Una ligera pendiente hacia el centro de las dos planchas proporcionará el drenaje adecuado para las mismas (fig. 10.11). Todo el suelo del invernadero se cubre con polietileno blanco de 6 milésimas de pulgada de espesor para favorecer la reflexión de la luz y una buena higiene (fig. 10.12).

Si las condiciones de drenaje en el invernadero no son buenas es necesario tender una tubería de drenaje por en medio de la cama. La tubería de drenaje se deberá cubrir con grava gruesa y/o arena gruesa y la lámina blanca de cobertura se colocará sobre ella. Si se emplea este método, la lámina de cobertura deberá contener pequeños agujeros.

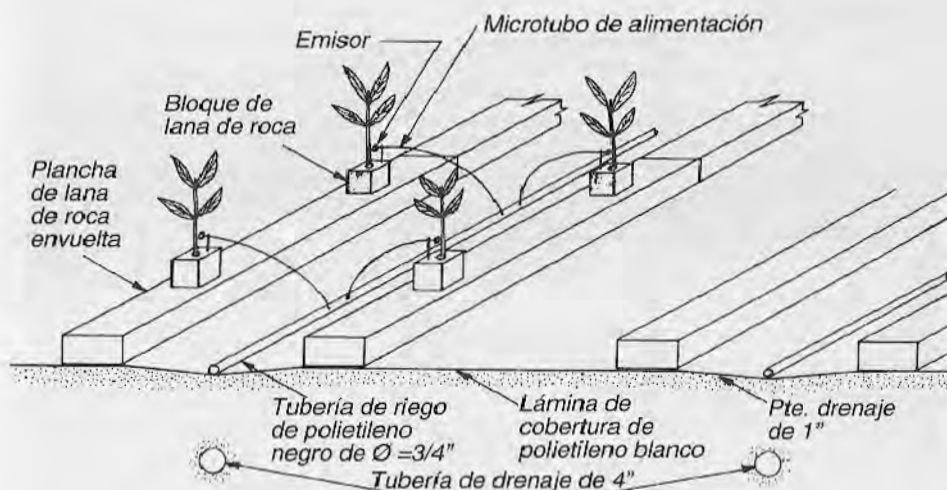


Fig. 10.10. Esquema de un sistema abierto de cultivo en lana de roca.



Fig. 10.11. Inclinação del suelo para proporcionar el drenaje entre cada dos líneas de planchas.



Fig. 10.12. Colocación de la lámina de cobertura de polietileno blanco.

ros para permitir la percolación a la tubería de drenaje del exceso de solución nutritiva. Por otra parte, la lámina de polietileno sin perforar actuaría como canal de drenaje para conducir la solución excedente a la tubería de drenaje situada en el extremo más alejado del invernadero. Pero podrían aparecer problemas con algas si el agua permaneciese estancada en el canal.

Si el suelo subyacente del invernadero está relleno con una base de arena o grava con percolación elevada, las planchas de lana de roca se podrán colocar directamente sobre él sin la lámina de cobertura de polietileno. Los nutrientes en exceso deberán drenarse fuera rápidamente; sin embargo, se podría incrementar el crecimiento de malas hierbas en estas zonas adyacentes a las planchas de cultivo.

En latitudes más septentrionales, donde la temperatura del suelo es fría, puede ser provechoso colocar las planchas encima de una lámina de styrofoam de 1 pulgada (2,5 cm) de espesor.

Muchos cultivadores de tomate utilizan ahora planchas de lana de roca de alta densidad, colocadas en una hilera única, y el cordón en V guía las plantas. En cada plancha se ponen de cinco a seis plantas. Esto reduce el coste de las planchas y proporciona suficiente espacio para el crecimiento de las raíces de las plantas.

10.7. Sistema de riego

Un sistema de riego por goteo con un inyector del fertilizante, como se muestra en la figura 10.13, suministra los nutrientes a cada planta individualmente. Un emisor de 0,5 galones (2 litros) por hora aporta el fertilizante a cada planta por medio de un microtubo (fig. 10.14). La tubería principal de PVC tiene que ser de suficiente diámetro (mínimo de 3 pulgadas) para alimentar el área de la sección del invernadero que se va a regar en un tiempo dado. Desde la tubería principal, las tuberías secundarias distribuyen la solución a las subsecciones. Los elevadores (normalmente de un diámetro de 3/4 de pulgada) unen el lateral de polietileno negro de 1/2 pulgada de cada línea con la tubería secundaria. Si los emisores se perforan directamente en la línea lateral junto a cada planta, en lugar de ponerlos al final de la línea de riego por goteo, habrá menos obturaciones, pues no se secan después de cada riego. Se pueden también usar goteros tipo aspersor, que proporcionan una pequeña pulverización de solución nutritiva cerca de la base de la planta, pero tendrían que estar empalmados en los extremos de las líneas de goteo. El aspersor tiene la ventaja de proporcionar una aplicación más amplia de la solución y eliminar así las partes secas, pero se podrían aplicar fácilmente cantidades excesivas y la humedad en la base del tallo ocasionaría enfermedades. Las líneas de goteo se sostienen en los bloques o planchas de lana de roca con un pequeño poste (fig. 10.15).

Las planchas de lana de roca deben estar empapadas de solución nutritiva antes del trasplante (fig. 10.14) durante 24 a 28 horas. Esto permitirá ajustar el pH y humedecer uniformemente las planchas. Para hacer esto, se colocarán las planchas en su posición definitiva con tres líneas de goteo que entran en una pequeña hendidura en la parte superior de cada plancha a igual distancia. Hacer entrar la solución nutritiva hasta que las planchas estén llenas de solución. No se deben cortar los agujeros de drenaje en las planchas hasta que no estén empapadas. Comprobar que todas las planchas están empapadas. Normalmente, se encuentran algunas planchas que tienen agujeros en sus envol-

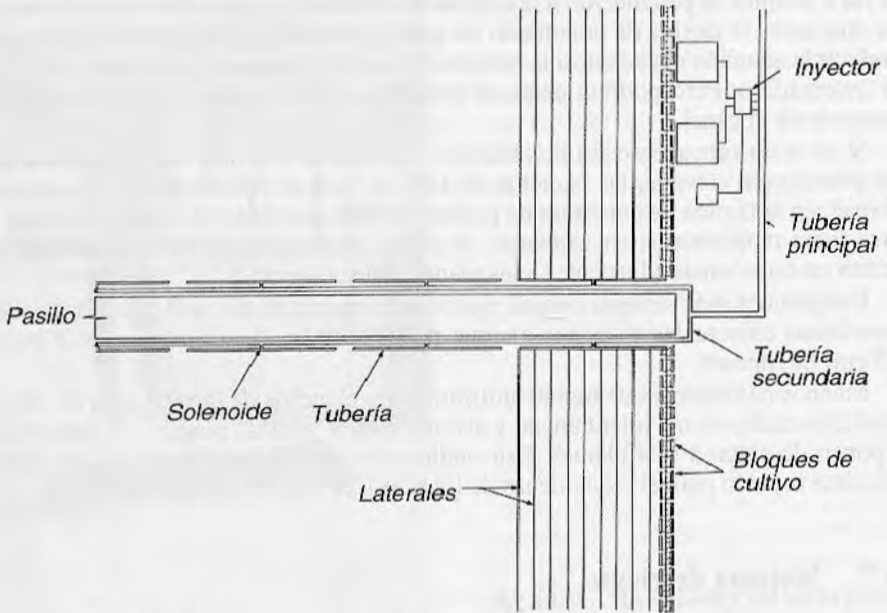


Fig. 10.13. Esquema de un sistema de riego de lana de roca.



Fig. 10.14. Empapado de las planchas antes del trasplante.

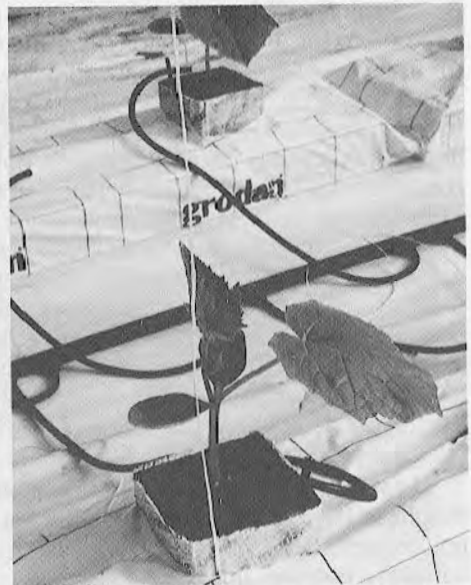


Fig. 10.15. Línea de goteo con el emisor colocado con un poste sobre el bloque durante los 3 ó 4 días que siguen al trasplante. Luego se llevan a la próxima plancha para continuar la alimentación.

turas y no se empapan adecuadamente. Si esto ocurre, el crecimiento de las plantas en esta plancha seca se verá grandemente restringido. Inmediatamente después del primer riego, después del trasplante, se deben examinar las planchas por las partes secas que quedan entre los emisores, puesto que las planchas deben estar totalmente saturadas para asegurar la reserva de solución nutritiva para la planta durante el período inicial postrasplante. Los agujeros de drenaje se deben cortar a ambos lados del borde inferior de la plancha (fig. 10.16). Deben tener la forma de una «T» invertida, o de ángulo recto cortado a 4 ó 5 cm (2 pulgadas) de altura. En la parte inferior de cada plancha deben hacerse dos o tres agujeros. Hacer los cortes entre las posiciones de las plantas, no directamente debajo de éstas, pues si no la solución saldrá inmediatamente de los agujeros y no será forzada a fluir lateralmente.

Se dispone de una herramienta especial para cortar los agujeros en la parte superior de las planchas (fig. 10.17). En el trasplante, poner simplemente los bloques de lana de roca, donde crecen las plántulas, en la parte superior de las planchas a través de los agujeros cortados en la cubierta plástica (figs. 10.15, 10.18 y 10.19). Colocar la línea de goteo en el borde del bloque con la estaca. Con pepinos es muy importante que la solución no caiga sobre la corona de las plantas, pues esto será origen de enfermedades. Las plantas presentan una pequeña crisis de trasplante. Las raíces se desarrollarán desde los bloques hacia las planchas en varios días. Una vez que las plantas hayan enraizado en las planchas (normalmente en una semana), colocar de nuevo la línea de goteo en la plancha próxima a la base del bloque de lana de roca. Inclinando la estaca hacia el bloque, la solución regará el extremo en vez de irse hacia atrás (fig. 10.18). Se dispone de estacas estriadas especiales que se insertan en las líneas de goteo y dirigen la solución hacia abajo. Hay que tener cuidado de que el extremo de la línea de goteo esté por encima del agujero en la plancha.



Fig. 10.16. Corte de los agujeros de drenaje en la parte inferior de las planchas. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

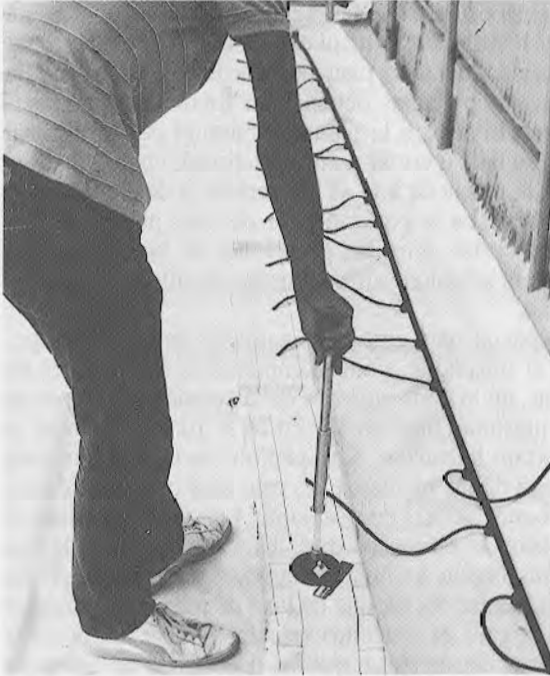


Fig. 10.17. Uso de una herramienta especial para cortar los agujeros para las plantas en la parte superior de las planchas. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

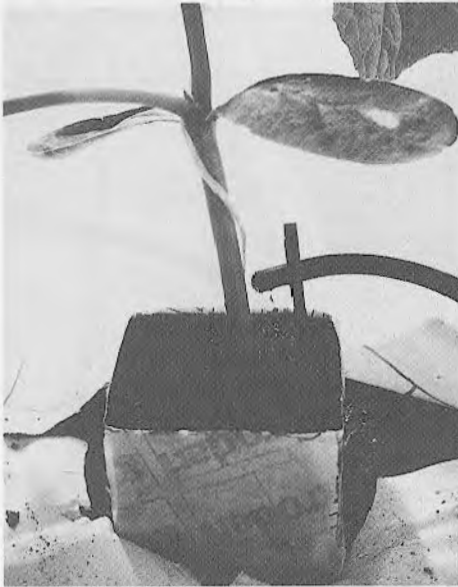


Fig. 10.18. Línea de goteo situada en el borde del bloque de lana de roca durante la primera semana después del trasplante.

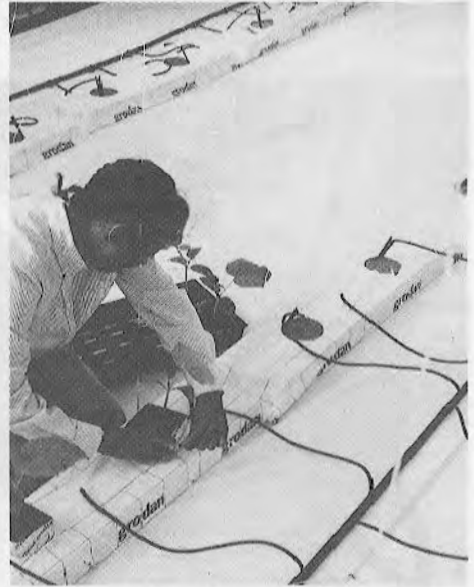


Fig. 10.19. Después de cortar los agujeros en la plancha con una herramienta especial, las plantas se fijan sobre las planchas. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

Antes del trasplante, se deben fijar las cuerdas de soporte a los alambres superiores. Cuando se haga el trasplante, hay que colocar el extremo final de la cuerda de soporte por debajo del bloque de lana de roca de la plántula (fig. 10.19). Esto asegurará el extremo de la cuerda.

Inmediatamente después del trasplante y hasta que las plantas hayan arraigado, se necesita una mayor frecuencia de riego. Después, bastará con unas frecuencias de 5 a 10 veces por día, con cantidades que variarán según el estado de crecimiento de la planta y las condiciones medioambientales. En cultivos estivales, se pueden necesitar hasta 20 riegos diarios.

Las grandes instalaciones de invernadero utilizan un sistema informatizado para controlar las condiciones medioambientales y la nutrición. En este caso, se selecciona una plancha representativa de todas las planchas de cultivo y se coloca en una «bandeja de inicio» (fig. 10.20). La bandeja de inicio controla la cantidad de solución presente en una plancha donde se desarrollan plantas sanas. Se quita la base de la envoltura de la plancha colocada en la bandeja de inicio, de forma que el exceso de solución drene fácilmente. Una ranura en forma de «V», en la base de la bandeja de acero inoxidable, conduce la solución a un extremo, donde está situado un electrodo. Mientras esté presente la solución adecuada, ésta está en contacto con el electrodo y el circuito completo. Entonces la señal evita que se inicie un ciclo de riego. Tan pronto como se interrumpe el circuito, cuando la solución desciende al secarse la plancha por la absorción de las plantas, comienza un ciclo de riego y continúa duran-

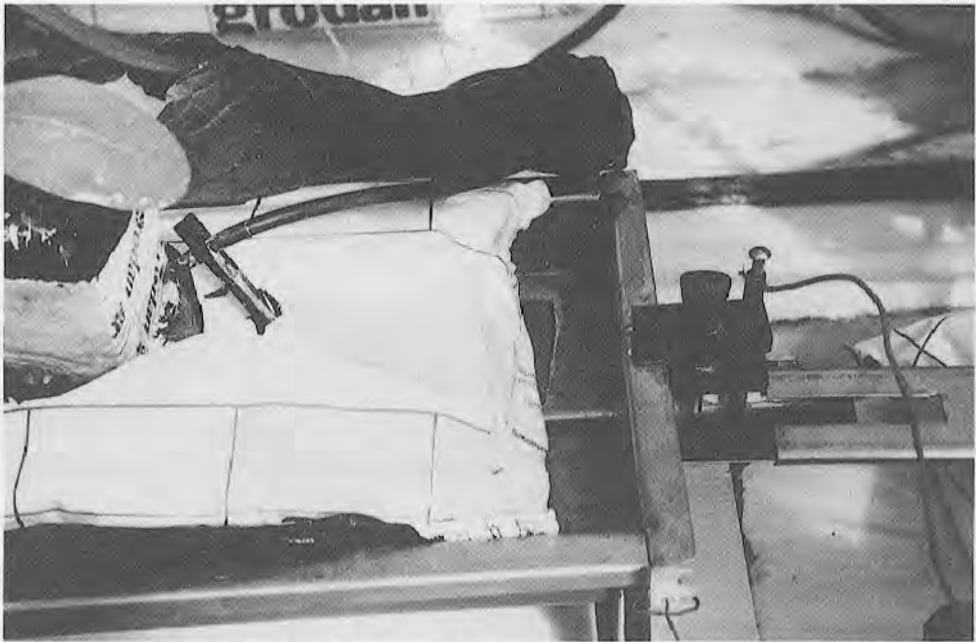


Fig. 10.20. La bandeja de inicio controla la cantidad de solución presente en la plancha. Obsérvese la sonda a la derecha y la posición de la línea de goteo en la plancha próxima a la base del bloque de lana de roca. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

te el intervalo de tiempo programado en el controlador u ordenador de riego. Smith (1987) afirma que el riego se debe hacer antes de que las planchas pierdan el 5-10 por 100 de su capacidad de retención de agua. El nivel de humedad en las planchas se puede subir o bajar, elevando o bajando la sonda en la bandeja de inicio. Es decir, si hay que mantener un nivel mayor de humedad entre los ciclos de riego, la sonda se puede elevar y, como resultado, los ciclos de riego tendrán lugar con más frecuencia.

La duración de un ciclo de riego debe ser lo suficientemente larga para obtener un exceso de líquido del 15 al 20 por 100 en las planchas. El drenaje de las planchas se puede determinar colocando una bandeja especial de recogida debajo de una de las planchas que tienen plantas sanas (fig. 10.21). Una salida del tubo en el extremo inferior de la bandeja de recogida lleva la solución sobrante a un depósito inferior, enterrado en el suelo. Un segundo depósito recoge la solución de un emisor. Este proporciona la cantidad de agua que realmente salía de cada emisor, suponiendo que son todos iguales. Si se usan emisores que compensan la presión, el flujo por cada uno de ellos debe ser el mismo. Para obtener el volumen de solución que entra en la plancha, hay que multiplicar el volumen recogido de un emisor por el número de emisores de cada plancha. Dividir el volumen sobrante de la bandeja de recogida por este volumen de entrada de los emisores. Es más fácil usar mililitros como medida de volumen. Un cilindro graduado bastará para medir los líquidos.

El control de los niveles de sal en las planchas de lana de roca se debe realizar por lo menos una vez cada dos días. Los invernaderos que tienen ordenadores pue-

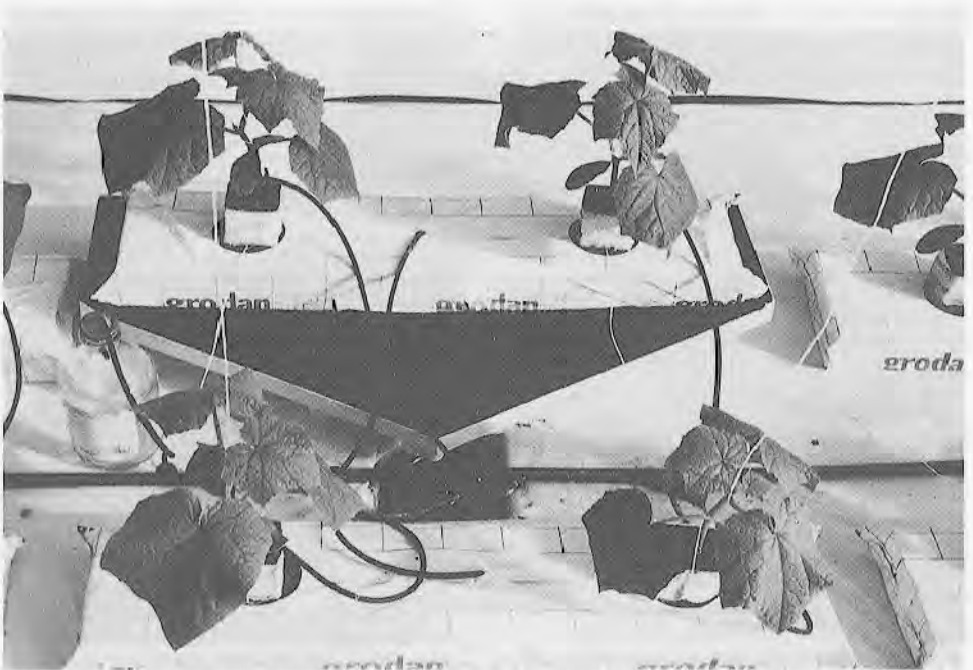


Fig. 10.21. Bandeja de recogida para controlar la cantidad de exceso de solución en la plancha. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

den tener un cierto número de sensores de conductividad eléctrica (EC) y de pH en planchas situadas en varios sitios, que proporcionan un control continuo. Por lo demás, hay que tomar una muestra de la plancha con una pequeña jeringuilla (fig. 10.22) para comprobar su pH y EC (fig. 10.23). Los valores deben estar cercanos a los de la solución nutritiva que se le suministra a las plantas. Si se detectan niveles significativamente altos de conductividad o pH no óptimos, las planchas se deberán regar más a menudo, hasta que la concentración de su solución se acerque a la de la solución input. El agua no se debe emplear si contiene a menudo sodio, calcio y magnesio. Estos iones se acumularán en las planchas y otros nutrientes tales como potasio, nitratos y fosfatos precipitarían, causando un desequilibrio en la nutrición de la plancha.

10.8. Pepinos en lana de roca

Los pepinos son cultivados en Environmental Farms, Dundee, Florida. Un invernadero de 1 1/2 acres (0,6 hectáreas), que había sido antes un vivero de cítricos, se convirtió en un cultivo de pepinos en lana de roca. Se cubrió el suelo con 6 pulgadas (15 cm) de arena y después se instalaron losas de drenaje. El suelo fue preparado para poner planchas de lana de roca y se colocó una lámina de polietileno blanco sobre él (figs. 10.11 y 10.12). Se instaló un sistema de riego por goteo y se sembraron los pepinos en cubos de lana de roca, que fueron luego trasplantados a bloques (figs. 10.14,

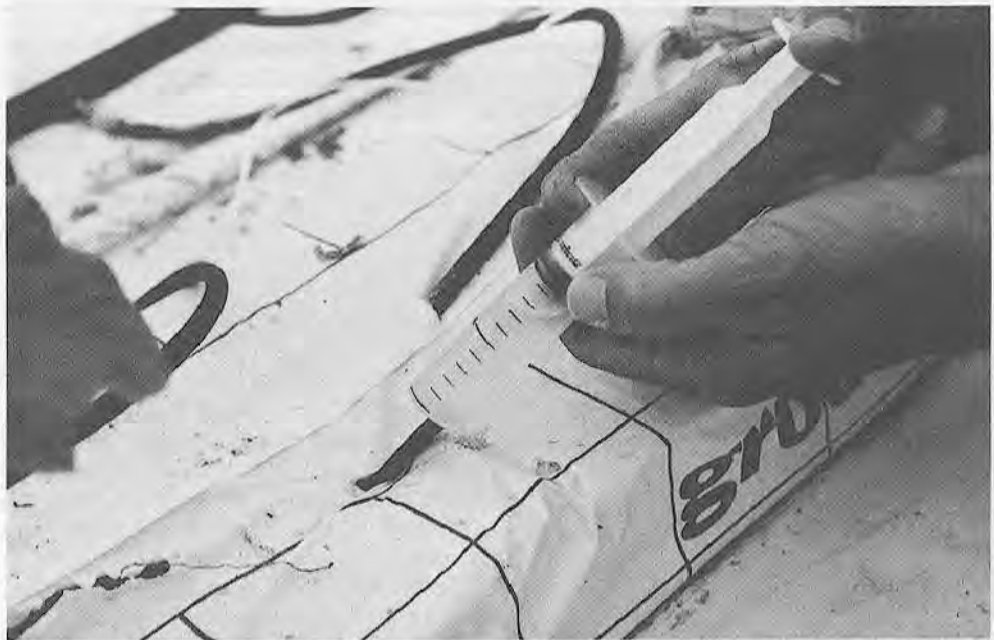


Fig. 10.22. Uso de jeringuilla para comprobar la EC y el pH de la solución en la plancha. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.23. Comprobación de la EC y del pH de la solución con un conductímetro y un papel para medir el pH. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

10.2, 10.3, 10.5 y 10.6). Catorce días después de la siembra, se trasplantaron a las planchas (figs. 10.19 y 10.24), donde arraigaron en 2 a 3 días y crecieron hasta 6 pulgadas (15 cm) por día (fig. 10.25). Dieciocho días después del trasplante (32 días desde la siembra), alcanzaron 5 pies (1,5 metros) de altura (fig. 10.26). Muchos de los pequeños frutos del tallo tuvieron que ser quitados (fig. 10.27), dejando solamente 5 frutos en el tallo, una vez que éste llegó a los alambres de soporte a 6 1/2 pies (2 metros). También hubo que extraer los zarcillos, pues se enmarañaban alrededor de las hojas y del fruto causando deformaciones. A los 40 días de la siembra comenzó la recogida (fig. 10.28). El fruto se recogió al final de la mañana, después de que las plantas se hubieran secado. Se utilizaron grandes cajones de plástico para recoger los frutos, que fueron transportados al área de envasado con un tractor y un remolque (fig. 10.29). Los pepinos fueron envasados en plástico con un sellador L-bar y un horno (10.30), a razón de 12 frutos por caja; las cajas se colocaron en paletas que se introdujeron en una cámara de refrigeración a 50-55°F (10 a 13°C) (fig. 10.31). Los pepinos fueron clasificados en tres categorías, regular, grande y gigante, según la longitud del fruto. La mayor parte del producto se envió al nordeste de Estados Unidos y a Canadá.

Al igual que con cualquier producto agrícola, surgieron problemas de plagas y enfermedades. Las plagas más problemáticas fueron los áfidos, la mosca blanca y los trips. Con las húmedas condiciones de Florida, se presentaron las enfermedades del mildiu y el chancro del tallo. El mildiu pulverulento fue superado usando una variedad resistente, Marillo. El chancro del tallo fue prevenido aplicando un fungicida en la

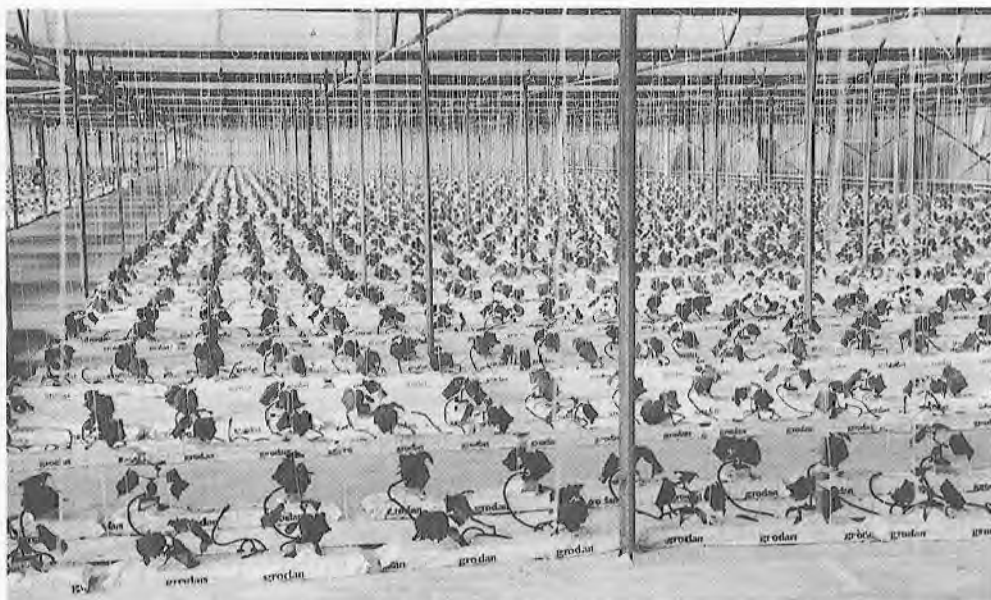


Fig. 10.24. Catorce días después de la siembra, los pepinos han sido trasplantados a las planchas. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.25. Los pepinos de 28 días después de la siembra (15 días después del trasplante) tienen casi 3 pies de alto y crecen aproximadamente 6 pulgadas por día. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.26. Los pepinos de 31 días después de la siembra (18 días después del trasplante) tienen casi 5 pies de alto.



Fig. 10.27. Pequeño fruto sobre el tallo, muchos de los cuales son extraídos. Obsérvese el entutorado de la planta. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

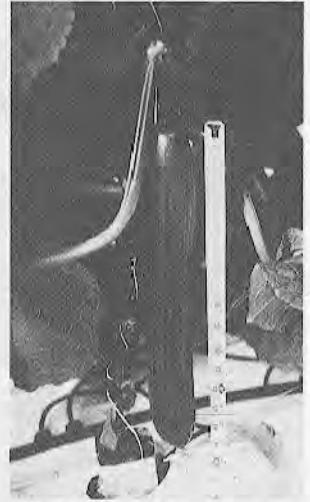


Fig. 10.28. Comienzo de la recogida, a los 40 días de la siembra. El fruto es recto y largo, aproximadamente 15 pulgadas o 38 cm de longitud. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.29. El fruto es recogido en grandes cajones de plástico y transportado al área de envasado con un tractor y un carro. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).



Fig. 10.30. Los pepinos pueden ser envasados en plástico con un sellador L-bar (derecha) y un horno (centro). Este equipo es adecuado para pequeñas instalaciones de aproximadamente un acre de tamaño. Las cosechas mayores de pepino requieren un equipo capaz de mayores volúmenes, tales como el mostrado antes en la figura 9.32. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

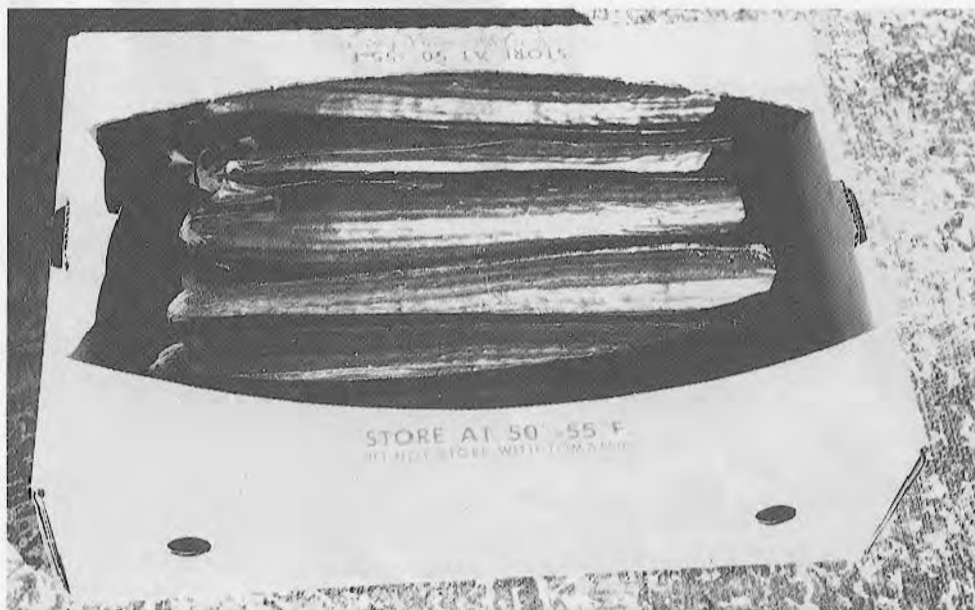


Fig. 10.31. Pepinos envasados a razón de 12 por caja. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

base del tallo de la planta (fig. 10.32). Las virosis llegaron a ser el problema más difícil. Los áfidos y la mosca blanca eran los vectores y el control dependía grandemente del control de los insectos vectores. La expansión de las virosis durante la poda, entutorado y recolección por los obreros se previno introduciendo las herramientas en un baño desinfectante transportado por los obreros. Esta desinfección es necesaria antes de tocar las plantas.

Para aplicar los insecticidas se utilizó un nebulizador (fig. 10.33), que dispersaba una nube en suspensión a través de la cubierta de la cosecha, mientras era empujado en un carro por debajo de cada fila (fig. 10.34).

Se adoptó un entutorado modificado, con una sola guía que se desarrollara sobre el alambre, pues los pepinos en Florida son extremadamente vigorosos con la cantidad de luz solar presente. Con la existencia de altas poblaciones de insectos y de inóculos de enfermedades, debidos a las condiciones semitropicales de Florida, la mayoría de los cultivadores de pepino cambian sus cosechas cada 3-4 meses, pues las enfermedades y los insectos infectan eventualmente la cosecha con la suficiente gravedad como para reducir sustancialmente el rendimiento.

Houweling Nurseries Ltd., de Delta, B. C., cultiva anualmente dos cosechas de pepinos europeos. La primera cosecha se siembra el primero de diciembre y se trasplanta a finales de diciembre, teniendo lugar la primera recogida a primeros de febrero. La producción continúa hasta junio. En este mes, se siembra una segunda cosecha en un campo separado para plántulas. Cuando las plantas tienen tres semanas, se trasplantan y comienza la producción, que se prolonga hasta mediados de noviembre.



Fig. 10.32. La aplicación de un fungicida en la base del tallo previene el chancro del tallo. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

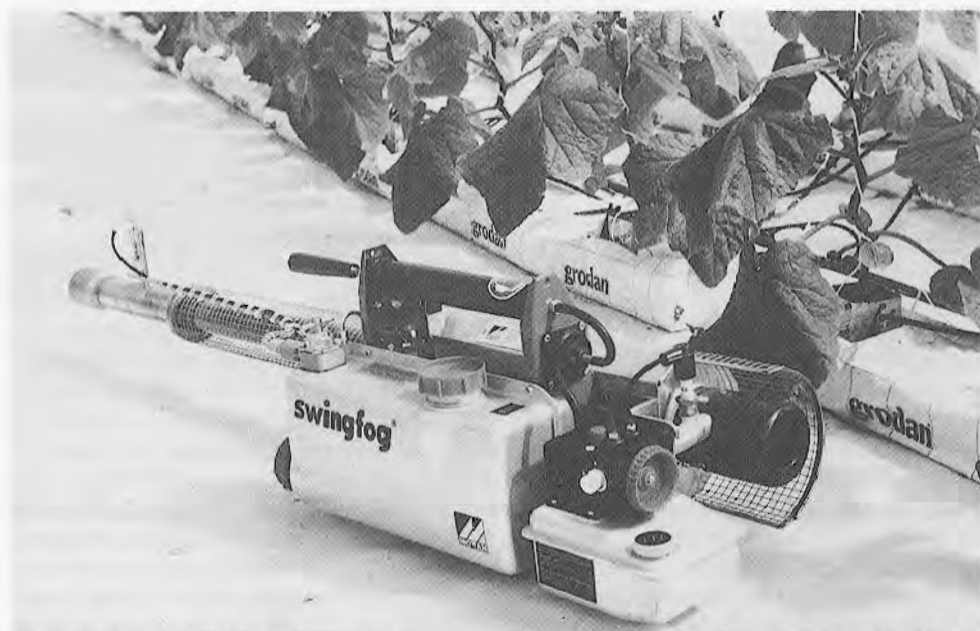


Fig. 10.33. Un nebulizador puede aplicar los insecticidas en cosechas de gran densidad. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

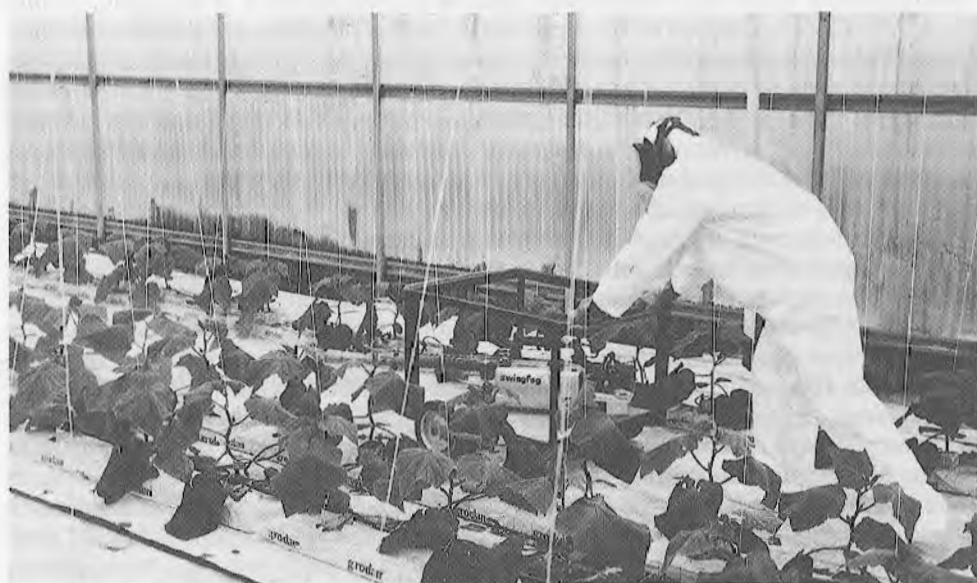


Fig. 10.34. Es importante usar una ropa protectora cuando se aplican los insecticidas. Obsérvese que el nebulizador es empujado hacia las filas sobre un carro, para hacer más fácil la tarea al aplicador. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

Se cultivan las variedades de pepino «Mustang», «Bronco», «1289», «Ventura» y «Exacta». Los pepinos se plantan a una densidad de 1,2-1,4 plantas por metro cuadrado (10,76 pies cuadrados), lo que representa 5.000 plantas por acre (12.500 plantas por hectárea). Mientras la producción media anual es de 110 cukes por metro cuadrado, esta instalación ha producido más de 140 cukes por metro cuadrado. Esto es equivalente a 10 a 13 cukes por pie cuadrado, o sea de 73 a 93 frutos por planta.

10.9. Tomates en lana de roca

Gipaanda Greenhouses Ltd., de Surrey, B. C., cultivó en 1993 5,25 acres (2,1 hectáreas) de tomates en lana de roca. Los tomates se sembraron en cubos de lana de roca de una pulgada, y después de 12 a 14 días se trasplantaron a bloques de lana de roca de 3 pulgadas (7,5 cm). Actualmente se está convirtiendo en práctica común, en el cultivo de invernaderos de Columbia Británica, sembrar los tomates en bandejas de styrofoam de 2 pulgadas (5 cm), que tienen agujeros de 1 pulgada (2,5 cm) con cubos de lana de roca ya colocados en su sitio. La bandeja se presta a la siembra automática y a la extracción por máquina. Las plántulas son trasplantadas a bloques de lana de roca de 4 × 4 × 3 pulgadas (10 × 10 × 7,5 cm). Los bloques mayores se usan para que las plantas no se sequen tan pronto cuando se colocan en la parte superior de las planchas de lana de roca, antes de situarlas dentro de la envoltura de la plancha.

Para dominar las enfermedades de la podredumbre de la raíz y de la corona, debidas a *Fusarium*, se usa una variedad de portainjerto resistente, a falta de una variedad comercialmente resistente. Ambas variedades, la de portainjerto y la de injerto, germinan a 79°F (26°C). Después de la germinación, las dos plántulas se cultivan en secciones separadas del invernadero, bajo condiciones diferentes de temperatura. El portainjerto se cultiva a 64°F (18°C) y la variedad de injerto (Belmondo) a 72°F (22°C). Para obtener un portainjerto con tallo más grueso, la variedad de portainjerto se siembra dos días antes que la variedad de injerto (Belmondo). La variedad de portainjerto se cultiva durante 14 días y el injerto durante 12 días, antes del trasplante a los bloques de lana de roca.

Un cubo de cada variedad es trasplantado al mismo agujero del cubo de lana de roca. La temperatura ha sido cambiada lentamente a 72°F (22°C). Diez días después del trasplante, se injertan las plantas. Se hace una incisión en ambas plantas y se acoplan una a otra, envolviéndolas con una cinta de plástico. Este es un injerto de aproximación. Después de 7 días se corta la parte superior del portainjerto y la base del injerto. Se puede fijar una cinta de plástico a la parte superior del bloque de lana de roca, para prevenir el enraizamiento del tallo del injerto en el bloque, cuando las plantas maduren y sus tallos descendan (fig. 10.35). Como sólo se pueden injertar 150 a 200 plantas por hora, esta operación puede ser costosa en un invernadero de este tamaño que requiere 40.000 plantas. La enfermedad debida a *Fusarium* se ha reducido en el pasado interplantando lechugas. Las raíces de la lechuga producían un inhibidor para la enfermedad, pero la lechuga introducía los áfidos.

Después de injertar y de podar el injerto y el portainjerto (última semana de noviembre), se ponen las plantas en la parte superior de las planchas de lana de roca en el invernadero, pero no se colocan dentro. Esto espacia a las plantas de forma que pue-

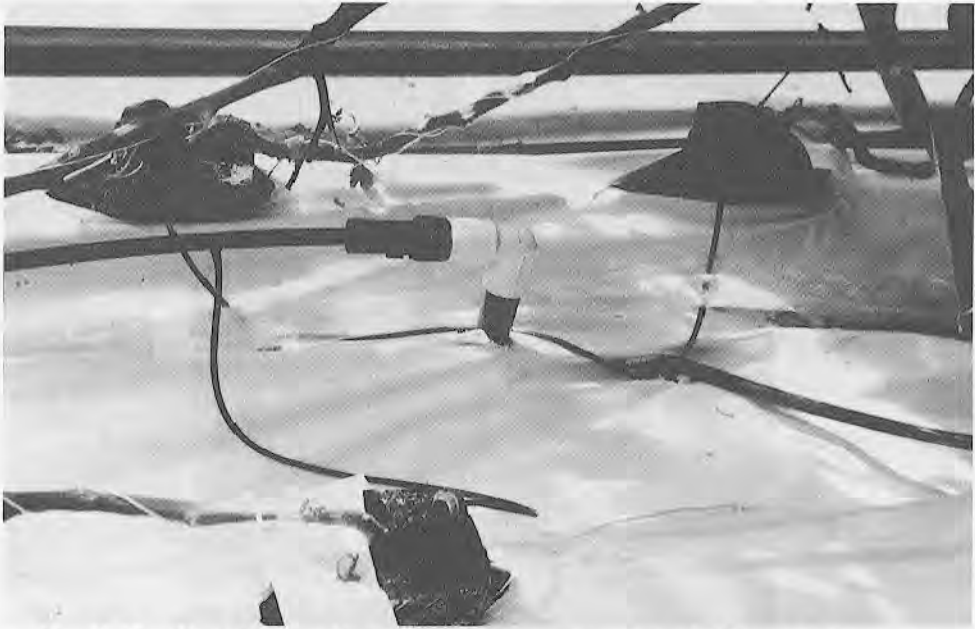


Fig. 10.35. Una cinta de plástico se fija a la parte superior del bloque de lana para prevenir que el injerto de tomate enraíce en el bloque cuando el tallo se ponga en contacto con él. (Cortesía de Otsuki Greenhouses Ltd., Surrey, B. C., Canadá).

dan continuar creciendo sin restricción de luz, permitiendo un crecimiento más lento y más grueso del tallo, así como un mayor desarrollo de las raíces. Cada planta es alimentada con una línea de riego por goteo. Después de un mes, se trasplantan a las planchas. La primera recogida tiene lugar a mediados de febrero y la última a mediados de noviembre, lo que permite iniciar el ciclo 10 días después. Con la introducción de nuevas variedades, como «Trust», ya no se requiere el procedimiento de injerto.

Para ahorrar en el número de planchas requeridas, se adoptó un sistema de entutorado especial. En lugar de las tres plantas convencionales, se pusieron sólo dos en cada plancha. Las planchas y las plantas estaban distanciadas de forma que hubiera una separación entre centros de 75 cm (30 pulgadas) dentro de las filas, y 45-50 cm (18-20 pulgadas) entre las filas. Esto es equivalente a 0,6 metros cuadrados (6 pies cuadrados) por planta, que se reduce al normal espaciamiento final de tomates de 0,3 metros cuadrados (3 pies cuadrados) por planta a mediados de abril, cuando hay más iluminación. La densidad de las plantas se incrementa dejando que cada planta forme dos brotes. A finales de febrero, se deja que una sexta parte de las plantas formen un segundo brote, permitiendo que se desarrolle un chupón sano (fig. 10.36). Este procedimiento se continúa durante un período de dos meses, de forma que para finales de abril todas las plantas tienen dos tallos y, por tanto, se dobla la densidad de las plantas.

Las plantas son sostenidas con cordel de polietileno de unos 20 pies (6 metros) de largo para cada planta. La cuerda se ata alrededor de unas bobinas que tienen dos ganchos que cuelgan del soporte superior metálico. Las plantas entutoradas alcanzan 25 a



· Fig. 10.36. Una planta de tomate con dos brotes. (Cortesía de Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, B. C., Canadá).

30 pies (7,6 a 9 metros) a final de la estación. Las plantas se bajan desatando la cuerda de la bobina. Los tallos se enroscan alrededor de los extremos de cada bancada utilizando un tubo de plástico de 3 pulgadas de diámetro para prevenir roturas (fig. 10.37). Los tallos se extienden a lo largo de la parte superior de las planchas. Unos aros metálicos de 3/16 pulgadas de diámetro, colocados en las planchas, sostienen los tallos de las plantas (fig. 10.38).

Algunos cultivadores colocan postes en la parte superior de las planchas para sostener los tallos (fig. 10.39). Esto proporciona una mejor aireación de los tallos y reduce las enfermedades (fig. 10.40). También mantiene a los injertos por encima de los bloques de lana de roca, de forma que no enraícen en los bloques. Se coloca una cinta de plástico encima de los bloques, como se ha descrito antes, para prevenir el enraizamiento del injerto (fig. 10.37).

Gipaanda Greenhouses Ltd. ha comprobado que es importante la gestión del riego en la oxigenación de la plancha de lana de roca (Ryall, 1993). El último riego se hace 2 1/2 a 3 horas antes de la puesta del sol, para reducir la retención de la solución en las



Fig. 10.37. Los tallos de las plantas se doblan alrededor de un tubo de plástico de 3 pulgadas de diámetro en los extremos de las filas cuando las plantas se bajan.



Fig. 10.38. Unos aros metálicos, colocados en las planchas de lana de roca, permiten que los tallos de la planta suban para mejorar la ventilación y reducir así las enfermedades fúngicas.

(Cortesía de Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, B. C., Canadá).



Fig. 10.39. Se pueden colocar postes a lo largo de las planchas de lana de roca para elevar los tallos por encima del suelo. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).

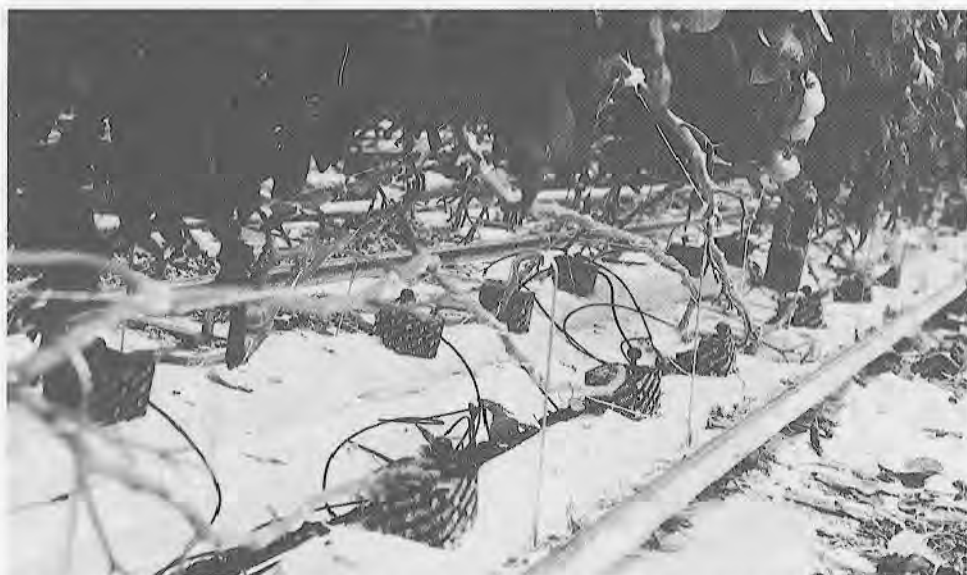


Fig. 10.40. Los aros metálicos elevan los tallos muy por encima del suelo, creando un buen intercambio de aire en la base de la planta. (Cortesía de Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, B. C., Canadá).

planchas al 65 por 100 de su capacidad. Este secado de las planchas para crear un déficit de agua durante la noche permite una mejor oxigenación de las raíces. El crecimiento activo de las raíces se estimula por el déficit de agua durante la noche en las planchas. El primer riego se da unas 2 horas antes de la salida del sol. Los siguientes riegos son puestos en marcha por el ordenador, de acuerdo con la acumulación de luz. En un luminoso día de sol, se puede regar hasta 20 veces. En general, las planchas se riegan de forma que se filtre un 40 por 100 durante los ciclos de riego. Cuando la demanda de agua es fuerte, a mediodía, el exceso de drenaje se puede aumentar hasta el 60 por 100.

Los tomates se recogen en grandes cajones y se transportan a los pasillos en carros con ruedas que corren sobre las tuberías de calefacción (fig. 10.41). Todo el producto es clasificado, envasado y comercializado a través de B. C. Greenhouses Vegetables Growers Cooperative (B. C. Hothouse Foods, Inc.).

Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., tiene en cultivo 30 acres (12 hectáreas) de invernaderos, donde se cultivan tomates, pepinos y pimientos separadamente en tres secciones. Este invernadero es único en su uso de serrín como combustible para hacer funcionar las calderas que generan calor (fig. 10.42). Primeramente se usa un horno auxiliar de gas natural para generar dióxido de carbono, con el fin de enriquecer la atmósfera del invernadero. La refrigeración se hace por ventilación natural, a través de unos conductos de ventilación asistidos por unos aspersores aéreos que enfrían la superficie de cristal. El agua utilizada para rociar el techo se recoge en un depósito y se recicla después.

Un sistema abierto de cultivo en lana de roca, igual a los descritos anteriormente, se utiliza para cultivar tomates, pepinos y pimientos. La alimentación se hace mediante un sistema de riego por goteo, con un emisor en cada planta. Los niveles de conducti-



Fig. 10.41. Recogida de tomates y transporte a lo largo de la fila, hasta el pasillo central, en grandes cajones sobre un carro que corre por las tuberías de calefacción. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).



Fig. 10.42. Houweling Nurseries Ltd., un invernadero de 30 acres, utiliza serrín como combustible para sus calderas de agua caliente para calefacción. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).

vidad eléctrica (EC) y de pH son controlados por un ordenador, dependiendo de las diferentes condiciones de luz, calor y humedad (fig. 10.43).

Igual que Gipaanda Greenhouses Ltd., se ha utilizado la variedad «Belmondo» de tomate injertada en un portainjertos resistente. Actualmente se cultivan las variedades «Apollo» y «Trust», que no necesitan ser injertadas, pues son resistentes a la pudrición

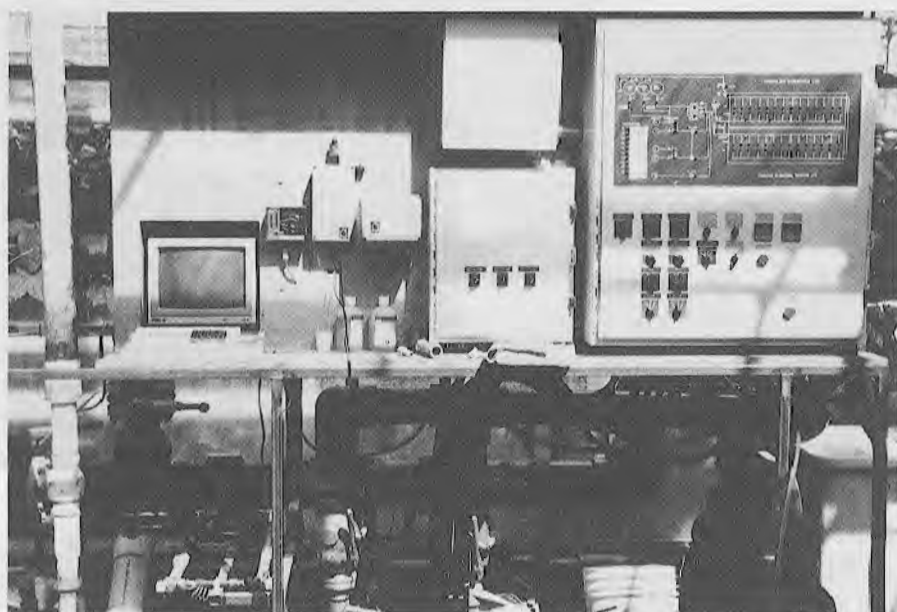


Fig. 10.43. La alimentación de las plantas en un gran invernadero es controlada por un ordenador. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).

de las raíces. La densidad de las plantas es aproximadamente de 10.000 plantas por acre (25.000 plantas por hectárea) (4,35 pies cuadrados por planta), con una producción media anual de 48 kg por metro cuadrado (10 libras por pie cuadrado).

En 1994, cuando Houweling Nurseries construyó una nueva instalación de 12 acres (5 hectáreas), se cultivaron tomates en amplias planchas de lana de roca.

Estas están colocadas en un canal de aluminio, de forma que en el futuro la solución de nutrientes pueda ser reciclada (fig. 10.44). Se dispone de una máquina que forma el canal en longitudes continuas, iguales a los canalones caseros de aluminio (fig. 10.45). El canal drena en una tubería central de recogida de PVC, de 6 pulgadas de diámetro (15 cm) (fig. 10.46). En cada plancha se cultivan cinco plantas en agujeros alternos. Las plantas se guían en un sistema de cordón en «V», con una de cada dos plantas inclinándose en la misma dirección hacia el pasillo (fig. 10.47). Usando este método de entutorado y de cinco plantas por plancha, se puede reducir el coste de las planchas.

Bonita Nurseries, ubicada cerca de Wilcox, Arizona, tiene 40 acres (15 hectáreas) separadas en bloques de 10 acres (4 hectáreas) (fig. 10.48). Estos 40 acres albergan 420.000 plantas. Sus prácticas culturales y sus períodos de cultivo son algo diferentes de los de British Columbia y otras localidades del norte.



Fig. 10.44. Planchas con plantas de tomate colocadas en un canal de aluminio, de forma que la solución pueda ser reciclada. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).

El primer período de cultivo va de julio a marzo, comprando trasplantes de 3 semanas. La producción tiene lugar de octubre a marzo. El segundo cultivo se intercala a mediados de diciembre y continúa hasta julio. El cultivo intercalado se hace en las mismas planchas del primer cultivo (fig. 10.49). Las planchas soportan 12 plantas cada una cuando ambos cultivos están presentes – un conjunto de 6 plantas viejas en un lado y otro de 6 plantas jóvenes en el otro lado de los alambres de soporte (fig. 10.50). Existen 4 alambres de soporte. Las plantas son guiadas en forma de cordón en V. Cuando se forman las primeras flores en el cultivo intercalado, el cultivo viejo se poda (se elimina la punta de crecimiento). Después de podar el cultivo viejo, se quitan las hojas en la base de la planta por encima del fruto en maduración para que las plantas jóvenes tengan luz. La variedad usada es Trust.

El segundo cultivo (cultivo intercalado) se poda aproximadamente desde la tercera a la cuarta semana de mayo, de forma que la producción continuará hasta finales de junio. Los invernaderos no tienen producción desde julio hasta finales de septiembre, cuando está madurando la nueva cosecha. El mercado es muy flojo durante ese período, pues hay mucha producción procedente de los invernaderos del norte en ese momento.

Este cultivo intercalado solamente es posible en áreas de luminosidad muy alta, como Arizona y Nuevo México. No se hace en los grandes invernaderos situados en Colorado, Nevada o California.

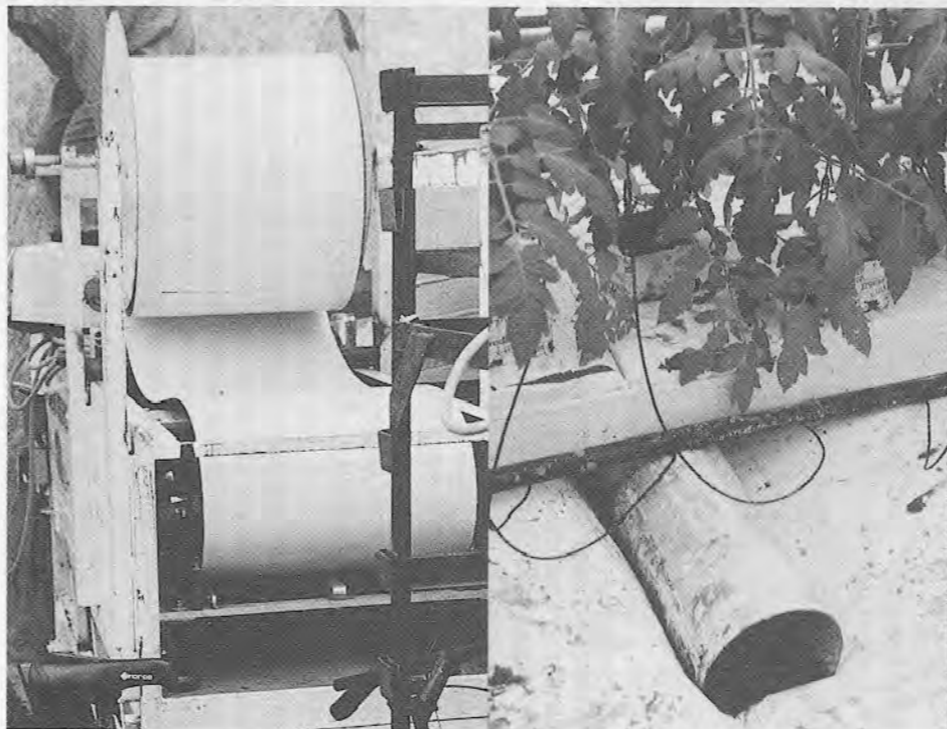


Fig. 10.45. Máquina que forma un canal continuo de aluminio. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).



Fig. 10.46. Una tubería central recoge la solución de los canales. (Cortesía de Houweling, Nurseries Ltd, Delta, B. C., Canadá).



Fig. 10.47. Entutorado en cordón en «V» de plantas de tomate. Obsérvese que se usan líneas individuales de planchas para formar líneas dobles de plantas. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).



Fig. 10.48. Bonita Nurseries, Wilcox, Arizona, superficie de 40 acres.



Fig. 10.49. Cultivo intercalado de tomates.



Fig. 10.50. Soporte del cultivo intercalado de tomates.

Los racimos se podan para que tengan sólo 4 frutos por racimo. En 1997, su producción fue de 60 a 62 kg/m². Con una densidad de 105.000 plantas por unidad de 10 acres de invernadero, esto es equivalente a 30 libras/planta por cosecha (dos cosechas/año).

Como la humedad relativa es muy baja en esta región de Arizona, no hay que ventilar los invernaderos demasiado rápidamente, lo que tendría por resultado una súbita bajada de la humedad relativa que perjudicaría a las plantas. Por esta razón, durante los meses de verano, desde abril a septiembre, los invernaderos de cristal se protegen contra el sol con cal, en vez de poner cortinas de sombra. Esta protección contra el sol se quita a finales de septiembre, cuando se ponen de nuevo las cortinas de sombra. La cal se aplica con una máquina especial que desprende chorros de agua mientras se mueve por los canales (fig. 10.51). También lava los techos del invernadero.

La razón por la que se dejan brotes chupones en las plantas es para conservar la humedad relativa en el invernadero. Wilcox Greenhouses, una instalación cercana de

7,5 acres (3 hectáreas) deja 2 hojas en los brotes chupones antes de cortar las puntas del cultivo. A algunas plantas les podan todos los chupones de esta forma, a otras les

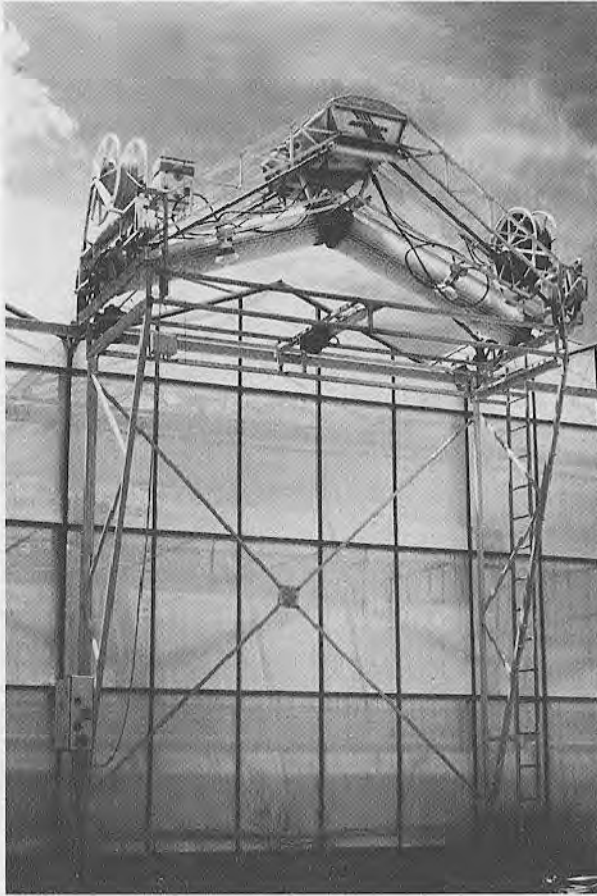


Fig. 10.51. Máquina para encalar y lavar los techos de los invernaderos.

dejan 2 a 3 chupones por planta guiados a dos hojas. El número que se deja de chupones depende de las características de crecimiento de la planta, estación y humedad relativa. Los brotes chupones retienen la humedad relativa en la cubierta del cultivo. La humedad relativa puede ser 75-80% dentro, mientras que solamente es el 8% fuera de los invernaderos. Se subraya que hay que tener sumo cuidado con la ventilación para evitar que se sequen las plantas. Cuando la planta desarrolla 3 hojas por semana, se quitan 3 hojas por planta y por semana. Durante el verano se dejan más hojas en la planta, y durante el invierno se quitan más hojas.

Tanto Bonita Nurseries como Wilcox Greenhouses utilizan un sistema hidropónico recirculante. Las planchas de lana de roca se colocan dentro de un canal semirrígido de

plástico que es más ancho que las planchas para proporcionar un buen drenaje. Las planchas se ponen encima de styrofoam de 1 pulgada de grosor, que produce aislamiento del suelo frío y eleva las planchas por encima del drenaje. La solución de retorno es esterilizada con radiación ultravioleta (UV).

Los invernaderos son de cristal y están fabricados en Holanda. Tienen 200 metros (unos 600 pies) de longitud (300 pies a cada lado del pasillo central) (fig. 10.52). La altura de los canales es de 4,5 metros, o sea unos 14 pies. Los invernaderos utilizan ventilación natural con respiraderos en cresta solamente (fig. 10.53). No se han utilizado respiraderos laterales, sistemas de refrigeración ni ventiladores de escape. Los altos canales ayudan a mantener el aire caliente por encima del cultivo y facilitan también el movimiento del aire por convección.

10.10. Pimientos en lana de roca

Los pimientos se propagan igual que los tomates. La semilla se siembra en cubos de lana de roca y las plántulas se trasplantan a bloques de lana de roca. Los pimientos requieren una temperatura de germinación más elevada que los tomates, variando generalmente entre 21° y 28°C (70° y 82°F). Como las temperaturas más altas son más costosas de conseguir, una temperatura adecuada para la mayoría de las condiciones es aproximadamente 24°C (75°F). La emergencia tiene lugar en 7 a 10 días.

El trasplante a los bloques de lana de roca se puede hacer después de 3 semanas (fig. 10.54), para arraigar en los bloques en 1 a 2 semanas (fig. 10.55). Las temperaturas de propagación pueden variar entre 18° y 23°C (65° y 73°F), llegando las temperatu-

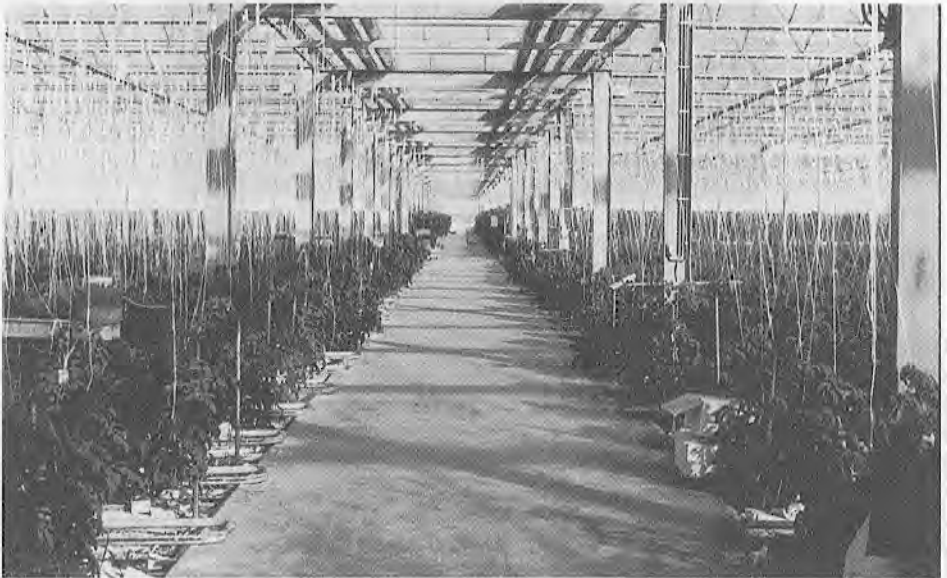


Fig. 10.52. Pasillo central del invernadero.

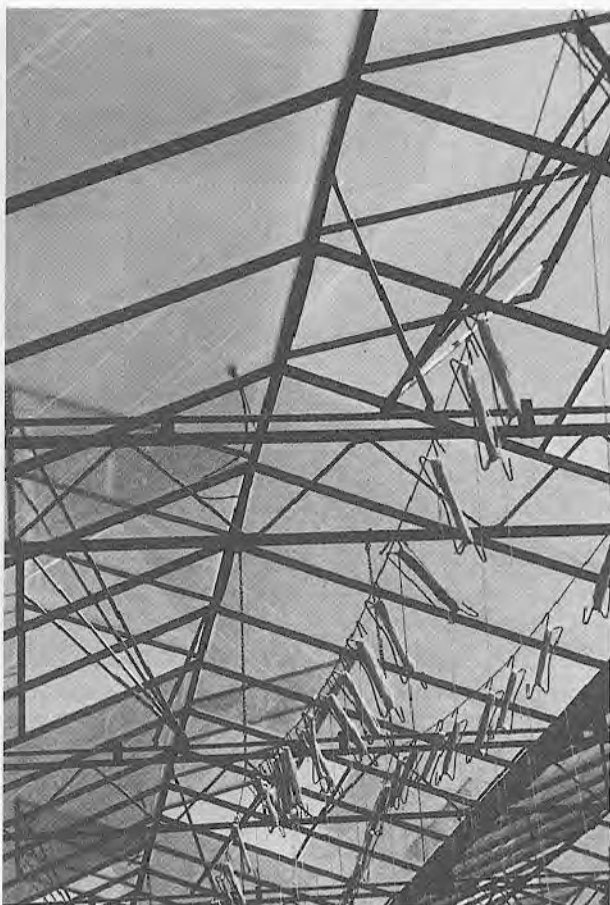


Fig. 10.53. Los respiraderos en cresta proporcionan una ventilación natural.
(Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).

ras diurnas hasta 25° C (77°F), según las condiciones de luz solar. Los pimientos son muy dependientes de la temperatura, requiriendo un régimen de temperaturas altas para producir un crecimiento vigoroso capaz de soportar una producción de gran peso. Como las temperaturas de las raíces son muy importantes, es mejor propagar las plantas en bancos de tablillas para proporcionar un buen movimiento del aire, especialmente en climas más septentrionales, donde las temperaturas ambientales son bajas durante la estación de propagación. Es ideal la calefacción por tuberías de agua caliente, por debajo de los bancos, permitiendo que el calor ascienda a través de las plantas.

La densidad de las plantas para la producción en invernadero se sitúa entre 8.000 y 10.000 plantas por acre (20.000 a 25.000 plantas por hectárea), que es igual que para los tomates. Se colocan tres plantas por plancha, con las planchas separadas dentro de las líneas, con una separación de 50 cm (19 pulgadas) para 8.000 plantas por acre, o de 36 cm (14 pulgadas) para 10.000 plantas por acre. Las líneas de planchas tienen una separa-

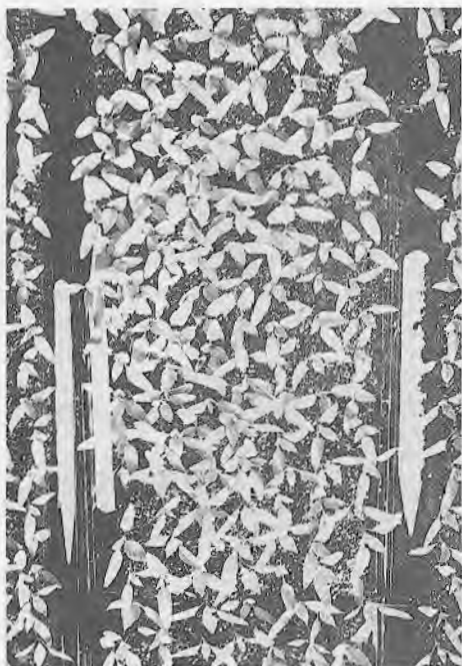


Fig. 10.54. Los pimientos se siembran en cubos de lana de roca y las plántulas se trasplantan a bloques de lana de roca después de 3 semanas. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

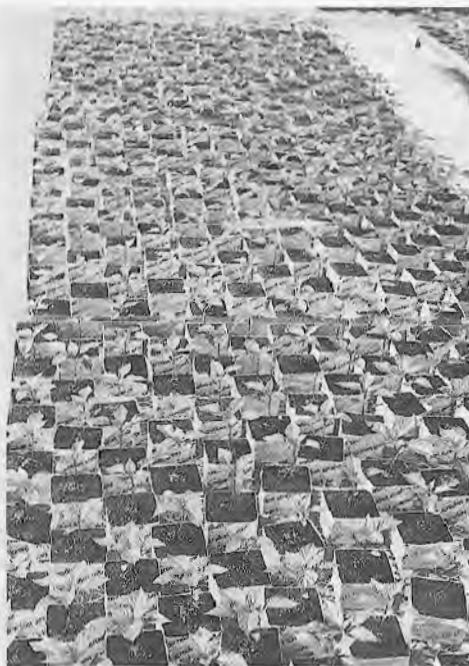


Fig. 10.55. Los pimientos trasplantados a bloques de lana de roca arraigan en varias semanas. Estas plantas tienen unas 5 semanas desde la siembra. (Cortesía de Environmental Farms, Dundee, Florida).

ción de 40-46 cm (16-18 pulgadas). Una vez que las plantas han enraizado bien en las planchas, y que el crecimiento de los brotes ha alcanzado 40 cm (16 pulgadas), se debe reducir el régimen de temperaturas a 18°-19°C (65°F) por la noche y 22°-23°C (72°F) por el día. Una cosecha vigorosa tolerará temperaturas diurnas de 30°C (86°F) con plena luz solar, pero las temperaturas de 35°C (95°F) o superiores son perjudiciales.

En la Columbia Británica, los agricultores siembran los pimientos el primero de octubre y los trasplantan a las planchas de lana de roca a primeros de diciembre, teniendo lugar la primera recogida a primeros de marzo (figs. 10.56 y 10.57). La recogida continúa hasta mediados de noviembre.

Se cultivan varias variedades de diversos colores (rojo, amarillo, naranja y púrpura). Houweling Nurseries Ltd. logra unos rendimientos anuales de 21 kg por metro cuadrado (4,3 libras por pie cuadrado), o unas 190.000 libras por acre.

Los pimientos se guían de forma que haya dos tallos por planta en una disposición de cordón en «V», soportado por cuerdas atadas a los alambres de la parte superior (figs. 10.58 y 10.59). Houweling Nurseries utiliza cuatro alambres a una altura de 10 pies (3 metros). Las plantas se cuidan mediante el uso de carros que se mueven sobre las tuberías de calefacción, como se ha descrito antes.



Fig. 10.56. Los cultivadores de pimiento de Columbia Británica empiezan la recogida a primeros de marzo. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).



Fig. 10.57. Pimientos en lana de roca en la primera recogida. Obsérvese el entutorado de la planta en dos tallos. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá)



Fig. 10.58. Los pimientos son guiados como dos tallos con un método de cordón en «V». (Cortesía de Gipaanda Greenhouses Ltd., Surrey, B. C., Canadá).

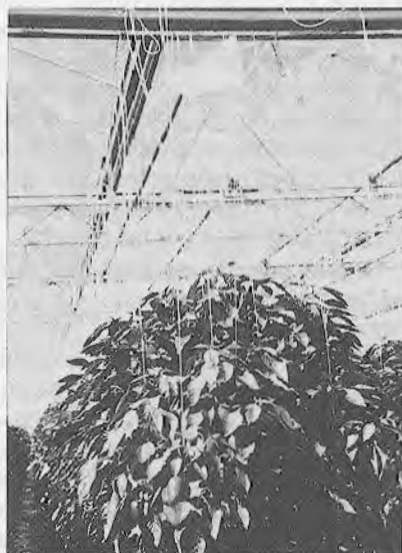


Fig. 10.59. Los pimientos son soportados por un cordel de plástico atado a cuatro alambres (dos soportan cada fila de plantas), colocados a unos 10 pies de altura. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).

Esta compañía envía toda su producción a Western Greenhouses Cooperative Association, que clasifica, envasa y comercializa el producto.

Después de cada cosecha no se esterilizan las planchas de lana de roca. En su lugar, la compañía las cambia para su uso en cosechas diferentes. Cada año se utilizan nuevas planchas en tomate. Las viejas planchas de las anteriores cosechas de tomate se usan para los pimientos, o bien las viejas planchas de los pepinos se usan para pimientos. De esta forma, se consiguen tres cosechas con las planchas durante tres años. En este período de tiempo, pueden existir algunos fallos estructurales en las planchas; por ejemplo, algunas de las planchas que han estado comprimidas se parten en dos.

10.11. Sistemas de recirculación en lana de roca

Con la creciente presión de la opinión pública sobre el medio ambiente y el agua como recurso natural, ha llegado a ser importante conservar el agua y minimizar cualquier evacuación de solución enriquecida con fertilizantes. En países como Holanda, con una alta densidad de población y una gran industria en invernaderos, que utiliza grandes cantidades de agua, es obligatoria la recirculación de las soluciones nutritivas en los sistemas hidropónicos. Una de las primeras formas de recirculación del cultivo en lana de roca es el uso de canales semirrígidos de plástico, en los que están contenidas las planchas de lana de roca. Existe un cierto número de fabricantes de estos canales. Algunos se pueden usar como sistemas NFT, así como con lana de roca. Estos canales vienen en rollos que cuando se despliegan forman un canal fijando los lados verticales con unas abrazaderas especiales. Los extremos se doblan y se grapan. Se ajusta un adaptador especial de la tubería de drenaje al extremo de retorno del canal. Los tubos de PVC devuelven la solución a la cisterna de nutrientes. Cada planta se riega con un sistema por goteo, como ya se ha descrito antes. La única diferencia es que la fuente de los nutrientes es un tanque de solución nutritiva de concentración regular, en vez de un inyector. Si las planchas no están cubiertas, habrá que empaparlas antes de cubrirlas con polietileno blanco. Es importante que el canal tenga aproximadamente 1/2 pulgada (1-2 cm) más de ancho que las planchas, para permitir que el agua de drenaje pase por las planchas.

Otro sistema de recirculación en cultivos de lana de roca (Ryall, 1993) utiliza un canal prefabricado más ancho que la plancha de lana de roca. Se coloca una plancha de styrofoam de 1-1,5 pulgadas (2,5-4 cm) de grueso bajo las planchas de lana de roca, para elevarlas por encima del agua de drenaje. Este método de recirculación del cultivo en lana de roca se utiliza especialmente en regiones áridas como Arizona. La mayoría de los invernaderos que utilizan este sistema de recirculación colocan styrofoam de 4 pulgadas de grosor entre la base del canal semirrígido y la plancha de lana de roca (fig. 10.60).

Esto elimina la necesidad de perfilar con exactitud el suelo situado por debajo, pues se forma un canal de drenaje próximo a las planchas (fig. 10.61). El styrofoam también aísla a las planchas de lana de roca de las fluctuaciones de temperatura. El polietileno negro forra el canal y cubre el styrofoam. Si se usa un canal prefabricado de plástico, solamente el styrofoam necesita ser envuelto con polietileno negro para protegerlo de la humedad. La parte superior de las planchas y el canal se cubren con polietileno blanco sobre negro. Una pendiente de 1/4 a 1/2 pulgadas (1-2 cm) es adecuada para el drenaje. Uno o dos agujeros en la envoltura de las plancha proporcionarán un



Fig. 10.60. Colocación de styrofoam en un canal recirculante situado bajo las planchas. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).

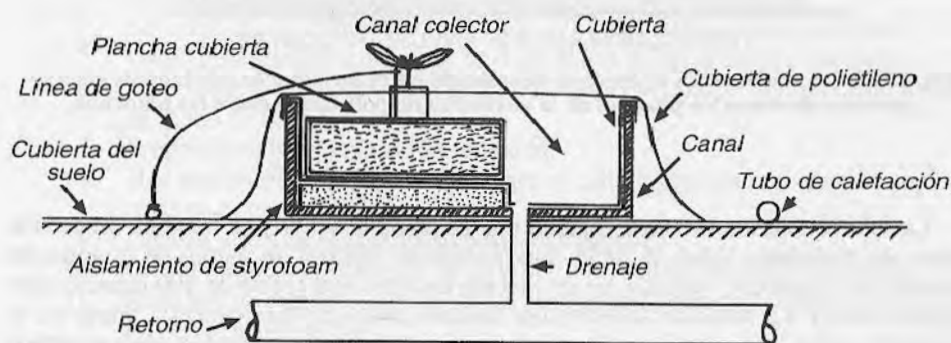


Fig. 10.61. Sistema propuesto de recirculación de un cultivo en lana de roca.

buen drenaje. El exceso de líquido de las planchas se drena verticalmente desde la base de las planchas hasta el canal de drenaje lateral. Esto permite una buena aireación de las planchas. La solución se recircula desde el canal de drenaje al tanque de nutrientes, a través de una tubería de drenaje de PVC, de 1 1/2 pulgadas, conectada a una tubería de recogida bajo el suelo de 4 pulgadas de diámetro. La solución se aporta a cada planta individualmente por medio de un sistema de riego por goteo.

Como Ryall predijo en 1993, los sistemas de lana de roca utilizan ahora una única línea de planchas, con 5 a 6 plantas por plancha, guiadas en forma de cordón en «V». Es una práctica corriente utilizar tres bloques dobles de lana de roca (una planta/bloque) en cada plancha, lo que hace un total de 6 plantas por plancha. Esto reduce enormemente los costes de las planchas de lana de roca, así como los costes de manejo durante la esterilización. Se puede colocar una envoltura de polietileno, de 2 milésimas de pulgada de grueso, alrededor de cada dos planchas, de forma que no pueda tener lugar la formación de mechas entre las planchas. Alternativamente, se puede solapar el polietileno blanco sobre negro en la parte superior de las planchas y sujetarlo con una cinta de empaquetar. Se levantan los pliegues entre las planchas para prevenir la formación de mechas de la solución (fig. 10.62). Aunque el volumen del medio de cultivo por planta se reduce, los anteriores métodos utilizados con sistema NFT, como se ha visto en el capítulo 6, indican que las raíces no requieren una plancha completa. Además, se pueden aplicar dos veces más goteros en cada plancha, aumentando la uniformidad de la humedad.

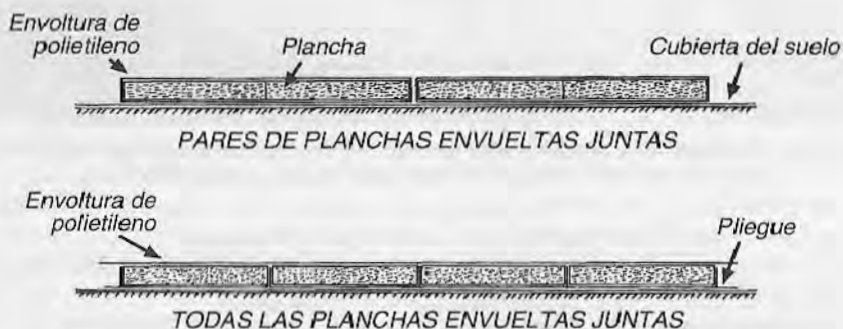


Fig. 10.62. La formación de mechas de solución entre las planchas de lana de roca se previene elevando los pliegues de la envoltura de polietileno entre las planchas.

La solución de retorno se recoge en una pequeña cisterna y se bombea después al tanque de nutrientes sobre el suelo. Las partículas grandes se quitan de la solución mediante un separador, seguido de un sistema de filtración (filtro de 100 espacios por pulgada lineal). La solución se esteriliza después, antes de que vuelva a entrar en el sistema de riego. La esterilización se puede hacer por varios métodos: tratamiento al calor, ozonización y radiación ultravioleta. Todos los sistemas de filtración, esterilización y bombeo se deben duplicar en caso de que haya fallos.

El volumen del tanque de nutrientes tiene que ser adecuado para un suministro a las plantas de al menos un día (aproximadamente 1 litro/pie cuadrado/día). El sistema de riego consistiría en un sistema inyector que funciona por un ordenador que controla el pH y la EC, la bomba, los filtros de arena y los emisores en las plantas. Un problema con los emisores es su obturación durante la estación de cultivo. Será de ayuda situar los emisores sobre los tubos laterales de polietileno, en lugar de en los extremos de las líneas de goteo. Alternativamente, se podrán usar microtubos sin emisores, como los utilizados en las macetas de plantas de interior. Algunos cultivadores limpian los emi-

sores obturados introduciendo aire a presión en ellos, eliminando los precipitados que haya dentro. Esto lleva su tiempo y las plantas pueden sufrir un estrés durante el período que transcurre hasta descubrir los emisores obstruidos.

Los análisis de nutrientes de las soluciones de alimentación y de drenaje proporcionan datos sobre los cuales se pueden basar los ajustes de la solución. Esto se puede hacer semanalmente. La solución de retorno tiene que ser diluida con agua para compensar la pérdida en volumen por la absorción de las plantas. Esto disminuye el nivel de EC y cambia el pH. El ordenador de control de pH y de EC añade soluciones stock y de ácido para llevar estos factores a un nivel programado. Sin embargo, como se vio en el capítulo 3, la conductividad eléctrica mide las sales totales disueltas, no los niveles de los iones individuales.

Es obligatorio el análisis de la solución nutritiva para posibilitar que los cultivadores introduzcan cambios en la composición de la solución nutritiva, con el fin de mantenerla dentro de los niveles óptimos.

10.12. Ventajas e inconvenientes del cultivo en lana de roca

Ventajas

1. Al ser un sistema abierto hay menos posibilidades de que se difundan las enfermedades por todo el cultivo.
2. Aplicación uniforme de nutrientes a las plantas; cada planta se alimenta individualmente.
3. Al ser la lana de roca ligera de peso, se puede manipular fácilmente.
4. Es fácil proporcionar calor de fondo.
5. Se esteriliza fácilmente con vapor si el agricultor desea utilizarlo varias veces. Estructuralmente no se deshace hasta pasados tres o cuatro años.
6. Es posible la implantación rápida del siguiente cultivo con un coste mínimo de mano de obra.
7. Proporciona buena aireación radicular.
8. Hay menos riesgo de que se malogre el cultivo por rotura mecánica en el sistema que con el NFT.
9. Escasas crisis en el crecimiento tras el trasplante.
10. Con el empleo de bandejas de alvéolos, la siembra se puede mecanizar.
11. Requiere un menor coste de capital para equipos e instalaciones que la mayoría de los sistemas NFT.

Inconvenientes

1. La lana de roca es relativamente cara en los países donde no se fabrica.
2. Se pueden producir acumulaciones de carbonatos y sodio en las planchas en regiones con alto contenido en sal en el agua de riego. En esas zonas será necesario un purificador de agua de ósmosis reversible.

En general, el cultivo en lana de roca ofrece muchos factores positivos en su uso rápidamente aceptado no sólo en el desarrollo de cultivos entutorados, sino también de flor cortada como rosas y plantas de interior. También se pueden utilizar como medio de propagación para hortalizas tales como lechugas, espinacas y otros cultivos de porte bajo.

Referencias

- BILL, JAAP.: Growing commercial vegetables in rockwool. *Proc. 11th Ann. Conf. on Hydroponics*, Hydroponic Society of America, Vancouver, B.C. Marzo 30 – Abril 1, 1990, pp. 18-24. 1990.
- HOCHMUTH, GEORGE J.: Production and economics of rockwool tomatoes in Florida. *Proc. 13th Ann. Conf. on Hydroponics*, Hydroponic Society of America, Orlando, Florida, Abril 9-12, 1992, pp. 40-46. 1992.
- MARLOW, D.H.: *Greenhouse crops in North America: A practical guide to stonewool culture*. Grodania A/S, Milton, Ont., Canadá, 121 p. 1993.
- RYALL, DAVID: Growing greenhouse vegetables in a recirculating rockwool system. *Proc. 14th Conf. on Hydroponics*, Hydroponic Society of America, Portland, Oregon, Abril 8-11, 1993, pp. 33-39. 1993.
- SMITH, DENNIS L.: *Peppers & Aubergines. Grower Guide No. 3*. 92 pp. London: Grower Books.
- . *1987. Rokwool in Horticulture*. 153 pp. London: Grower Books. 1986.

11

Otros cultivos sin suelo

11.1. Introducción

Otros muchos cultivos sin suelo han sido utilizados con muy buenos resultados. Algunos de los medios utilizados han sido la turba, vermiculita, perlita, pumita y espuma plástica (styrofoam). A veces se utilizan sus mezclas en varias proporciones, siendo las pruebas con éstas las que determinarán las cantidades más convenientes a mezclar según las diversas plantas. Por ejemplo, plantas de flor en maceta, como crisantemos, poinsetias y lilas, así como las plantas subtropicales con hojas decorativas, crecen bien con una mezcla de turba-arena-pumita en proporción 2:1:2.

11.2. El medio de cultivo

11.2.1. Turba

La turba consiste en vegetación acuática, pantanosa o de ciénaga parcialmente descompuesta. La composición de los diferentes depósitos de turba varía ampliamente, dependiendo de la vegetación original, estado de descomposición, contenido mineral y grado de acidificación (Lucas y otros, 1971; Patek, 1965).

De los tres tipos de turba; turba de musgo, de cañaveral y de humus, la primera es la menos descompuesta, y proviene de *Sphagnum*, *Eriophorum* y otros musgos, teniendo una alta capacidad de retención de humedad (diez veces su peso en seco), con acidez elevada (pH de 3,8 a 4,5) y conteniendo una pequeña cantidad de N (cerca de un 1 por 100), aunque con poco o nada de fósforo y potasio. La turba que proviene de otras clases de musgos se deshace con facilidad, comparada con la originada por el *Sphagnum*, siendo, pues, ésta preferible. Las turbas de cañaveral y otras plantas acuáticas también se descomponen rápidamente.

La turba de *Sphagnum* está formada por la deshidratación de residuos recientes o incluso partes vivas de plantas ácidas de pantanos del género *Sphagnum*, tales como

S. papillosum, *S. capillacium* y *S. palustre*. Es relativamente estéril, ligera en peso y tiene una elevada capacidad de retención de agua, siendo generalmente picada antes de utilizarla como medio de cultivo.

11.2.2. Vermiculita

Es un mineral con la estructura de la mica, y se prepara expandido por calor en hornos a temperaturas cercanas a los 2.000 °F (1.093°C). El agua se convierte en vapor, separándose los estratos y formando trozos pequeños y porosos como esponjas, con la forma de una semilla. El calentamiento a tales temperaturas da lugar a una esterilización perfecta. Químicamente, la mica es un silicato hidratado de aluminio, magnesio y hierro. Al expandirse toma un peso muy ligero [6 a 10 libras por pie cúbico (96 a 160 kilos por metro cúbico)] con reacción neutra y buenas propiedades tampón, siendo insoluble en agua, si bien es capaz de absorber grandes cantidades de ésta (3 a 4 galones por pie cúbico [0,4 a 0,5 milímetros por centímetro cúbico]). Tiene una capacidad de intercambio de cationes relativamente alta y, por tanto, puede retener nutrientes en reserva e irlos cediendo posteriormente. Sus contenidos en magnesio y potasio, aunque bajos, son fácilmente disponibles por las plantas.

La vermiculita para horticultura se clasifica en cuatro tamaños: n.º 1, con partículas de 5 a 8 mm de diámetro; n.º 2, el tamaño más regular, de 2 a 3 mm; n.º 3, de 1 a 2 mm, y n.º 4, el más útil como medio de germinación, de 0,75 a 1 mm. La vermiculita expandida no debe someterse a presiones ni compactarse cuando está húmeda, puesto que se destruiría su estructura porosa.

11.2.3. Perlita

La perlita es un material silíceo de origen volcánico extraído de los ríos de lava. El mineral recién sacado se muele y cierne, calentándose a continuación en hornos a unos 1.400° F (760°C), temperatura a la cual se evapora el poco de agua contenida en las partículas, expandiéndose éstas a otras más pequeñas con aspecto de semillas esponjosas muy ligeras, con peso de 5 a 8 libras por pie cúbico (80 a 128 kilos por metro cúbico). Las altas temperaturas del proceso nos dan un material estéril. En las aplicaciones hortícolas el tamaño de partículas más utilizado es el de 1/16 a 1/18 de pulgada (1,6 a 3,1 milímetros). La perlita absorbe de tres a cuatro veces su peso en agua, siendo esencialmente neutra con un pH de 6,0 a 8,0, aunque sin capacidad tampón; a diferencia de la vermiculita, no tiene capacidad de intercambio iónico y no contiene nutrientes minerales. Es más útil para incrementar la aireación de las mezclas, ya que tiene una estructura muy rígida que, mientras dura, da lugar a que el tamaño de las partículas vaya disminuyendo conforme éstas se parten con el uso. El tamaño más fino es útil como medio de terminación, mientras que las partículas mayores u hortícolas son las más apropiadas para mezclarlas con turba a partes iguales para bancadas de enraizamiento o a partes iguales con arena y turba para cultivo.

11.2.4. Pumita

La pumita, al igual que la perlita, es un material silíceo de origen volcánico, pudiendo utilizarse después de molido y cernido sin necesidad de calentarse. Esencialmente, tiene las mismas propiedades de la perlita, aunque es más pesado y no absorbe tanta agua, puesto que no ha sido deshidratado. Se utiliza en mezclas de turba y arena para el cultivo de plantas en maceta.

11.2.5. Mezclas para cultivos sin suelo

La mayoría de las mezclas contienen alguna combinación de arena, turba, perlita, pumita y vermiculita. Las proporciones de utilización de cada una dependen del desarrollo de las plantas; algunas de las más útiles son:

1. Turba: perlita: arena	2:2:1 para plantas en maceta
2. Turba: perlita	1:1 para multiplicación de esquejes
3. Turba: arena	1:1 para multiplicación de esquejes y plantas en maceta
4. Turba: arena	1:3 para plantas en bancada y cultivos en contenedores en vivero
5. Turba: vermiculita	1:1 para propagación de esquejes
6. Turba: arena	3:1 peso ligero, excelente aireación, para macetas y cultivo en bancadas, propia para azaleas, gardenias y camelias que piden medio ácido
7. Vermiculita: perlita	1:1 ligera, buena para propagación de esquejes
8. Turba: pumita: arena	2:2:1 para plantas en maceta

En general, la pumita puede sustituir a la perlita en la mayoría de las mezclas. Las mezclas más utilizadas son las UC de turba y arena fina y las «Cornell Peat-Lite». Las mezclas UC provienen de la California Agricultural Experiment Station, de Berkeley. Las UC varían desde solamente arena fina hasta sólo turba, aunque las más frecuentemente utilizadas contienen de un 25 a un 75 por 100 de arena fina, y de un 75 a un 25 por 100 de turba. Estas mezclas suelen utilizarse para plantas en maceta y cultivos en contenedores en vivero.

Las mezclas Peat-Lite las desarrollaron en la Universidad de Cornell, New York; con partes iguales de turba y vermiculita, habiéndose utilizado principalmente para germinación de semillas, trasplantes y cultivo en contenedores de plantas sembradas en primavera y anuales; algunos agricultores las han utilizado para el cultivo de tomates en bancadas en lugar de serrín.

Todos los minerales precisos deben añadirse a estas mezclas, algunos de ellos en el momento de efectuarlas. Las mezclas Peat-Lite son considerablemente más ligeras que las UC, puesto que la perlita y vermiculita son una décima parte menos pesadas que la arena fina. Las mezclas Peat-Lite están hechas con partes iguales de turba de *Sphagnum* y perlita hortícola o vermiculita n.º 2.

Mezcla UC. Los fertilizantes básicos que se recomiendan añadir para una mezcla UC de 50 por 100 de arena fina y 50 por 100 de turba son los siguientes (Matkin y Chandler, 1957).

Para cada yarda cúbica (0,7645 metros cúbicos) de la mezcla se añadirá:

- 2 1/2 libras (1,136 kg) de cuernos y cascos molidos (13 por 100 de nitrógeno),
- 4 onzas (113,4 g) de nitrato potásico,
- 4 onzas (113,4 g) de sulfato potásico,
- 2 1/2 libras (1,136 kg) de superfosfato simple,
- 7 1/2 libras (3,41 kg) de dolomita cálcica,
- 2 1/2 libras (1,136 kg) de carbonato cálcico.

La arena fina, turba y fertilizantes deberán mezclarse a la vez con cuidado, humedeciendo la turba antes de mezclarla. Conforme crecen los cultivos se les deberán dar nuevos aportes de nitrógeno y potasio.

Mezclas Peat-Lite de Cornell. A continuación se dan las instrucciones para tres mezclas Peat-Lite (Boodley y Sheldrake, 1964; Sheldrake y Boodley, 1965):

1. Mezcla de A de Peat-Lite [para 1 yarda cúbica (0,7645 metros cúbicos)]:

11 bu (88 galones USA) (333 litros) turba de *Sphagnum*,

11 bu (88 galones USA) (333 litros) vermiculita hortícola n.º 2,

5 libras (2,27 kg) de piedra caliza,

1 libra (0,4545 kg) de superfosfato (20 por 100),

2 a 12 libras (0,909 a 5,4545 kg) de un abono 5-10-5.

2. Mezcla B de Peat-Lite:

Igual que la A, con excepción de que la perlita hortícola se sustituye por vermiculita.

3. Mezcla de C de Peat-Lite 4 para semilleros:

1 bu (8 galones USA) (30,3 litros) turba de *Sphagnum*,

1 bu (8 galones USA) (30,3 litros) vermiculita hortícola n.º 4,

1 1/2 onzas (42,5 g) nitrato amónico,

1 1/2 onzas (42,5 g) superfosfato (20 por 100),

7 1/2 onzas (212,6 g) dolomita cálcica.

Los materiales deberán mezclarse con cuidado, prestando especial atención al humedecimiento de la turba durante la mezcla. El añadir un agente humectante no iónico, como el Aqua-Gro [1 onza por cada 6 galones USA (28,35 gramos por 22,7 litros) de agua], al comienzo de la mezcla, ayudará a un humedecimiento uniforme de la turba.

*Fertilizante para la mezcla de turba de *Sphagnum* y vermiculita.* La Vineland Research Station de Ontario, Canadá (Sangster, 1974), utiliza una ligera modificación en los ingredientes para fertilizar a una mezcla de volúmenes iguales de turba de *Sphagnum* y vermiculita (50:50, turba:vermiculita) para una yarda cúbica (0,7645 metros cúbicos):

1 3/4 6 - pies cúbicos (0,17 metros cúbicos)

de bala prensada.....

2 6 - pies cúbicos (0,17 metros cúbicos)

12 libras (5,45 kg).....

5 libras (2,273 kg).....

1,5 libras (0,682 kg).....

2,5 libras (1,136 kg).....

8-10 libras (3,64-4,54 kg)

6 onzas (170 g).....

1 onza (28,35 g)

0,5 libras (227 g).....

Turba de *Sphagnum*

Vermiculita hortícola (n.º 2)

Dolomita cálcica

Sulfato cálcico (yeso)

Nitrato cálcico

Superfosfato (20 por 100)

Osmocote 18-6-12 (9 meses)

Elementos traza de fibra de vidrio (FTE)

Hierro (Quelato, como NaFe, 138 ó 330)

Sulfato de magnesio

El Osmocote 18-6-12 suministra una fuente continua de nitrógeno, fósforo y potasio durante el período de cultivo. El FTE 503 aporta lentamente hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno.

La mezcla de los ingredientes con la turba puede efectuarse de diversas maneras. Se pueden mezclar pequeños volúmenes con una pala en un suelo de hormigón, en cuyo caso se deberá desinfectar primero el suelo con una mezcla de cinco partes de agua y una de Javex (5,25 por 100 de hipoclorito sódico). Para la mezcla se echarán los fertilizantes sobre el medio y se revolverá éste de un montón a otro varias veces con una pala. Un cubo grande de basura es también útil para la mezcla, introduciendo ésta en él, volcándolo en el suelo y volviendo a llenarlo varias veces.

Una mezcladora de hormigón será lo más indicado para grandes cantidades. A menudo, los horticultores a gran escala adquieren una unidad ya usada de un camión de transporte de cemento y, acoplándole un motor, una vez fijado, se obtiene una buena mezcladora, a la que desde diversas cintas transportadoras se le aportan los fertilizantes, apilando la mezcla final en la zona de invernaderos.

Si se utilizan bancadas forradas de plástico, la mezcla puede hacerse directamente en ellas, si bien ha de cuidarse de los utensilios a utilizar para no romper éste. En las empresas con gran superficie de invernaderos se recomienda el uso de hormigoneras para preparar la mezcla y luego con cinta transportadora la llevan de ésta directamente a las bancadas.

La turba seca suele ser difícil de humedecer; por tanto, se recomienda añadirle un mojante no iónico, del tipo del Aqua-Gro, a razón de 2 onzas (56,7 g) en 10 galones (37,85 litros) de agua para una yarda cúbica (0,7645 metros cúbicos) de mezcla. Los micronutrientes se disolverán en agua y ésta se esparce a continuación en la mezcla, o bien se añaden directamente a la mezcladora cuando se está preparando. Para 2 bushel (16 galones USA) (60,6 litros) de carga, los nutrientes pueden disolverse en un galón (3,785 litros) de agua caliente y añadirse al medio antes de la mezcla.

11.2.6. Espumas sintéticas (Plastoponia)

En diversas partes del mundo se está estudiando en los últimos años el desarrollo de un medio completamente sintético en el cual la turba se reemplace total o parcialmente por una espuma sintética compuesta por urea-formaldehído, poliuretano o poliestireno.

Esta espuma puede producirse con proporciones variables de células vacías. El espesor de las paredes de las células y el tamaño de los poros puede ser variable, y afectarán la densidad de la espuma y su capacidad de retención de agua. Son excelentes en la aireación de los suelos y pueden almacenar gran cantidad de agua por unidad de volumen. Por ejemplo, 1 libra (454 gramos) de espuma de urea-formaldehído puede tomar 12 galones (45 litros) de agua. Las espumas son muy ligeras y cuando se utilizan como medio para plantas en maceta deben mezclarse con partículas inertes muy densas, como la arena.

Diversas mezclas de arenas y espuma han sido probadas con éxito en el cultivo de orquídeas, claveles, bulbos, numerosas plantas de adorno y tomates (Cook, 1971) habiendo sido utilizadas también con buenos resultados en las cajoneras para la propagación de esquejes.

11.2.7. Fibra de coco

Un sustrato que se está haciendo cada vez más popular es la fibra de coco. Son cáscaras de coco trituradas con un molino de martillo hasta que tengan el tamaño de un grano de café. A los cocos no se le quitan las fibras, de forma que éstas aumentan su porosidad y proporcionan mejor aireación que la turba.

En los trópicos, los cocos se pueden comprar muy baratos y transportar en camiones en grandes cantidades. Sin embargo, ciertas compañías de América del Norte los comprimen hasta formar un ladrillo duro expandible. Añadiendo 5 quarters (5 litros) de agua a cada ladrillo de 20 onzas (567 gramos), éste se expandirá hasta aproximadamente 9 quarters (9 litros) en 15 minutos, consiguiéndose una textura esponjosa con un pH de 5-7-6,3. La mayor parte de la fibra de coco procede de Indonesia, pero en el futuro se podrían traer de América del Sur y México. La única precaución que hay que tener es comprobar su contenido en sal (cloruro sódico), especialmente si se compra fibra de coco en grandes cantidades de áreas costeras próximas al océano.

La fibra de coco se puede mezclar con perlita o vermiculita en proporciones similares a las discutidas antes para la turba en mezclas Peat-Lite.

11.3. Hierbas hidropónicas

La demanda de hierbas frescas está aumentando en el mercado. Muchas de ellas se envasan ahora en bolsas de plástico tipo cierre de cremallera para conservarlas frescas. Algunas de las hierbas culinarias más corriente son: anís, albahaca, perifollo, cebollino, cilantro, eneldo, hinojo, fenogreco, orégano, menta, perejil, romero, salvia, ajedrea, estragón y tomillo. Muchas se cultivan en el campo a gran escala; sin embargo, algunas son particularmente adecuadas para el cultivo hidropónico en invernadero. Estas incluyen: albahaca (italiana dulce, albahaca Thai, albahaca canela, albahaca limón, y albahaca púrpura/ópalo), perifollo, cebollino, eneldo baby, hinojo, orégano dulce, menta verde, salvia, ajedrea, estragón y tomillo.

Las hierbas se pueden cultivar en un cierto número de sustratos sin suelo, como arena, mezclas Peat-Lite, cáscaras de arroz, fibra de coco, perlita, espuma, lana de roca y NFT. Pero muchas son sensibles a los niveles de humedad en su zona de raíces. A la albahaca, por ejemplo, no le conviene mucha humedad en su corona, el estragón requiere condiciones relativamente secas y la menta prefiere una cantidad de agua similar al berro.

11.3.1. Cultivo de hierbas en una mezcla «Peat-Lite»

California Watercress, Inc., de Fillmore, California, cultivó un cierto número de hierbas en un medio de cultivo de turba, que contenía el 60 por 100 de turba, el 15 por 100 de arena, el 15 por cien de corteza de abeto y el 10 por cien de perlita. Para estabilizar el pH entre 6,0 y 6,5, se añadió dolomita cálcica. Al medio se incorporó un agente humectante y una formulación para 9 meses de un fertilizante de liberación lenta. En este medio de cultivo se cultivaron con éxito menta, cebollino, tomillo, albahaca y orégano.

Se construyó aproximadamente un acre (0,4 hectáreas) de invernadero para cultivar estas hierbas hidropónicamente todo el año, pero se puso énfasis en la producción de

invierno en los invernaderos. Las bancadas, de 8×155 pies ($2,4 \times 47$ m), se construyeron de bloques de cemento de $8 \times 8 \times 16$ pulgadas ($20 \times 20 \times 40,5$ cm) y paletas de 4×4 pies ($1,2 \times 1,2$ m) (fig. 11.1). Los laterales se formaron utilizando tableros de madera de 1×8 pulgadas ($2,5 \times 20$ cm) clavados a los bordes de las paletas. Esto proporcionó una profundidad de bancada de 5 pulgadas (13 cm). Las bancadas estaban forradas con tela metálica para gallinero y polietileno negro de 6 milésimas de pulgada (fig. 11.2). Esta tela metálica impedía que el polietileno negro se combara entre los espacios de las partes superiores de la paleta. Se hicieron pequeñas hendiduras en la base de la cubierta de polietileno en centros de 16-18 pulgadas (40-46 cm), para permitir el adecuado drenaje. Esta cubierta se grapó a lo largo de los bordes superiores, laterales y base de las bancadas (fig. 11.3). Para asegurar los laterales de las bancadas, se clavaron unas abrazaderas cada 20 pies (6 metros) a todo lo largo de la bancada, antes de poner el medio de cultivo (fig. 11.4). El medio se humedeció antes de colocarlo en las bancadas.

El sistema de riego estaba compuesto por un inyector central, tuberías principales de PVC de 2 pulgadas de diámetro y tuberías secundarias de PVC de 1 pulgada, que suministraban los nutrientes a través de mangueras de goteo «T-tape» con una separación de 12 pulgadas (30,5 cm) (figs. 11.5 y 11.6). Dos tuberías, una enfrente de las bancadas y la otra en el centro, estaban conectadas con las líneas de goteo, de forma que cada conjunto cubría sólo la mitad de las bancadas (unos 75 pies) (23 m) (fig. 11.6). La manguera de goteo fue previamente perforada cada 12 pulgadas (30,5 cm) en toda su longitud. El sistema de riego se ponía en funcionamiento mediante dos programadores horarios. Los ciclos de riego fueron generalmente de uno cada 2-3 días durante 1 a 1 1/2 horas, dependiendo del estado de desarrollo de la planta y de las condiciones climáticas. La duración de cada ciclo fue lo suficientemente larga como para producir el lavado suficiente para eliminar cualquier formación de sal.

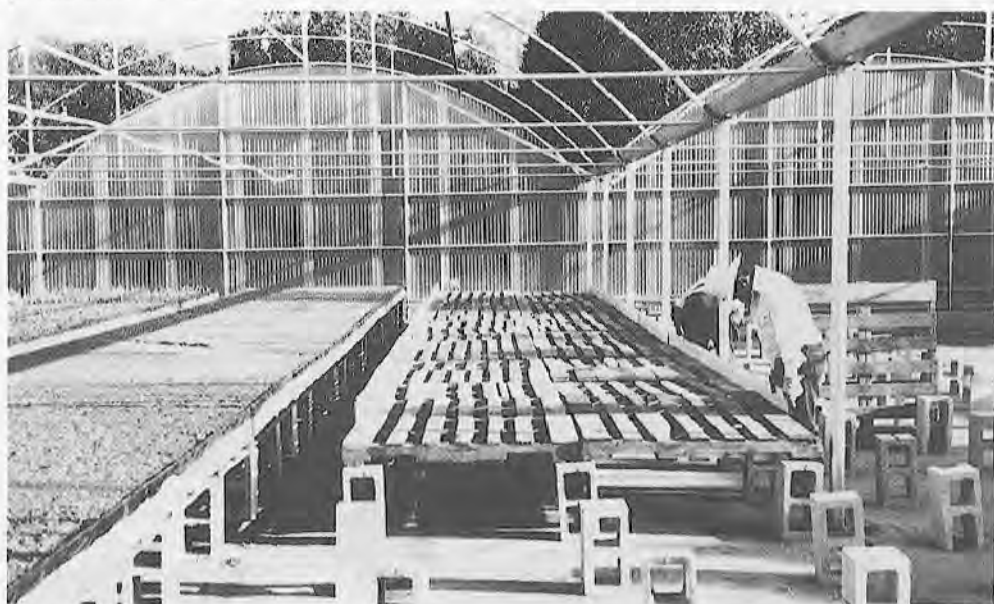


Fig. 11.1. Bancadas construidas con bloques de cementos y paletas. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

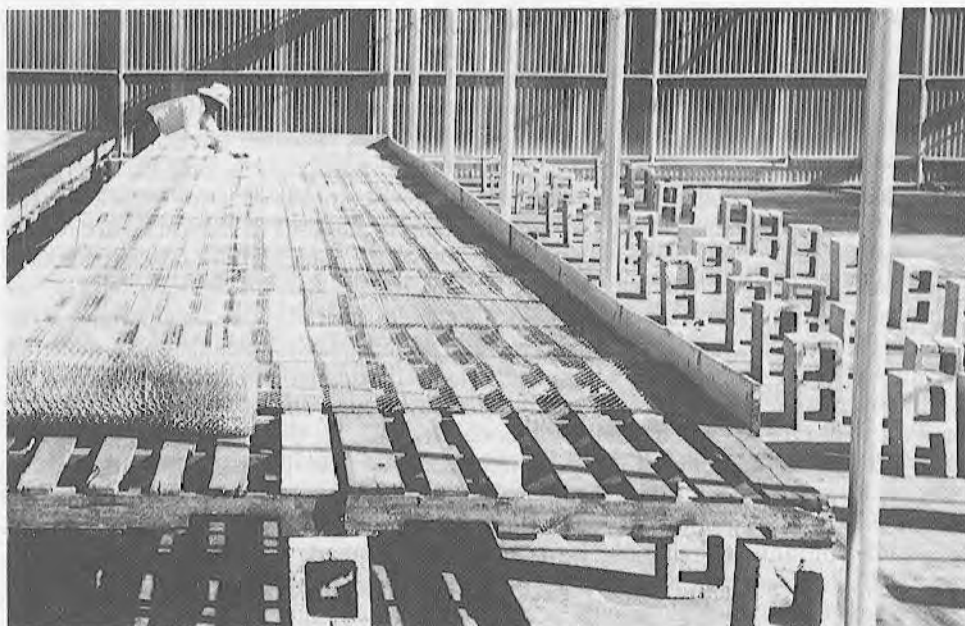


Fig. 11.2. Las bancadas se forran con tela metálica para gallinero, para sostener la cubierta de polietileno. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.3. La cubierta de polietileno negro se grapa a la bancada. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.4. Colocación de un medio de cultivo «Peat-Lite» en la bancada finalizada. Obsérvense las bancadas en construcción a la izquierda. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

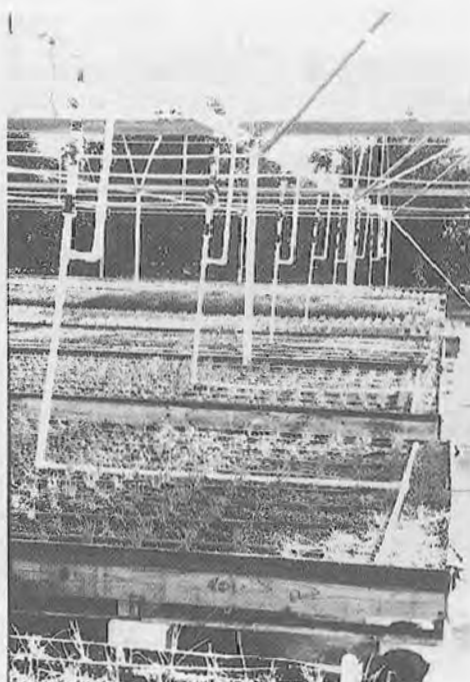


Fig. 11.5. Sistema de riego mostrando una tubería principal aérea de 2 pulgadas y tuberías secundarias de 1 pulgada en cada bancada, con ocho líneas de goteo «T-tape» que van a lo largo de todas las bancadas. Obsérvese la válvula solenoide en la línea de tuberías y la segunda línea, que es la tubería para la segunda mitad de cada bancada. (Cortesía de California Watercress Inc. Fillmore, California).



Fig. 11.6. Tubería de riego con líneas de goteo «T-tape», que van a lo largo de toda la bancada. En la bancada de en medio se plantaron cebollinos. (Cortesía de California Watercress Inc. Fillmore, California).

Las plántulas o las estacas enraizadas vegetativamente, cultivadas en pequeñas macetas o bandejas, fueron trasplantadas a las bancadas (fig. 11.7). En algunos casos, como para cebollino y menta, se separaron las plantas de campo y se lavaron las raíces antes del trasplante a las bancadas.

Se espera que, puesto que estas hierbas son perennes, las plantas puedan permanecer en las bancadas durante varios años, bajo cultivo continuo (figs. 11.8-11.11). Cuando necesiten ser colocadas de nuevo, se debe esterilizar el medio de cultivo al vapor, añadir algo de nuevo medio de cultivo y rastrillar las bancadas.

El mayor problema con este medio de cultivo es la acumulación de raíces. Después de más de dos años de cultivar las mismas plantas, se formó un sistema radicular compacto por todo el medio. Esto reducía la oxigenación, provocando la podredumbre de la raíz. Para prevenir esta podredumbre de raíz, se debe cambiar el cultivo cada año y esterilizar el medio.

Debido a la dureza del agua, que contiene más de 150 ppm de Ca como carbonato cálcico y más de 50 ppm de Mg como carbonato magnésico, se formaron costras en el medio de cultivo, especialmente cuando se utilizó un riego por aspersión aéreo. Con un sistema de riego por goteo se formaron menos costras. Sin embargo, se hizo necesario rastrillar periódicamente la superficie del sustrato para mullirlo.

Aunque las hierbas crecieron bien en el sustrato durante casi un año, eventualmente la formación de sales, debido a la dureza del agua, redujo la producción. Después de dos años se quitó el medio Peat-Lite y se substituyó por cáscara de arroz que



Fig. 11.7. Trasplante de plántulas de hierbas a una bancada con un medio de cultivo «Peat-Lite». (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.8. Cebollinos a los 15 días de haberse cortado en la bancada de la izquierda, y 12 días después del corte de la bancada, a la derecha. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.9. Menta a los 35 días del trasplante, lista para la primera cosecha. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

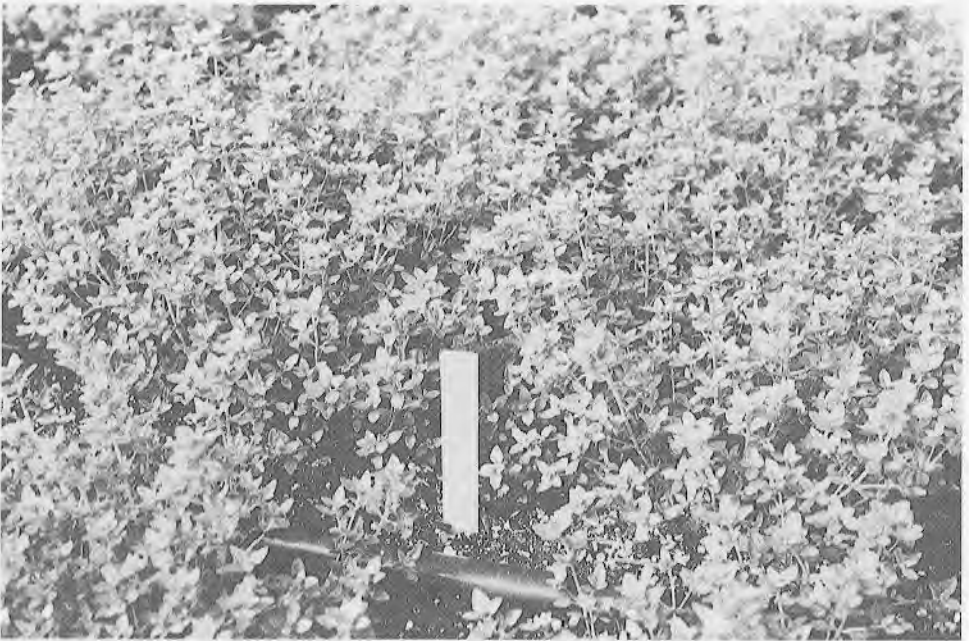


Fig. 11.10. Cultivo de tomillo inglés en un medio de «Peat-Lite». Obsérvese la línea de riego por goteo «T-tape». (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.11. Orégano listo para ser cosechado. El tubo en el centro de la bancada es la tubería que desde la línea aérea alimenta la mitad inferior de la bancada. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

contenía aproximadamente un 15-20% de arena. Este medio se colocó encima del tejido capilar, lo cual facilitó la distribución lateral de la solución, pues las cáscaras de arroz tienen poca acción capilar.

11.3.2. Cultivo de hierbas en cáscaras de arroz

Como ya se ha dicho antes, el medio de cultivo Peat-Lite acumuló altos niveles de sales durante un período de dos años y, por tanto, tuvo que ser reemplazado. El medio Peat-Lite es relativamente caro en comparación con las cáscaras de arroz (30-35 dólares por yarda cúbica frente a 6 dólares por yarda cúbica).

A las bancadas se les dio una pendiente de 2 pulgadas (5 cm) en sentido transversal y después se forraron con polietileno negro de 10 milésimas de pulgada. Un tejido capilar, como se describe en el capítulo 6, se colocó sobre la lámina de polietileno negro para mover lateralmente el agua de riego, pues las cáscaras de arroz tienen poca acción capilar. El sistema se modificó para que fuera recirculante. En la parte inferior de las bancadas se instalaron canales de plástico o tuberías de PVC de 3 pulgadas para recoger la lixiviación (fig. 11.12). Para evitar que las cáscaras de arroz cayeran flotando al canal colector, se fijó una moldura lateral galvanizada y pintada en el borde inferior de la bancada próxima al canal (fig. 11.13). Las bancadas se llenaron con una mezcla de cáscara de arroz y arena (20% de arena) de 2 pulgadas (5 cm) de espesor (fig. 11.14).

Se modificó el existente sistema de riego por goteo utilizado con el medio Peat-Lite. En la parte alta de las bancadas se puso una tubería de polietileno negro de 3/4 de pulga-



Fig. 11.12. Canales colectores de plástico en la parte inferior de las bancadas con menta recién trasplantada. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

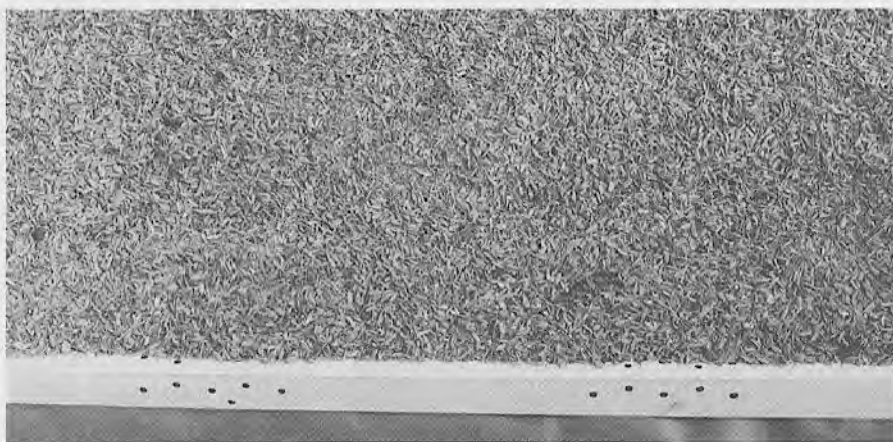


Fig. 11.13. Moldura próxima al canal. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 11.14. Substrato de cáscara de arroz y arena con canal colector en el centro.
(Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

da, con «Tes» de 1/4 de pulgada colocadas cada 2 pies (61 cm) a lo largo de toda su longitud (fig. 11.15). Esta tubería corría por los 25 pies (7,5 m) de ambos lados, desde una tubería de 1 pulgada con líneas verticales cada 50 pies (15 m) (fig. 11.16). Un controlador con una válvula solenoide en cada bancada programaba los ciclos de riego. La lixiviación recogida en el canal volvía a una cisterna de 2.500 galones (9.460 l) situada fuera del invernadero a través de una tubería de retorno de 3 pulgadas (fig. 11.17).

La mezcla de cáscara de arroz tiene que humedecerse bien antes de agregarla a las bancadas. Es útil un mezclador portátil de cemento, pero se puede mezclar bien a mano sobre una plancha de cemento o piezas de madera contrachapada. Si las cáscaras de arroz no se humedecen completamente antes de colocarlas en las bancadas, no retendrán uniformemente el agua, especialmente si las cáscaras de arroz son nuevas. Estas cáscaras contienen generalmente muchos embriones que germinarán en las bancadas cuando se aplique agua al substrato. Este desarrollo tipo hierba tiene que ser arrancado después a mano. Este problema puede reducirse mucho envejeciendo las cáscaras de arroz unos meses antes de usarlas. Hay que humedecer las cáscaras de arroz con aspersores aéreos durante varias semanas para que germinen las semillas. Después, hay que dejarlas que se sequen o aplicarles un herbicida (no persistente) para eliminar el crecimiento. Alternativamente, se pueden llenar las bancadas con el substrato de cáscara de arroz, regarlo hasta que germinen las semillas y después aplicar un herbicida no persistente, como «Roundup». Después de 7 a 10 días, se puede trasplantar.

La menta fue el principal cultivo. Es propagada vegetativamente mediante esquejes de brotes. Para ello se insertan los esquejes en bandejas de 200 celdas utilizando una hormona de enraizamiento y colocándolos en un medio grueso de Peat-Lite. Colocar las bandejas en una nave de propagación que tenga nebulización aérea.



Fig. 11.15. Línea de goteo situada en la parte alta de la bancada. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 11.16. Tuberías de PVC y «Tes». Obsérvese el riego de la menta recién trasplantada. (Cortesía de California Watercress, Inc. Fillmore, CA).



Fig. 11.17. Cisterna de 2.500 galones con bomba a la derecha. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

En 4 a 5 semanas los esquejes enraízan y están listos para el trasplante a las bancadas de cultivo (fig. 11.18), que se hace con un espaciamiento de 3×3 pulgadas ($7,5 \times 7,5$ cm), de forma que se establezca un cultivo completo en tres meses (fig. 11.19). La primera y segunda recolección (primero y segundo mes, respectivamente) producirán del 50 al 70% de las recolecciones totalmente maduras (fig. 11.20).



Fig. 11.18. Trasplante de menta vegetativamente propagada a la bancada de cultivo. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).



Fig. 11.19. Primera recolección después de dos meses. La menta se corta a mano utilizando un cuchillo. (Cortesía de California Watercress, Inc. Fillmore, CA).



Fig. 11.20. Menta completamente madura lista para la recolección 38 días después del segundo corte. (Cortesía de California Watercress, Inc. Fillmore, CA).

El cultivo de la menta, junto con el sustrato de cáscara de arroz, necesita ser cambiado cada año para conseguir unos rendimientos altos. Esto se hace durante los meses de verano, cuando los precios son bajos. La función clave de las cáscaras de arroz es

mantener seca la superficie del tejido capilar subyacente para evitar que los mosquitos se criaran, las algas y los caracoles infesten el sustrato. Con la experiencia se ha visto que las cáscaras de arroz solas, sin adicionar arena, fueron mejores porque la arena se situaba en la base de las cáscaras de arroz y obstaculizaba el flujo de riego por la bancada. Una profundidad algo mayor de las cáscaras de arroz, hasta 3 a 4 pulgadas (8 a 10 cm), sobre la parte superior del tejido capilar mejoró la aireación y eliminó los problemas de plagas de mosquitos y caracoles.

Con las cáscaras de arroz, la producción inicial de menta varió de 250 a 300 docenas de manojos por bancada de 1.200 pies cuadrados (111 metros cuadrados). Esta producción subió hasta 450 a 500 docenas de manojos por bancada durante su crecimiento óptimo.

Las hierbas se venden normalmente en docenas de manojos, que es una medida variable. El tamaño de los manojos está en función de la persona que los recolecta y la demanda del mercado. Cuando el mercado es escaso en oferta y buena calidad, los cultivadores pueden recolectar manojos de tamaño más pequeño, lo que se traduce en mayor número de manojos recolectados por pie lineal de bancada. En general, en el caso del tomillo, orégano, albahaca y menta, 1 docena de manojos es equivalente a 1 libra durante el verano, mientras que en invierno 2 docenas corresponden a una libra.

Debido a la variabilidad del tamaño de los manojos y a las correspondientes diferencias en peso, el mercado prefiere ahora usar medidas de peso. La tendencia actual es comercializar hierbas de alta calidad en un envase atractivo para la venta en supermercados. Las ventas a granel a los restaurantes debe hacerse en cajas con una envoltura de plástico que contenga 1 a 2 libras (454-900 gramos) del producto.

11.4. Cultivo de hierbas en espuma

El autor ha ensayado un cierto número de tipos de espumas de polímero Hypol, desarrolladas por W. R. Grace & Co. Estas espumas hidropónicas, tratadas con diferentes compuestos y que tienen diferentes densidades, fueron ensayadas con albahaca y menta. Entre las 40 bancadas que usan el sistema NFT descrito en el capítulo 6, sección 6.12, se preparó una bancada de 6 pulgadas por 12 pies (1,8 x 3,6 metros) para el ensayo con polímero de espuma. Esto proporcionó información sobre el uso de la espuma como sustrato en la producción comercial en invernadero.

Se trasplantó albahaca de cinco semanas, con una separación de 6 pulgadas (15 cm), a las bancadas de ensayo de la espuma y a las bancadas NFT de tejido capilar. Aunque la espuma tenía una alta acción capilar, su espesor de 2 pulgadas (5 cm) no permitía una adecuada humectación para llegar a algunos de los trasplantes situados a lo largo de los bordes de la bancada. Como resultado de ello, estas plantas periféricas se retrasaron en su enraizamiento (figs. 11.21 y 11.22). Al regarlas por encima una vez al día, se mejoró su enraizamiento en la espuma.

Una vez que las plantas arraigaron, produjeron rendimientos mayores que las plantas de control en el tejido capilar (fig. 11.23). La espuma protegía a las coronas de la albahaca de la humedad en el fondo de las bancadas, mientras que las plantas de control sufrieron podredumbres en sus coronas, debido a la presencia de la solución en las proximidades de sus bases (fig. 11.24). A la albahaca no le conviene una excesiva humedad en la base de la planta, y por tanto, a plazo más largo, la espuma produjo plantas más sanas que el tejido capilar.



Fig. 11.21. Cultivo de albahaca en un medio de espuma de un sistema NFT, 25 días después del trasplante. Obsérvese el retraso de las plantas a la izquierda, debido a la falta de movimiento lateral de la solución en la espuma. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.22. Cultivo de albahaca en un sistema NFT de tejido capilar, 25 días después del trasplante. Compárese esta foto con la anterior, y obsérvese que inicialmente la albahaca en el tejido capilar creció más deprisa y más uniformemente que en la espuma. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.23. Albahaca en un sistema NFT de espuma, 19 días después de la primera cosecha. Las plantas son ahora más uniformes en crecimiento que antes. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.24. Albahaca en un sistema NFT de tejido capilar, 19 días después de la primera cosecha. Obsérvese la presencia de podredumbre de la corona. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

Ensayos semejantes ensayos se realizaron con menta, después de que se hubiera quitado la albahaca. Se compararon dos tipos de espuma de una pulgada (2,5 cm) de grueso, que tenían diferentes densidades, con un control que usaba el sistema NFT de tejido capilar. Se colocaron esquejes enraizados sobre la espuma y el tejido capilar de los diferentes tratamientos (fig. 11.25). Después de aproximadamente dos meses, el tiempo de la primera cosecha, la menta había crecido por toda la superficie de las bancadas, formando una masa de plantas, estolones y raíces. La siguiente cosecha tuvo lugar 45 días más tarde (fig. 11.26). Durante este período, no hubo ninguna diferencia significativa entre los tratamientos; todos produjeron altos rendimientos. Sin embargo, se presentaron menos marchitamientos de las hojas y menos infecciones por hongos en los ensayos de espuma, comparados con el control que utilizaba tejido capilar. Este continuo crecimiento vigoroso en la espuma fue atribuido a la presencia de menos humedad en la base de las plantas en la espuma, comparada con el tejido capilar. El desarrollo de las raíces fue excepcionalmente sano en los tratamientos con espuma (fig. 11.27).



Fig. 11.25. Esquejes enraizados de menta colocados en un sistema NFT de espuma de una pulgada de grosor. Obsérvese la localización de las líneas de riego por goteo y la división de las bancadas en dos. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

Como consecuencia de estos ensayos y de las discusiones con los cultivadores, es evidente que existe una potencial aplicación comercial de polímeros de espuma en el cultivo de vegetales hidropónicos. Puede ser un medio de cultivo alternativo a la lana de roca. Los ensayos futuros necesitan incluir el uso de espuma en planchas similares a la lana de roca en productos entutorados como el tomate, el pepino y el pimiento. Con su capacidad para ser esterilizada fácilmente, y una durabilidad hasta cinco o más años, se espera que se convierta en un importante medio hidropónico del futuro.



Fig. 11.26. Menta en un sistema NFT de espuma a los 45 días de la anterior corta, lista para ser cosechada. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).



Fig. 11.27. Crecimiento sano de las raíces de menta en un sistema NFT de espuma. (Cortesía de California Watercress Inc., Fillmore, California).

En 1997, Houweling Nurseries Oxnard, Inc., en Camarillo, California, cultivó 20 acres (8 hectáreas) de tomate en planchas de espuma. Estas planchas eran de las mismas dimensiones que las planchas en lana de roca (fig. 11.28). Creían que la espuma podría tener una mejor aireación que la lana de roca. Igual que con la lana de roca, se cultivaron 5 a 6 plantas en cada plancha y las plantas se guiaron en una configuración de cordón en V (fig. 11.29). Las plantas se iniciaron en cubos y bloques de lana de roca, como para el cultivo en lana de roca. La espuma se podía esterilizar después de cada cultivo y después se envolvía con polietileno blanco en las filas.

El diseño de plantas y el sistema de riego fueron los mismos que para el cultivo en lana de roca (fig. 10.13). El riego se realizó mediante un sistema inyector con tanques de stock. El complejo de 20 acres (8 hectáreas) se dividió en 6 secciones. Se regó cada planta con un emisor y una línea individual de goteo. La lixiviación pasó a la tubería de drenaje situada en el suelo debajo de la hilera de plantas. Éste fue un sistema abierto.

La producción fue menor que la que se podía esperar de un sistema de cultivo en lana de roca o serrín. Se encontraron muchas manchas secas localizadas en las planchas, que redujeron el rendimiento de las plantas. Por esta razón, en posteriores cultivos se volvió a los cultivos en lana de roca y serrín, con los que tenían más experiencia y mejores resultados.

Existe un gran potencial en el uso de la espuma para los cultivos entutorados, pero esto requerirá ensayos a pequeña escala para determinar la frecuencia y el período de los ciclos de riego para obtener unos rendimientos óptimos. Un complejo grande de invernadero no debe intentar el uso de sustrato de espuma a menos que se hayan cultivado varias cosechas con dicho sustrato en una pequeña sección del invernadero.



Fig. 11.28. Planchas de espuma con 6 plantas utilizando bloques dobles de lana de roca. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).



Fig. 11.29. Seis plantas por plancha guiadas en forma de cordón en V. (Cortesía de Houweling Nurseries Oxnard, Inc., Camarillo, CA).

11.5. Cultivo en perlita

11.5.1 Planchas de perlita

El cultivo en perlita es una alternativa al cultivo en lana de roca. En Gran Bretaña, se considera que es el tercer sistema hidropónico más importante, detrás de la lana de roca y del NFT. Day (1991) indica que se utiliza principalmente en Escocia y el Norte de Inglaterra, en el cultivo de 16 hectáreas (40 acres) de tomates de invernadero. Existe un cierto número de cultivadores que utilizan la perlita en los Estados Unidos. Dos de los mayores y más respetados cultivadores son Ken y Richard Gerhart. Pepinos tipo europeo son cultivados por Gerhart Greenhouses, de Daggett, California, en una superficie de medio acre (0,2 hectáreas), y Gerhart Inc., de North Ridgeville, Ohio, cultiva pepinos y tomates en 3 acres (1,2 hectáreas). Gerhart Greenhouses de California está

ubicado junto a la planta generadora de energía Southern California Edison (fig. 11.30). El invernadero utiliza el agua desionizada obtenida de las torres de refrigeración de la planta de gas natural generadora de electricidad. Este agua limpia constituye una gran ventaja para un invernadero ubicado en una área que tiene un agua muy dura. Sin esta asociación de cogeneración, el invernadero requeriría una unidad de tratamiento de inversión por ósmosis para desionizar el agua. En una tercera instalación que usa bolsas de perlita, American Foodsource Corp., de La Junta, Colorado, ha estado cultivando casi tres acres de pepinos hasta 1992. Esta instalación se cerró en 1993, debido a problemas de gestión.

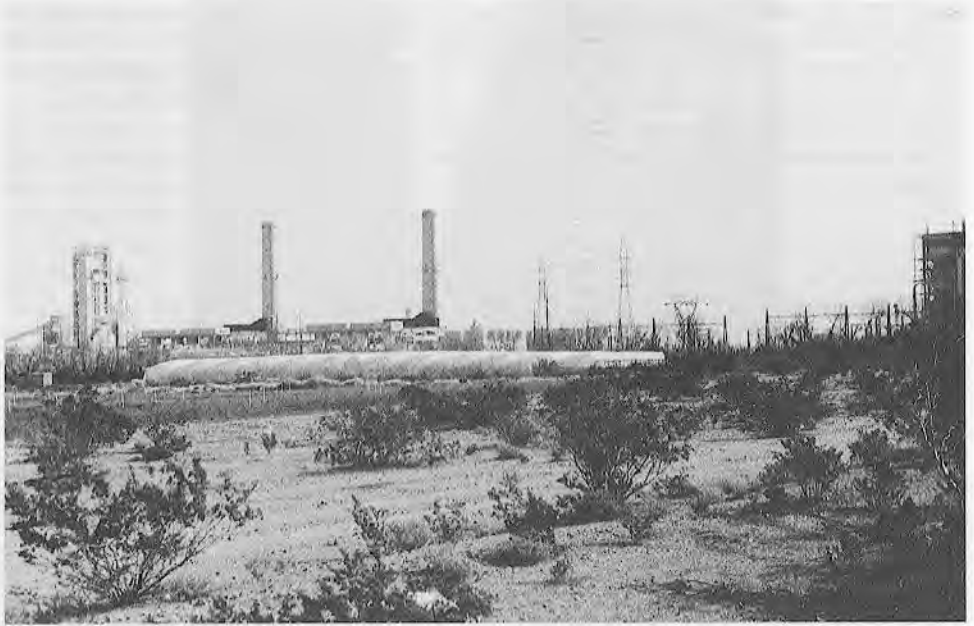


Fig. 11.30. Proyecto de cogeneración Gerhart Greenhouses. Los invernaderos están situados junto a la planta generadora de energía eléctrica California Edison. (Cortesía de Gerhart Greenhouses, Daggett, California).

El sistema de bolsas de perlita se prepara de la misma forma que el cultivo en lana de roca, con algunas diferencias. Al utilizar un inyector con riego por goteo, cada bolsa tiene dos emisores, uno en la base de cada planta (fig. 11.31). Los hermanos Gerhart diseñaron un sistema de perlita que fuera de bajo coste y fácil de instalar. Encontraron que eran necesarias unas bolsas de 7,5 pulgadas (19 cm) de diámetro por 43 pulgadas (109 cm) de largo para 3 plantas por bolsa, y que 6 1/4 pulgadas (16 cm) de diámetro por 43 pulgadas (109 cm) de largo eran suficientes para 2 plantas por bolsa. Estos tamaños de bolsa proporcionaban unos 7 litros de medio de cultivo por planta de tomate, y 10 litros por planta de pepino, que almacenaban la solución adecuada para las plantas. Las bolsas, de 12 × 43 pulgadas (30,5 × 109 cm) y selladas en un extremo, son



Fig. 11.31. Sistema hidropónico de bolsa de perlita. Una tubería de convección, a la izquierda de las plantas de pepino, conduce el calor a la base de las plantas. Obsérvese el uso de un sistema de riego por goteo similar al del cultivo en lana de roca. (Cortesía de Gerhart Greenhouses, Daggett, California).

fabricadas por Cleveland Plastics con rollos de polietileno blanco opaco de 6 milésimas de pulgada de grueso. Para llenar las bolsas con perlita, se usa una tolva y después se sella el otro extremo al calor. El coste medio de la bolsa llena de medio de cultivo es de 0,65 dólares por planta.

Como las enfermedades de podredumbre de las raíces son una seria amenaza para las plántulas que tienen menos de cuatro semanas, era importante, para un crecimiento sano, un sistema de propagación que evitara estas enfermedades. Todos los contenedores, si no son nuevos, tienen que ser convenientemente esterilizados. La semilla se puede sembrar en cubos de lana de roca y trasplantar unos días después de la germinación a una maceta de plástico de 4 pulgadas cuadradas (10 cm²) que contenga una mezcla #522 de Paygro Company (fig. 11.32).

El medio de cultivo está formado por perlita, corteza de frondosas (compostada) y turba. Los microorganismos y sustancias químicas, con propiedades similares a los fungicidas contenidos en la corteza compostada, impiden la podredumbre de las raíces debidas a *Pythium* y *Phytophthora*. Cuando estas macetas con sus plántulas son trasplantadas a las bolsa de perlita, los microorganismos beneficiosos acompañan a las raíces en las bolsas de cultivo y establecen una protección a largo plazo de las raíces de la planta. Los hermanos Gerhart han cultivado hasta cuatro cosechas consecutivas en las mismas bolsas de perlita sin esterilización entre los ciclos de cultivo (fig.11.33). No hubo ninguna aparición significativa de enfermedades de la raíz, y la

calidad y el rendimiento de la producción se mantuvieron altos (fig. 11.34). Se añadió silicato potásico a la solución nutritiva a razón de 100 ppm, para proteger también a los pepinos contra *Pythium*. Entre dos cosechas, se aplicó formaldehído con un sistema de nebulización después de la última recogida, antes de quitar las plantas, para matar cualquier insecto.

Se cultivan dos cosechas por año. La cosecha de otoño se siembra a finales de octubre y se trasplanta a primeros de noviembre, teniendo lugar la primera recogida a mediados de diciembre y la segunda en abril. La cosecha de verano se siembra en mayo y se trasplanta a primeros de junio, con una producción que va desde mediados de junio hasta septiembre.

Se añade carbonato cálcico al agua desionizada de las torres de refrigeración, pues está libre de todos los minerales. El carbonato cálcico le proporciona cierta capacidad tampón para estabilizar el pH. Se añade oxígeno al agua del recipiente con una bomba de aire y piedras de aire colocadas en el tanque de almacenamiento. El nivel del oxígeno del agua se mantiene en 8 ppm en los emisores. El tanque de almacenamiento es necesario, pues el caudal de agua que viene de las torres de refrigeración es inferior a 10 galones (38 litros) por minuto, pero funciona las 24 horas del día, de forma que se puede recoger durante este período el agua adecuada a las necesidades del invernadero.

Se registra la EC y el pH de la solución nutritiva que entra y sale de las bolsas de perlita, y se hacen los ajustes necesarios en la formulación y ciclos de riego para mantener un programa óptimo de riegos. El número de ciclos, la duración de cada ciclo, la



Fig. 11.32. Las plántulas de pepino se cultivan en un medio de corteza, en macetas de plástico de 4 pulgadas cuadradas, que después se instalan encima de bolsas de perlita (dos por bolsa) durante el trasplante. Obsérvese el agujero en la bolsa debajo de la maceta. (Cortesía de Gerhart Greenhouses, Daggett, California).



Fig. 11.33. Cultivo de pepinos en bolsas de perlita. Obsérvese la tubería para calefacción por convección entre las filas de las plantas. (Cortesía de Gerhart Greenhouses, Daggett, California).



Fig. 11.34. De tres a cuatro cosechas productivas de pepino se cultivan en las bolsas de perlita, sin esterilizarlas después de cada cosecha. (Cortesía de Gerhart Greenhouses, Daggett, California).

formulación y la tasa de lixiviación son todos controlados. La lixiviación puede variar hasta un 20 por 100, dependiendo del estado de la bolsa de cultivo y del rendimiento de la cosecha. Aproximadamente se mantiene de 1 a 1 1/2 pulgadas (2,5 a 4 cm) de solución en la bolsa como reserva, haciendo una incisión en el lado de la bolsa que mira a la línea de riego, a una altura de 1 a 1 1/2 pulgadas (2,5 a 4 cm) por encima de la base. Después de cortar un agujero en la parte superior de la bolsa en la posición de cada planta, los trasplantes, en sus respectivas macetas, se colocan en estas posiciones y se deja que las raíces crezcan dentro de las bolsas varios días, antes de colocar los emisores junto a las macetas en la bolsa (fig. 11.31).

11.5.2. Cubos Bato de perlita

Un método reciente de cultivo en perlita, llamado el sistema del «cubo bato», se originó en Holanda. Este sistema permite la recirculación de la solución cuando los cubos se asientan sobre una tubería de drenaje. Si bien este sistema puede utilizar sustratos diferentes a la perlita, como roca de lava, serrín, Peat-Lite, cáscaras de arroz o fibra de coco, el más corriente es la perlita. Con serrín, Peat-Lite, cáscaras de arroz o fibra de coco sería difícil reciclar la solución de nutrientes, debido a la acumulación de sales en el medio. Asimismo, dado que el mecanismo de sifón de los cubos bato conserva aproximadamente 1/2 pulgada (1-2 cm) de solución en el fondo del recipiente, se causarían problemas de aireación con medios de cultivo como serrín, Peat-Lite o fibra de coco. El sistema de cubos bato se adapta mejor a la perlita y a la roca de lava.

Una compañía de Querétaro, México, Agros, S.A., cultiva con éxito 20 acres (8 hectáreas) de tomates en un sistema de cubos bato con un medio de roca de lava (fig. 11.35).

CuisinArt Resort & Spa, en Anguilla, cultiva unos 10.000 pies cuadrados (aproxi-



Fig. 11.35. Sistema de cubos bato utilizando sustrato de roca de lava. (Cortesía de Agros, S.A., Querétaro, México).

madamente 1.000 metros cuadrados) de cultivos entutorados en un sistema de cubos bato de perlita. Con este sistema se cultivan pepinos europeos, tomates beefsteak y cereza, pimientos y berenjenas (figs. 11.36-11.38).

El diseño para este sistema es algo parecido al del cultivo en lana de roca. La principal diferencia es la instalación de una tubería de drenaje antes de poner los cubos. Una vez instaladas las tuberías principales de drenaje (retornos a la cisterna), se pone sobre el suelo una lámina de polietileno blanco sobre negro. En el proyecto CuisinArt, se colocó una lámina de vinilo sobre el suelo encima del sustrato subyacente antes de instalar las tuberías de drenaje. Encima se pusieron seis pulgadas (15 cm) de relleno de arena y finalmente, después de colocar las macetas y sus líneas de drenaje, se colocan 3 pulgadas (7,5 cm) de grava tipo coral sobre la arena para proporcionar una superficie limpia (figs. 11.39 y 11.40).

Los cubos bato se colocaron encima de las tuberías de drenaje, que estaban situadas cada 6 pies (1,8 m). Los cubos estaban separados 16 pulgadas (40,6 cm) entre sí sobre las tuberías de drenaje. Colocando dos tomates, pimientos o berenjenas por cubo y un pepino europeo por maceta se consigue el espaciamiento normal para estos cultivos.

Los cubos bato se construyeron con plástico rígido, con unas medidas de 12 x 10 x 9 pulgadas (30 x 25 x 23 cm), como muestra la figura 11.41. Su volumen es aproximadamente de 4 galones (16 litros) si se llenan a una pulgada (2,5 cm) de la parte superior. Tienen una hendidura de 2 x 1 1/2 pulgadas (5 x 4 cm) en la parte posterior de la base de la maceta que permite que ésta se asiente encima de la tubería de drenaje de 1 1/2 pulgadas de diámetro. Nuestra experiencia con pepinos nos ha mostrado que



Fig. 11.36. Cultivo de tomates tipo cherry (75 días) en cubos bato de perlita. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.37. Pimientos (Cubicores) en cubos bato de perlita. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.38. Berenjenas en cubos bato de perlita. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.39. Tuberías de drenaje cubiertas con relleno de arena apisonada. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.40. Cobertura de la superficie con grava. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

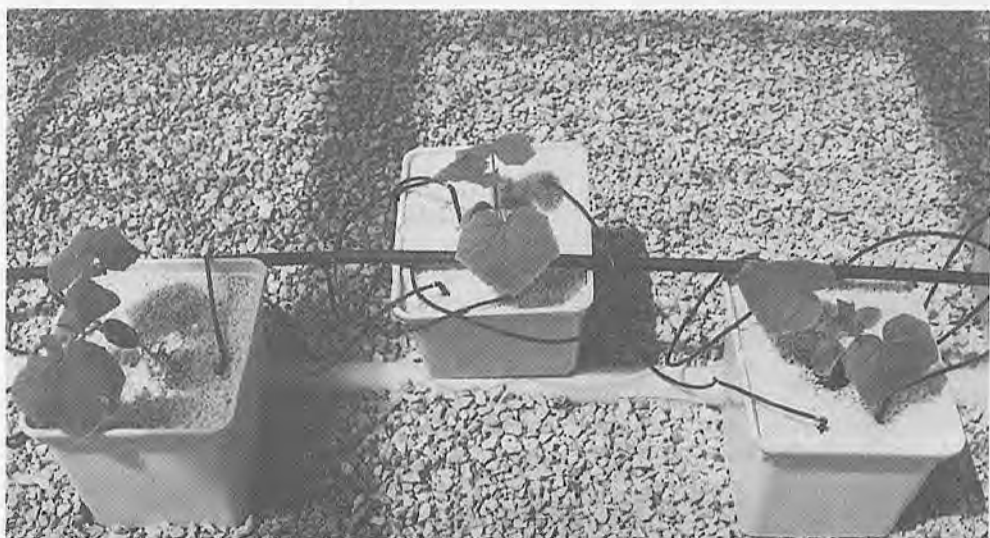


Fig. 11.41. Cubos bato con tuberías de drenaje y riego por goteo. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

la tubería de drenaje de 1 1/2 pulgadas era demasiado pequeña, causando la formación de muchas raíces en la tubería de drenaje. Más tarde cambiamos la tubería de drenaje para las macetas de pepinos por otra de 2 pulgadas de diámetro. Un doble codo de 3/4 de pulgada de diámetro forma el sifón que va desde la base de la maceta a la tubería de drenaje (fig. 4.12). Este sifón mantiene el nivel de humedad en la maceta en aproximadamente una profundidad de 1/2 pulgada (1-2 cm). Este depósito de solución es importante en perlita y en cualquier tipo de medio de cultivo en grava. El sifón drena directamente en la tubería de drenaje en la que se asienta la maceta en un extremo. Cuando se utiliza perlita gruesa hay que tener cuidado de no meterla en los cubos bato, pues se puede obstruir el sifón de drenaje. Esto se evita usando perlita fina. Las macetas se alternan una a cada lado a lo largo de la tubería de drenaje, a una distancia de 16 pulgadas (40,6 cm) entre sí (fig. 11.41).

Un sistema de riego por goteo proporciona los nutrientes a través de una tubería de polietileno negro de 1/2 pulgada que tienen un emisor compensador de 1/2 galón (2 litros) por hora conectado a una línea de goteo y a una estaca en el extremo (fig. 9.26). Una estaca especial estriada, que conduce la solución hacia abajo en toda su longitud, es muy útil para dirigir la solución a cada planta. Hemos comprobado que se necesitaban 3 líneas de goteo por pepino, mientras que 2 líneas eran adecuadas para los tomates, pimientos y berenjenas. El resto del sistema de riego es el mismo que para los cultivos en lana de roca o serrín que emplean tanques de stock e inyectores, como se muestra en la figura 11.43, o una cisterna central desde la que se pueda recircular la solución después de la esterilización.

El sistema de los cubos bato se utilizó en cultivos entutorados, sanos y altamente productivos. El único problema que se encontró fue el del crecimiento de las raíces en el sifón y la tubería de drenaje, pero solamente en el caso de los pepinos. Algunos cubos bato se obstruyeron y llenaron con la solución ahogando a las plantas. Esto fue causado probablemente por el bloqueo de las líneas de goteo y por forzar a las raíces de las plantas a buscar humedad en el sistema de drenaje. Esto se evitó colocando las estacas de goteo lejos de la base de las plantas una vez que estaban arraigadas y levantándolas un poco, de forma que no penetraban en la perlita más que algunas pulgadas (4-5 cm). Esta práctica impidió que las raíces crecieran por las estacas y llegaran hasta las líneas de goteo.

11.6. Cultivo en columna

El cultivo de plantas en columnas verticales se ha desarrollado en Europa, principalmente en Italia y España. Originalmente este sistema utilizó barriles o bidones de metal (fig. 11.44) colocados verticalmente unos sobre otros, una vez llenados con grava o una mezcla de turba. En los laterales de los contenedores se efectúan una serie de boquetes que nos permitirán colocar las plantas en el medio; posteriormente se han utilizado tubos de asbestocemento con boquetes colocados en espiral.

El riego y la nutrición se efectúan con un sistema de riego por goteo colocado en la parte superior de cada una de las columnas. Si se utiliza la grava como medio, la solución de nutrientes puede reciclarse colocando la columna sobre un canal colector, que conducirá de vuelta a ésta hasta un depósito central (fig. 11.45).

En Italia se ha perfeccionado este sistema construyendo una columna formada por pequeños tubos modulares colocados unos sobre otros (fig. 11.46). Cada uno de los



Fig. 11.42. Sifón en la base de un cubo bato.

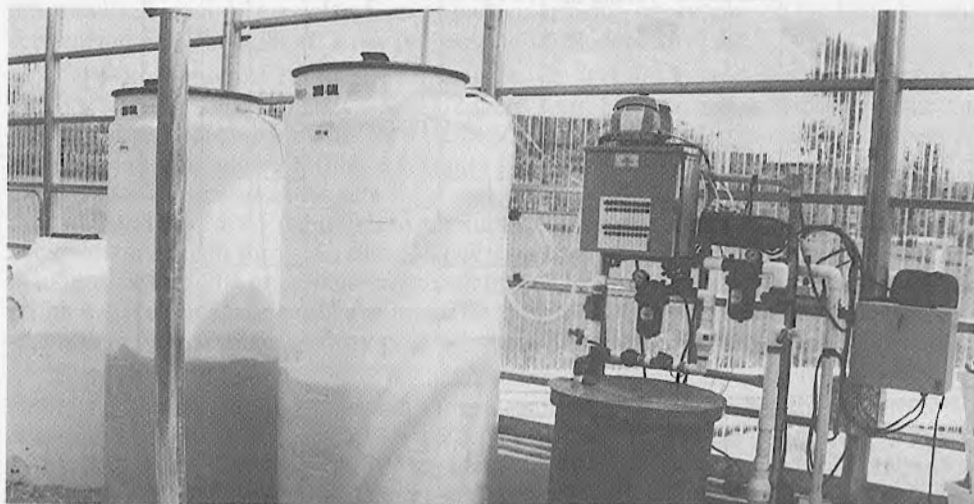


Fig. 11.43. Sistema inyector con tanques de stock y de ácido, de izquierda a derecha.
El tanque mezclador y el inyector están a la derecha.
(Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.44. Cultivo en columna de fresones en las islas Canarias utilizando bidones metálicos.

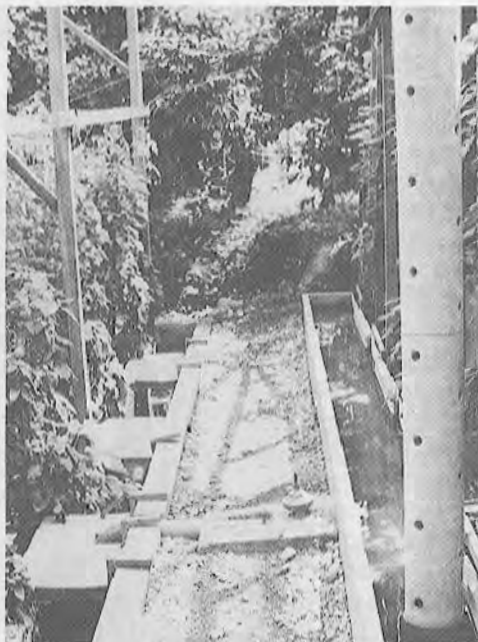


Fig. 11.45. Cultivo en columnas en Costa Rica utilizando tuberías de asbesto-cemento y un sistema cíclico de cultivo en grava.

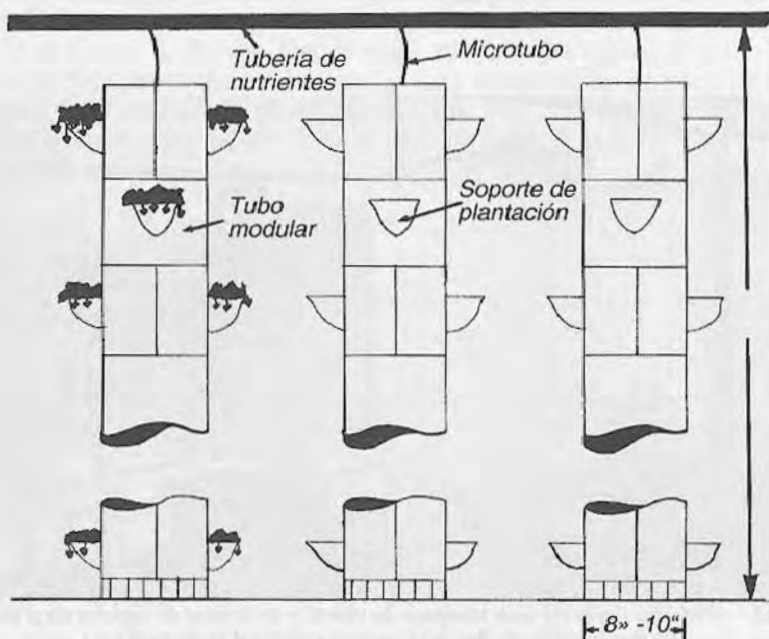


Fig. 11.46. Esquema de un sistema en columna italiano.

módulos tiene una serie de salientes en forma de media taza en las cuales se colocan las plantas en lugar de en simples boquetes, utilizándose como medio una mezcla con turba. Todo esto forma un sistema abierto que permite al exceso de solución de nutrientes el drenaje hasta la base de la columna. Este sistema es particularmente apropiado en el cultivo de fresones.

Un desarrollo más reciente del cultivo en columna es el uso de macetas de Styrofoam colocadas verticalmente. Verti-Gro, Inc., de Florida, ha desarrollado este cultivo. El sistema fue diseñado originalmente para el cultivo de fresones, pero muy pronto se hizo evidente que se podría emplear para hierbas, espinacas, lechugas y otros cultivos de bajo perfil.

Las macetas de Styrofoam, con unas dimensiones de $9 \times 9 \times 8$ pulgadas ($23 \times 23 \times 21$ cm) y con paredes ligeramente estrechadas, se colocan una encima de otra cambiando su orientación 45 grados (fig. 11.47). En la parte superior tienen unas ranuras especiales que se adaptan a la base de la maceta situada encima. El volumen de cada maceta es de 0,1 pie cúbico (2,8 litros). En general se apilan 10 macetas formando una torre. Las macetas se colocan encima de una bandeja o cubo relleno de grava para drenar la solución empleada de nutrientes hasta la tubería de drenaje. Una «Te» de $3/4$ de pulgada de diámetro, con piezas de 4 pulgadas (10 cm) de largo de tubo de $3/4$ de pulgada insertadas en cada abertura de la «Te», forma la base del tubo de alimentación que impide que las macetas cambien de posición. Esta base está situada en el fondo de la maceta o cubo relleno con grava (fig. 11.48). Las macetas de Styrofoam tienen agujeros en el fondo para drenar a la maceta que hay debajo. Además, cada maceta tiene un agujero de 1 pulgada de diámetro en el centro para que pase la guía del tubo. El tubo soporte del conducto pasa desde la «Te» a la parte superior del elevador de 4 pulgadas (10 cm) después de que el conducto pase a través de una placa giratoria de 3×3 pulgadas (8×8 cm) y $1/4$ de pulgada (0,6 cm) de espesor. Esta placa es una pieza intermedia entre las dos manguitos de $3/4$ de pulgada que soportan las macetas de la torre de plantas. Permite al cultivador girar fácilmente las torres para dar una ligera orientación de la luz a las plantas. Esto producirá un crecimiento más uniforme exponiendo las plantas a una cantidad igual de luz solar. Esto es particularmente importante en las latitudes más septentrionales, donde la luz solar proyecta sombras durante el día.

Cuando se montan las torres, las macetas de Styrofoam se deslizan sobre el conducto y un manguito de plástico de 6 $1/2$ pies (2 m). Las macetas se deben rellenar con un mezcla de perlita y fibra de coco (85%-15%) consecutivamente desde la maceta de abajo hasta la maceta de arriba, colocando la maceta siguiente en las hendiduras de la maceta inferior una vez esté ésta llena con substrato (fig. 11.49). Finalmente hay que unir el conducto a un cable aéreo de soporte o un tubo con alambre galvanizado haciendo un lazo en forma de «8». Después, insertar las líneas de riego por goteo desde la tubería de riego de polietileno negro encima de las torres de macetas, en la maceta de arriba y en la maceta que está a la mitad de la torre (fig. 11.50). La solución de nutrientes entra en la maceta de arriba y pasa por goteo a las otras situadas debajo.

El cubo colector se sitúa encima de una tubería de drenaje de 1 $1/2$ pulgadas de diámetro, que puede retornar la solución a una cisterna o llevarla fuera del invernadero como desecho. Las torres están separadas unos 3 pies (90 cm). En el caso que muestra la figura 11.51, las torres están separadas 32 pulgadas (80 cm). Hay que dejar 10 a 14 pies cuadrados (1,0 – 1,3 metros cuadrados) por torre. Esto es equivalente a 36 pulgadas (0,9 m) dentro de las hileras y 47 pulgadas (1,2 m) entre hileras. Es posible un espaciamiento más cerrado en localidades situadas más al sur y con cultivos más pequeños, como hierbas.

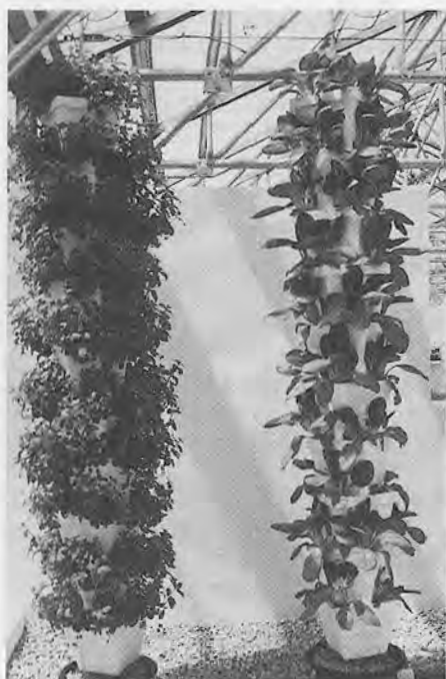


Fig. 11.47. Torre vegetal Verti-Gro – menta a la izquierda, hierba «bok choy» a la derecha. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.48. Cubo colector. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

En cada torre vegetal se cultivarán al menos 40 fresones o lechugas si se utilizan 10 macetas por torre (fig. 11.52). Las hierbas que se siembran en grupos tendrán muchas más plantas por torre. Las plantas se trasplantan o siembran directamente en las esquinas de cada maceta. Muchas hierbas se pueden sembrar directamente en las macetas, pero es mejor utilizar trasplantes para las lechugas y por supuesto para los fresones.

El sistema de columna de macetas es capaz de producir 6 a 8 veces más por unidad de área que los cultivos equivalentes al aire libre, y 3 a 4 veces más que los cultivos en bancadas de invernadero. La densidad de las plantas para lechuga, espinaca, hierbas y fresones es aproximadamente de 3 plantas por pie cuadrado (32 plantas/metro cuadrado), ó 131.000 plantas por acre (320.000 plantas/hectárea). Una columna de planta de fresón debe producir 10 a 13 pintas de fruto por mes. Un acre (3.200 torres) (8.000 torres/hectárea) debe producir de 23.000 a 35.000 libras (10.500-15.700 kg) de fresones mensualmente, que es equivalente a 31.500 a 41.000 pintas. Un acre de cultivo al aire libre que tenga 17.500 plantas produce de 4.000 a 6.000 pintas por mes. El cultivo en columna produce aproximadamente 8 veces más plantas en la misma área que el cultivo al aire libre.

En 1997, el autor presentó una comunicación sobre este tipo de columnas en la Conferencia Internacional de Cultivos Hidropónicos Comerciales en la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima, Perú. Dado el interés mostrado, Productos Hidro-



Fig. 11.49. Llenado de macetas de la torre vegetal con una mezcla de perlita y fibra de coco. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.50. Riego por goteo en la parte superior de la torre con orégano. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

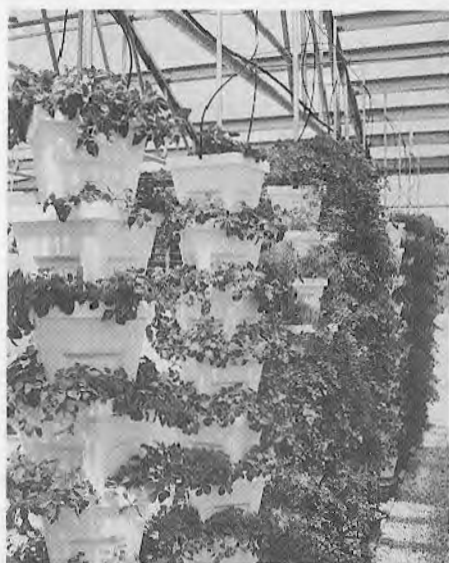


Fig. 11.51. Serie de torres vegetales con orégano, perifollo y tomillo desde el primer plano hasta el fondo. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.52. Cultivo de fresones en torres vegetales. (Cortesía de Verti-Gro, Lady Lake, FL).

pónicos ACSA instaló una explotación comercial en Cieneguilla, al nordeste de Lima. Esta compañía trabajó con el Sr. D. Alfredo Delfín, del Centro de Investigación de Cultivos Hidropónicos y Nutrición Mineral de la Universidad, para desarrollar una torre de macetas de Styrofoam para Verti-Gro (fig. 11.53). Sus instalaciones de 4.000 metros cuadrados (1 acre) tienen 3.000 columnas de macetas con 10 macetas por torre. Con 40 plantas de fresón por torre, cultivan un total de 120.000 plantas. Cada uno de los cuatro sectores se riega dos veces al día durante 20 minutos por ciclo. El sustrato está compuesto de pumita y turba. La producción varía de 125 kg a 600 kg (275-1.320 libras) diariamente durante las estaciones de invierno y verano respectivamente. El objetivo es producir 500 gramos de frutos por planta. La Universidad ha experimentado también con el cultivo tradicional de fresones en sacos para las condiciones tropicales (fig. 11.54).

We Gro-Rite, de North Carolina, ensayó una modificación del cultivo en columna en 1997. Pensaron que tener que girar diariamente las columnas con fresones para distribuir uniformemente la luz solar recibida por las plantas era mucho trabajo. Por ello, construyeron un sistema de soporte vertical para sostener 4 tubos de PVC de 4 pulgadas, que actúan como bancadas. Los cuatro pisos de tubos tienen unos orificios de 4 pulgadas de diámetro donde se acoplan las macetas de 4 pulgadas. El riego por goteo en cada maceta, o el sistema de riego de flujo y reflujo, puede suministrar nutrientes y agua a las plantas. El autor ha instalado un pequeño sistema de ensayo basado en esta configuración para cultivar hierbas y fresones en Venezuela en la empresa Hidroponías Venezolanas, S. A. (fig. 11.55).

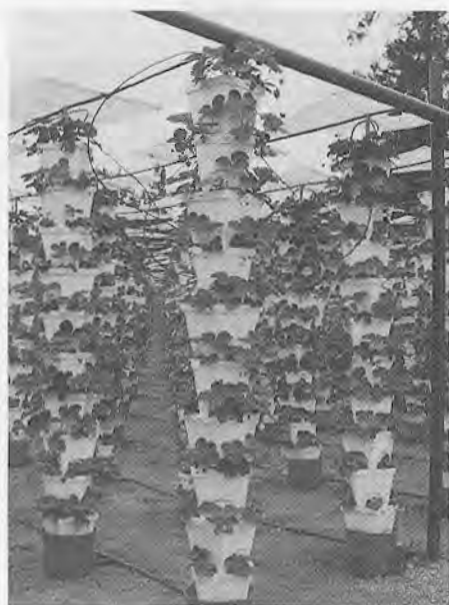


Fig. 11.53. Torres vegetales de fresones en Perú.



Fig. 11.54. Cultivo de fresones en sacos. (Cortesía del Centro de Investigación de Cultivo Hidropónicos y Nutrición Mineral, Universidad de La Molina, Lima, Perú).



Fig. 11.55. Cultivo de hierbas en un sistema vertical de niveles en Venezuela. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Venezuela).

11.7. Cultivo en sacos

El cultivo en sacos es una simplificación del cultivo en columnas. El sistema es básicamente el mismo, con excepción de que se utilizan sacos de polietileno en lugar de bidones o tubos. Un tubo de polietileno negro de 0,15 mm de espesor y unas 6 pulgadas (150 mm) de diámetro y 6 pies (2 m) de longitud se llenará con una mezcla de turba y vermiculita, cerrando el fondo para evitar la caída de ésta, así como la parte superior, quedando en forma de salchicha. El extremo superior se colgará con un alambre o cuerda del invernadero, quedando así el saco en forma de columna.

Riego y nutrición se efectúan de forma automática por medio de un sistema de goteo por microtubo que irá a cada uno de los sacos desde un depósito central de nutrientes o desde un inyector de fertilizantes (fig. 11.56). En la periferia de los sacos se cortarán una serie de pequeños boquetes de 1 a 2 pulgadas (2,5 a 5 cm) de diámetro, colocándose en ellos las plantas (fig. 11.57). La solución de nutrientes se aplicará en la parte superior del saco y percolará a través de éste.

Estos sacos colgantes se espaciarán 80 cm (32 pulgadas) en la fila, estando situadas éstas a 1,2 m (unos 4 pies), tal como se muestra en la figura 11.58.

Los ciclos de riego y fertilización duran generalmente de dos a cinco minutos, dando un volumen de 1 a 2 litros de solución de nutrientes por saco y por ciclo de riego. La solución no se reciclará, sino que percolará hasta el fondo del saco drenado por unos boquetes colocados para dicho fin. Una vez al mes se lavará el sistema con agua pura para limpiar cualquier formación salina. Al final de cada uno de

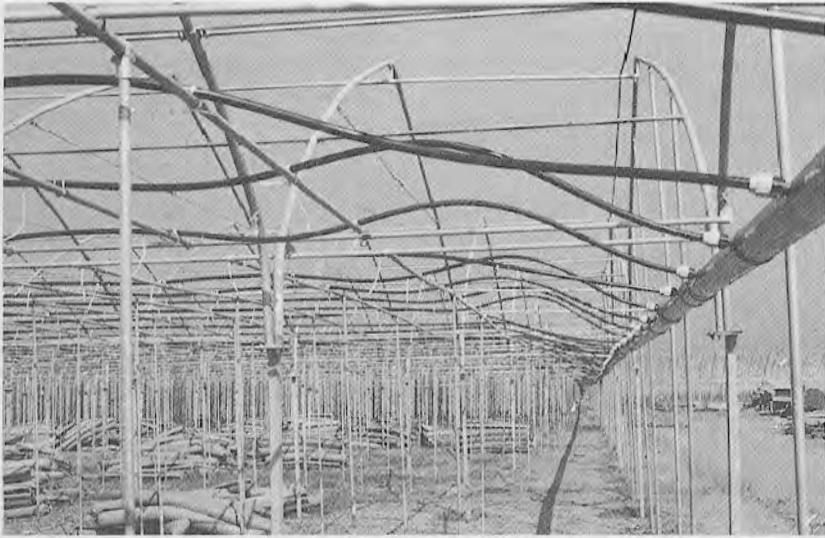


Fig. 11.56. Tubería principal de riego, con líneas laterales que discurren a lo largo de la estructura del invernadero por encima de los «sacos». (Cortesía de M. Tropea, Universidad de Catania, Italia).

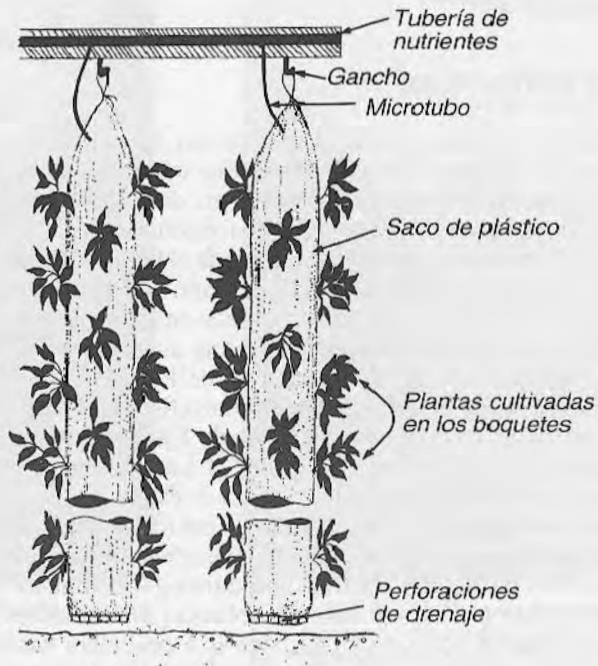


Fig. 11.57. Esquema de un sistema en sacos suspendidos.



Fig. 11.58. Filas de «sacos» suspendidos por la estructura del invernadero. (Cortesía de M. Tropea, Universidad de Catania, Italia).

los períodos de cultivo se desechan saco y sustrato, colocándose nuevas unidades con medio estéril.

Este sistema es particularmente apropiado para lechuga y fresones, ya que éstos requieren una gran superficie de invernaderos, aunque con muy poca utilización del espacio vertical (fig. 11.59); no obstante, los ensayos efectuados con tomates, pimientos, berenjenas, pepinos y otras hortalizas, han dado también muy buenos resultados (Tropea, 1976).

En 1976 funcionaba en Campania, Italia, una explotación industrial con cerca de 8 hectáreas (unos 20 acres) en cultivo con sacos bajo invernaderos de polietileno, siendo el cultivo principal fresones, si bien han probado con éxito otras hortalizas.

Una compañía, FRESEX, de Bogotá, Colombia, cultiva 8 hectáreas (20 acres) de fresones en sacos. La explotación está ubicada cerca de Bogotá en una zona alta, con un cultivo de fresones al aire libre de forma convencional. La producción al aire libre de los fresones presenta muchos problemas de enfermedades, lo que se traduce en unos rendimientos bajos. Por esta razón, la compañía propuso un método alternativo utilizando un sistema hidropónico de cultivo en sacos. En 1997, la explotación tenía 30.000 sacos con 28 a 30 plantas en cada saco, dando un total de 800.000 plantas.

Con el clima tropical de la región no son necesarios los invernaderos. Unos sistemas sencillos de postes y vigas de madera soportan los sacos, que están rellenos con un medio de cultivo de 75% de cáscara de arroz y 25% de ceniza de carbón (escoria). Los sacos, de un grosor de 8 milésimas de pulgada y 15 cm (6 pulgadas) de diámetro por 2

metros (79 pulgadas) de longitud están atados a las vigas de madera (fig. 11.60). La distancia dentro de las hileras es de 0,8 metros (31,5 pulgadas) y de 2 metros (6,5 pies) entre hileras. Los sacos se atan en 7 secciones para evitar el asentamiento del medio y la compactación resultante (fig. 11.61). En cada sección se ponen cuatro plantas, lo que da al menos 28 plantas por saco. El drenaje se realiza a través de 10 agujeros abiertos en el extremo inferior sellado al calor de los sacos. La lixiviación fluye desde la base de los sacos hasta la acequia de drenaje situada debajo que lleva la solución ya empleada al desagadero (fig. 11.62). No se recircula.

Un sistema de riego por goteo distribuye la solución de nutrientes a los sacos desde una gran cisterna central. Dos tuberías laterales de polietileno negro, de 1/2 pulgada de diámetro, corren a lo largo de las vigas de madera desde una tubería de PVC. Las líneas de los microtubos entran en los sacos en cuatro secciones (fig. 11.63). 3 a 6 ciclos de riego por día suministran 3 a 6 litros (3 a 6 cuartos) por saco, dependiendo de las condiciones climáticas y del estado de crecimiento del cultivo.

Las variedades más ampliamente usadas de fresones son «Chandler» y «Sweet Charlie», que se compran en California como plantitas. Los rendimientos varían de 500 a 900 gramos (1 a 2 libras) por planta durante un período de cultivo de 7 meses (fig. 11.64). El objetivo es producir de 800 a 900 gramos por planta. La compañía exporta fresones a América del Norte, Europa y el Caribe, produciéndose las ventas más fuertes de noviembre a enero. Con el bajo coste de capital de la instalación de un sistema de cultivo en sacos al aire libre, la rentabilidad de la inversión debe ser atractiva.



Fig. 11.59. Fresones cultivados en sacos verticales. (Cortesía de M. Tropea, Universidad de Catania, Italia).



Fig. 11.60. Soporte de fresones en sacos en Colombia. (Cortesía de Fresex, Bogotá, Colombia).



Fig. 11.61. Sacs atados en siete secciones. (Cortesía de Fresex, Bogotá, Colombia).



Fig. 11.62. Drenaje en la base del saco. (Cortesía de Fresex, Bogotá Colombia).



Fig. 11.63. Sistema de riego por goteo en sacs. (Cortesía de Fresex, Bogotá, Colombia).



Fig. 11.64. Altos rendimientos de fresones en cultivo en sacs en Colombia. (Cortesía de Fresex, Bogotá, Colombia).

11.8. Unidades a pequeña escala

Pequeñas unidades de jardín pueden ser construidas muy parecidas a aquellas señaladas en el capítulo 9 de cultivos en serrín. Pueden utilizarse bandejas de crecimiento o bolsas de plástico (fig. 11.65). En tan pequeña escala, la esterilización no debería ser precisa, pudiendo reemplazarse el medio de cada cultivo.

El método más simple y más barato para cultivar hidropónicamente herbáceas, lechugas y otras hortalizas es el uso de una lámina de plástico, «com-pack» o bandeja, y un depósito de nutrientes que consiste en una botella de un galón (3,75 litros). La bandeja de 10 1/2 × 21 pulgadas (27 × 53 cm) y sin boquetes de drenaje se utiliza como un «com-pack» (capítulo 13) de 48 compartimentos. En uno de los extremos se quita una de las ocho secciones (seis compartimentos) para colocar el depósito de nutrientes. Este consiste en una botella de polietileno rígido con boca ancha, que tiene un boquete perforado a través del tapón, al que va pegado un anillo de corcho. La botella se llena con la solución fertilizante colocándola invertida en la bandeja. La perforación del tapón permite fluir la solución, hasta que el nivel en la bandeja alcanza el mismo que éste, momento en que el aire detendrá el drenaje de la solución desde la botella.

Los compartimentos del «com-pack» se llenan con vermiculita gruesa, sembrando las semillas a continuación y cubriéndolas con una fina capa adicional de vermiculita, humedeciéndolas solamente con agua. Si se cubre la bandeja durante algunos días con un plástico negro, hasta que tiene lugar la germinación, se podrá evitar la desecación de éstas. Una vez que las semillas han germinado se quitará el plástico y se expondrá la bandeja a plena luz.



Fig. 11.65. Pequeñas «unidades caseras» de 2 pies de largo por 10 pulgadas de ancho (60 × 15 cm) con un medio de perlita-vermiculita. Apropriadadas para ventanas o balcones de casas o apartamentos.

OTROS CULTIVOS SIN SUELO

Estas bandejas de vivero sirven para hacer crecer pequeñas plantas y esquejes que con posterioridad deberán ser trasplantadas; no obstante, también pueden utilizarse para lechugas de ciclo corto, que serán cosechadas cuando alcancen 3 a 4 pulgadas (8 a 10 cm) de altura (fig. 11.66).

Verti-Gro, Inc. fabrica pequeñas unidades de cultivo en columna de 2 y 3 pilas para aficionados (figs 11.67 y 11.68). Estas unidades se pueden poner en balcones,

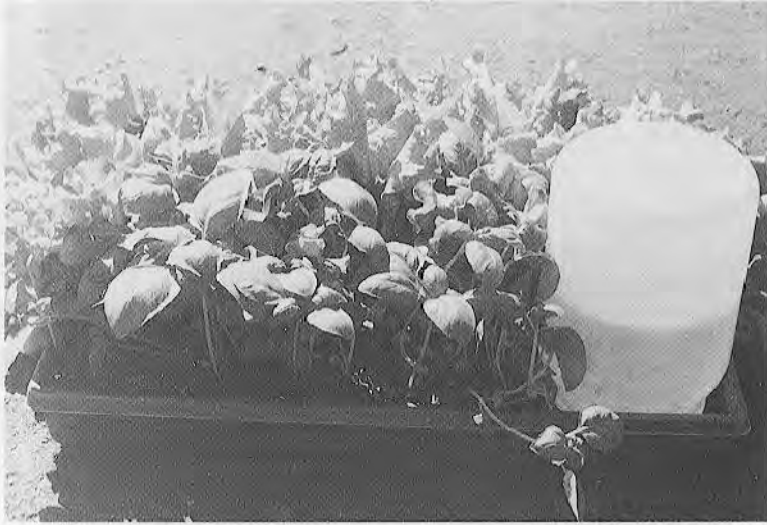


Fig. 11.66. Bandeja hidropónica de vivero utilizada para el cultivo de plantas de bancada, albahaca y lechuga. Depósito de nutrientes de un galón de capacidad.

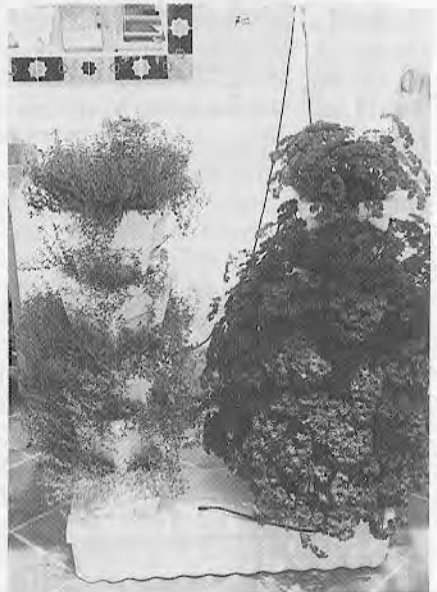


Fig. 11.67. Sistema hobby Verti-Gro de 2 pilas, con tomillo a la izquierda y perejil a la derecha. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 11.68. Sistema hobby Verti-Gro de 3 pilas con lechuga europea «Rex». (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

huertos de delante de la casa o interiores bajo luz artificial. Las unidades son completas y están listas para plantar. Las torres vegetales se instalan sobre un depósito de nutrientes de plástico rígido, que contiene una pequeña bomba sumergible que funciona con un programador de reloj. Un medio de perlita y fibra de coco facilita la filtración adecuada de la solución y posibilita que un gotero especial situado encima de una tubería de 3/4 de pulgada riegue la maceta superior varias horas durante 10 a 15 minutos (fig. 11.69). La solución se filtra de una maceta a la situada inmediatamente debajo a través de los agujeros de drenaje en la base de cada maceta de Styrofoam hasta que entra en el depósito situado debajo. Éste es un sistema recirculante cerrado. Estas torres son especialmente adecuadas para cultivar lechugas, espinacas, hierbas y otras plantas de bajo perfil, incluyendo las ornamentales si así se desea.



Fig. 11.69. Gotero en la parte superior de la torre hobby. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

11.9 Cultivos hidropónicos populares

En los países latinoamericanos, especialmente Colombia y Perú, a la horticultura hidropónica a pequeña escala se la denomina «cultivos hidropónicos populares», que incluyen los cultivos hidropónicos sobre el tejado y en los huertos de delante de casa, que han sido introducidos en comunidades pobres.

En Perú, el Sr. D. Alfredo Delfín y su equipo de investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) han sido decisivos en el desarrollo de pequeños sistemas que pueden ser utilizados por familias de bajas rentas, que normalmente no pueden permitirse la compra de hortalizas frescas. Algunos de los cultivos corrientes incluyen lechugas, apio, espinacas, albahaca, menta y otras hierbas, acelgas, remolachas, pimientos, chile, fresones, tomates y otras plantas locales. Unos sistemas muy básicos, sencillos y baratos, que pueden funcionar sin electricidad, utilizan una variedad de contenedores y sustrato de acuerdo con su disponibilidad.

En el centro de extensión de la Universidad, el Centro de Investigación de Cultivos Hidropónicos y Nutrición Mineral, se han desarrollado unos sistemas sencillos de cultivo en sacos, cultivo en balsas, cultivo NFT, arena y otros sustratos (figs. 11.70 y 11.71). Con la cooperación del Ministerio de la Vivienda de Perú y el Departamento Nacional de Desarrollo Urbano, han desarrollado un huerto sobre los tejados de unas construcciones comunitarias. El proyecto de 3.000 pies cuadrados (280 metros cuadrados) está compuesto de 150 unidades hidropónicas de 12 pies cuadrados (1,1 metros cuadrados) cada una, donde producen lechugas, apio y albahaca en

CULTIVOS HIDROPONICOS

un sistema simplificado de cultivo en balsas. La solución se remueve varias veces al día para añadir oxígeno. Se han introducido otros sistemas que usan contenedores vacíos, neumáticos cortados por la mitad y cultivo en sacos para estas pobres comunidades (fig. 11.72).



Fig. 11.70. Cultivo hidropónico popular de lechugas en balsas en Perú. El operario está agitando la solución de nutrientes para añadir oxígeno.



Fig. 11.71. Cultivo hidropónico popular de fresas utilizando un cultivo en columna.



Fig. 11.72. Cultivo hidropónico popular en Perú utilizando contenedores para cultivar plantas forrajeras (trigo) para los animales.

11.10. Esterilización del medio

Todos los medios mencionados en este capítulo deberán estar esterilizados, bien sea con medios químicos o con vapor, como ya se ha explicado en el capítulo 8.

11.11. Ventajas e inconvenientes de las mezclas de turba

Ventajas

1. Como en los cultivos en arena y serrín, son sistemas abiertos y, por tanto, hay menos posibilidades de difusión de enfermedades como el *Fusarium* y *Verticillium*, especialmente en tomates.
2. No existen problemas de atascamiento de las tuberías de drenaje a causa de las raíces.
3. El movimiento lateral de la solución de nutrientes, a través de la zona radicular, es muy bueno.
4. La aireación de las raíces es buena.
5. En cada ciclo de riego se añade una nueva solución de nutrientes.
6. El sistema es simple y fácil de mantener y reparar.
7. La alta capacidad de absorción del agua por el medio reduce los riesgos de un estrés hídrico si ocurriese una avería de la bomba.
8. Se le puede adaptar un inyector de fertilizantes y de esta forma necesitar menos espacio para el depósito de almacenamiento.
9. Turba, perlita y vermiculita se pueden conseguir normalmente en la mayoría de las regiones del mundo.
10. El cultivo en sacos nos permite a los agricultores utilizar de forma eficiente el espacio vertical de los invernaderos, en cosechas tales como lechuga y fresones, que normalmente exigen una gran superficie de cultivo, pudiendo de esta forma cultivar un mayor número de plantas.
11. Los cultivos en sacos y en columnas mantienen parte de las plantas y los frutos fuera del contacto con el medio, lo cual reduce los problemas por enfermedades de vegetación y cosecha.

Inconvenientes

1. El medio deberá esterilizarse entre las cosechas con medios químicos o con vapor, lo cual requiere más tiempo que en el cultivo en grava, aunque ésta es muy efectiva.
2. La turba, pumita y vermiculita son más costosas que el serrín en las zonas con grandes industrias forestales.
3. Al llegar el momento de la cosecha, las formaciones salinas pueden alcanzar niveles tóxicos, si bien los lavados regulares con agua pura y en forma adecuada pueden evitar este problema.
4. Las obturaciones de los goteros pueden ocurrir si no se utilizan filtros adecuados o si no se efectúa la limpieza de dichos filtros.
5. Puesto que la turba es de naturaleza orgánica se descompondrá con el tiempo, siendo necesario entre cosecha el rastrillarla y añadir la necesaria.
6. Perlita, pumita y vermiculita se quiebran con el uso continuado, produciéndose una compactación del medio; por este motivo, las mezclas con turba se reem-

plazan normalmente después de la cosecha, lo que nos incrementa los costes anuales, tanto por el medio como por los trabajos realizados.

7. Si la compactación sucede durante el período de cultivo, se producirá una fuerte disminución de la aireación de las raíces, obteniéndose una cosecha muy pobre. Tanto la proporción original de la mezcla, como su ejecución, son muy importantes para evitar esta compactación.

En resumen, las mezclas de turba se utilizan de forma extensiva en cultivo de plantas en contenedores, mientras que en bancadas u otros cultivos, otros medios como la arena o el serrín son más apropiados. En el cultivo en sacos las mezclas de turba o serrín son más apropiadas debido a su poco peso. De estos cultivos, las bolsas de perlita y las planchas de espuma ofrecen el mayor potencial para la futura producción comercial de cultivos entutorados.

Referencias

- BROODLEY, J. W. y SHIELDRAKE, R. Jr.: *Cornell «Peat-Lite» mixes for container growing*. Dept. Flor. and Hort., Cornell Univ. Mimeo Rpt. 1964.
- BRADLEY, Peggy: *Fast food relief*. Practical Hydroponics and Greenhouses (51):73-81. Casper Publ. Pty. Ltd., Narrabeen, Australia. 2000.
- BROODLEY, J.W. y SHIELDRAKE, Jr.: *Cornell «Peat-Lite» mixes for container growing*. Dept. Flor. and Orn. Hort., Cornell Univ. Mimeo Rpt. 1964.
- Phenolic foam – a unique plastic, its characteristics and use in hydroponics. *Proc. National Agric. Plastics Congress* (19th): Peoria, Ill. Pp. 203-209. 1986.
- COOK: *Plastoponics in ornamental horticulture*. Gardeners Chronicle/HTJ, Oct. 7-15, 1971.
- DAY, DESMOND: *Growing in perlite*. Grower Digest Nº 12. 35 pp. London: Grower Books. 1991.
- GERHART, K.A. y GERHART, R.C.: Commercial vegetable production in a perlite system. *Proc. 13th Ann. Conf. on Hydroponics*. Hydroponic Society of America, Orlando, FL, Abril 9-12, 1992, pp. 35-39. 1992.
- GRAVES, C.J.: Growing plants without soil. *The Plantsman*. Mayo 1986, pp. 43-57. 1986.
- HARTMANN, H.T. y KESTER, D.E.: *Plant propagation principles and practices*. 3rd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall. 1975.
- LINARDAKIS, D.K. y MANIOS, V.I.: Hydroponic culture of strawberries in plastic greenhouses in a vertical system. *Acta Horticulturae* (287):317-326. 1991.
- LUCAS, R.E., RIECKE, P.E. y FARNHAM, R.S.: *Peats for soil improvement and soil mixes*. Mich. Coop. Ext. Ser. Bull. Nº E-516. 1971.
- MARULANDA, CÉSAR e IZQUIERDO, JUAN: *Popular Hydroponics Gardens*. FAO Technical Manual. Santiago, Chile, 1993.
- MATKIN, O.A. y Chandler P.A.: *The U.C. type soil mixes*. Section 5 in Calif. Agr. Exp. Sta. Man. 23. 1957.
- MUNSUZ, N., CELEBI, G., ATAMAN, Y., USTA, S. y UNVER, I.: A recirculating hydroponic system with perlite and basaltic tuff. *Acta Horticulturae* (238):149-156. 1989.
- RESH, H.M.: Column culture of vegetables and strawberries. *Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial*. Lima, Perú, 6-8 Agosto 1997:47-54. 1997.
- RESH H.M., RODRÍGUEZ DELFÍN, A. y SILBERSTEIN, O.: Hydroponics for the people of Peru. *The Growing Edge*, Vol. 9, Nº 3. Enero/febrero 1998:73, 75. 1998.
- RÍOS, JOVITA ABENSUR: *El Huerto Hidropónico Familiar*. Imagen Educativa. Instituto Magisterial de Apoyo a la gestión educativa Nacional, Lima, Perú. 1996.
- RODRÍGUEZ DELFÍN, A.: Sistema de cultivo en columnas, *Conferencia Internacional de Hidroponía*. Toluca, México, 6-8 mayo 1999.
- RODRÍGUEZ DELFÍN, A. y CHANG, M.: Greening the schoolyards of Peru – with hydroponics. *Practical Hydroponics and Greenhouses* (48):66-68. Casper Publ. Pty. Ltd. Narrabeen, Australia. 1999.
- TROPEA, M.: The controlled nutrition of plants, II – a new system of «vertical» hydroponics. *Proc. 4th. Int. Congress on Soilless Culture*. Las Palmas, pp. 75-83. 1976.
- ZAPP, JORGE: Cultivo sin tierra – Hidroponía popular. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Bogotá, Colombia. 1991.

12

Cultivos hidropónicos tropicales y aplicaciones especiales

12.1. Introducción

En los últimos cinco años ha habido un gran interés por los cultivos hidropónicos en los países tropicales de todo el mundo. Se han iniciado un gran número de operaciones hidropónicas en Australia, Indonesia, México y América del Sur y Central. Cuando las economías de algunos países menos desarrollados mejoran con el control de la inflación y la estabilidad política, el nivel de vida crece. Con la mejora de las condiciones económicas, las nuevas oportunidades crean una clase media más amplia de gente que se puede permitir la demanda de hortalizas frescas de mayor calidad. El conocimiento de las hortalizas de calidad abre un mercado para los cultivos agrícolas con ambiente controlado, como tomates, pimientos, lechugas, berros y otras hierbas. Estos cultivos serán cultivados hidropónicamente para garantizar que están libres de organismos que causan enfermedades como la disentería y el cólera. En las regiones tropicales, la mayor parte de la agricultura está localizada en el fondo de los valles donde el agua es más abundante; sin embargo, estas áreas, especialmente las próximas a ciudades, con frecuencia están contaminadas debido a los desagües de las viviendas. Ésta ha sido la razón del éxito del cultivo hidropónico de la empresa Hidroponías Venezolanas de Caracas, Venezuela. Utilizaré dicha empresa como ejemplo del uso potencial de cultivos hidropónicos en las regiones tropicales.

En primer lugar, quiero discutir algunos de los usos potenciales de los cultivos hidropónicos en los trópicos y cómo se podrían acomodar a un programa agrícola general en estas regiones. Como todo el mundo es consciente, estamos perdiendo nuestra vegetación autóctona en el Amazonas a una velocidad alarmante. Muchas especies vegetales que han existido durante milenios se están perdiendo diariamente. Estas especies han evolucionado con el tiempo hasta formar una ecología muy estable en la que las plantas y otras formas de vida viven en equilibrio. Estamos perturbando este delicado equilibrio con las consiguientes consecuencias a nivel mundial en nuestro clima,

salud y supervivencia futura del planeta tierra. No podemos permitirnos ignorar la pérdida de especies y el desequilibrio resultante de la ecología. Muchas de las especies vegetales tienen sistemas naturales de defensa y otros componentes que podrían ser muy beneficiosos para la humanidad. Estos productos pueden ser útiles para la curación de muchas enfermedades humanas, y ser sucedáneos para perfumes sintéticos, aceites y productos del petróleo que usan recursos no renovables. En el pasado he visitado ciertas instalaciones de investigación en Venezuela, en las que los ecologistas y bioquímicos han ido a la zona del Amazonas para recolectar plantas que pudieran tener un valor económico. El Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) ha traído plantas al laboratorio que contenían aceites, productos aromáticos y otras sustancias útiles. Su problema era la falta de financiación para investigar los usos potenciales de las propiedades bioquímicas y cómo cultivar estas plantas lejos de su hábitat natural.

Los cultivos hidropónicos son una herramienta que se puede emplear en la determinación de las necesidades culturales de estas plantas autóctonas. Si tales plantas poseen componentes de valor significativo para los humanos, es importante cultivarlas agrícola-mente, pues no podemos recoger estas plantas en su hábitat natural. Eso iría en contra de nuestro propósito de mantener en equilibrio el hábitat natural. Determinar las necesidades nutricionales de estas plantas a través de diversos métodos de cultivos hidropónicos sería el primer paso para su cultivo. En definitiva, pueden crecer mejor en algún tipo de suelo que en un substrato sin suelo, pero los cultivos hidropónicos nos llevarán a conocer cuáles son las técnicas culturales más convenientes para su crecimiento y desarrollo.

Una posterior fase de la investigación sería trazar el mapa de los genes para determinar qué genes son responsables de la síntesis de los componentes que nos son útiles. La ingeniería genética de las plantas desempeñará un importante papel en la naturaleza de los componentes vegetales que queremos que posean. Por ejemplo, necesitamos buscar genes que sean responsables de la resistencia de las plantas a enfermedades y plagas. Para hacer esto, tendremos que volver a las plantas en su hábitat natural y buscar aquellas que sean capaces de vivir en presencia de altas presiones de insectos y enfermedades. Estas presiones son más altas en las condiciones ambientales tropicales, donde las plantas viven en sus hábitats naturales. Una vez que se encuentren los genes para varias resistencias, necesitamos transferir estas cualidades a nuestros cultivos domésticos. De esta forma podemos reducir el uso de pesticidas en la agricultura.

Cuando se puedan identificar y cultivar nuevas plantas de importancia económica, algunas podrían convertirse en potenciales cultivos hidropónicos de invernadero. Las plantas medicinales que tienen componentes bioquímicos valiosos pueden crecer mejor en condiciones tropicales. Estas plantas podrían cultivarse en invernaderos proporcionándoles sus necesidades ambientales exactas. Alternativamente, estas plantas se podrían cultivar en climas tropicales con métodos intensivos de cultivo como los hidropónicos.

Otro concepto en el que los cultivos hidropónicos podrían ser una parte integral es la clasificación de las tierras tropicales en sus zonas agrícolas óptimas. Las regiones de los países tropicales se pueden evaluar, de acuerdo con sus tipos de suelo, climas, recursos hídricos y topografía, según su potencial uso para la producción agrícola. Ciertas plantas específicas y su tipo de cultivo necesitan acomodarse a estos factores. En áreas con terrenos pendientes muy próximas a los núcleos de población se pueden establecer terrazas. Si el suelo no es muy cultivable, los cultivos hidropónicos son una alternativa. Éste ha sido el caso de Hidroponías Venezolanas, que está situada en una ladera. La

agricultura tradicional de estas laderas empinadas causa erosión y necesita mucha mano de obra, pues sólo es posible una pequeña mecanización (fig. 12.1).



Fig. 12.1. Típicos terrenos en pendiente de las regiones montañosas de los trópicos, en cuyo suelo se cultivan a mano diversas hortalizas. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

En estas diferentes zonas agrícolas se podrían desarrollar pequeños sitios de ensayos hidropónicos para la determinación de cultivos y técnicas culturales adecuadas. En algunos casos, las naves de propagación hidropónica se pueden usar para cultivar plántulas que después serán transportadas a los cultivos al aire libre. Estas plántulas pueden iniciarse en un sustrato sin suelo, como bandejas o cubos. Los cubos a base de espuma y/o petróleo pueden estar disponibles en países que tienen petróleo. Otros países tienen con frecuencia pumita, turba o más comúnmente cáscaras de coco. Las cáscaras de coco se pueden moler para obtener fibra de coco. Todos ellos son sustratos adecuados para propagar semillas usando bandejas con celdas. Los trasplantes producirán cultivos más uniformes y resistirán a los organismos del suelo que matan a las plantas en su fase inicial de germinación.

En otras situaciones, los cultivos agrícolas están localizados en el fondo de los valles, donde el agua es más abundante, pero muchas veces está contaminada por los núcleos urbanos cercanos. En Chile, la enfermedad del cólera está muy extendida en los cultivos para ensaladas, como lechugas y berros, que se cultivaban en tierras bajas. Los cultivos hidropónicos son la respuesta a este problema. Dado que los cultivos hidropónicos conservan el agua, se pueden utilizar tratamientos y filtraciones especiales para matar y eliminar estos organismos causantes de enfermedades.

Éste fue también el caso de Hidroponías Venezolanas, donde los cultivadores locales de lechugas y berros se encontraban en el fondo de los valles, en los que los desagües de los terrenos circundantes introducían los organismos de las enfermedades en sus cultivos. Gran parte de estos productos iban a los restaurantes, donde con frecuencia los clientes se ponían enfermos con disentería después de consumir ensaladas frescas. Esto proporcionó una oportunidad al Dr. Silvio Velandia, propietario de Hidroponías Venezolanas, pues fue capaz de prever la instalación de una explotación hidropónica en su finca que tenía una fuerte pendiente. En el lugar se disponía de fuentes de montaña con agua limpia, pues nadie vivía por encima de la finca; en efecto, todavía existe un parque. Sin embargo, para estar seguro se instalaron unos sistemas de cloración y filtración para defenderse de cualquier infestación bacteriana (fig. 12.2).



Fig. 12.2. Sistema de filtración del agua de una fuente de montaña. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

12.2. Hidroponías Venezolanas

En los últimos 25 años he asesorado a esta compañía sobre el desarrollo de su explotación hidropónica cerca de Caracas, Venezuela. Por esta razón, quiero relatar sus logros como ejemplo de cómo se pueden aplicar con éxito los cultivos hidropónicos en los trópicos.

El cultivo de plantas templadas en los países tropicales presenta ciertos retos únicos. Con la mejora de las economías en muchos de los países tropicales, una clase media cada vez mayor demanda alimentos limpios, seguros y nutritivos como ocurre en otros países industrializados de todo el mundo. Demandan dietas similares que incluyen frutas y hortalizas frescas.

Estos cultivos, que no son originarios de los trópicos, requieren unas condiciones de cultivo específicas. Los fresones, pimientos, berenjenas, tomates, pepinos, lechugas, col, apio, coliflor, judías, berro y otras hierbas están siendo demandados. En muchas regiones de estos países el clima no es adecuado para el cultivo de estas plantas, debido a las excesivas temperaturas y a la alta humedad. Sin embargo, en áreas montañosas con altitudes de más de 1.500 metros (4.900 pies), las temperaturas bajan lo suficiente para permitir el cultivo de plantas templadas de estación fría, como lechugas, fresones, berro, col, apio y coliflor. Este es el caso de Venezuela.

Las temperaturas en estas regiones varían de 22 a 28 °C (72-82 °F) durante el día y de 16 a 20 °C (61-68 °F) durante la noche. Las temperaturas diurnas están en el límite superior tolerable para el cultivo de plantas de estación fría, como lechuga, col, coliflor y berro. Cualquier variación prolongada en las temperaturas diurnas puede causar el fracaso de la cosecha.

Cuanta mayor es la altitud en la que se pueden ubicar los cultivos, menor es la probabilidad de experimentar excesivas temperaturas diurnas que pueden causar la subida de las lechugas, col y coliflor o la floración del berro. Al buscar altitudes más elevadas se encuentran generalmente terrenos más pendientes (fig. 12.3). Como consecuencia de ello, la agricultura convencional es muy difícil. Las parcelas de cultivo son pequeñas y son cultivadas a mano repetidamente año tras año. La producción disminuye con el descenso de la fertilidad y la erosión del suelo aumenta con la descomposición estructural.

Donde la tierra cultivable es muy limitada y difícil de trabajar, los cultivos hidropónicos con producciones intensivas son la mejor solución. Pero muchas veces es imposible contar con gente local con los conocimientos necesarios para estos cultivos más téc-



Fig. 12.3. Terreno en pendiente de agricultura tradicional con terrazas de cultivos hidropónicos bajo cubierta de plástico para prevenir los daños por las lluvias a tomates, pepinos y pimientos. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

nicos. Los fertilizantes pueden escasear durante meses y, por tanto, es preciso mantener grandes reservas. El equipo y los materiales, como bombas, tuberías de plástico, pesticidas y repuestos de invernaderos, son difíciles de encontrar localmente, de forma que con frecuencia tienen que ser importados de los Estados Unidos o de Europa. Todos estos problemas han llevado a múltiples fracasos y a un desarrollo muy lento de una agricultura altamente tecnificada como es el cultivo hidropónico. Por otra parte, si esta agricultura técnica lograra introducirse con éxito, a base de tiempo y paciencia, un vasto mercado estaría listo para ella, puesto que no hay verduras limpias y frescas.

Los trópicos tienen siempre presente gran cantidad de insectos y de plagas del suelo, como los nematodos. Además, las aguas tienen un alto porcentaje de sales disueltas, y los suelos son poco profundos e infértiles. Por tanto, los cultivos con las técnicas tradicionales producen bajas cosechas con fuertes problemas de plagas.

Los cultivos hidropónicos pueden evitar todos estos problemas y así un cultivo intensivo bajo condiciones controladas, junto con técnicos cualificados, puede abrir una nueva era de producción agrícola en los trópicos.

Para demostrar el potencial de los cultivos hidropónicos para hacer frente a estos problemas, usaré mi experiencia personal con Hidroponías Venezolanas. Esta compañía empezó con el cultivo de lechuga (tipos iceberg) en arena hace 25 años. Actualmente han diversificado su producción a berro, otros tipos de lechuga como romana y arugula, tomates, pepinos europeos, pimientos, alfalfa y judía Mung, como se vio antes en el capítulo 5. Junto con estos cultivos, también habían desarrollado nuevos cultivos hidropónicos como flujo y reflujo, cáscaras de arroz y fibra de coco.

12.3. Cultivo en arena en los trópicos

La explotación de Hidroponías Venezolanas está situada en un terreno escarpado a unos 40 kilómetros de Caracas, en San Pedro de los Altos, habiéndose nivelado el terreno en terrazas para un mejor aprovechamiento del suelo (fig. 12.4). Cada terraza tiene aproximadamente un tercio de hectárea. Como el suelo era muy rocoso y la nivelación de éste hubiera exigido la utilización de un material pesado muy costoso, se decidió cultivar en bancadas elevadas con estructura metálica. El coste del acero y los trabajos de soldadura son allí relativamente baratos.

Los marcos de las bancadas se soldaron in situ y se colocaron sobre pies de hormigón, como muestra la figura 12.5. El fondo se construyó de ladrillos y hormigón, materiales comunes en la zona. (fig. 12.6). Las bancadas se nivelaron con una delgada capa de hormigón y se sellaron con pintura bituminosa (figs. 12.7 y 12.8). Sobre la superficie del fondo se colocaron tuberías de drenaje y losas de arcilla para facilitar un drenaje adecuado (fig. 12.9).

El sustrato es arena de cuarzo (silicato) con un sistema de subirrigación. Se construyeron grandes cisternas subterráneas de hormigón de 50.000 litros (13.000 galones) para almacenar la solución de nutrientes. El agua se bombea desde varios pozos y arroyos hasta un cierto número de tanques de almacenamiento, y finalmente hasta un depósito situado en la parte superior de la explotación; esta agua es de bajo contenido en sales disueltas, cosa rara y afortunada en los trópicos. Se construyó un complejo sistema de tuberías y bombeo para llevar el agua hasta los tanques de almacenamiento y para distribuir la solución de nutrientes a cada una de las bancadas (fig. 12.10).



Fig. 12.4. Vista de terrazas hidropónicas en la explotación de Hidroponías Venezolanas. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

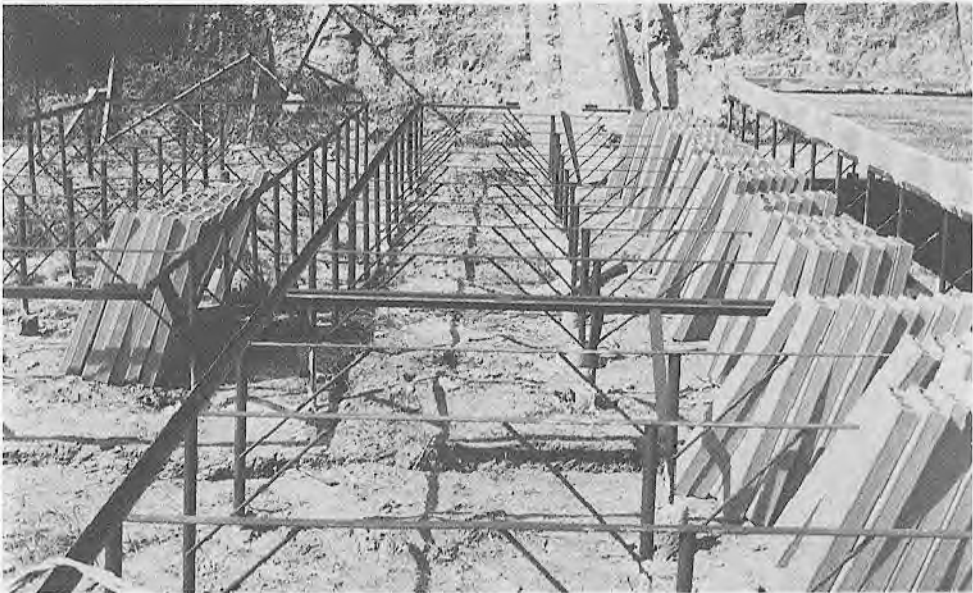


Fig. 12.5. Estructuras de acero de bancadas hidropónicas. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.6. Fondo de ladrillo de arcilla de las bancadas hidropónicas. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.7. Bancadas niveladas con una capa de hormigón. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.8. Bancadas selladas con pintura bituminosa. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

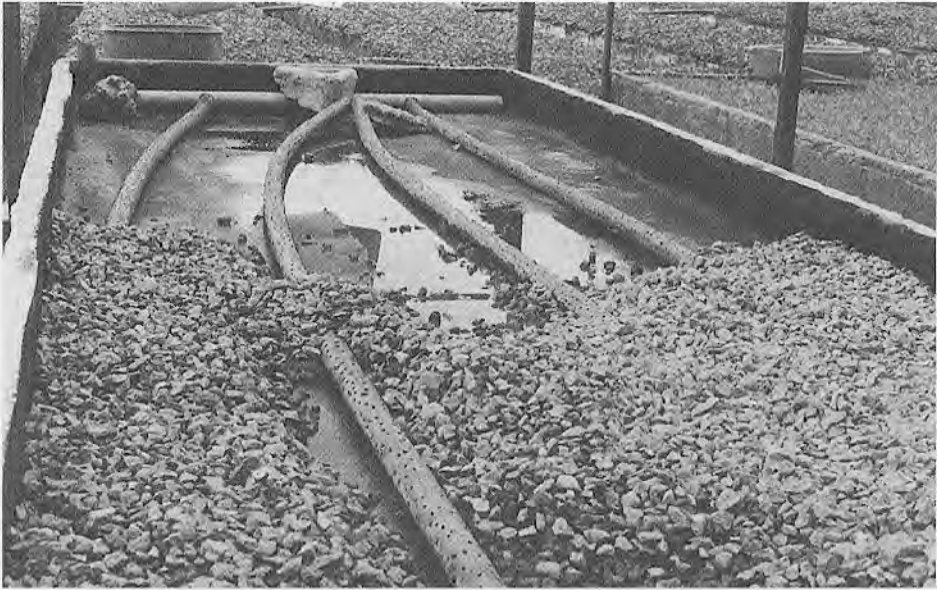


Fig. 12.9. Tuberías de drenaje en el fondo de las bancadas con una capa de grava gruesa seguida por encima con capas de grava de garbanzo y arena gruesa. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.10. Distribución de las tuberías desde la cisterna a las bancadas elevadas. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

La solución de nutrientes entra en un extremo de las bancadas a través de un pleno (fig. 12.11). Una serie de tejas cortadas por la mitad, o tuberías de PVC con agujeros, colocadas a lo largo del fondo de cada bancada conectan el pleno con el extremo del drenaje en el lado opuesto. El drenaje se cierra manualmente de forma que la solución se vaya elevando en las bancadas hasta quedar a una pulgada (2,5 cm) de la superficie de la arena (fig. 12.12). Tres tapones de tubería de diferentes alturas regulan el nivel de la solución en las bancadas. Cuando los trasplantes se colocan primero en las bancadas, el tapón más alto de las tuberías mantiene el nivel en una pulgada. Después, cuando las plantas se establezcan, el nivel del agua disminuye varias veces colocando tapones más cortos en el agujero de drenaje.

Cada ciclo de riego dura 15 a 20 minutos, quitando entonces el tapón y dejando salir la solución de la bancada durante diez minutos, lo que proporcionará una buena aireación. Se necesitan cuatro a cinco ciclos de riego al día para las lechugas. Para reducir los tiempos de drenaje y relleno, las nuevas bancadas se construyen de forma que no tengan más de 9 metros (29,5 pies) de largo, en lugar de los 18-20 metros (60-65 pies) anteriores. El estanque grande se divide en 5 secciones de 9.000 litros (2.375 galones), teniendo cada sección una bomba separada y una tubería hasta un sector de 8 bancadas (fig. 12.13). Esto permite el



Fig. 12.11. La solución de nutrientes entra en un extremo de las bancadas a través de un pleno. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.12. Tapones manuales de drenaje para elevar el nivel de la solución en la bancada. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.13. Sistema de distribución desde la cisterna con múltiples secciones que suministra la solución a los sectores de las bancadas. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A. Caracas, Venezuela).

relleno de las bancadas en 5 minutos con un tiempo de drenaje similar, lo que se traduce en una mejor oxigenación de las raíces de las plantas.

A causa de que no existe en la región una arena adecuada, es necesario traer ésta con camiones desde una distancia de más de 500 millas, lo que resulta muy costoso. La arena utilizada es sílice pura con textura gruesa, de la utilizada normalmente en la industria cristalera. Debido a este elevado coste de la arena de sílice, se redujeron las necesidades de arena colocando una capa de 3 a 4 pulgadas (7,5 a 10 cm) de ladrillos partidos en el fondo de las bancadas sobre las tejas de drenaje, y a continuación se colocó la capa definitiva de arena de 4 a 5 pulgadas (10-12,5 cm) de altura. El uso de tejas de arcilla como medio inferior no ha resultado satisfactorio, puesto que al cabo de un período de seis meses a un año se va descomponiendo en un polvo fino que causa una excesiva humedad en las raíces y coronas de las plantas de lechuga, lo que produce unas podredumbres bacterianas. La solución fue eliminar dicha capa intermedia y sustituirla por una roca de granito grueso seguida de una capa de piedras más pequeñas antes de añadir la capa superior de arena (fig. 12.14).

La disponibilidad de obtener los materiales de construcción y su coste, al igual que los medios y fertilizantes, en cada localidad será lo que determinará el tipo de sistema hidropónico que se debe utilizar. Generalmente, los productos derivados del acero, el hormigón y los ladrillos de arcilla son fáciles de conseguir y baratos. Tal es el caso de Venezuela, donde las bancadas para cultivos hidropónicos se construyen con estructuras de acero, ladrillos y hormigón, tal como se señaló anteriormente.

En los trópicos, donde la duración del día y las horas con sol varían poquísimos de un mes a otro, debe existir una correlación exacta entre la conductividad eléctrica (EC), la disolución total de solutos (TDS), la concentración de los nutrientes y la edad de las plantas. Hay dos estaciones en los trópicos, una estación húmeda desde junio hasta



Fig. 12.14. Roca gruesa con grava de garbanzo y finalmente una capa superior de arena gruesa. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

diciembre y una estación seca desde enero a mayo, y si bien hay más precipitaciones durante la estación húmeda, esta lluvia es muy fuerte durante cortos períodos de tiempo cada día. Después sigue un rápido despeje del cielo con una total aparición de tiempo soleado. Esto hace que el número de horas de sol por mes durante la estación húmeda no se diferencie mucho del de la estación seca. Consecuentemente, el efecto más notorio para la solución de nutrientes es que la época de crecimiento de las plantas no está influenciada por las horas de sol.

Las variaciones extremas en la pluviometría son corrientes. Por ejemplo, en las planicies centrales de Venezuela, durante la estación seca, la precipitación es tan baja que junto a las altas temperatura, más de 30 °C (86 °F), las condiciones parecen las del desierto, mientras que durante la estación de las lluvias toda la región aparece inundada con algunos pies de agua. En estas regiones solamente se puede cultivar en los períodos secos con el uso del riego.

Aun en las regiones montañosas las estaciones húmeda y seca son muy diferentes. Durante la estación húmeda, las temperaturas son generalmente algunos grados más calientes y la lluvia cae casi todos los días durante algunas horas.

Como resultado, cualquier cosecha que no soporte una humedad constante y elevada acabará por desaparecer a causa de las enfermedades; tal es el caso de la lechuga, que durante el período de maduración es muy sensible al exceso de humedad, produciéndose su podredumbre en cuanto ésta pase al cogollo, extendiéndose rápidamente con las temperaturas elevadas, siendo frecuentes las pérdidas de un 40 a 60 por 100.

Puesto que muchas especies no se pueden cultivar durante la época húmeda, la escasez de estos productos da lugar a una rápida elevación de los precios. Así pues, podremos esperar un buen mercado si se llevan a cabo cultivos hidropónicos que nos suministren lechugas y otras hortalizas a lo largo de todo el año.

El uso de los cultivos de arena sobre bancadas elevadas impedirá que las lluvias humedezcan las raíces en exceso; sin embargo, la humedad en las plantas podrá causar pérdidas. Varios métodos ayudan a solucionar este problema. En primer lugar, la elección de una variedad muy resistente que tenga hojas fuertemente cerradas impedirá que la lluvia entre en el cogollo. Hidroponías Venezolanas ha ensayado más de 25 variedades diferentes y ha comprobado que las mejores son «Great Lakes 659» y «Montemar». Estas variedades son resistentes a la «subida» y forman grandes cogollos. La segunda posibilidad fue construir un techo barato sobre las bancadas. Colocados a varios metros sobre las bancadas con una forma de diente de sierra, los techos evitarían las lluvias, pero permitirían una ventilación natural suficiente para mantener las temperaturas dentro de una gama ambiental de varios grados. Se construyeron cubiertas de fibra de vidrio. El material perdió el color en un año y los niveles de luminosidad se redujeron lo suficiente para causar la «subida» a unas temperaturas ligeramente superiores a las ambientales.

El cultivo de lechugas en áreas de altas temperaturas, entre 25 y 28 °C (77-82 °F), es difícil debido a la «subida», la cual ocurre por encima de estas temperaturas. Con una ligera reducción lumínica por el uso de una cubierta de fibra de vidrio o polietileno, la subida aparece a temperaturas más bajas (25 a 27 °C). Por esta razón, una cubierta temporal que pudiese ser quitada fácilmente podría ser beneficiosa para el crecimiento de muchas cosechas de estación fría. Se dispone ahora de invernaderos que tienen cubiertas de polietileno que se enrollan automáticamente, que pueden ser la respuesta para los trópicos. Los techos enrollados con un sistema motorizado se pueden desplegar en varios minutos. Los techos cubren el cultivo tan pronto como se detecte la lluvia y se

abren cuando pasa la amenaza de lluvia. De esta forma, el cultivo puede crecer bajo temperaturas y luminosidad ambientales, reduciendo la incidencia de la subida y la pudrición blanda bacteriana.

Las elevadas temperaturas a lo largo del año producen en los trópicos grandes poblaciones de insectos de forma constante y, al efectuarse los cultivos hidropónicos al aire libre sin la protección que suministran los invernaderos, los insectos se difunden e invaden rápidamente las cosechas con pocos o casi sin depredadores naturales. El uso de insecticidas es obligatorio. A menudo, algunos pesticidas no se encuentran en estos países y los que hay son a veces ineficaces, debido a la resistencia selectiva que se ha ido creando en los insectos. Así pues, es necesaria la introducción de nuevos insecticidas para vencer dicha resistencia.

En el pasado, los minadores de hojas se controlaban aplicando insecticidas con atomizador de mochila. Hoy en día, mediante el uso de trampas pegajosas, la fumigación de las áreas atacadas y la extracción de las hojas infestadas se consigue un adecuado control. Como ayuda a este control, existe una avispa que es depredadora natural. En el futuro habrá que importar los depredadores o tendrán que establecerse laboratorios para criarlos con el fin de que una buena lucha integral contra plagas (IPM) pueda ser el principal método de control. Estas medidas de control de plagas se discuten en el capítulo 13.

Los nematodos infectan la mayoría de los suelos de los países tropicales; son gusanos redondos y microscópicos que atacan a las raíces de las plantas, pudiendo, según las especies, causar la muerte de éstas o bien dañarlas abriendo en ellas algunas puertas de entrada para los hongos, o produciéndoles tumores que les impiden efectuar sus funciones normales de absorción del agua y los elementos minerales (fig. 12.15). Este daño de las raíces causa a menudo la marchitez de las plantas durante el día, al no poder absorber el agua necesaria para compensar las pérdidas por evapotranspiración, volviéndose achaparradas y no vendibles, en el supuesto de no perderse.

Las temperaturas del suelo son críticas en el desarrollo de los nematodos. Las hembras no alcanzan su madurez con temperaturas superiores a los 33 °C (92 °F) o por debajo de los 15 °C (59 °F). Las temperaturas del suelo en los trópicos están muy próximas a los niveles óptimos para el desarrollo de los nematodos, necesitándose sólo unos diecisiete días a 29 °C (85 °F) para que las hembras se desarrollen desde larva infectante hasta la fase adulta con puesta de huevos; ocurriendo la difusión de éstos a través del movimiento del suelo o plantas infectadas causado por el hombre, el agua y el viento.

También los cultivos hidropónicos pueden infectarse fácilmente de nematodos a través del agua o del viento; es, pues, preciso el tratamiento antes de la plantación con vapor de agua o productos químicos que eliminen los nematodos de forma efectiva, tanto del suelo como de otros medios utilizados en los cultivos hidropónicos, tales como arena, serrín o grava. Los nematodos se eliminan con la esterilización al vapor, calentando el medio en condiciones adecuadas de humedad durante treinta minutos a 49 °C (120 °F). Este método y los métodos químicos de esterilización fueron descritos en el capítulo 4.

Hidroponías Venezolanas han usado Basamid, fumigante del suelo para el control con éxito de los nematodos no enquistados en cultivos en arena. Pero el pesticida solamente se puede importar de América del Norte, de forma que podría haber grandes demoras en su obtención. Posteriormente ha dado similares resultados la esterilización al vapor generado por una caldera portátil de vapor (fig. 12.16). Los tubos perforados se sitúan algunas pulgadas por debajo de la superficie del sustrato de las bancadas, cubriéndose la totalidad de éste con una gruesa hoja de lona o vinilo (fig. 12.17).



Fig. 12.15. Abultamiento de las raíces de lechuga causado por infección de nematodos. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

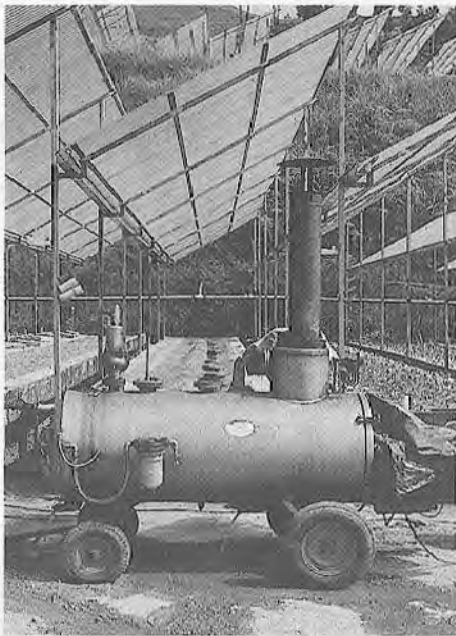


Fig. 12.16. Esterilizador al vapor portátil. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.17. Esterilización al vapor de bancadas de cultivo en arena. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

Generalmente, lleva algunas horas el elevar la temperatura del medio de las bancadas de 60° a 82 °C (140-180 °F). Es mejor humedecer el medio antes de la esterilización, ya que la humedad lleva calor uniformemente a través del medio. Este proceso es realmente la pasteurización, no esterilización; por tanto, es mejor no utilizar las altas temperaturas requeridas para una esterilización, ya que sólo deben matarse los organismos perjudiciales. Si se utilizan temperaturas más bajas, entre 60 y 80 °C (140-180 °F), muchos organismos beneficiosos permanecerían con vida. Puede ser desfavorable esterilizar el medio y matar a todos los organismos, ya que después de la esterilización cualquier organismo puede introducirse fácilmente en el medio. Con la pasteurización a temperaturas ligeramente más bajas, sólo se matan los organismos perjudiciales. Los organismos beneficiosos pueden entonces resistir la reinoculación de los organismos perjudiciales.

Hidroponías Venezolanas ya no utiliza Basamid o esterilización al vapor para controlar los nematodos. Después de cada cosecha de lechugas, se inundan las bancadas con agua durante varias horas, para hacer que las raíces floten en la superficie y poderlas quitar a mano. Después del drenaje, las bancadas permanecen vacías durante varios días y la luz solar eleva la temperatura de la arena lo suficiente para matar a los nematodos. Además, con la cloración y filtración de toda el agua que entra en los sistemas hidropónicos, estos organismos se reducen considerablemente.

Una vez que puedan resolverse todos estos problemas, podrán utilizarse los cultivos hidropónicos para obtener excelentes cosechas bajo las condiciones tropicales (fig. 12.19). Cuando se resolvió la mayor parte de los problemas ya indicados, cada una de las bancadas hidropónicas de $2\frac{1}{2} \times 20$ metros, con 25 centímetros de profundidad ($8,4 \times 65,6$ pies, con 9,8 pulgadas de profundidad), fue capaz de producir de 310 a 330



Fig. 12.18. Lechuga de alta calidad producida en un cultivo en arena de los trópicos. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

lechugas, con un peso medio de 1 kilo (2,2 libras) cada una. Por medio de un sistema de cosecha continua se sembraron nuevas plantas todos los días, de modo que se pudo recolectar al menos tres veces por semana. De esta forma se puede mantener bien abastecido el mercado durante todo el año. Una oferta constante al mercado es esencial si hay que cumplir unos contratos a largo plazo. Este servicio responsable del mercado es fundamental para establecer una oferta segura, con un precio especial constante para los productos hidropónicos.

Las lechugas (iceberg) necesitan entre 70 y 75 días desde su siembra hasta la recolección. Las plántulas de lechuga se inician en un área especial de propagación. Las semillas se siembran en cubos sintéticos «Lelli» a base de petróleo, similares a los cubos «Oasis» que miden 1 x 1 pulgadas con 1 1/2 de alto (fig. 12.20). Después de sembrar los cubos, se colocan debajo de una pantalla durante 4 a 5 días hasta que germinen (fig. 12.21). Esto impide que los pájaros se coman las semillas. Los cubos se separan y espacian en canales especiales de una bancada de flujo y reflujo para que continúen creciendo hasta que tengan 25-28 días (figs. 12.22 y 12.23). A los 25 a 28 días se trasplantan directamente a las bancadas de cultivo en arena (fig. 12.24). Las lechugas alcanzan su madurez 42-45 días después del trasplante. La producción anual de una bancada hidropónica sería de 8 a 9 cosechas, con una media de 320 cabezas, o sea 2.500-2.800 cabezas de lechuga.



Fig. 12.19. Lechuga romana en cultivo en arena en los trópicos. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

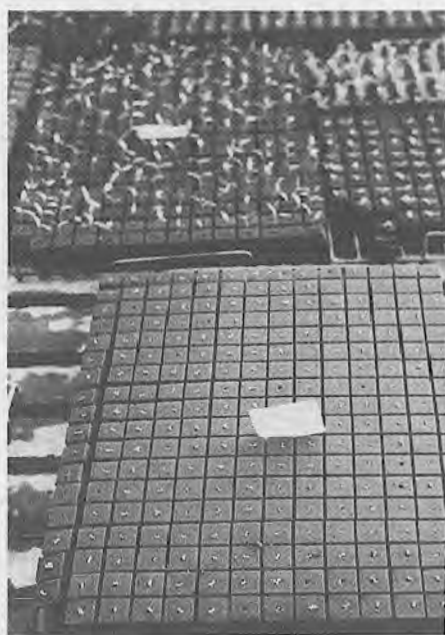


Fig. 12.20. Propagación de plántulas de lechuga cultivadas en cubos «Lelli». (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

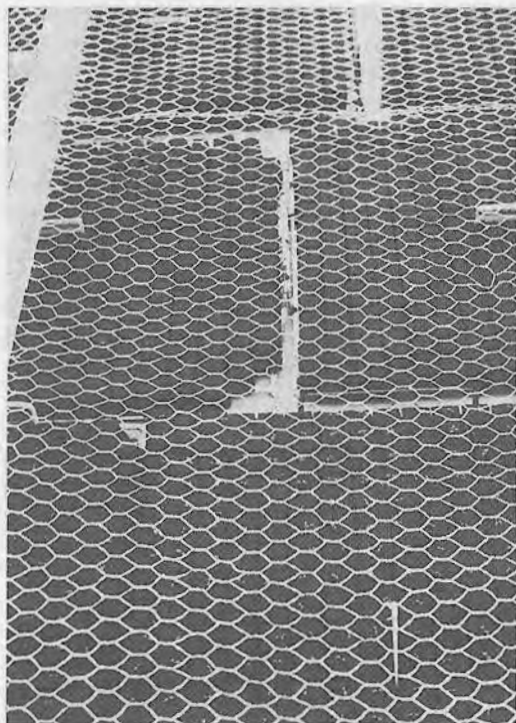


Fig. 12.21. Germinación inicial de lechugas bajo una pantalla durante 5 días para impedir que los pájaros se coman las semillas. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

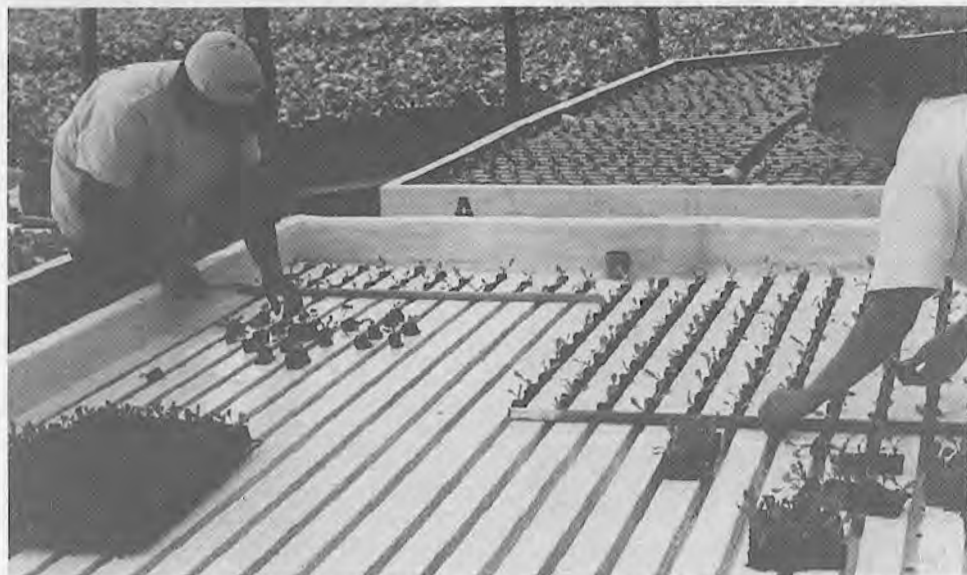


Fig. 12.22. Después de 15 días se separan las plántulas y se colocan en canales de flujo y reflujo. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

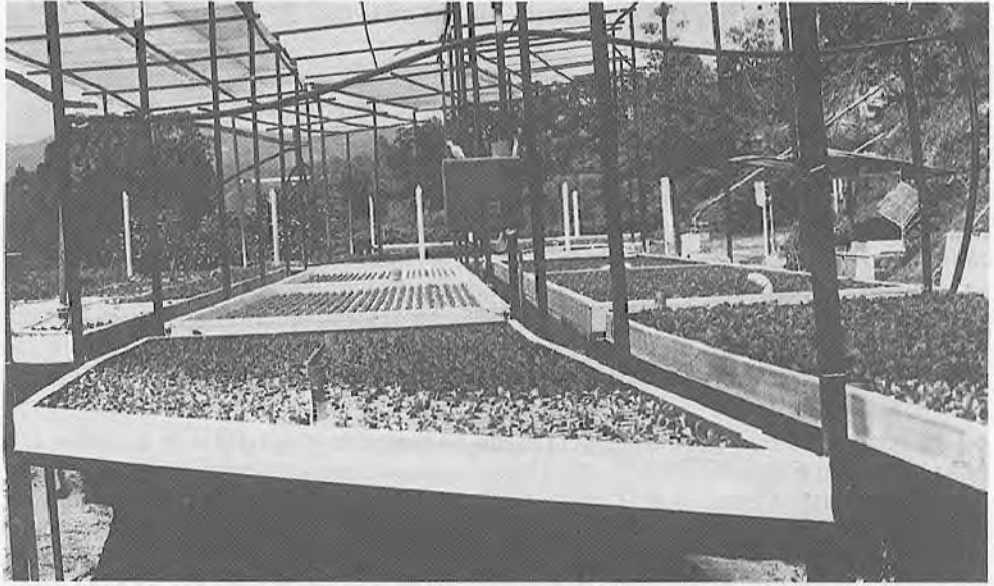


Fig. 12.23. A los 27-28 días, las plántulas están listas para el trasplante. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.24. Trasplante de plántulas de lechuga a las bancadas de cultivo. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

12.4. Cultivo de berros en agua con un sistema de flujo y reflujo

Los inconvenientes de la no disponibilidad de los materiales y equipos, así como de sus altos costes, se pueden superar mediante el uso de sistemas de cultivo en agua y sistemas NFT de cultivos hidropónicos. Aunque se han llevado a cabo muy pocas aplicaciones comerciales de la técnica de cultivo con flujo laminar en los trópicos, esta técnica ofrece un amplio potencial al reducir los costes de capital y la dependencia de medios adecuados, tales como arena o grava granítica, que con frecuencia son raros y caros. Los berros se cultivan en Hidroponías Venezolanas en bancadas elevadas con un sistema NFT modificado o de flujo y reflujo. Se construyeron bancadas elevadas de estructura metálica y ladrillos de arcilla como se ha descrito anteriormente para los cultivos en arena (figs. 12.5-12.9). La diferencia en la estructura de la bancada es solamente su ancho más estrecho y su longitud más corta, aproximadamente 1×8 metros ($3,3 \times 26$ pies).

El berro se cultivó con éxito en el pasado en bancadas «Canal 90» de 6 metros (20 pies) de longitud (figs. 12.25 y 12.26). Estos canales de amianto-hormigón son fabricados por Industrias Eternit, S.A., Caracas, Venezuela, y tienen 1 metro (39 pulgadas) de ancho por 24 cm (10 pulgadas) de profundidad. Fueron cubiertos con una lámina gruesa de polietileno negro, de 12 milésimas de pulgada de espesor, o con una capa de pintura bituminosa para protegerlos de las reacciones químicas con la solución de nutrientes. Debido al elevado coste del «Canal 90», se han construido nuevas bancadas con soportes de acero y ladrillos de arcilla como se ha descrito anteriormente.

Grandes cisternas de 50.000 litros (13.200 galones) almacenan la solución de nutrientes para cada sector de bancadas. No se necesita ningún medio de cultivo para el berro. El nivel de la solución se mantiene a 1-2 cm de profundidad y se hace circular durante 5 minutos cada 15 minutos en las horas diurnas. La solución es bombeada a través de tuberías principales de PVC, de 3 pulgadas (7.5 cm) de diámetro, situadas encima de las bancadas (fig. 12.27). Los tubos de entrada de polietileno negro, de 1/2 pulgada, llevan la solución desde las tuberías principales a los extremos de cada bancada (fig. 12.28). La solución fluye hasta el otro extremo de drenaje hasta una tubería colectora de 8 pulgadas (20 cm) de diámetro, que devuelve la solución a la cisterna. Éste es un sistema de flujo y reflujo.

La formulación de nutrientes es similar a la de California Watercres, como aparece en el capítulo 6. En Venezuela no se dispone de todos los fertilizantes normalmente utilizados para esta formulación; por tanto, es necesario hacer sustituciones. Como fuente de fósforo se usa fosfato biamónico en lugar de fosfato monopotásico. Igualmente, el sulfato de hierro se sustituye por quelato de hierro. Estos dos compuestos son menos solubles que sus homólogos usados en América del Norte. El gobierno restringe la importación de fertilizantes; así pues, hay que utilizar éstos menos adecuados.

El clima en la explotación, cuya altitud es de 1.300 metros (4.265 pies), tiene temperaturas moderadas que van desde unas máximas de 26-28 °C (79-82 °F) de día a unas mínimas de 15-18 °C (59-65 °F) de noche, que son bastante ideales para el berro. Dado que no tiene lugar la floración, como ocurre durante los meses de verano en California, no hay necesidad de iniciar las plantas a partir de semilla. Los esquejes se toman de las plantas existentes para trasplantarlos a las nuevas bancadas. Dichos esquejes se colocan en las bancadas que tienen aproximadamente una profundidad de solución de 1 a 1,5 cm (1/2 pulgada) (fig. 12.29). En 4 semanas los berros están listos para ser reco-

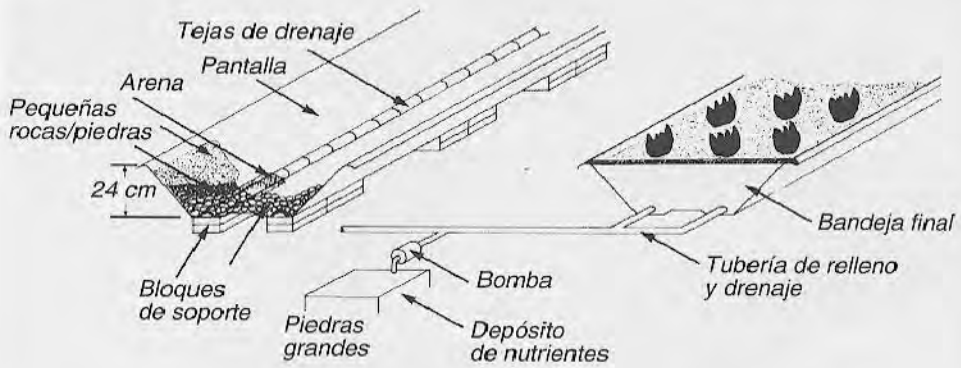


Fig. 12.25. Esquema de una bancada «Canal 90».



Fig. 12.26. Cultivo de berros en bancadas «Canal 90». (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.27. Sistema de distribución de las tuberías de PVC. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.28. Tubos de entrada de polietileno negro. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.29. Esquejes de berro colocados en bancadas para iniciar un nuevo cultivo. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas S.A., Caracas, Venezuela).

lectados. Las plantas se cambian cada 6 a 8 meses, pues la formación de raíces en las bancadas reduce el flujo de la solución y consecuentemente el oxígeno de las raíces. Esto produce decaimientos y enfermedades de las raíces, que disminuyen la productividad.

Además, las plantas se deben rejuvenecer al menos una vez al año mediante la siembra de semillas para mantener el vigor. La semilla se siembra directamente en varias bancadas que tienen una mezcla de arena gruesa y grava de garbanzo. Las bancadas se subriegan hasta 1 cm de la superficie para mantener húmeda la semilla. En 5 a 6 semanas se quitan las plántulas con sus raíces intactas y se trasplantan a las bancadas de producción, tal como se ha descrito para California Watercress en el capítulo 6. A esa edad, las plantas tienen aproximadamente de 4 a 5 cm (2 pulgadas) de alto.

El producto que se vende a los restaurantes es enviado a granel en manojos de 0,5



Fig. 12.30. Envasado de berros en recipientes de plástico. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

kilos (aproximadamente 1 libra) en recipientes retornables de plástico (fig. 12.30). En el fondo del recipiente se dejan varios centímetros de agua para conservar la frescura de los berros. Para los supermercados, los berros se envasan en bolsas de plástico de 100 gramos (3,5 onzas) (fig. 12.31). El producto a granel se recolecta en 25 a 28 días para suministrarlo con tallo más largos que los restaurantes usan en sopas y salsas, mientras que los berros envasados que van al consumidor son recolectados en 14 a 16 días para obtener ensaladas frescas más succulentas.

La producción mensual de 6.000 a 8.000 kilos (13.000-17.600 libras) procede de una superficie de aproximadamente 0,5 hectáreas (1,25 acres) de bancadas. Esto es equivalente a 1,2-1,6 kg/metro cuadrado (0,25-0,33 libras/pie cuadrado). El objetivo por medio de la mejora del diseño de las bancadas, los fertilizantes de mejor calidad y nuevos métodos de circulación de la solución de nutrientes es obtener 2 kg por metro cuadrado (0,4 libras/pie cuadrado).

El continuo incremento de la demanda de berros limpios y de alta calidad en el mercado está forzando a la compañía a aumentar el número de terrazas de cultivo. Como su volumen de ventas aumenta, han mejorado sus instalaciones con equipos de peso y de envasado más técnicos.



Fig. 12.31. Berros envasados para su venta en supermercados. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

12.5 Cultivos de tomates, pimientos y pepinos en cáscara de arroz y fibra de coco

En 1996 se construyeron tres terrazas de «invernaderos» con una superficie total de 5.800 metros cuadrados (62.400 pies cuadrados). Son estructuras ligeras de acero con una cubierta de polietileno para proteger el cultivo de la lluvia (fig. 12.32). Los tomates son el principal cultivo, con alguna producción de pimientos bell y pepinos europeos. Igual que sucede con las lechugas, las plantas se siembran en cubos «Lelli» en un área de propagación (fig. 12.33) con riego de flujo y reflujo.

Inicialmente, las plantas se cultivaron en bolsas de polietileno negro de 5 galones, con un 85% de cáscaras de arroz y un 15% de arena fina (fig. 12.34). Un sistema de riego por goteo, a partir de dos tanques de 35.000 litros (9.250 galones) por encima de las terrazas, regaba por gravedad. Durante el primer cultivo se descubrió que el sustrato no retenía suficiente humedad, provocando una podredumbre del extremo de la flor (BER) en muchos frutos. Incluso con dos líneas de goteo por bolsa, no pudieron evitar la BER. Para resolver este problema, la compañía localizó una fuente de fibra de coco que podía ser suministrada a granel. El sustrato se cambió por un 70% de fibra de coco y un 30% de cáscaras de arroz (fig. 12.35). El coste de ambos materiales es muy bajo. La fibra de coco cuesta unos 15 dólares por metro cúbico y la cáscara de arroz aproximadamente 10,50 dólares por metro cúbico puesto en la explotación.

Como las bolsas de plástico se descomponen bajo la intensa luz tropical, se sustituyeron por unos cubos para pintar de plástico de 5 galones (fig. 12.36). Alrededor de la base de los cubos se abrieron pequeños agujeros para drenaje antes de rellenarlos con la mezcla de fibra de coco y cáscara de arroz. El coste del sustrato por cubo es de unos



Fig. 12.32. Las estructuras cubiertas con polietileno no son caras. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

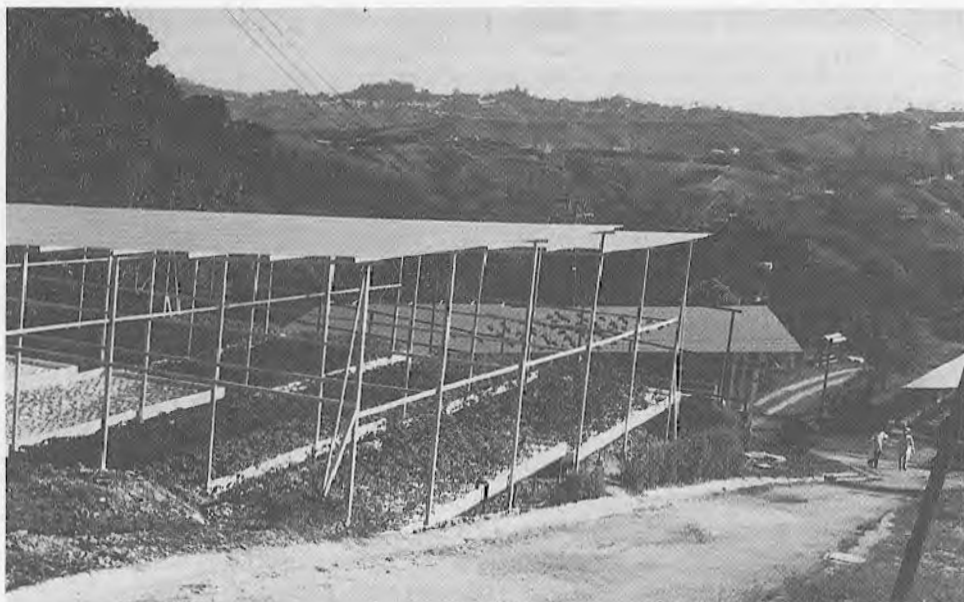


Fig. 12.33. Plántulas de tomate en el área de propagación. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.34. Cultivo de tomates en bolsas de plástico de 5 galones. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.35. Fibra de coco y cáscaras de arroz (70% y 30%) en bolsas de 5 galones. Obsérvese el emisor de goteo en la base de la planta. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).



Fig. 12.36. Cubos de plástico de 5 galones para el cultivo de tomates. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

0,30 dólares. Comenzaron cultivando solamente una planta por cubo, pero ahora pretenden poner dos plantas por cubo, como se hace con los cubos bato de perlita descritos en el capítulo 11. Las plantas se pueden guiar con un método de cordón en V. El problema de la BER ha sido resuelto, pero todavía hay muchos problemas de enfermedades de los tallos, especialmente en el área de la corona. Esto causa marchitamientos y la muerte de muchas plantas cuando comienzan a producir fuertemente. Se sospecha que el problema está en la contaminación de la fibra de coco. Se instalará una pequeña unidad de esterilización al vapor para pasteurizar la fibra de coco y la cáscara de arroz antes de colocar el sustrato en los cubos. La principal variedad de tomate es Agora, una semilla de Vilmorin. Su rendimiento es muy alto en los 5 a 6 primeros racimos, pero pronto sucumbe a la enfermedad del marchitamiento.

Se están realizando ensayos con pimientos y pepinos para determinar las mejores variedades para los climas tropicales. Estos cultivares han de tener resistencia a las enfermedades fúngicas corrientes, como oídio. Con una continua mejora de la esterilización del sustrato y del control de las plagas se pueden cultivar con éxito diversas hortalizas (fig. 12.37).

Los núcleos de alta población con economías en crecimiento aumentan el porcentaje de la clase media que pueden ser selectivos en sus demandas de alimentos. Esto



Fig. 12.37. Cultivo de tomate en una mezcla de fibra de coco y cáscaras de arroz. (Cortesía de Hidroponías Venezolanas, S.A., Caracas, Venezuela).

crea un fuerte mercado de productos de alta calidad que normalmente no se logran con el cultivo tradicional del suelo. Los cultivos hidropónicos de calidad superior encuentran un mercado que está dispuesto a pagar un precio especial. Estos ingresos más elevados para los productos cultivados hidropónicamente justifican los altos costes iniciales de capital que son necesarios para establecer una explotación hidropónica en países tropicales, que soportará la importación de la tecnología requerida para un funcionamiento con éxito de los cultivos hidropónicos y la formación de los operarios locales.

12.6. Aplicaciones especiales

Un concepto muy especial es la combinación de un complejo hotelero con un invernadero hidropónico. En el Caribe, donde hay muchos hoteles selectos, es muy difícil obtener hortalizas frescas de buena calidad. La calidad es pobre y los precios son altos, con frecuencia tres a cuatro veces el precio de los Estados Unidos. Estos factores ofrecen una excelente oportunidad para el establecimiento de la producción hidropónica de hortalizas en muchas de las islas del Caribe. Pero hay que tener en cuenta un factor en estas zonas, el de los huracanes. En los últimos 5 años, al menos uno o dos huracanes pasan anualmente por estas islas del Caribe. La fuerza del viento varía de 100 a 200 millas por hora (160-320 km/hora).

Normalmente, los «invernaderos» contruidos en estas regiones son simples cubiertas sin ningún control ambiental. Las estructuras con forma de cobertizos formadas por ligeros tubos de acero galvanizado, con cubiertas protectoras de polietileno, son las más corrientes, como muestran las figuras 12.38 y 12.39 de Green Cuisin, Ltd., en Anguilla. Utilizando un cultivo NFT, cosechan una gran variedad de lechugas para los hoteles y supermercados de Anguilla y las islas próximas de St. Martin, St. Maarten y St. Barthelemy.



Fig. 12.38. Típica estructura ligera de polietileno en forma de cobertizo en el Caribe.
(Cortesía de Green Cuisine Ltd., Anguilla).



Fig. 12.39. Cultivo de lechugas en canales NFT. (Cortesía de Green Cuisine Ltd., Anguilla).

Durante la estación de los huracanes, cuando se aproxima un huracán importante, se quitan las cubiertas y los componentes internos (incluidas todas las plantas). Si bien las cubiertas y los sistemas de cultivo se pueden almacenar en una nave o contenedor seguro y resistente, todas las plantas tendrán que ser cosechadas o eliminadas. Esta práctica impide la producción desde que aparece el primer huracán hasta el final de la estación en noviembre. Si el primer huracán llega a principios de la estación, como agosto y septiembre, la producción se acorta desde entonces hasta finales de noviembre, cuando se puede suponer que no habrá ningún huracán más en esa estación. Después de esto pasarán varios meses hasta poner un nuevo cultivo en producción. Así pues, la estación de cultivo podría quedarse en la realidad en 6 a 7 meses al año. Por supuesto que durante algunos años ciertas islas no sufrirán los efectos devastadores de los huracanes, pero eso es una lotería. El resultado es que el mercado local no puede depender todo el año de los productos hortícolas frescos producidos en «invernaderos» hidropónicos.

La alternativa es construir un invernadero «a prueba de huracanes». Ese fue el caso de CuisinArt Resort & Spa de Anguilla (fig. 12.40), un concepto único de un hotel combinado con un invernadero hidropónico. El invernadero es una parte integral del complejo hotelero en el suministro de ensaladas frescas para sus restaurantes. Es imprescindible que el invernadero resista los huracanes. Los cultivos no pueden ser interrumpidos por tales fenómenos atmosféricos.

Se proyectó un invernadero con tecnología de vanguardia para vientos que excedieran de 120 mph (190 km/hora). Este invernadero «AgraTech» demostró su solidez de diseño con el huracán «Lenny», habiendo aguantado vientos de 120 mph y rachas de hasta 150 mph (240 km/hora). El invernadero no sufrió ningún daño estructural.



Fig. 12.40. Invernadero con estructura sólida «a prueba de huracanes». (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

El invernadero es estructuralmente doble de lo normal que las casas comerciales utilizan en América del Norte. Los postes y armaduras de refuerzo están colocados cada 6 pies (1,8 metros). La estructura se apoya en unos cimientos de hormigón de 18 pulgadas (46 cm) de ancho por algo más de 3 pies (1 metro) de profundidad. El techo y las paredes están cubiertas con plástico policarbonato ondulado, un material muy duradero. Cada valle de la ondulación se atornilla a las vigas de madera que corren horizontalmente a lo largo del techo por las armaduras. Los respiraderos del techo, el sistema de refrigeración y los ventiladores regulan la temperatura. Siempre que la humedad relativa de estas regiones sea del 55% al 75%, es posible la refrigeración.

El invernadero contiene un cierto número de cultivos hidropónicos, como son cubos bato de perlita, cultivo en balsas, torres verticales y estructuras en A, todos ellos descritos en anteriores capítulos que tratan de estos diferentes cultivos. Los cultivos incluyen tomates, pimientos, pepinos europeos, varias lechugas, espinacas y hierbas (figs. 12.41 y 12.42). La diversificación es para atender las necesidades de ensaladas frescas del hotel. Sin embargo, es posible que éste pueda ser el camino para futuras instalaciones de invernaderos con el fin de mantener todo el año la producción y el mercado en el Caribe. Sin duda que los costes de capital son considerablemente más altos que los de las ligeras estructuras tradicionales tipo «arco». Pero, con unos precios de mercado tres a cuatro veces superiores a los precios en América del Norte, estos costosos invernaderos se amortizarán muy pronto.



Fig. 12.41. Cultivo de lechugas y hierbas en un invernadero de CuisinArt Resort & Spa. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).



Fig. 12.42. Cultivo de tomates en un invernadero de CuisinArt Resort & Spa. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

Referencias

- DELFIN, ALFREDO R.: *Sistema NFT modificado*. Primer Congreso y Curso Internacional de Hidroponía en México, Toluca, México, 6-8 mayo 1999.
- FURUKAWA, GEORGE: *Green Covers, Hawaii*. Practical Hydroponics and Greenhouses (52):21-24. Casper Publ. Pty. Ltd. Narrabeen, Australia. 2000.
- DELFIN, ALFREDO R.: *El cultivo hidropónico de raíces y tubérculos*. Primer Congreso y Curso Internacional de Hidroponía en México, Toluca, México, 6-8 mayo 1999.
- LIM E.S.: *Development of an NFT system of soilless culture for the tropics*. Serdang, Malasia: University Pertanian Malaysia: Pertanika Vol.8(1):135-144. 1985.
- MILLS, DON: *Caribbean Hydroponics*. Practical Hydroponics and Greenhouses (49):79-82. Casper Publ. Pty. Ltd., Narrabeen, Australia. 1999.
- RESH, H.M., RODRÍGUEZ DEELFIN, A. y SILBERSTEIN, O.: *Hydroponics for the people of Peru*. The Growing Edge, Corvallis, OR. Vol. 9, Nº 3, Enero/Febrero '98: 74-81. 1998.
- RESH, H.M.: *Oportunidades de la hidroponía en América Latina*. Boletín de la RedHidroponía, Univ. Agraria La Molina, Lima, Perú. Nº 1. Octubre/Diciembre 1998:3-6. 1998.
- SILBERSTEIN, O., RESH, H. y CREASER, G.: *International Hydroponic Conference*. The Growing Edge, Corvallis, OR. Vol 9, Nº 2, Noviembre/Diciembre'97:86,87. 1997.
- WILSON, GEOFF.: 2000. *'OH Farms' - Tropical greenhouse growing*. Practical Hydroponics and Greenhouses (51):58-72. Casper Publ. Pty. Ltd., Narrabeen, Australia, 2000.

13

Cultivos

13.1. Introducción

Si bien este libro es un resumen y revisión de los métodos de cultivo sin suelo, es también oportuno el comentar brevemente algunos de los sistemas y productos utilizados para efectuar la siembra y trasplante en estos cultivos. Para poder obtener unas plantas sanas y vigorosas es preciso partir de unas plántulas de la mejor calidad. Continuaremos, pues, con otros aspectos de los cultivos de plantas con éxito.

13.2. Siembra

Todas las plantas para cultivos hidropónicos se deben iniciar a partir de semilla. Algunos cultivadores prefieren adquirir esquejes listos para trasplantar a cultivadores especializados, como Bevo Farms Ltd. mencionado en el capítulo 6 al hablar de los sistemas de flujo y reflujo. Los tomates tienen 6 semanas, los pepinos 4 y los pimientos 8 después de la entrega. Sin embargo, este método de trasplante utilizando plantas compradas sólo es realmente aplicable en América del Norte o Europa, donde el envío se puede hacer mediante transporte de superficie en varios días. El riesgo de utilizar trasplantes cultivados por otros es que podrían tener una enfermedad que sería transmitida a través del propio cultivo. Por este motivo, recomiendo que los agricultores inicien sus propios esquejes. Además, en algunas zonas se pueden trasplantar los esquejes en una edad más joven. Por ejemplo, en los trópicos y en el sur de México es posible, con la presencia de condiciones de alta luminosidad, que los esquejes se puedan trasplantar a una edad más joven. En Florida y en las regiones tropicales, he plantado pepinos a las dos semanas de sembrarlos, pues crecen muy rápidamente.

Se dispone de un cierto número de métodos para la siembra. Se puede sembrar directamente en bandejas multi-pack utilizando una mezcla Peat-Lite, o bien cualquier otro sustrato adecuado como perlita, vermiculita o lana de roca granular. Existen actualmente en el mercado diversos tipos de éstos. Los «com-packs» y «multi-pots» de

plástico tienen la forma de una bandeja de cubos de hielo, variando desde un gran compartimento hasta doce por unidad ($5\frac{1}{4} \times 5\frac{1}{4} \times 2\frac{5}{16}$ pulgadas de profundidad) ($13 \times 13 \times 6$ cm) (fig. 13.1), presentándose comúnmente en grupos de $10\frac{1}{2} \times 21$ pulgadas (27×53 cm) con 8 unidades, las cuales irán encajadas en su correspondiente bandeja. Un producto similar (Jiffy en bandas) está hecho de turba en vez de plástico. Se encuentran también en el mercado gran número de macetas individuales de plástico o de turba de diversos tamaños. En todos estos contenedores deberá utilizarse una mezcla que no contenga tierra. La mayoría de las plantas pueden crecer satisfactoriamente en macetas redondas de $2\frac{1}{4}$ ó 3 pulgadas cuadradas (6 u 8 cm²). En las macetas de turba y en las bandas formadas por la unión de éstas, el trasplante se efectúa colocándolas directamente en las bancadas, ya que las raíces de las plantas crecerán a través de la turba de sus paredes.

Un método alternativo es sembrar directamente en discos de turba prensada (Jiffy peat pellets), «Horticubos» Oasis, cubos de lana de roca, cubos Kys o bloques BR-8. Los dos últimos son cubos de fibra de papel de aproximadamente $1\frac{1}{2}$ pulgadas (4 cm). Las semillas se colocan en unos pequeños orificios ya preparados para esto, que posteriormente se rellenarán con una mezcla de turba. Las pastillas de turba son discos prensados de este material cubiertos con una malla de plástico, los cuales tienen aproximadamente $1\frac{1}{2}$ pulgadas (4 cm) de diámetro y $\frac{1}{4}$ (0,6 cm) de espesor cuando están secas. Después de introducirlas en agua de cinco a diez minutos se esponjan, alcanzando hasta $1\frac{1}{2}$ pulgadas (4 cm) de altura (fig. 13.1). Las semillas se colocan en su parte superior cubriéndolas con turba. Dichos «discos» contienen suficientes nutrientes para cubrir las necesidades de la mayoría de las plantas durante tres-cuatro semanas, pudiendo crecer las raíces de éstas a través de la red de nailon. Así pues, al trasplantar los discos de turba (Jiffy-7) o cubos de papel (cubos Kys, BR-8), se colocarán éstos con su planta correspondiente ya crecida en las bancadas de cultivo.

Los cubos «Oasis» y los cubos y bloques en lana de roca (fig. 13.1) se utilizan normalmente en cultivos NFT, en lana de roca y en serrín. Los bloques de lana de roca se usaron originalmente en Dinamarca y Suecia. Son la forma más ampliamente utilizada de bloques de cultivo para tomates, pepinos y pimientos.

La *lana de roca* está compuesta de coque y piedra caliza, fundidos a 1.600° C (2.912° F) y reducidos a fibras. Las fibras se entrelazan y forman una plancha estabilizada con resina fenólica y están provistas de un agente humectante. El bloque de *lana de roca* más utilizado se manufactura con la marca «Grodan». Actualmente, existen otros fabricantes de productos de *lana de roca* en América del Norte, Europa y Japón.

Químicamente, los bloques de *lana de roca* son relativamente inertes, ya que los elementos que contienen son prácticamente inutilizables por las plantas. Si bien son muy poco alcalinos, su pH, por otro lado, se neutraliza rápidamente después de un corto período de utilización de las soluciones nutrientes con bajo pH.

Los bloques de *lana de roca* tienen buenas propiedades físicas, para su bajo volumen de peso, un gran volumen de porosidad y una gran capacidad de retención de agua.

Tanto los cubos de *lana de roca* como los cubos «Oasis» se utilizan frecuentemente con sistemas de NFT. Estos dos bloques de cultivo son estériles; por tanto, las medidas desinfectantes son innecesarias.

Se dispone de cubos/bloques de lana de roca como cubos de propagación y bloques de cultivo. Los cubos de propagación vienen en varios tamaños. Los cubos pequeños de 200 por bandeja estándar miden 1×1 pulgadas ($2,5 \times 2,5$ cm) y $1\frac{1}{2}$ pulgadas (4 cm)

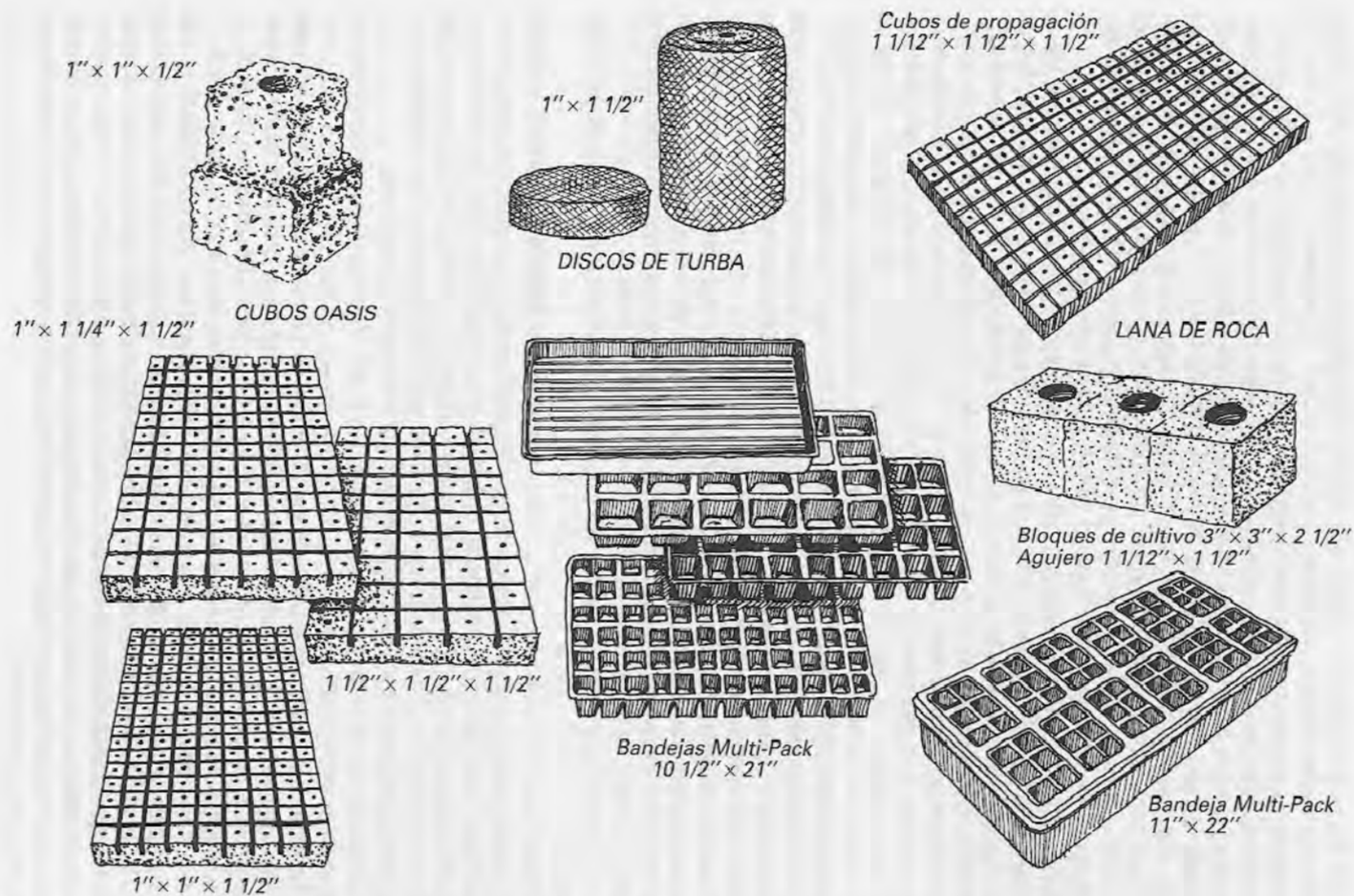


Fig. 13.1. Cubos, bloques, discos de turba y bandejas para la propagación de plántulas.

de alto. Estas dimensiones son las más adecuadas para lechugas y hierbas. Los cubos grandes de 98 por bandeja, que miden $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas ($4 \times 4 \times 4$ cm), son los mejores para tomates, pimientos y pepinos (cultivos entutorados). Los cubos de propagación tienen pequeños agujeros, de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de pulgada (0,6 cm), redondos y profundos para la colocación de las semillas. Éstas se siembran en cubos de propagación, que a su vez se colocan en los bloques de cultivo después de varias semanas de crecimiento. Este sistema «maceta a maceta» permite que las plántulas puedan continuar creciendo en el mismo medio de cultivo con un choque mínimo a causa del trasplante. Esto no se aplica a las lechugas y las hierbas, que se trasplantan directamente desde los cubos de propagación hasta el cultivo final de producción.

Los bloques de cultivo están envueltos en polietileno y vienen en diferentes tamaños. Las medidas más corrientes que se usan para los cultivos entutorados hidropónicos son 3×4 pulgadas cuadradas ($7,5 \times 10$ cm) y $2\frac{1}{2}$ pulgadas (6 cm) de profundidad. También existen bloques altos de más de 4 pulgadas (10 cm) de profundidad para cultivos vigorosos, como pepinos y melones, o para llevar plántulas a una fase posterior antes del trasplante. Los agujeros de estos bloques son redondos y tienen $1\frac{1}{2}$ pulgadas (4 cm) de diámetro y $1\frac{1}{2}$ pulgadas de profundidad (4 cm). Los cubos y bloques de lana de roca tienen que humedecerse completamente antes de la siembra o trasplante. Si no se hace así, diversas manchas secas restringirán el crecimiento de las raíces dentro de ellos.

Los «horticubos» Oasis se utilizan muchísimo en USA, específicamente para hidropónicos y aplicaciones de NFT. Estos cubos tienen buenos drenajes, haciéndolos ideales para la germinación de las semillas.

Los «horticubos» se utilizan en bloques de $2,5 \times 2,5 \times 3,8$ cm ($1 \times 1 \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas) para plantar con densidades máximas. Cada bandeja, por término medio, está compuesta por 162 cubos pegados por sus bases, lo que permite una fácil separación en el trasplante.

Sus principales ventajas son: el ser estériles, fáciles de tratar y tener un pH compensado.

Estos, como los cubos de turba, deben saturarse con agua, sobre todo al sembrar. Esto puede llevarse a cabo de varios modos: humedeciéndolos durante una hora, empapándolos al sumergirlos manualmente o dejándolos en agua hasta que los cubos estén completamente saturados. Las semillas pueden entonces situarse en un agujero ya punzado en cada bloque. Cuando las raíces hacen su aparición al exterior de los cubos y las hojas verdaderas se desarrollan, las plantas están listas para el trasplante.

Dado que las plantas se trasplantan intactas en sus bloques, un número mínimo de éstas sufrirá con la operación.

Sembrar una semilla por cubo de propagación. Comprar semilla nueva para cada cultivo. Comprar sólo lo suficiente para que haya un cierto exceso de semilla. Prestar atención al porcentaje de germinación dado en el paquete de semillas. Según estos datos, calcular cuánta semilla extra hay que sembrar para satisfacer las necesidades del cultivo. Por ejemplo, si la germinación es del 90%, hay que sembrar $100/90 = 1,11$ veces la semilla para obtener el número de plantas deseado. Es decir, hay que sembrar un 11% de semillas adicionales en los cubos de propagación. Al mismo tiempo, algunas semillas germinarán mal produciendo plántulas débiles. Añadir otro 5% para compensar a estas plantas. Las semillas grandes germinan más uniformemente. Las semillas de pepino son muy caras; por tanto no sembrar más que lo necesario para compensar el porcentaje de germinación.

13.3. Producción de plántulas

Una regla básica en el cultivo de plántulas es: «Una buena plántula da una buena producción». La producción potencial de una planta aparece pronto en su ciclo de vida. Una plántula delgada y débil limitará el flujo de agua y los nutrientes a la planta cuando crezca, debido a su escasa base del tallo. La producción será menor que lo que genéticamente es capaz de producir en óptimas condiciones ambientales. Unas plántulas débiles serán fácilmente infectadas por enfermedades y plagas y estarán expuestas al encajado. Este principio se aplica a todas las plantas.

Durante la germinación, el embrión de la semilla se activa y crece utilizando los alimentos almacenados en el endospermo. El empapado es la expansión de la semilla cuando absorbe agua. Varios procesos bioquímicos tienen lugar para activar al embrión y descomponer los alimentos almacenados (almidón) para que el embrión pueda disponer de ellos para el crecimiento. La germinación requiere agua, oxígeno, temperaturas específicas y luz (o carencia de ella). El cultivador tiene que facilitar estas condiciones óptimas para permitir que la semilla germine rápidamente y empiece a fabricar su propio alimento a través de la fotosíntesis. Un crecimiento rápido, pero no succulento, producirá una plántula resistente a las enfermedades.

La esterilización del agua y la aplicación de pulverizaciones de agentes químicos o biológicos pueden reducir la infección de las enfermedades. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado en no dañar a las tiernas plántulas. Hay que utilizar dosis bajas cuando se aplican las pulverizaciones, y preferiblemente no hay que usarlas hasta que se hayan formado varios conjuntos de hojas verdaderas. Usar bandejas de cultivo, sustratos y cubos de propagación estériles. Evitar que las bandejas y los cubos limpios se contaminen. Limpiar las mesas de propagación antes de su uso con una solución de lejía al 10%. Si se van a volver a utilizar bandejas de plástico, esterilizarlas durante al menos 1/2 hora en una solución de lejía al 10%.

13.3.1. Cultivo de plántulas de tomate

El sustrato más corriente es la lana de roca en cubos de propagación de $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas ($4 \times 4 \times 4$ cm). Estos cubos tienen una buena retención de agua, pero están bien drenados para proporcionar una buena oxigenación. Tienen una proporción de agua a aire del 60-80%; 40-20%. Empapar los cubos un día antes con un agua que tenga un pH de 5,5 a 6,0 y una EC menor de 0,5 mMho. Después de sembrar las semillas en los agujeros formados con anterioridad, mantenerlas húmedas; después no hay necesidad de cubrir las semillas. Regar los cubos varias veces al día según las condiciones de luz y de temperatura en el invernadero. No dejar que se sequen o que estén excesivamente húmedas, pues esto matará a las semillas en germinación.

La mayoría de los cultivadores comerciales colocan los cubos sembrados contenidos en bandejas en una sección especial para plántulas del invernadero. Este área del invernadero tiene aspersores aéreos controlados intermitentemente por un programador horario o un sensor de humedad. Los aspersores aéreos deslizantes, como los que se usan en la producción de plántulas forestales, son particularmente adecuados para suministrar un riego uniforme. De esta manera, las plántulas pueden colocarse en toda la superficie del invernadero y no hay que dejar pasillos para el acceso de los obreros que riegan manualmente.

Habrá un área provisional para las plántulas con bancos móviles y deslizables o bancadas menos caras de bloques de hormigón, tubos, madera y tela metálica. Después de que las plántulas hayan sido trasplantadas, se quitarán las bancadas provisionales y esa sección del invernadero se plantar  de nuevo con un cultivo regular.

Es importante que cada riego empape completamente el medio de cultivo. El agua se debe aplicar uniformemente sobre todas las plantas, pues si no se hace así, es probable que se produzca un crecimiento irregular. Las plantas se deben regar temprano, de forma que el follaje se seque antes de que oscurezca. Hay que recordar que las plantas necesitan menos agua durante los períodos de tiempo oscuro y nuboso que durante los períodos de tiempo cálido y luminoso. Cuando las plantas se hacen mayores, necesitan menos agua. Normalmente, un incremento de la duración del día y de la temperatura media aumentará las necesidades hídricas de las plantas.

El drenaje es muy importante durante el crecimiento de las plántulas. El agua y la solución de nutrientes tienen que pasar a través del sustrato de cultivo y filtrarse por las plantas. Esto proporciona una adecuada lixiviación y, al mismo tiempo, transporta el oxígeno por el medio de cultivo hasta las semillas en germinación y su posterior formación de raíces. No hay que poner los cubos de propagación sobre láminas de plástico, pues esto acumulará la solución debajo de los cubos reduciendo el oxígeno disponible. Los bancos formados con tela metálica proporcionarán un buen drenaje y permitirán la «poda de las raíces» al aire, de forma que las raíces de las plántulas permanecerán más tiempo en los cubos formando un sistema radicular denso y bien ramificado. Estas raíces crecerán rápidamente en las planchas u otros sustratos en los que se coloquen finalmente las plantas.

Hay que mantener las temperaturas entre 77 y 79 F (25-26 C) durante la germinación inicial. Cuando emergen las plántulas, los cotiledones se expanden (fig. 13.2). Incrementar la EC a 1,0-1,5 mMho en forma de una solución diluida de nutrientes. Bajar la temperatura diurna a 73 F (23 C) y la nocturna a 68 F (20 C) durante varios días y regular estas temperaturas durante varias semanas.

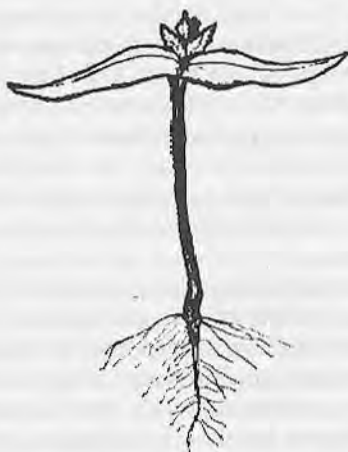


Fig. 13.2. Plántulas de tomate en estado de cotiledones y tres primeras hojas verdaderas.

En las regiones septentrionales, con bajos niveles de luz solar, suministrar una iluminación artificial suplementaria con el uso de lámparas de descarga de alta intensidad (HID). Comprobar con los fabricantes de lámparas que figuran en el Apéndice la ubicación de las partes integrantes de la iluminación, distancia, etc., para obtener una intensidad de 5.500 lux (510 foot candles) en la superficie de las plantas durante 14 a 16 horas al día.

Los procedimientos indicados aquí son los más aplicables a las regiones septentrionales de los Estados Unidos y latitudes meridionales de Canadá, donde el período de cultivo convencional es de mediados de diciembre a mediados de noviembre. Es decir, las semillas se siembran en diciembre y se desarrollan en un área especial del invernadero para plántulas hasta que son trasplantadas desde finales de diciembre hasta primeros de enero. Durante la estación de invierno, la duración del día es corta y la intensidad lumínica es muy baja. Por esta razón es imprescindible una iluminación suplementaria y se emplean soluciones de nutrientes con alta EC para disminuir el crecimiento vegetativo produciendo así una planta robusta.

Una vez que se han desarrollado las primeras hojas verdaderas (12-14 días después de la siembra), hay que trasplantar los cubos a unos bloques de lana de roca de 3 x 3 pulgadas y 4 pulgadas de profundidad. Estos bloques se deben regar perfectamente con una solución que tenga una EC de 2,5 a 3,0 mMho y un pH de 5,5 a 6,0. Invertir las plantas al menos 90 grados cuando se las coloca en los bloques de lana de roca reforzará los tallos de las plántulas. En la parte enterrada de los tallos se formarán raíces adventicias incrementando el número de raíces, lo que se traduce en una plántula más vigorosa. Las roturas de los tallos se reducirán si no se riega 24 horas antes del trasplante. Colocar los bloques en un diseño de tablero de ajedrez a una distancia de 4-6 pulgadas (10-15 cm), dependiendo del momento antes del trasplante a las planchas. Se deben rebajar las temperaturas diurnas y nocturnas a 68°F (20°C) y 63°F (17°C) respectivamente. Regular los niveles de dióxido de carbono entre 500 y 700 ppm.

Anteriormente a 1995, el Dr. Gerald Wilcox, de la Universidad de Purdue (comunicación personal), presentó los resultados experimentales de una investigación que demostraba que la acción del viento causaba el desarrollo de una hormona dentro de la planta, que engruesa el tallo. La acción del viento en el interior del invernadero puede ser duplicada usando ventiladores en el área donde crecen las plántulas o cubriendo éstas con una plancha de goma de caucho durante un minuto al día, por espacio de tres semanas. El resultado es un acortamiento de los entrenudos, lo cual produce plantas más bajas y encañadas, que serán más productivas en etapas posteriores.

Un programa regular de pulverizaciones para prevenir las enfermedades hará que las plantas lleguen a ser muy sanas y que estén preparadas para sobrellevar el estrés del trasplante. Antes de trasplantar las plantas a las planchas, utilizar el microorganismo beneficioso «Mycostop» para evitar la infección de los hongos *Pythium* y *Fusarium*. El peróxido de hidrógeno a 30 a 50 ppm en la solución de nutrientes ayudará a reducir las enfermedades de podredumbre de la raíz transmitidas por el agua. Durante el trasplante hay que extremar los cuidados sanitarios. Transportar todas las plántulas en bandejas esterilizadas y en equipos esterilizados. No colocarlas en el suelo durante el trasplante, sólo directamente encima de las planchas u otros substratos. Una plántula sana de tomate será tan ancha como alta, con un tallo grueso y vigoroso, cuando se trasplanta (fig. 13.3).



Fig. 13.3. Planta vigorosa y sana de tomate (5-6 semanas) lista para el trasplante.

13.3.2. Cultivo de plántulas de pepino

Igual que ocurre con los tomates, los pepinos europeos se deben sembrar en cubos de propagación de lana de roca, de $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas ($4 \times 4 \times 4$ cm). Sin embargo, como las semillas tienen una germinación alta (normalmente el 98%), se pueden sembrar directamente en los bloques de lana de roca en lugar de utilizar primero los cubos y después trasplantarlas a los bloques. Los bloques de 4 pulgadas cuadradas, con pequeños agujeros de 0,8 pulgadas de diámetro y 0,6 pulgadas de profundidad (20×15 mm) son los más adecuados. Al igual que con los tomates, hay que seguir los procedimientos de preempapado y posterior riego durante la germinación para evitar que se sequen. Empapar antes los bloques uniformemente con agua a 60-77°F (20-25°C), pH entre 5,5 y 6,0 y EC de 0,5mMho.

En regiones con una alta radiación solar, la cobertura de las semillas en los agujeros con un poco de vermiculita gruesa evitará el secado de las semillas. Esta práctica facilitará también la liberación de la envoltura de la semilla. No utilizar fungicidas durante

las primeras fases de germinación, pues podrían ralentizar la germinación causando raquitismo en las plántulas. Tanto para los tomates como para los pepinos, se puede usar el peróxido de hidrógeno a 30 ppm en las plántulas y hasta 50 ppm si están presentes las algas.

Hay que hacer que las semillas germinen a temperaturas del aire de 75°F (24°C), con lo cual germinarán en 2 días. En la germinación hay que mantener la temperatura del bloque de lana de roca a 73°F (23°C) durante los siguientes 17 días. La temperatura del aire durante el día debe ser 79°F (26°C) y durante la noche 70°F (21°C).

En latitudes más septentrionales, en las que la luz diurna es limitada en los meses de invierno, hay que aumentar la EC a 2,5-2,8 mMho después de 7 días. Incrementar la duración del día a 18 horas utilizando una iluminación suplementaria de 5.500 lux (510 foot candles) en la superficie de la planta. Regular los niveles de dióxido de carbono entre 700 y 800 ppm. Tan pronto como las hojas comienzan a montarse unas sobre otras (en 10 días), separar los bloques en forma de tablero de ajedrez para reducir su densidad a la mitad. Este mayor espaciamiento evitará que las plantas sean delgadas y altas, una condición que fácilmente conduce a la infección de enfermedades. Puede que haya que espaciar las plántulas una segunda vez si se mantienen más de 3 semanas y las hojas comienzan de nuevo a montarse unas sobre otras.

Si las plántulas se cultivan en bancos con tela metálica, las raíces serán podadas al aire, pues crecen fuera de los bloques (fig. 13.4). Como ya se mencionó antes para los



Fig. 13.4. Plántula de pepino europeo en bloque de lana de roca.

tomates, esto fuerza a las plantas a formar más raíces dentro de los bloques y reduce el estrés del trasplante, ya que las raíces pueden crecer rápidamente en las planchas cuando se trasplantan.

Unos días antes del trasplante, hay que disminuir las temperaturas de la nave de las plántulas a 72°F (22°C) durante el día y a 68°F (20°C) por la noche. Dependiendo de la luz solar de la estación y de la iluminación suplementaria utilizada, un trasplante de 18 a 28 días debe tener 3 a 4 hojas verdaderas. En regiones con mucha luz solar, las plántulas pueden trasplantarse en una fase más temprana. En Florida se hace el trasplante cuando las plántulas tienen 2 hojas y se está formando la tercera. En Anguilla, en el Caribe, se trasplanta en una fase de 2 hojas (aproximadamente 14 días después de sembrar) (fig. 13.5). Además, dado que se usan cubos bato de perlita, no se necesita utilizar ningún bloque de lana de roca. Se siembra en cubos de lana de roca y después se trasplanta directamente a los cubos bato de perlita. Hay que cambiar siempre los procedimientos para acomodarse a las condiciones ambientales locales.

Como con los tomates, pulverizar con «Mycostop» antes del trasplante para evitar la infección de *Pythium* y *Fusarium*. Asimismo utilizar peróxido de hidrógeno a 30 a 50 ppm en la solución de nutrientes para evitar los hongos transmitidos por el agua.

Con una solución de lejía al 10%, esterilizar toda las bandejas, carritos, etc., para transportar las plantas al área de producción del invernadero. Colocar un emisor inmediatamente encima de cada bloque para regar (fig. 10.18), pero no de forma que gotee en la base de la planta, pues esto favorecerá la infección de los hongos. Varias semanas después, cuando los trasplantes enraícen en los substratos de debajo, llevar el emisor desde el bloque de lana de roca al lado de la planta situada debajo en la plancha.

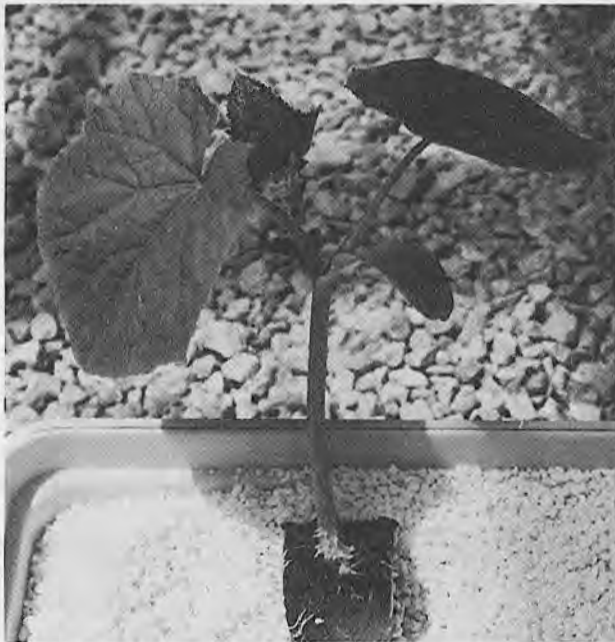


Fig. 13.5. Plántula de pepino lista para el trasplante en fase de dos hojas.

13.3.3. Cultivo de plántulas de pimiento

Igual que para los tomates, la germinación de las semillas de pimiento puede variar; por tanto hay que determinar la cantidad de semilla extra necesaria utilizando el porcentaje de germinación dado en el paquete de semillas. Añadir un 5 a un 10% extra cuando la germinación y el vigor no sean uniformes. Muchos cultivadores usan pequeñas bandejas con celdas redondas (celdas Grodan Kiem) para sembrar semillas de pimiento en lana de roca granular. Esto les permite seleccionar las plántulas más uniformes y vigorosas para trasplantar a bloques de lana de roca. Los cubos de lana de roca se pueden también usar para la siembra inicial (fig. 10.54).

El Ministerio de Agricultura de British Columbia recomienda empapar las semillas de pimiento una hora antes de sembrarlas con una solución al 10% de fosfato trisódico (TSP) para reducir las infecciones víricas. Sin embargo, advierten que es posible una reducción de la germinación debido a este tratamiento. Asimismo sugieren el uso de una solución de polvo de leche desnatada al 10% cuando se manejan las plántulas. La proteína de la leche cubre los virus haciéndolos no infecciosos.

Empapar las celdas o cubos con agua con una EC de 0,5 mMho y un pH de 5 a 6. Las semillas se pueden cubrir con vermiculita gruesa o con una lámina de polietileno para obtener temperaturas y humedades uniformes durante la germinación. Esto se aplica especialmente a las regiones más septentrionales que tienen unas condiciones pobres de luz solar durante los meses de invierno. Después de la emergencia de las plántulas, usar una solución diluida de nutrientes.

Hacer que las semillas germinen entre 77° y 79°F (25-25°C). En cuanto emergen las plántulas, hay que quitar la lámina de polietileno, bajar la temperatura del aire a 72-74°F (22-23°C) y mantener la humedad relativa entre el 60 y el 80%. Suministrar una iluminación suplementaria de 5.500 lux (510 foot candles) durante 18 horas al día.

Después de 17 a 18 días de la siembra, las plántulas están listas para ser trasplantadas a bloques de lana de roca de 4 pulgadas (10 cm) cuando aparezcan las primeras hojas verdaderas. Empapar previamente los bloques con una solución de nutrientes que tenga una EC de 2,0-2,2 mMho y un pH de 5,2. Reducir lentamente la temperatura del aire a 73°F (23°C) día y noche. Poner apretados los bloques hasta que las hojas comiencen a montarse unas sobre las otras, y después colocar de nuevo los bloques para que las plantas puedan desarrollarse durante 6 a 9 semanas desde la siembra (fig. 10.55). Para reducir el estrés del trasplante y la caída de hojas durante el trasplante, la *Guía de las hortalizas de invernadero* del Ministerio de Agricultura de British Columbia recomienda reducir el período de iluminación a 14 horas o eliminarlo completamente durante una semana antes del trasplante a las planchas del invernadero.

Las plantas necesitan ser soportadas por estacas de bambú cuando están creciendo en los bloques. Durante esta fase última de crecimiento en los bloques (4 semanas o más después del trasplante a los bloques), elevar la EC a 3,0-3,2 mMho. Enriquecer con dióxido de carbono a 800 ppm. Igual que con los tomates durante el trasplante, los pimientos pueden tumbarse o invertirse para acortar sus tallos y producir menos raíces.

Estas recomendaciones son para las regiones más septentrionales de los Estados Unidos, donde los pimientos se siembran a mediados de octubre para un primer cuajado del fruto a primeros de enero.

13.3.4. Cultivo de plántulas de lechuga

Tanto para el cultivo en balsas como para el sistema NFT, el mejor método de siembra es en cubos de lana de roca de 1 pulgada. Preempapar los cubos con agua de forma similar a como se hace para tomates y pimientos. Utilizar semilla en píldoras para sembradoras automáticas. Generalmente se consigue una germinación más uniforme con semilla en píldoras que con semilla normal, pues el material de envoltura de arcilla retiene la humedad alrededor de la semilla durante el proceso de germinación. Sembrar siempre semilla extra de acuerdo con el porcentaje de germinación. Guardar la semilla en el frigorífico para conservar su viabilidad. No almacenar la semilla más que unos pocos meses, pues pronto pierde su viabilidad en seis meses.

Para pequeños canales NFT especializados, sembrar las semillas en un sustrato de vermiculita gruesa en bandejas «creamcup» de 154 celdas (fig. 13.6). Una sembradora automática cubre las semillas con una delgada capa de vermiculita cuando la bandeja deja la máquina. Las bandejas se riegan en tablas especiales de flujo y reflujo (fig. 13.7).

Una vez que los cotiledones se han expandido completamente y las primeras hojas verdaderas comienzan a emerger, utilizar una solución de nutrientes de EC 1,5 y pH 5,4-5,8. Las temperaturas óptimas de germinación varían entre 59° y 68°F (15-20°C). Las temperaturas superiores a 73°F (23°C) pueden inducir dormición. Esto se puede superar colocando las semillas sobre toallas húmedas de papel en un frigorífico a 36° a 41°F (2-5°C) durante 48 horas antes de sembrar. En CuisinArt Resort & Spa, en Anguilla, se guardan las semillas en un frigorífico a temperaturas similares y no se ha encontrado ningún problema de dormición. Si la dormición es un problema, conservar las semillas a 61°F (16°C) hasta que emerjan las plántulas. Mantener la humedad relativa entre el 60 y el 80% y el dióxido de carbono en 1.000 ppm durante el día. En las regiones septentrionales, utilizar iluminación suplementaria durante las 24 horas del día en la emergencia de las plántulas durante los meses de invierno con tiempo nublado.

Trasplantar al área de producción del invernadero cuando se formen 3 a 4 hojas verdaderas con una edad de 2 a 3 semanas (fig. 13.8).

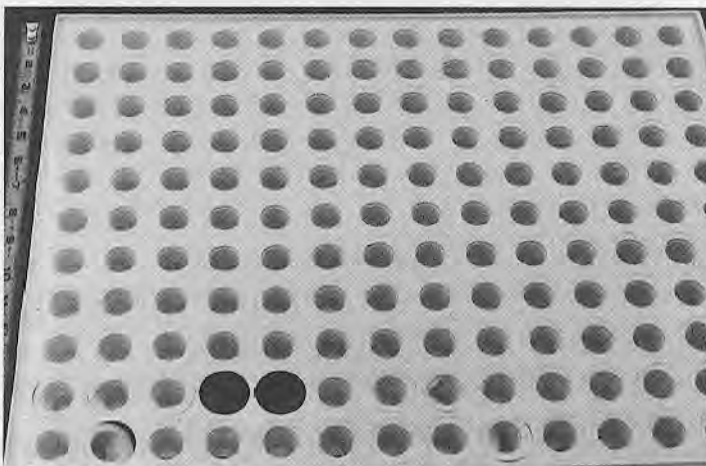


Fig. 13.6. Bandeja «Creamcup» para el cultivo de plántulas de lechuga. (Cortesía de F. W. Armstrong Ranch, Oak View, CA).

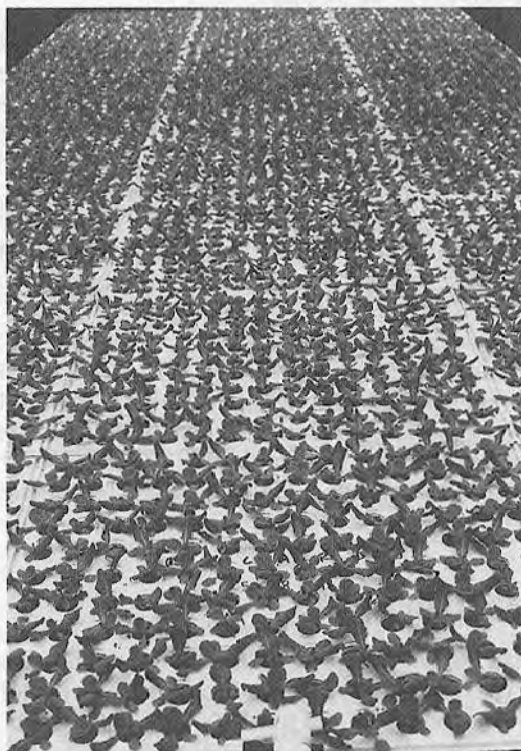


Fig. 13.7. Riego de flujo y reflujo de plántulas de 9 días. (Cortesía de F. W. Armstrong Ranch, Oak View, CA).



Fig. 13.8. Plántulas de lechuga de 18 días listas para el trasplante.

13.3.5. Cultivo de plántulas de hierbas

Sembrar las hierbas en cubos de propagación o bandejas con muchas celdas, dependiendo del sistema de cultivo hidropónico. Algunas hierbas, como la menta, son muy lentas para germinar, necesitando 6 a 8 semanas antes de estar listas para el trasplante. Para estas hierbas de crecimiento lento, puede ser mejor usar esquejes de retoño para propagarlos vegetativamente. Los esquejes recogidos de un cultivo existente enraizarán en varias semanas bajo un sistema de nebulización con calor en la base. Sembrar las pequeñas semillas de hierbas, como menta, tomillo, orégano, etc., en grupos de 4 a 5 semillas por cubo o celda de propagación. Sembrar 2 a 3 semillas de albahaca y después de 4 semanas dejar sólo 2 plántulas por cubo cortando las plántulas extra con tijeras.

Las temperaturas favorables varían de 65 a 75°F (18-24°C). Es conveniente un pH de 5,8 a 6,2 y una EC de 1,6 a 2,5 mMho. Para las hierbas son generalmente buenas unas condiciones similares a las de la lechuga. Durante períodos de tiempo nublado puede ser necesario elevar la EC para evitar un crecimiento suculento. Dado que las hierbas no son un gran cultivo de invernadero, hay que confiar en la propia experiencia en la región para determinar las condiciones ambientales más óptimas.

13.4. Temperaturas de cultivo

Normalmente, las plantas de mejor calidad se consiguen cuando las temperaturas nocturnas son 10° F (5,5°C) inferiores a las del día. Los mejores límites de temperatura para los cultivos de estación cálida son los de 60° F (16°C) por la noche y 75° F (24° C) durante el día. Las cosechas de estación fría preferirán 50° F (10° C) por la noche y 60° F (16° C) durante el día. En los períodos nubosos conviene mantener la temperatura diurna 10° más baja (5,5° C) más baja. Estas cifras son sólo orientaciones. Las específicas temperaturas óptimas, máxima y mínima, dependen de las especies e incluso de las diferencias varietales. En tomate, si la diferencia de temperaturas día-noche es demasiado grande, se forman racimos largos y verticales que más tarde se curvan y posiblemente se rompen al desarrollarse los frutos.

Si la temperatura es demasiado baja, el desarrollo de las plantas será lento, pudiendo aparecer un tono púrpura en las hojas, especialmente en tomates, y si la temperatura es muy alta las plantas serán tiernas y alargadas, resultando de muy pobre calidad.

La temperatura óptima para las plantas de tomate varía con el estado de desarrollo de éstas (tabla 13.1). Las plantas de tomate, cultivadas en condiciones óptimas de temperatura y luz, desarrollan grandes cotiledones y tallos gruesos, llegando a tener hasta el doble de flores en el primer e incluso en el segundo racimo floral, a pesar de las pocas hojas formadas bajo éstos, proporcionando una alta cosecha temprana, así como elevando la total.

CULTIVOS

TABLA 13.1.

Temperaturas nocturnas y diurnas desde la germinación de las semillas hasta la fructificación de tomates, pepinos europeos y pimientos de invernadero

<i>Estado de desarrollo</i>	<i>Temperatura</i>	
	<i>Nocturna</i>	<i>Diurna</i>
Tomates		
Germinación de las semillas	24°-26° C (75°-79° F)	24°-26° C (75°-79° F)
Después de emergencia, hasta una semana antes del trasplante	20°-22° C (68°-72° F)	20°-22° C (68°-72° F)
Durante una semana	18°-19° C (64°-66° F)	18°-19° C (64°-66° F)
Después del trasplante hasta el inicio de la recogida	16°-18,5° C (61°-65° F)	21°-26° C (70°-79° F)
Durante la recogida	17,5°-18,5° C (63,5°-65° F)	21°-24° C (70°-75° F)
Pepinos europeos		
Germinación de la semilla	27°-28° C (81°-82° F)	27°-28° C (81°-82° F)
Después de la germinación (unos 2 días)	24°-25° C (75°-77° F)	24°-25° C (75°-77° F)
Primer trasplante a los bloques	21°-22° C (70°-72° F)	23°-24° C (73°-75° F)
Varios días antes del trasplante al invernadero	20° C (68° F)	22° C (72° F)
Después del trasplante a las planchas (utilizar temperaturas inferiores cuando las plantas alcancen los alambres aéreos)	16°-20° C (62°-68° F)	21°-24° C (70°-75° F)
Pimientos		
Germinación de las semillas	25°-26° C (77°-79° F)	25°-26° C (77°-79° F)
Después de la emergencia de las plántulas	22°-23° C (72°-73° F)	22°-23° C (72°-73° F)
Después del trasplante	17,5°-18° C (64°-65° F)	23°-23,5° C (73°-74° F)
Desarrollo y recogida	19° C (66° F)	22° C (72° F)

(Para pasar de temperaturas Fahrenheit a Celsius, utilizar la siguiente fórmula: $(F - 32) \times 5/9 = C$; donde: F = grados Fahrenheit; C = grados Celsius).

13.5. Iluminación

Durante la época nubosa las hojas de tomate presentan un bajo contenido en azúcares, y tanto éstas como los tallos se vuelven pálidos y delgados, pudiendo ser pequeños los racimos de frutos o incluso no llegar a cuajar. El exceso de nitrógeno durante estos

períodos puede ser peligroso. Una iluminación artificial suplementaria es económicamente impracticable por norma general, excepto durante el desarrollo de las plántulas, tal como ya hemos mencionado.

Con tiempo brillante y soleado la producción de azúcar en las hojas es muy elevada, siendo éstas oscuras y gruesas, los tallos de color verde oscuro y robustos, los racimos tendrán numerosos frutos bien cuajados y el sistema radicular será muy vigoroso, pudiendo aportarse el nitrógeno a mayores niveles durante este período.

Cuando el tiempo está nublado durante más de uno o dos días puede ser necesario:

- 1.º Reducir las temperaturas del día y de la noche en el invernadero 3 ó 4º F.
- 2.º Utilizar la menor cantidad de agua posible para que no se marchiten las plantas.
- 3.º Ajustar la formulación de la solución nutritiva para aumentar la E. C.

Estos puntos ayudarán a mantener un balance apropiado entre el desarrollo foliar y la producción. Si no se observan, las plantas podrán ser vigorosas, con color verde oscuro, pero carecerán de una buena productividad.

Al llegar al estado de plántula deberá efectuarse el trasplante a otras bandejas, en las que se deje mayor espacio para cada una de ellas [al menos 2 pulgadas (5 cm) de separación] o a contenedores individuales. Esto será cuando los cotiledones estén completamente desarrollados o en los primeros días en que hayan aparecido las primeras tres hojas verdaderas (fig. 13.2), y se podrá evitar así el que se den sombra entre sí. En las bandejas, las plantas no deberán permanecer más de tres semanas, para evitar el ahilado, mientras que en las macetas individuales u otros tipos de pequeños contenedores podrán estar más tiempo, siempre que éstos se vayan espaciando para poder disponer de bastante luz.

En contenedores de 3-4 pulgadas (7,6-10 cm) se pueden obtener plantas de muy buena calidad, pero, claro está, ocupando mucho más espacio que con los más pequeños. Siempre deberán estar bien espaciados, de forma que las hojas no se cubran unas a otras. Las plantas de buena calidad tienen los tallos del grosor de un lápiz, y las hojas con anchuras semejantes de vértice a vértice, hasta que están desarrolladas (fig. 13.3).

13.6. Enriquecimiento del dióxido de carbono

En las regiones del norte, el enriquecimiento del dióxido de carbono en la atmósfera del invernadero ha mejorado sustancialmente la productividad. En los invernaderos comerciales se han llegado a aumentar de un 20 a un 30 por 100 las cosechas de tomate, obteniéndose un mejor cuajado de los primeros racimos florales, especialmente cuando las bajas intensidades lumínicas reducen dicho cuajado, aumentándose también el tamaño de los frutos. En Ohio se han llegado a aumentar en un 40 por 100 las cosechas de pepinos, y los cultivos de lechugas han llegado a incrementarse de un 20 a un 30 por 100 por cosecha, lo que unido a una aceleración en la producción ha permitido obtener una cosecha más por año.

El enriquecimiento del dióxido de carbono y el aporte suplementario de luz pueden ser económicamente rentables en los invernaderos dedicados a producir plántulas de hortalizas y plantas de bancadas, ya que con estos sistemas se consiguen plantas muy robustas en mucho menos tiempo que con los sistemas tradicionales.

Para obtener un beneficio máximo deberá mantenerse una concentración óptima de CO₂ en el invernadero, que dependerá del desarrollo de las plantas y de su especie, así como de la situación, época del año y tipo del invernadero. Generalmente, los niveles

de dos a cinco veces mayores que los normales atmosféricos (1.000 a 1.500 ppm CO_2) pueden tomarse como aconsejables.

En días frescos, cuando se calienta el invernadero y las ventanas están cerradas, las plantas van tomando el CO_2 de la atmósfera de éste, llegando a bajar su concentración en sólo una hora a niveles tales que se reduce significativamente su desarrollo. La ventilación del cultivo para mantener la concentración de CO_2 a los niveles del exterior llevará consigo un incremento de los costes de calefacción, siendo aconsejable el utilizar unidades especiales de calefacción a propano, gas natural o fuel-oil, que puedan aportar CO_2 a la vez que calientan el ambiente.

Con el enriquecimiento del dióxido de carbono podremos esperar un aumento en el consumo de agua y fertilizantes, ya que las plantas se desarrollarán con más vigor. Las plantas jóvenes de tomates responden especialmente bien a los aportes de CO_2 . Wittwer y Honma (1969) opinan que los porcentajes de desarrollo pueden incrementarse en un 50 por 100 y que la floración y fructificación se adelanta de una semana a diez días; estos efectos, pues, alcanzan también el período de fructificación, produciéndose, por tanto, un mayor desarrollo radicular. El enriquecimiento del dióxido de carbono es especialmente importante en los cultivos hidropónicos, ya que una de las principales fuentes de aporte de éste, las materias orgánicas en descomposición, no están presentes.

En general, los niveles óptimos de dióxido de carbono durante el día para tomates, pepinos, pimientos y lechugas son 700-1.000 ppm, 800-1.200 ppm, 800-1.000 ppm y 1.000-1.200 ppm, respectivamente.

13.7. Trasplante

Un trasplante bien efectuado es esencial para obtener una buena cosecha en invernadero. Las plantas deberán colocarse con cuidado en las bancadas, evitando cualquier parada en su desarrollo; para esto, deberán tener la edad adecuada y estar ligeramente endurecidas. Los tomates y pimientos no deberán llevar ningún fruto cuajado.

En el trasplante con cepellón o contenedor, el choque será siempre inferior al sufrido por las plantas que se llevan a bancada a raíz desnuda, puesto que éstas no sufren ninguna variación en su medio. Un trasplante adecuado a raíz desnuda puede minimizar esta diferencia.

Cuando se trasplantan los tomates a un medio de grava, la zona de la corona del tallo puede quedar debajo de la superficie de la bancada 1 a 2 pulgadas (2,5 a 5 cm) para proporcionar un mejor soporte inicial a la planta. Esto permite también que se desarrollen nuevas raíces en la parte enterrada del tallo. Si las plantas estuviesen ahiladas, se pueden enterrar en ángulo 4 a 5 pulgadas (10 a 15 cm) del tallo. La parte por encima del suelo crecerá verticalmente a partir del nivel del medio de cultivo. Con el cultivo en lana de roca, es práctica corriente doblar el tallo desde un ángulo recto hasta una inversión completa cuando se pasan las plántulas desde los cubos de propagación a los bloques. Con el cultivo en perlita, si se pasan las plántulas de los cubos de propagación directamente a los cubos bato de perlita sin usar bloques de lana de roca, se las puede girar en ángulo recto o invertirlas en la perlita. Esta misma práctica se puede utilizar para pimientos, pero no para pepinos o lechugas. Estas hortalizas se deben trasplantar con sus coronas situadas en la superficie del medio, no debajo de ésta, pues si no pueden aparecer infecciones graves de enfermedades en la zona de la corona.

Una vez efectuado el trasplante deberá darse un riego lo antes posible para evitar el marchitamiento. En el cultivo en grava las bancadas pueden estar inundadas durante el trasplante para mantener de esta forma un alto nivel de humedad en el medio. Antes de la plantación deberá mantenerse el semillero en un estado óptimo de humedad. Las plantas cuidadas apropiadamente desde la siembra en contenedores no deberán marchitarse al trasplantarlas, siempre que la zona de la raíz tenga bastante humedad en este momento, y se efectúe el riego correspondiente lo antes posible. Si el trasplante se efectúa a raíz desnuda puede aparecer la marchitez incluso si regamos a continuación; no obstante, deberán recuperarse durante la noche.

13.8. Marco de plantación

La mayoría de las publicaciones sobre la producción de tomate en invernadero recomiendan dar 3 ó 4 pies cuadrados (0,28 a 0,37 metros cuadrados) por planta en los cultivos tradicionales; esto representará de 14.520 a 10.890 plantas por acre (36.300 a 27.225 plantas por hectárea), respectivamente. En California y Arizona se han obtenido cosechas con muy buenos rendimientos y calidad utilizando un cultivo hidropónico con una densidad de plantación de 18.500 plantas por acre (aproximadamente 2 pies cuadrados por acre) o 46.250 por hectárea (0,2 metros cuadrados por planta). El marco normal en invernadero de tomate es unos 3,5 pies cuadrados (0,3 metros cuadrados) por planta (12.000 plantas por acre). Las plantas se colocan en una doble fila por bancada, con una separación de 16 a 18 pulgadas (40 a 50 cm) entre las filas y de 12 a 14 pulgadas (30 a 36 cm) dentro de éstas. El marco preciso es función de las condiciones de luz solar. En áreas más meridionales que tienen mejores condiciones de luz, se pueden utilizar marcos más estrechos, mientras que en latitudes más septentrionales se pueden usar marcos más anchos. Las plantas se pueden colocar de forma que las de una fila coincidan con el punto medio de las opuestas, para obtener así la mayor exposición de las hojas a la luz solar, y la menor interferencia física de las hojas entre las plantas adyacentes.

Más recientemente se ha convertido en práctica corriente usar un método de cordón en V para el entutorado de los tomates en el que cada planta es soportada en el alambre aéreo opuesto, tal como muestra la figura 13.18 para pepinos. Las plantas se disponen en hileras individuales que tengan doble número de plantas por plancha de serrín o lana de roca (normalmente 5 plantas/plancha). Sin embargo, la misma densidad de plantas se usa en 3,5 a 4,0 pies cuadrados por planta.

Los pimientos se colocan igual que los tomates, con densidades de plantación de 8.000 a 10.000 plantas por acre (20.000 a 25.000 plantas por hectárea). Las filas se separan 16 a 18 pulgadas (40 a 46 cm). La separación de las plantas dentro de las filas de 19 pulgadas (48 cm) proporciona 8.000 plantas por acre, y si la separación es de 14 pulgadas (36 cm) la producción es de 10.000 plantas por acre.

Los pepinos tipo europeo necesitan una anchura mínima entre filas de 5 pies (1,5 metros), precisando en la cosecha de primavera-verano de 7 a 9 pies cuadrados (0,65 a 0,84 metros cuadrados) por planta y para la de otoño de 9 a 10 (0,84 a 0,93 metros cuadrados). Esto representa una población de 5.000 plantas por acre o 12.500 plantas por hectárea. Se colocarán, pues, las plantas en fila única de 14 a 16 pulgadas (35,5 a 41 cm) de separación, entutoradas alternativamente desde alambres situados sobre ellas y separados de 2 1/2 a 3 pies (0,76 a 0,9 metros), de forma que quedarán inclinadas hacia el exterior de la bancada en forma de «V», lo que permitirá una mayor uniformidad en la iluminación.

13.9. Crecimiento vegetativo frente a crecimiento generativo

Las plantas tienen dos fases de crecimiento, el vegetativo, cuando las hojas y los tallos crecen rápidamente, y el generativo, cuando florecen y se forman los frutos. En la producción de cultivos tenemos que mantener un cierto equilibrio entre las fases vegetativa y generativa para maximizar los rendimientos. Inicialmente, cuando las plantas son jóvenes, ponemos el énfasis en la fase vegetativa para que se establezcan con hojas y tallos relativamente grandes. Esta fase es importante en el establecimiento de la suficiente superficie fotosintética para que la planta produzca azúcares, que más tarde son utilizados en la producción de frutos. Una vez que la planta tiene suficiente superficie foliar para soportar la formación de los frutos, deseamos cambiarla a una fase más generativa. En esta fase, los azúcares son transferidos a la flor para la posterior formación del fruto. De esta forma, la planta es capaz de producir más y mayores frutos. Por ejemplo, como se discutirá después en los pepinos europeos, se quitan las 8 a 10 primeras flores para que la planta siga formando vegetativamente hojas mayores que más tarde proporcionarán fotosintatos para la formación de los frutos. Como ya se ha dicho antes con las plántulas de tomate, queremos que los tallos tengan el grosor de un lápiz y que las hojas sean grandes, de forma que los trasplantes sean tan anchos como altos. Este crecimiento inicial vegetativo prepara la planta para el posterior desarrollo del fruto.

Cuando las plantas comienzan a formar el fruto, queremos que sean capaces de hacer que su crecimiento sea más generativo o más vegetativo, dependiendo de la velocidad de crecimiento. Esto se puede hacer cambiando ciertos factores ambientales y nutricionales. Se debe intentar cambiar solamente uno o dos factores a la vez y esperar a ver los resultados deseados. Si dichos cambios no dan la respuesta necesaria, hay que cambiarse a otros.

Las siguientes tablas se basan en las características de los tomates, pero los principios generales se pueden aplicar a otros cultivos portadores de frutos. La tabla 13.2 presenta las características de las plantas de tomate demasiado generativas o demasiado vegetativas.

TABLA 13.2.
Características de las plantas de tomate de fases
generativas frente a las de fases vegetativas

Característica	Demasiado generativa	Demasiado vegetativa
Hojas	Cortas, oscuras y firmes	Largas, abiertas o rizadas tipo muelle, de color verde claro y suaves
Racimos	Los tallos son gruesos, robustos cortos y curvados	Delgados, largos, doblados hacia arriba
Flores	De color amarillo oscuro, cerca de la parte superior de la planta, se abren rápida y uniformemente dentro de los racimos	De color amarillo claro, se forman lejos bajo la parte superior de la planta, abiertas pobremente, los sépalos no se separan
Frutos	Muchos frutos (4-6) se forman rápidamente con buena forma	Algunos frutos se desarrollan lentamente, pequeños, con forma defectuosa, pueden ser deformes

CULTIVOS HIDROPONICOS

TABLA 13.3.
Parámetros para cambiar las plantas de tomate
más vegetativas o más generativas

<i>Parámetro</i>	<i>Más vegetativas</i>	<i>Más generativas</i>
Ciclo de riego, longitud y frecuencia	Más cortos y más frecuentes	Más largos y menos frecuentes
Inicio de riego	Más pronto	Más tarde
Fin de riego	Más tarde	Más pronto
Lixiviación	Más lixiviación, EC disminuye	Menos lixiviación, EC sube
Déficit de humedad	Más bajo	Sube
Diferencia de temperaturas diurna y nocturna (0°-5° C) (0°-9° F)	Más pequeña	Mayor
Dióxido de carbono (350-1.000 ppm)	Menos	Más
EC - Riego (2,5-4,0 mMho)	Más baja	Más alta
Poda de racimos	Más (4 frutos)	Menos (5-6 frutos)

13.10. Nutrición y riego

Una vez que se ha efectuado el trasplante deberán comenzarse los ciclos de fertilización. El tiempo entre los ciclos de riego depende de un gran número de factores, como se ha indicado con anterioridad, entre los que se incluyen el tipo medio utilizado para el cultivo. En los cultivos en arena y serrín serán suficientes algunos riegos al día, mientras que en grava se deberán repetir con pocas horas de intervalo, mientras que exista luz solar.

Después del trasplante se regará cada dos horas durante quince minutos mientras que exista luz diurna, a lo largo de las dos primeras semanas, hasta que las plantas estén asentadas, es decir, hasta que las raíces comienzan a crecer fuera de las paredes de turba alcanzando la grava, lo que se conocerá por un fuerte desarrollo foliar. Después de este período inicial, los ciclos deberán ser semejantes a los indicados en la tabla 12.2, debiendo incrementarse la frecuencia de éstos, si apareciesen síntomas de marchitamiento.

La frecuencia y la duración de los ciclos de riego dependen en gran parte de las características de retención de agua del sustrato. La lana de roca necesita menos riegos que la perlita. Ver el capítulo 10 sobre el cultivo en lana de roca para detalles específicos y uso de un sistema automático de bandejas de inicio. Como ya se mencionó en dicho capítulo, se necesita un riego más frecuente después del trasplante hasta que las plantas se hayan establecido en el sustrato. Después de esto, pueden ser convenientes 5 a 10 ciclos de riego por día, dependiendo de las condiciones ambientales y del estado de crecimiento de la planta. Generalmente la perlita necesita ciclos de riego más frecuentes que la lana de roca, pues tiene menos retención de agua.

13.11. Entutorado

Los cultivos entutorados, como tomates, pimientos, berenjenas y pepinos que son guiados verticalmente, tienen que ser atados con cuerdas y sujetos con abrazaderas. Usar cuerdas y abrazaderas de plástico. Las cuerdas deberán atarse a unos cables a la altura del canal del invernadero directamente encima de las hileras de plantas.

Para cultivos de tomate de una sola cosecha al año, se enrolla una cantidad extra de cuerda (unos 20 pies ó 6 metros) en un gancho de alambre grueso llamado «tomahook», como muestra la figura 13.9.

Usando este método, las plantas pueden mantenerse bajas sin problemas gracias a la cuerda adicional disponible. La cuerda puede estar acoplada a la base de la planta mediante una abrazadera o, simplemente, atando una vuelta floja alrededor del tallo, por debajo de una hoja sana. Por lo tanto, la cuerda siempre está girando alrededor del tallo en el mismo sentido (generalmente, en el sentido de las agujas del reloj). En caso necesario, puede colocarse una abrazadera debajo del peciolo de la hoja, para conseguir un soporte adicional (fig. 13.10).

Las plantas deberán fijarse a la cuerda mientras que se sostienen por sí mismas, asegurando la primera abrazadera bajo un par de hojas consistentes, y tensando el cordel de forma que al soltar la planta no se encaje excesivamente en ellas. La abrazadera deberá fijarse tal como se muestra en la figura 13.11.

Las abrazaderas se colocan directamente bajo los peciolo de las hojas, cuidando de no ir sobre ellos, ya que esta posición no serviría de apoyo; tampoco se colocarán bajo los ramilletes florales, ya que el peso de los frutos podría cortar el pedúnculo, o incluso la abrazadera podría dañarlos con el roce. Las abrazaderas se colocarán a todo lo largo del tallo, en intervalos de un pie, para poder dar un soporte seguro a la fruta. El borde o bisagra de la abrazadera deberá ir fijo a la cuerda, tal como se muestra en la figura 13.11.

13.12. Poda y eliminación de chupones (tomates, pepinos y pimientos)

Los chupones son los pequeños brotes que crecen entre el tallo principal y los peciolo de las hojas, debiendo ser eliminados antes de que se desarrollen demasiado, pues tomarían parte de los nutrientes que son precisos a los frutos. En los tomates deberán quitarse cuando alcancen una longitud de una a dos pulgadas (2,5 a 5 cm) (fig. 13.12), en este momento son frágiles y pueden arrancarse con los dedos sin causar daño en la zona axilar (área entre el tallo y el peciolo), tal como se muestra en la figura 13.13.

El quitar los chupones a mano presenta mucho menos peligro de transmisión de enfermedades que al efectuarlo con una navaja, pudiendo protegernos con guantes del ácido contenido en la savia de las plantas. Cuando los chupones están muy desarrollados habrá que cortarlos con tijeras de podar o navaja.

Existen plantas, como los tomates, en las que su crecimiento no continúa a partir de un punto determinado de desarrollo, y a las que podremos prolongar seleccionando un chupón vigoroso cerca de dicho punto, al que permitiremos seguir creciendo, procurando eliminar otros brotes axilares menos vigorosos. Otras plantas pueden dividirse en dos o varios tallos, debiendo seleccionarse también la rama más vigorosa y podarse los otros ápices.



Fig. 13.9. Gancho «Tomahook» para el soporte de las cuerdas.

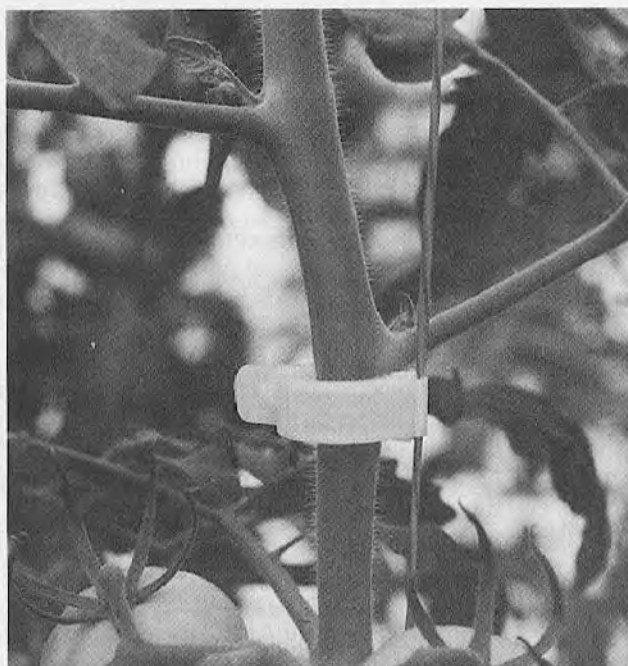


Fig. 13.10. Soporte del tallo de la planta con una abrazadera.

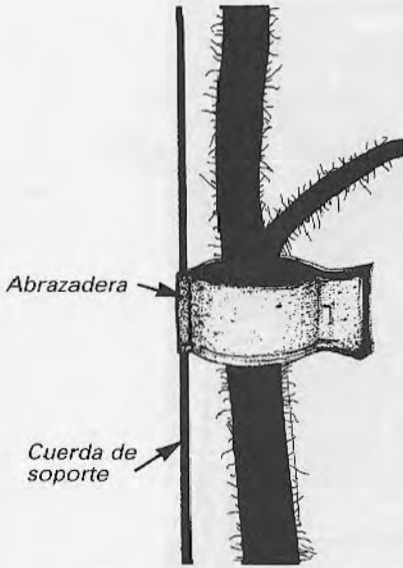


Fig. 13.11. Utilización de abrazaderas de plástico para soportar verticalmente las plantas. En la foto de la derecha, las flores receptivas tienen sus pétalos doblados. Obsérvese que las flores que se han cerrado han sido polinizadas.



Fig. 13.12. Los chupones o brotes laterales de las plantas de tomate son eliminados cuando tienen 1 a 2 pulgadas de largo. Obsérvese que el pequeño fruto del racimo ha sido cortado para seleccionar los cuatro frutos más uniformes.

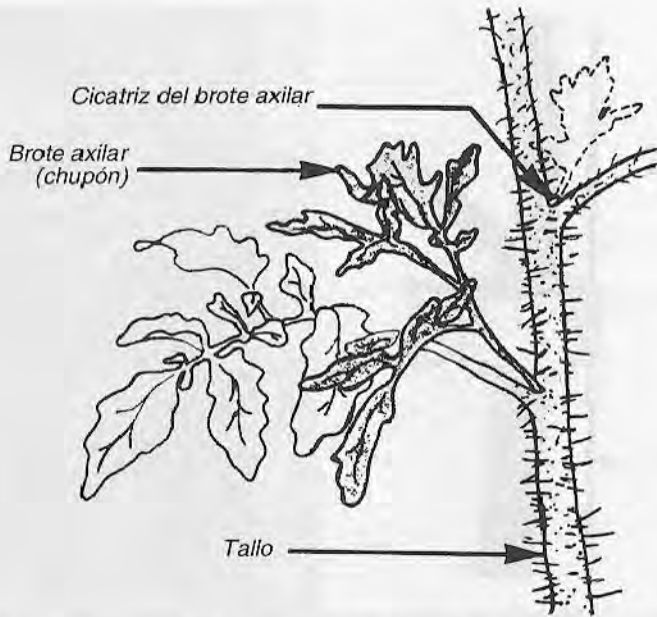


Fig. 13.13. Eliminación de los chupones del tomate en su primer estado.

Conforme las plantas maduran y se cosechan los frutos de los racimos más inferiores, las hojas más antiguas situadas en esta zona comenzarán a amarillear y morir, debiendo ser eliminadas para permitir una mejor ventilación y bajar de esta forma la humedad relativa en la base de las plantas, pudiendo efectuarse esta operación en el momento en que se haya terminado la recolección de los frutos del segundo racimo, a partir de este momento se continuarán quitando las hojas que vayan amarilleando conforme maduran los racimos, partiéndolas simplemente con los dedos para evitar al máximo las cicatrices, y retirándolas a continuación del invernadero para eliminar cualquier infección. Esta poda de hojas puede repetirse varias veces durante el cultivo, pero nunca se deberán eliminar las hojas verdes, puesto que son las encargadas de alimentar los frutos maduros. Generalmente, no se deben eliminar más de 3 a 4 hojas por poda, y la frecuencia de éstas no debe ser mayor de una vez por semana.

Conforme las plantas de tomate alcancen la parte superior de los cables de soporte, podemos ir aflojando las cuerdas bajándolas uno a dos pies (0,5 metros) cada vez y, al no existir hojas viejas ni frutos en la base del tallo, podemos ir dejando caer éste sobre la bancada o sobre los postes o alambres de soporte, como se describió en el capítulo 10. Si no se tiene cuidado los tallos podrían partirse, y entonces sería preciso enterrar la parte más baja de éstos hasta tapar el punto de ruptura, para que colocando en su proximidad un gotero se consiga al cabo de unas semanas un buen desarrollo radicular a partir de dicho punto. En cualquier caso, siempre podrán permanecer en la parte superior de la planta unos cuatro a cinco pies (1,2 a 1,5 metros) de hojas y racimos florales (fig. 13.14).



Fig. 13.14. Eliminación de las hojas inferiores de los tomates y bajada de los tallos. Se deben dejar cuatro a cinco pies de follaje y racimos de frutos en la parte superior de las plantas.

Los racimos florales del tomate deben podarse para seleccionar los 4 ó 5 frutos cuajados más uniformes del racimo (fig. 13.12). Cualquier flor deforme, fruto doble o flor tardía debe ser eliminada del racimo. Esto da lugar a que la forma, el tamaño y el color de los tomates sea uniforme. Los capullos y los frutos pequeños se deben eliminar cuando 2 ó 3 frutos alcancen el tamaño de un guisante.

Con muchas de las nuevas variedades que tienen un cuajado fuerte, cuando el fruto se desarrolla en los racimos el peso del fruto hace que el racimo se combe o se rompa, lo que se traduce en una pérdida de producción. Recientemente, se ha desarrollado una abrazadera para soporte de los racimos que previene estos fallos. Dicha abrazadera es un soporte flexible de plástico nada caro, que fácilmente se fija al pedúnculo del racimo (fig. 13.15). Esta fijación hay que hacerla inmediatamente después del cuajado del fruto (fig. 13.16).



Fig. 13.15. En los racimos de frutos se fijan unas abrazaderas de plástico que sirven de soporte de los racimos.



Fig. 13.16. Colocar las abrazaderas en los racimos de frutos inmediatamente después del cuajado. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).

Los pepinos largos ingleses (tipo europeo) son cultivados en invernaderos, puesto que necesitan un entutorado vertical y no soportan las fluctuaciones de temperatura que se les presentaría al aire libre.

Los pepinos tipo europeo pueden entutorarse de dos formas: el sistema de poda en sombrilla (fig. 13.17) y el de cordón en «V» (figs. 9.37 y 13.18). Este último sistema consigue que las plantas aprovechen al máximo la luz disponible en el invernadero. Dos alambres de soporte se colocan de 6 1/2 a 7 pies (unos 2 metros) sobre el suelo a lo largo de cada una de las filas de plantas, estando separados de 2 1/2 a 3 pies (0,75 a 1 metro). Las cuerdas de entutorado se fijan en éstos alternativamente, de forma que las plantas sobresalgan de las filas, inclinadas en forma de «V» (figs. 9.37 y 13.18). La poda y la eliminación de los chupones es muy importante para conseguir un balance apropiado entre la vegetación y el vigor vegetativo de cada una de las plantas, debiendo eliminarse los brotes axilares y flores que se formen hasta la quinta hoja verdadera.

Si dejamos que se formen demasiados frutos a la vez, una gran parte de ellos abortarán debido a que la planta no dispone de reservas suficientes para su desarrollo. Si se formase un elevado número de frutos mal formados y sin color difíciles de comercializar, deberíamos cortarlos en cuanto puedan reconocerse. Cuando existen varios frutos en la misma axila deberá seleccionarse solamente uno de ellos.

El sistema de poda en sombrilla puede llevarse a cabo a partir de los siguientes pasos (Loughton, 1975).

- 1.º El tallo principal deberá pararse una hoja por encima del alambre de soporte, pinzándose el ápice a dicho nivel. A continuación, haremos un pequeño lazo

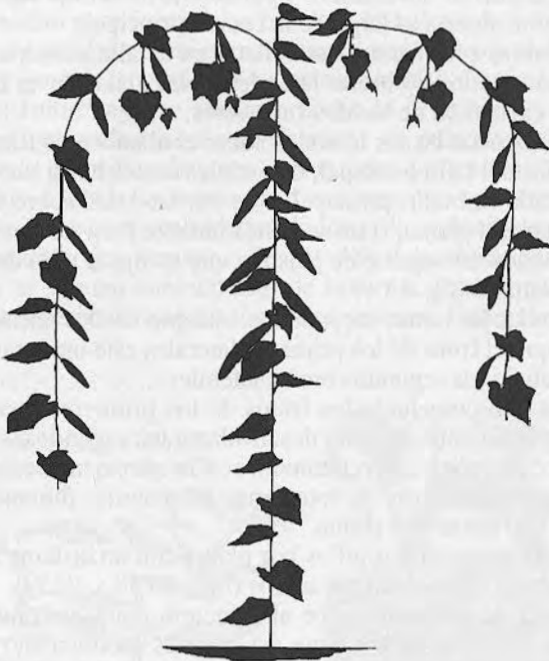


Fig. 13.17. Sistema de poda continua en sombrilla de pepinos tipo europeo.

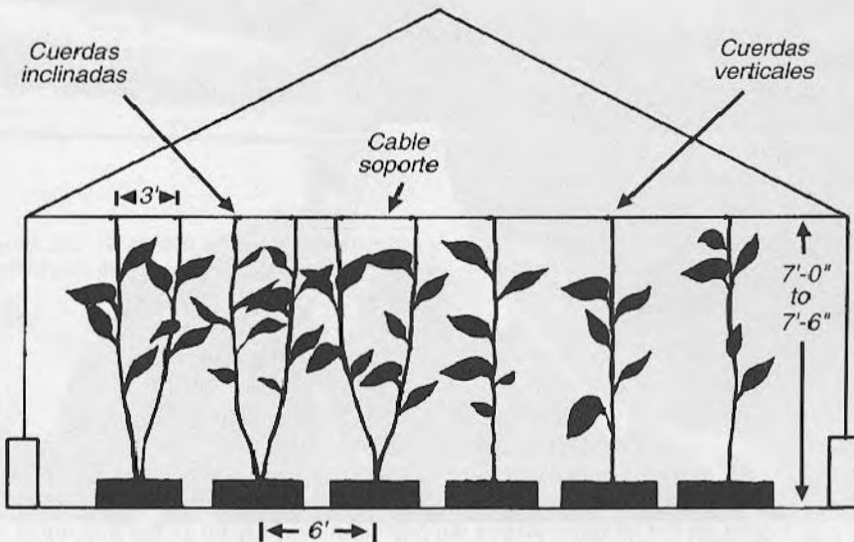


Fig. 13.18. Sistema de poda en «V» de los pepinos tipo europeo.

de cuerda alrededor del alambre y por debajo de la hoja superior, de forma que la planta no resbale a lo largo de la cuerda principal.

- 2.º No se permitirá a los frutos desarrollarse en el tallo principal hasta unos 4 pies.
- 3.º Se eliminarán todos los brotes laterales de las axilas de las hojas del tallo principal, con excepción de los dos superiores.
- 4.º Se quitarán ambos brotes laterales sobre el alambre de forma que cuelguen a ambos lados del tallo principal, dejándoles crecer hasta los dos tercios de éste. El entutorado del tallo principal y de los laterales sobre el alambre soporte puede dañar a la planta, si no se tiene cuidado. Para resolver este problema, se ha desarrollado un soporte de plástico que se fija al tallo de la planta y cuelga desde el alambre (fig. 13.19).
- 5.º Eliminar todas las ramas secundarias, excepto las dos terminales.
- 6.º Mientras que el fruto de los primeros laterales esté madurando se dejarán crecer hacia abajo los segundos brotes laterales.
- 7.º Cuando se han cosechado los frutos de los primeros laterales se eliminarán éstos completamente, dejando desarrollarse los segundos.
- 8.º Los pasos 5, 6 y 7 se irán repitiendo, con lo que se mantendrá la producción.

Algunos agricultores cultivan de esta forma los pepinos durante unos diez meses, obteniendo más de 100 frutos por planta.

Los pimientos se guían en dos tallos por planta con un sistema de cordón en «V», mediante cuerdas atadas a los alambres aéreos (figs. 10.58 y 10.59).

Aunque la planta de pimiento crece al principio como un único tallo, pronto se bifurca para formar dos tallos y continúa así después produciendo tallos adicionales. Las yemas florales se forman en estos puntos de división del tallo (fig. 13.20). La flor

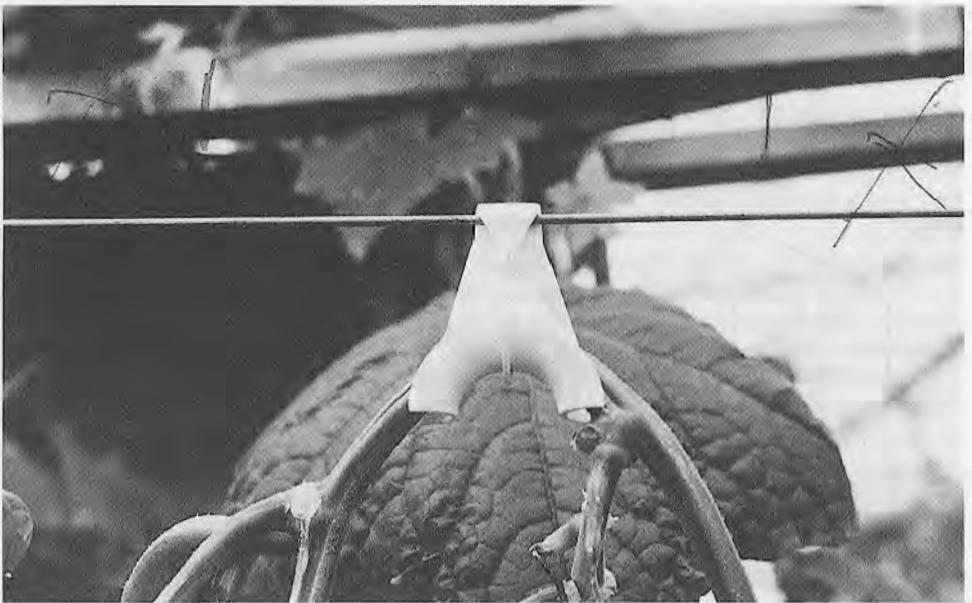


Fig. 13.19. Soporte de plástico acoplado al tallo principal del pepino cuando alcanza el alambre aéreo. (Cortesía de Houweling Nurseries Ltd., Delta, B. C., Canadá).

de la primera división del tallo se llama yema «corona». La mayoría de los pimientos de invernadero se podan para formar dos brotes. Los tallos adicionales hay que podarlos para mantener el equilibrio entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo del fruto. Para favorecer un vigoroso crecimiento vegetativo inicial, capaz de soportar la posterior producción del fruto, hay que eliminar flores de la primera y segunda capas del tallo (bifurcaciones), generalmente a una altura de 16 pulgadas (40 cm). Después de que se hayan formado dos tallos, hay que quitar todos los retoños laterales después de la segunda hoja (fig. 13.21). Es necesario hacer esta poda en semanas alternas. Las cuerdas de soporte se deben atar alrededor de los tallos principales en la dirección de las agujas del reloj cada dos semanas (fig. 10.58). Las abrazaderas de plástico que soportan los brotes se pueden también usar de la forma descrita para los tomates. Los pimientos crecen más despacio que los tomates o pepinos. Generalmente se cultiva una cosecha por año.

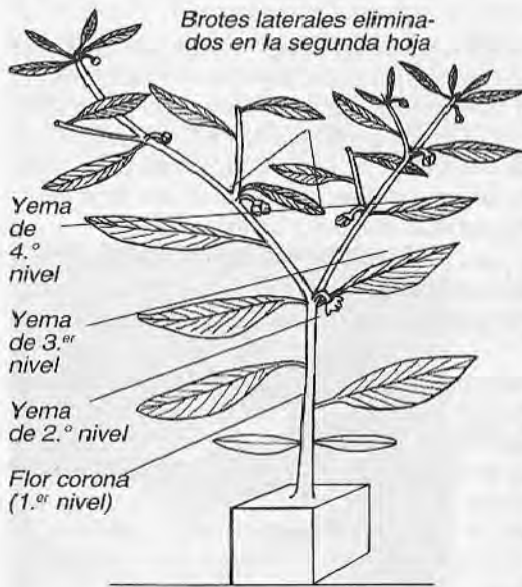


Fig. 13.20. Posición de las yemas florales y entutorado de las plantas de pimiento en su primer crecimiento.



Fig. 13.21. Guía de las plantas de pimiento en dos tallos y eliminación de los brotes laterales adicionales en el eje de la segunda hoja.

13.13. Polinización

Los tomates son polinizados normalmente por el viento cuando crecen al aire libre; no obstante, en los invernaderos, el movimiento de aire es insuficiente para que las flores se polinicen por sí mismas, siendo esencial la vibración de los racimos florales para obtener una buena polinización. Esto puede efectuarse moviendo las flores con un palo,

con los dedos o con un vibrador eléctrico parecido a un cepillo de dientes eléctrico al que se hayan quitados las cerdas. Los vibradores se acercan durante breves momentos a las ramas portadoras de los racimos florales, pudiendo observarse la salida de las flores de un fino polen amarillo cuando son favorables las condiciones ambientales y éstas se encuentran en estado receptivo.

La polinización deberá efectuarse mientras que las flores están en dicho estado, lo cual se conoce porque los pétalos se doblan hacia abajo (figs. 13.11 y 13.16). Las plantas deberán polinizarse al menos cada dos días, puesto que las flores permanecen receptivas unas cuarenta y ocho horas, efectuando ésta entre las 11:00 AM y las 3:00 PM en días soleados, para obtener los mejores resultados. La investigación ha demostrado que una humedad relativa del 70 por 100 es la mejor para la polinización, cuajado de fruto, y posterior desarrollo de éste. Una humedad más elevada guarda el polen húmedo y pegadizo, con excepción del mediodía, y disminuye la posibilidad de que se transfiera suficiente cantidad de polen desde las anteras hasta el estigma. Un ambiente demasiado seco (humedad relativa inferior al 60-65 por 100) causa la desecación del polen.

Las temperaturas del invierno no deberán bajar de 60° F (15° C) durante la noche, ni exceder de 85° F (29° C) durante el día. Con temperaturas superiores o inferiores, la germinación del polen y el desarrollo del tubo polínico se ven fuertemente reducidos. Algunos productos químicos reguladores del crecimiento pueden ser utilizados con éxito para inducir el cuajado y desarrollo del fruto con temperaturas inferiores a las indicadas, pero los frutos así obtenidos no tienen semillas, contienen celdas muy desarrolladas y la delgadez de sus paredes hace que sean blandos y de mala calidad.

Un período prolongado nuboso o con poca luz retardará el desarrollo del polen y la germinación, obteniéndose un pobre cuajado de frutos. Incluso cuando las condiciones climáticas no son buenas, deberá efectuarse la polinización cada dos días a la entrada de la tarde para ayudar al cuajado.

Cuando la polinización se ha efectuado correctamente, se desarrollarán al cabo de una semana los frutos en forma de bolita (figs. 13.12 y 13.16); esto es lo que se denomina cuajado de la flor. Cuando las plantas jóvenes producen sus primeros racimos florales, se deben polinizar cada día hasta que se observan los frutos. Es muy importante el conseguir que cuajen estos primeros racimos, pues esto induce a la planta un estado reproductivo que favorecerá grandemente la floración y productividad conforme se vaya desarrollando. En el momento en que los primeros racimos hayan cuajado se puede seguir la polinización en días alternos.

En el pasado, la polinización de tomates se hacía utilizando vibradores. Para la polinización de una cosecha de tomate de invernadero de 5 1/4 acres (2,1 hectáreas) (ver Gipaanda Greenhouses, capítulo 10) eran necesarios dos obreros a tiempo completo. Las investigaciones han mostrado que vibrar las plantas, cuando descienden hacia los pasillos o durante la polinización, reduce la cosecha en un 8 por 100. Con el uso de abejorros (*Bombus* sp.), que es ahora la forma aceptada de polinización de tomate de invernadero, se consigue un incremento mínimo del 3 por 100 en producción, según Gipaanda Greenhouses Ltd. Es importante mantener los niveles correctos de población de abejorros, pues la superpoblación puede provocar que los abejorros actúen en exceso en las flores de tomate. Esto es particularmente cierto con los pimientos, que requieren una población menor, de forma que los abejorros no entren agresivamente en las flores causando cicatrices en el fruto.

Las colmenas de abejorros, que cuestan unos 350 dólares cada una, están disponibles en un cierto número de proveedores (ver apéndice 5) (fig. 13.22). La población de una colmena es suficiente para polinizar medio acre (0,2 hectáreas) de tomates. Una solución de agua azucarada al 66 por 100 (por peso) con un conservante suministra alimento a las abejas cuando las flores de tomate no proporcionan néctar. Encima de la colmena se sitúa un depósito de suministro (fig. 13.23). Los abejorros forman una colmena redonda dentro del contenedor (fig. 13.24). Una cubierta de plexiglás debajo del recipiente permite al agricultor observar el progreso de la población (fig. 13.24). En la entrada de la colmena se coloca una tapa deslizante para mantener a las abejas cuando se examina el interior de la colmena.

La esperanza de vida de las colmenas está generalmente garantizada durante dos meses, pero como media sobreviven 3 y hasta 8 meses. La actividad de la colmena y el porcentaje de magulladuras de la corola (todos los pétalos juntos) deben ser controlados. Una muestra de flores en fase postreceptiva (con los pétalos plegados) debe mostrar un 90-100 por 100 de magulladuras. Esto indica el número de flores afectadas por los abejorros. El examen del consumo de agua azucarada cada 2 ó 3 días debe revelar si disminuye a una tasa constante o creciente.

Los pepinos europeos, al contrario que los americanos con semillas, no necesitan polinización y, por tanto, sus frutos serán apirenes. No obstante, ésta puede ocurrir a causa de la presencia de abejas y de flores masculinas en el mismo invernadero o en otros vecinos; esto motivará la formación de semillas y los frutos se ensancharán por el



Fig. 13.22. Contenedor comercial de abejorros para la polinización de tomates.



Fig. 13.23. En la parte superior del contenedor hay un depósito con una solución azucarada para alimentar a los abejorros.

extremo y tendrán un sabor amargo. Para evitar esto se deberá impedir la entrada de abejas en el invernadero y eliminar las flores masculinas de las plantas tan pronto como aparezcan. Todas las variedades 100 por 100 femeninas, así como las gynoecias (menos de un 10 por 100 de flores masculinas), han sido obtenidas de forma que no se desarrollen, o lo hagan muy raramente las flores masculinas, reduciéndose de esta forma la autopolinización o incluso eliminándose.



Fig. 13.24. Los abejorros forman una colmena redonda en la parte superior del contenedor.

13.14. Desórdenes fisiológicos

Los cultivos hidropónicos tienen muchas ventajas; sin embargo, no evitan a los agricultores la necesidad de estar alerta en la lucha con múltiples desórdenes fisiológicos comunes para todas las formas de producción de alimentos. Desórdenes fisiológicos son aquellos defectos en la calidad del fruto causados por temperaturas inadecuadas, una mala nutrición o un riego impropio.

Algunas variedades son más susceptibles que otras a algunos de estos desórdenes. Debido a que estamos utilizando los tomates y pepinos como ejemplo, presentaremos como una fuente de referencia algunos desórdenes comunes a ambos frutos.

1. *Podredumbre apical «Blossom-end-rot» (tomates y pimientos)*

Este desorden aparece como un pardeamiento o quemadura solar, que da lugar a la formación de un tejido correoso en el vértice apical del fruto, teniendo al principio el área afectada una apariencia amarillenta (fig. 13.25). Mientras que la causa de la podre-

dumbre apical está motivada por un bajo suministro de calcio en el fruto, la causa indirecta es un desarreglo de la planta, la cual puede deberse a: a) una baja humedad del suelo; b) exceso de sales solubles en el medio de cultivo; c) un porcentaje alto de transpiración, y d) una alta humedad del suelo, todo lo cual conduce a una pobre aireación de las raíces, debiendo evitarse todas estas condiciones para prevenirla.

2. *Grietas del fruto (tomates y pimientos)*

Los síntomas consisten en grietas que salen desde el tallo, apareciendo casi siempre sobre frutos ya maduros y a veces durante la maduración. Normalmente está motivada por una deficiencia hídrica con alta temperatura ambiente seguida por un cambio rápido en la humedad suministrada a las plantas. La mejor prevención consistirá en evitar las altas temperaturas, así como el mantener unas condiciones de humedad uniformes en el suelo (medio).

3. *Manchado del fruto (tomates)*

Consiste en una coloración anormal de las paredes de éste, en zonas de forma irregular que varían del verde pálido a la carencia de color, existiendo áreas marrones en el tejido vascular del interior de los frutos. Suele estar asociada con baja intensidad lumínica, temperaturas frías, alta humedad del suelo, exceso de nitrógeno y falta de potasio, pudiendo evitarse durante las épocas de poca luminosidad, reduciendo las frecuencias de riego y la fertilización (especialmente en nitrógeno).

4. *Acostillado verde, quemaduras de sol (tomates y pimientos)*

Estos desórdenes están asociados con las elevadas temperaturas o una alta intensidad lumínica. Se deberá evitar la eliminación de las hojas que ofrecen protección a los racimos florales durante los meses de primavera y verano, cuando la luz es intensa, así como se deberá intentar bajar la temperatura del invernadero.

5. *«Cara de gato» (tomates)*

Consiste en un arrugado de las costillas del fruto, así como una distorsión de la forma de éste debida a la formación de protuberancias (fig. 13.26). Está causado por una pobre polinización y por una serie de factores ambientales, tales como las bajas temperaturas y las elevadas humedades relativas que motivan un desarrollo anormal en algunas partes de las flores.

6. *Curvado (pepinos)*

Consiste en una excesiva curvatura del fruto y está causado por una interferencia del tallo o de la hoja en el desarrollo del fruto joven o por el fijamiento de un pétalo floral sobre las espinas de una hoja, tallo u otro fruto joven. Temperaturas adversas, excesiva humedad del suelo y una pobre nutrición, han sido también sugeridas como causantes del desorden. Se deberán quitar de las plantas los frutos muy curvados en cuanto se observen.



Fig. 13.25. Tejido correoso y pardo en el ápice del fruto, debido a la podredumbre apical en el tomate.

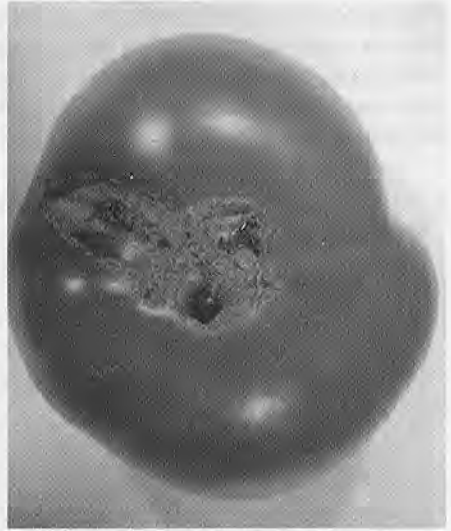


Fig. 13.26. «Cara de gato» en el tomate.

13.15. Enfermedades y plagas

Puesto que el control de plagas e insectos es muy específico, sólo haremos una breve descripción de los problemas más comunes.

Algunas enfermedades comunes de los tomates

1. *Cladosporiosis* (*Cladosporium fulvum*). Comienza con una serie de pequeñas manchas grises sobre el lado inferior de las hojas, que se van extendiendo hasta aparecer también una zona decolorada en la superficie superior (fig. 13.27). Conforme se desarrolla la infección van aumentando las manchas iniciales. Las medidas básicas de control consisten en una cuidadosa higiene del invernadero, así como un buen control de ventilación y temperatura para prevenir una humedad elevada. Algunos tratamientos con fungicidas pueden ser efectivos.

2. *Marchitamiento* (*Fusarium* y *Verticillium*). Al principio las plantas se marchitan en los días muy cálidos, después irán manteniendo dicho aspecto de forma continua, volviéndose las hojas amarillentas. Si las plantas se cortan justo por encima de la superficie del suelo, puede observarse un anillo oscuro en su interior en la zona externa de la capa verde de células, no existiendo ningún tratamiento o práctica de cultivo que pueda controlar la enfermedad, debiendo, pues, prevenirse con la esterilización del medio de cultivo.

Los productores de tomate de invernadero en la Columbia Británica tienen unas pérdidas anuales por marchitamiento del 10 al 15 por 100, cuando cultivan sin suelo. Trabajos experimentales apoyan la posibilidad de reducir la infección intercalando líneas de lechuga entre las líneas de tomate. Apparently, las lechugas producen

unas exudaciones que disminuyen la actividad del *Fusarium* en el medio y así se reduce la infección en los tomates. Como ya se ha visto antes (capítulo 10), se prefiere el injerto de portainjertos resistentes y el desarrollo de nuevas variedades, tales como «Trust» y «Apollo», resistentes a las podredumbres de la raíz y de la corona, pues la lechuga favorece el ataque de áfidos.

3. *Alternaria* y *Septoria*. Causan la decoloración y muerte del tejido de los puntos en que van apareciendo en las hojas; la primera, con forma de anillos oscuros sobre un fondo pardo, y la segunda, con pequeños puntos negros. Ambos organismos comienzan el ataque por las hojas más viejas, causando una gran defoliación en la zona más baja de la planta. Una buena ventilación y la eliminación de las hojas senescentes, para mejorar la circulación del aire y reducir la humedad relativa, ayudan a detener la enfermedad.

4. *Podredumbre gris (Botrytis)*. Bajo condiciones de elevada humedad las esporas del hongo infectan las heridas del tipo de las cicatrices de las hojas o de las podredumbres causadas por el riego, y todo el área afectada se ve cubierta por una pelusa gris. La enfermedad puede desarrollarse varias pulgadas a lo largo del tallo, llegando a introducirse en toda su periferia, causando la muerte de la planta. Una ventilación adecuada que reduzca la humedad relativa ayudará a evitar la difusión del hongo, debiendo eliminarse rápidamente las hojas afectadas. En los principios de la infección, las zonas atacadas pueden ser raspadas y tratadas con un fungicida en pasta (Ferbam), o bien pulverizadas con el mismo.

5. *Virosis (Virus del mosaico del tabaco, TMV)*. Son varios los virus que atacan al tomate, siendo el TMV el más común de ellos, causando problemas en las hojas y una parada del desarrollo, con la consiguiente reducción de la cosecha (fig. 13.28).

La savia de las plantas, donde se encuentra el virus, se difunde a través de los insectos chupadores, o con las manos o utensilios de los trabajadores. Un control de los insectos chupadores y el no fumar en los invernaderos (el TMV se encuentra en el tabaco) ayudarán a evitar la infección. En la actualidad, un tipo de pulverización con anticuerpos ha sido utilizado con bastante éxito. Las plantas se inoculan con una raza menos virulenta del TMV, lo cual las protegerá de las más activas. Este uso de protección contra TMV ya no es necesaria, pues la mayoría de las variedades comerciales de tomate son resistentes a TMV.

Algunas enfermedades comunes en los pepinos

1. *Mildiu*. Al principio aparecen unas pequeñas manchas blancuzcas en la superficie de las hojas que se extienden rápidamente tanto en tamaño como a las más cercanas (fig. 13.29). Un estado sanitario apropiado y una ventilación adecuada son las primeras medidas de control. El tratamiento químico es también posible.
2. *Virus del mosaico del pepino (CMV)*. Algunos de los virus que atacan al tomate infectan también los pepinos; las hojas afectadas se enanizan o se vuelven largas y estrechas, no existiendo ningún remedio, sino la prevención de la virosis.
3. *Marchitamiento (Fusarium)*. Es la misma enfermedad descrita en los tomates. La desinfección adecuada del medio de cultivo entre las cosechas es la única medida efectiva de control.
4. *Botrytis*. Los síntomas y medidas de control son los mismos que en los tomates.
5. *Infección de los brotes (Didymella bryoniae)*. Aparecen lesiones de color oscuro en los peciolo y en la base de los tallos principales. También infecta a las flores y al fruto en desarrollo, provocando el secado del fruto y el ennegrecimiento.



Fig. 13.27. Moho en una hoja de tomate. En el envés de la hoja se pueden ver zonas decoloradas y lesiones de color pardo.



Fig. 13.28. Hoja de tomate infectada de TMV con deformación en la hoja y aparición del mosaico.

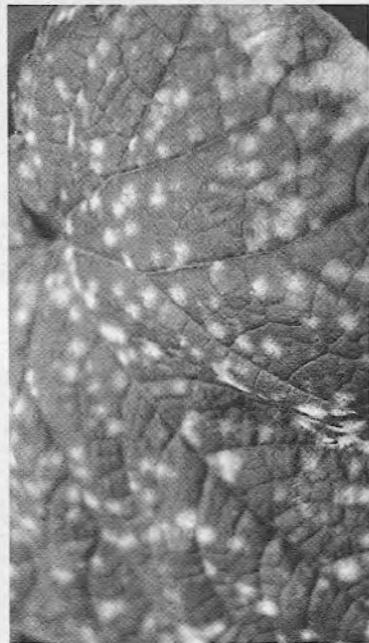


Fig. 13.29. Polvo de mildiu en pepino con manchas blancas en el haz de la hoja.

cimiento interno del tejido. Evitar la condensación sobre las plantas y la formación de gotas mediante una adecuada ventilación. No dejar partes infectadas en la poda y desinfectar las podadoras. Eliminar los restos del cultivo y enterrarlos lejos del invernadero. Aplicar pulverizaciones fungicidas de Rovral 50 WP o Benlate 50 WP y Manzate 200 a intervalos de 4 ó 7 días, respectivamente, cuando aparezca la infección, o durante niveles de alta humedad y de baja iluminación. No aplicar en los 5 días de la cosecha. Controlar la tasa y las instrucciones de aplicación de la etiqueta fungicida.

Insectos

Actualmente, el control biológico de plagas está ampliamente aceptado en las explotaciones agrícolas en invernaderos. Varias compañías (apéndice 2) comercializan estos productos biológicos. El control biológico consiste en utilizar organismos vivos para controlar las plagas de otros seres vivos.

Hay una serie de ventajas en el uso del control biológico. Las plagas no pueden hacerse tan fácilmente resistentes a los agentes biológicos como a los pesticidas. El coste del control biológico es menor que el del control con pesticidas. No hay que temer por la fitotoxicidad o la persistencia de productos químicos potencialmente peligrosos para la salud humana. Generalmente, el control biológico no elimina del todo la plaga, ya que es necesaria una mínima población de la plaga para mantener a la depredadora. Por esta razón, es importante la lucha integral, utilizando tanto agentes biológicos como medidas culturales y control químico. El objetivo no es eliminar completamente la plaga, pero sí realizar una protección vegetal integral. Las poblaciones de las plagas se deben mantener por debajo de un cierto nivel, tal que los daños en el cultivo no sean significativos.

Con un programa de lucha integral contra plagas solamente se pueden emplear aquellos pesticidas que no perjudiquen a los agentes depredadores. Sin embargo, en zonas con un grado de infección muy alto, se pueden controlar las plagas con pesticidas más venenosos, si éstas no pueden controlarse con agentes biológicos. Una vez que la infección se ha reducido, se debe restringir el uso de estos agentes químicos. Otros insecticidas, tales como los jabones, los reguladores de crecimiento o las hormonas de insectos, las trampas amarillas e insecticidas bacterianos o fúngicos, pueden ser empleados con agentes biológicos sin perjudicarlos. El agricultor debe verificar con las agencias estatales o con las compañías proveedoras de agentes biológicos, los insecticidas que puede emplear sin perjudicar a los depredadores específicos en su programa de manejo integral de plagas. Por ejemplo, si en un programa de control de ácaros en el que se haya introducido como depredador el ácaro *Phytoseiulus persimilis*, tenemos un brote de araña roja, ésta puede controlarse empleando fenbutestan (Vendex), que es menos perjudicial para el ácaro depredador. Las trampas amarillas (fig. 6.32) se pueden emplear para atrapar a los adultos voladores. Estas trampas están disponibles en el mercado o bien pueden hacerse con trozos de cartulina rígida pintados de amarillo brillante e impregnados con vaselina, con una mezcla de vaselina y aceite mineral o con cualquier otra sustancia pegajosa.

1. *Mosca blanca* (*Trialeurodes vaporariorum*). La mosca blanca tiene un ciclo de vida de 4 ó 5 semanas, durante las cuales sufre una serie de mudas en su estado ninfal, tal como muestra la figura 13.30. Es la plaga más corriente en el cultivo de tomate en invernadero. Normalmente, se encuentran en el envés de las hojas. Cuando, más adelante, se sitúa sobre las hojas, es fácil de reconocer por su cuerpo blanco y

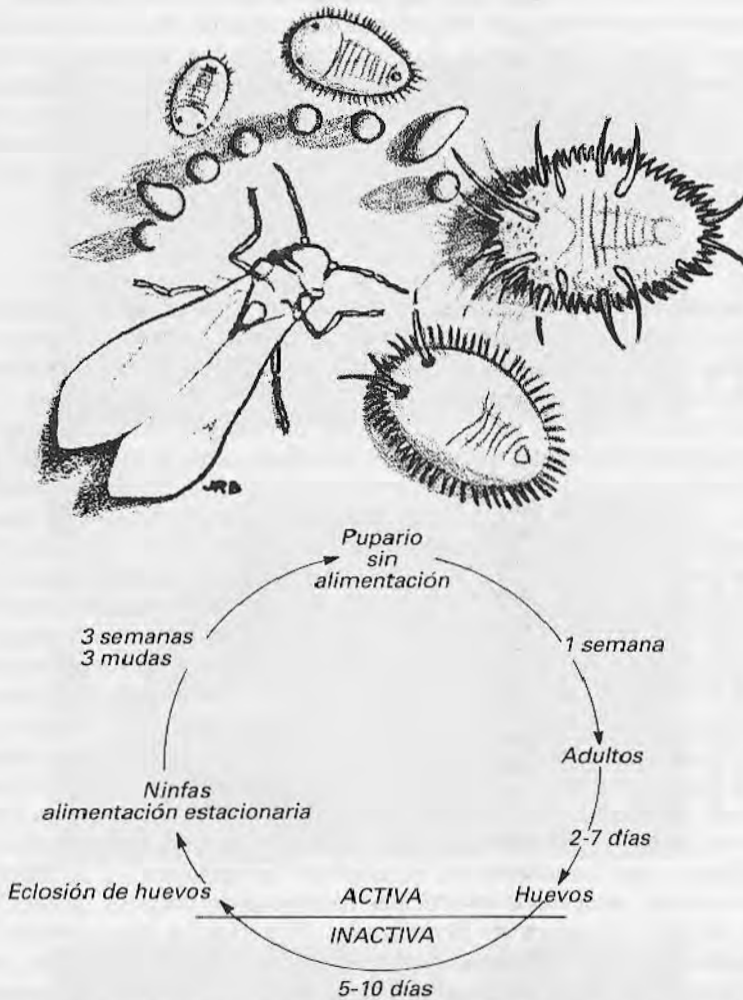


Fig. 13.30. Ciclo de vida de la mosca blanca. (Dibujos de insectos por cortesía de J. R. Baker, North Carolina, Agricultural Extension Service, Raleigh, NC).

triangular. Este insecto excreta una sustancia azucarada y pegajosa, la melaza, que deposita sobre las hojas y los frutos. Posteriormente, sobre la melaza crece un hongo de color negro, la negrilla, que hace precisa la limpieza de los frutos antes de su comercialización. Algunos insecticidas como el parathion, las pyrethrinas y vaponas, pueden ser utilizados en su control. Sin embargo, los insectos se vuelven resistentes con facilidad, haciendo necesario el cambio de pesticidas para hacer efectivo su control. La mosca blanca es también plaga frecuente en los pepinos y pimientos.

El control biológico también puede lograrse por medio de la avispa chalcidoide *Encarsia formosa*. Este parásito lo comercializan las empresas proveedoras de agentes

para el control biológico. Las hembras adultas colocan sus huevos dentro de las ninfas de mosca blanca y también se nutren del contenido de las ninfas durante los primeros estadios larvales. El parásito se alimenta de la ninfa, que se vuelve de color negro en un plazo de dos semanas, proporcionando un método fácil para determinar el éxito obtenido por la *Encarsia*. El control adecuado depende de la temperatura y de la humedad, ya que la avispa se reproduce mejor con una temperatura media de 23° C (73° F) y una humedad relativa no superior al 70 por 100. La *Encarsia* se comercializa como pupas parasitadas fijadas en un papel pegajoso (fig. 13.31) que se cuelga de las plantas en el invernadero. Cada cartulina contiene las pupas negras a partir de las cuales emergerá el parásito. Tan pronto como aparezca la primera mosca blanca, se debe iniciar el programa de introducción de la avispa.



Fig. 13.31. Papel con pupas de *Encarsia* enganchado al peciolo de una hoja de una planta de tomate.

Para tener éxito en el uso de la *Encarsia formosa* deben seguirse una serie de consejos:

- a) No deben emplearse insecticidas residuales un mes antes de la introducción.
- b) La población de mosca blanca existente debe ser reducida, empleando para ello jabones insecticidas u hormonas del insecto, hasta conseguir una media de menos de un adulto por hoja superior.
- c) Ajustar la temperatura y la humedad a 23-27° C (73-81° F) y 50-70 por 100, respectivamente.
- d) Introducir *Encarsia* en una ratio de 10/metro cuadrado (1/pie cuadrado) de área cultivada o 1-5/planta infectada.
- e) Reintroducir *Encarsia* cada 10-14 días hasta un total de 4 introducciones.
- f) Controlar las plantas semanalmente para conocer el número de moscas blancas y de escamas negras.

Varios parásitos fúngicos como *Verticillium lecanii* y *Achersonia aleyrodis* se están ensayando comercialmente, por su efectividad en el control de mosca blanca. Estos hongos se pueden emplear junto con *Encarsia formosa*. En años recientes, la mosca blanca de la batata (*Bemisia tabaci*) se ha convertido en una plaga más corriente en los

invernaderos. Un nuevo depredador muy efectivo contra esta mosca blanca es la chinche negra (*Delphastus pusillus*), cuyas larvas y adultos pueden comerse hasta 160 huevos de mosca blanca al día. Bajo temperaturas altas que sobrepasen los 80°F (27°C), *Eretmocerus ermicus*, una avispa parásita, es más efectiva en el control de las moscas blancas de los invernaderos y de la batata en las fases larvales segunda y tercera. Se dispone de una mezcla de *Encarsia formosa* y *Eretmocerus ermicus* para controlar la mosca blanca en su segunda a cuarta fases larvales.

2. **Araña roja (*Tetranychus urticae*).** Los ácaros están estrechamente relacionados con las arañas y las garrapatas; todos tienen cuatro pares de patas, a diferencia de los insectos que sólo tienen tres pares de patas. Su ciclo pasa por varios estadios ninfales tal como indica la figura 13.32. Su ciclo de vida dura entre 10 y 14 días, dependiendo sobre todo de la temperatura. A 26° C (80° F) el ciclo se reduce a 10 días; sin embargo, con temperaturas más bajas puede llegar a durar hasta dos meses. La baja humedad relativa

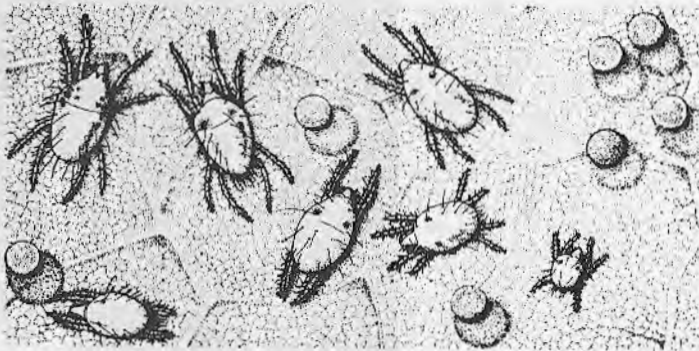


Fig. 13.32. Ciclo de vida de la araña roja. (Dibujos de insecto por cortesía de J. R. Baker, North Carolina Agricultural Extension Service, Raleigh, NC).

también favorece su desarrollo. Nebulizando las plantas con frecuencia durante los períodos secos se evita el ataque de la «araña roja» ya que no les favorece la humedad relativa alta.

Esta plaga es particularmente común en los pepinos. La formación de una tela muy fina de araña en el envés es síntoma de la existencia de un fuerte ataque. Con una lupa de bolsillo puede observarse el punto de color oscuro situado a cada lado de su cuerpo. La araña produce un amarilleamiento de las hojas que comienza con una serie de puntitos amarillos y termina por tomar una apariencia bronceada (fig. 13.33). Los ataques muy fuertes pueden producir un blanqueado total de las hojas, al succionar las arañas el contenido de las células, dejándolas vacías.

Las arañas viven en los restos de plantas y en los marcos de los invernaderos en los períodos comprendidos entre los cultivos, siendo preciso un buen tratamiento en estos momentos para conseguir su erradicación, limpiando el recinto de todos los restos vegetales y tratando con un producto químico adecuado. Si su número es muy elevado, atacarán a tomates, lechugas, acelgas y a la mayoría de las especies hortícolas y ornamentales. El control por medio de acaricidas químicos tales como «Pentac», «Vendex» y «Mavrik» son solamente efectivos sobre adultos. Un depredador de ácaros que se puede encontrar en el mercado, es el *Phytoseiulus persimilis*. El *Phytoseiulus* se diferencia de la «araña roja» por sus manchas oscuras, por su forma de pera, sus patas delanteras más largas y, especialmente, por sus rápidos movimientos cuando se les molesta. Prefiere las temperaturas entre 21° y 27° C (70-81° F). Los adultos se desarrollan a partir de los huevos en menos de una semana. Es decir, dos veces más rápido que su presa. Sin embargo, dado que el exceso de luz y las altas temperaturas frenan su desarrollo, las condiciones cálidas deben evitarse, ya que además estas condiciones favorecen a la araña roja.

Otros ácaros depredadores que también se comercializan son: *Metaseiulus occidentalis*, el cual se desarrolla bien con bajas temperaturas, y *Amblyseius californicus*, que prefiere temperaturas más cálidas. Una mosca de las agallas, *Feltiella acarisuga* (*Theorodiplosis persicae*), pone sus huevos en colonias de araña roja.



Fig. 13.33. Ataque de araña roja en una hoja de pepino. Los ataques fuertes causan el amarilleo de las hojas por unión de los puntitos amarillos.

Estos depredadores pueden aplicarse principalmente en pepinos y pimientos, pero también pueden utilizarse en tomates, guisantes, pepinillos, melones, uvas, fresas y cultivos ornamentales.

Para emplear *Phytoseiulus* y otros:

- a) No usar pesticidas residuales un mes antes de introducirlos.
- b) Introducir el depredador al primer síntoma de ataque de araña roja. Si hay más de un ácaro/hoja, hay que reducir primero la población con algún jabón insecticida o fenbutestan (Vendex), hasta que sólo estén infectadas un 10 por 100 de las hojas.
- c) Mantener temperaturas óptimas para el depredador y una alta humedad relativa. Se soltarán por la mañana temprano por encima y por la mitad del follaje. Los ácaros depredadores se venden en botellas sacudidoras.
- d) Generalmente, se introducirán 8-10 depredadores por metro cuadrado (0,8-1,0 por pie cuadrado).
- e) Controlar las poblaciones de araña roja, al menos una vez a la semana.
- f) Reintroducir el depredador en intervalos mensuales. La población depredadora se debe mantener aproximadamente en una proporción de un depredador por cada cinco arañas. Un buen control se consigue en 4-6 meses.

3. *Pulgones*: Pulgón verde del melocotonero (*Myzus persicae*), pulgón de manchas verdes (*Alacorthum solani*) y pulgón de la patata (*Macrosiphum euphorbiae*).

El ciclo de vida varía de 7-10 días a 3 semanas, dependiendo sobre todo de la temperatura y de la estación, como se muestra en la figura 13.34.

Los áfidos permanecen normalmente agrupados en grandes colonias, sobre cultivos nuevos suculentos, en la base de los brotes y en el envés de las hojas. La especie más frecuente en los invernaderos es el pulgón verde del melocotonero. Las formas ápteras son verdes amarillentas en verano y rosas, tirando a rojo, en otoño y primavera. Las formas aladas son marrones. Su cuerpo tiene forma de pera de 1-6 mm de longitud, con dos pares de alas. Segregan una mezcla pegajosa por el abdomen, que sirve de alimento a las hormigas. La presencia de gran número de hormigas sobre las plantas es señal de un ataque de pulgones. Los pulgones se alimentan de la savia de las plantas, que extraen con su aparato bucal picador-chupador. Cuando los pulgones se alimentan de brotes jóvenes, las hojas se deforman y quedan enrolladas. Cuando disminuye el alimento disponible, las hembras aladas se aparean y emigran.

Un gran número de pulgones, entre los que se encuentran los rosas, negros y verdes oscuros, se alimentan de casi todas las hortalizas de invernadero. Estos insectos chupan la savia de las hojas, haciéndolas enrollarse y llenándolas de una melaza pegajosa. Pueden controlarse pulverizando el invernadero semanalmente con productos químicos, tales como pyrethrina, malathion y rotenona.

Se puede conseguir un control biológico de la plaga por medio de las «mariquitas» y de las crisopas *Chrysopa carnea*. La larva de una mosca parasitoide, *Aphidoletes aphidimyza*, se comercializa actualmente en Finlandia y Canadá. La mosca adulta, negra y pequeña, de delicado vuelo, vive solamente unos pocos días. La hembra pone de 100 a 200 huevos en el envés de las hojas, cerca de la colonia de pulgones. Estos huevos eclosionan a los 3 ó 4 días. Una larva alargada de color naranja o rojo, de unos 3 mm de longitud, madura durante 3 ó 5 días y cae al suelo, donde forma un capullo. La pupación tiene lugar al cabo de 10-14 días, completando su ciclo de tres semanas.

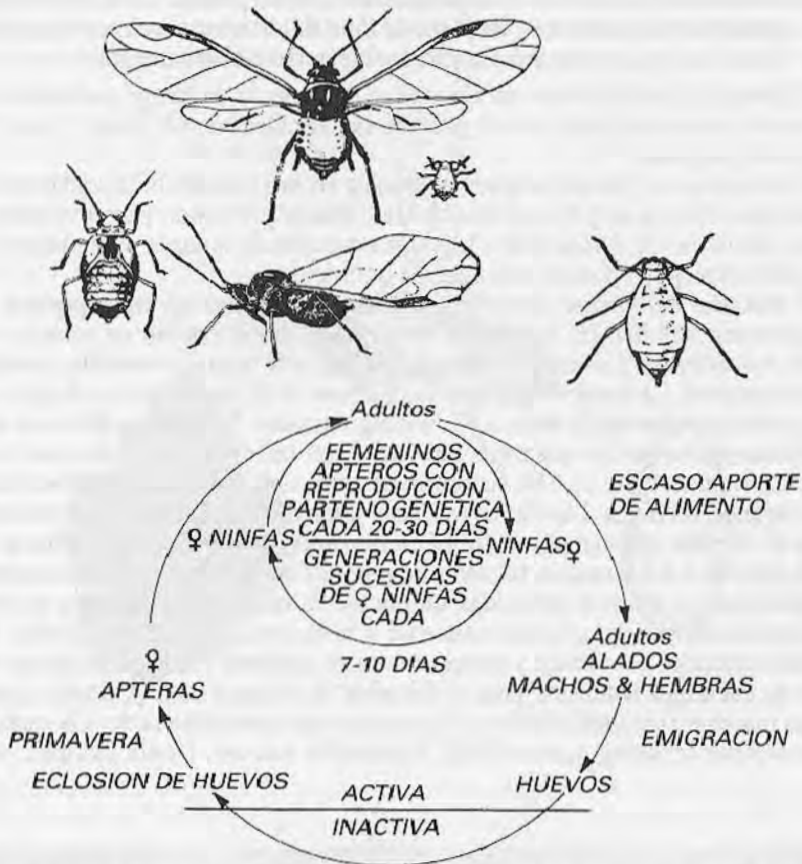


Fig. 13.34. Ciclo de vida del pulgón. (Dibujos de insectos por cortesía de J. R. Baker, North Carolina Agricultural Extension Service, Raleigh, NC).

La temperatura umbral para el desarrollo de las larvas es aproximadamente de 6° C (43° F), con una temperatura óptima entre 23° y 25° C (73°-77° F) y un 80-90 por 100 de humedad relativa. Las moscas adultas se alimentan de la melaza que segregan los pulgones, pero las larvas se alimentan de estos últimos. Cada larva mata entre 4-65 pulgones. Para emplear *Aphidoletes aphidimyza*:

- Controlar a las hormigas, las cuales pueden proteger a los pulgones.
- Evitar el uso de pesticidas residuales un mes antes de introducirlos.
- Reducir las poblaciones elevadas de pulgones con Enstar (regulador de crecimiento de insectos) o jabones insecticidas. Al menos 10 pulgones/planta o un pulgón/cm² se deben dejar para estimular la puesta de huevos por la mosca.
- Mantener la temperatura entre 20°-27° C (68-81° F).
- Introducir el depredador en una proporción de 1 pupa/3 pulgones o 2-5 pupas/m² (2-5 pupas/10 pies²) de zona cultivada.

- f) Extender la pupa en zonas sombrías, cerca de las plantas atacadas por pulgones y repetir la introducción en un plazo de 7-14 días, tantas veces como sea necesario.
- g) Hacer un seguimiento de las plantas afectadas semanalmente.

En Europa y, posiblemente, en Canadá se dispone de un hongo parasitario, *Verticillium lecanii* comercializado con el nombre de Vertalec, como agente para el control biológico de pulgones.

Se pueden hacer pulverizaciones puntuales en infecciones localizadas con pesticidas químicos tales como jabones insecticidas, Enstar y Pirimor, pero evitando pulverizar sobre las larvas de *Aphidoletes*. La reintroducción de la larva depredadora es necesaria en las zonas pulverizadas con agentes químicos.

4. *Minador del tomate* (*Liriomyza bryoniae*) y el minador en serpentina de América (*Liriomyza trifolii*). El *Liriomyza bryoniae* es plaga común en tomate, especialmente en los trópicos. Los adultos alados son de color negro y amarillo, y miden unos 2 mm de longitud. La hembra deposita sus huevos en el interior de las hojas, causando una pequeña protuberancia blanca. Cuando eclosionan las larvas, éstas se alimentan haciendo túneles entre la epidermis del haz y del envés de las hojas, que reciben el nombre de «minas» (fig. 13.35). La unión de estos túneles ocasiona graves daños, que acaban secando las hojas. Las larvas maduras salen de la hoja al exterior cuando pupan. Al cabo de 10 días, emerge el adulto. El ciclo completo, desde el huevo hasta el adulto volador, dura de 3 a 5 semanas, tal como se muestra en la figura 13.36. El minador se ha hecho resistente a muchos pesticidas químicos. El minador de lechuga en Venezuela (*Liriomyza huidobrensis*) es muy resistente a la mayoría de los insecticidas. Mientras que para el minador del tomate y ornamentales se conocen y se comercializan un cierto número de enemigos naturales, para el minador de lechuga no hay ningún agente efectivo. Los insectos *Dacnusa sibirica* y *Diglyphus isaea* parasitan tanto a la especie minadora *Liriomyza bryoniae* como a la *L. trifolii*. Un tercero, *Opius pallipes*, solamente



Fig. 13.35. Daños del minador en tomatera, con minas y túneles en el tejido entre la epidermis de la hoja.

parasita al minador del tomate. *Opius* y *Dacnusa* colocan los huevos en la larva minadora. La *Diglyphus isaea* mata al minador en su túnel y coloca un huevo junto a él. La avispa se desarrolla en el túnel alimentándose de la larva muerta.

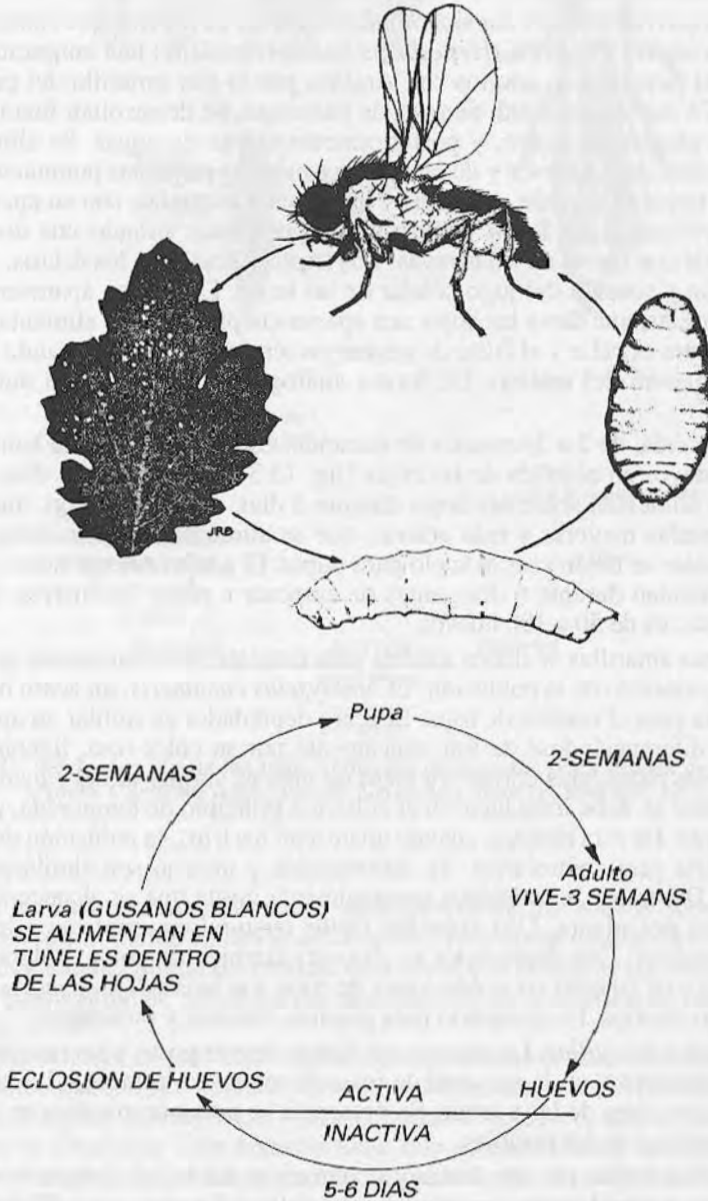


Fig. 13.36. Ciclo de vida del minador. (Dibujos de insectos por cortesía de J. R. Baker, North Carolina Agricultural Extension Service, Raleigh, NC).

Se debe tomar una muestra de las hojas del cultivo y examinarla en el laboratorio para identificar la especie minadora, detectar la presencia de parásitos y evaluar el grado de parasitismo. Si no hay suficientes parásitos naturales presentes, se deben introducir *Dacnusa* o *Diglyphus*. La introducción depende de la estación, la especie minadora y el nivel de infección.

5. Los trips (*Heliothrips haemorrhoidalis*) y trips de las flores (*Frankliniella tritici* y *F. occidentalis*). Los trips (*Heliothrips haemorrhoidalis*) han empezado a ser un problema en el pepino. Los adultos son atraídos por la flor amarilla del pepino. Los adultos, de 0,75 mm de longitud, tienen alas plumosas. Se desarrollan fuera del invernadero, sobre plantas silvestres, y posteriormente entran en aquél. Se alimentan del envés de las hojas, de los brotes y de las flores, causando pequeñas puntuaciones decoloradas en las hojas y dañando los brotes y las flores. Las ninfas, con su aparato bucal, raspan la superficie de las hojas y extraen el jugo celular, usando una decoloración blanca, plateada con forma de finas rayas. Los trips, al igual que los ácaros, se alimentan por punción y succión del jugo celular de las hojas. Los daños aparecen en forma de estrechas grietas, que dan a las hojas una apariencia plateada. Se alimentan en estrechas grietas, entre el cáliz y el fruto de pepino recién formado, provocando la ondulación y deformación del mismo. De forma análoga, los trips causan daños en los pimientos.

El ciclo de vida, de 2 a 3 semanas de duración, comienza cuando la hembra adulta deposita los huevos en el envés de las hojas (fig. 13.37). Después de 4 días, nacen las ninfas, que se alimentan sobre las hojas durante 3 días. A continuación, mudan y dan lugar a unas ninfas mayores y más activas, que se alimentan durante otros 3 días, al cabo de los cuales se dejan caer al suelo para pupar. El adulto emerge a los 2 días. Los adultos se alimentan durante 6 días, antes de empezar a poner los huevos. La puesta, que dura 40 días, es de 50 a 100 huevos.

Las trampas amarillas se deben utilizar para detectar inmediatamente su presencia y hacer un seguimiento de la población. El *Amblyseius cucumeris*, un ácaro depredador, se comercializa para el control de trips. El ácaro depredador es similar en apariencia al *Phytoseiulus*, diferenciándose de éste únicamente por su color rosa, ligeramente más pálido, y por sus patas, más cortas. Su ciclo de vida es similar al del *Phytoseiulus*. El ácaro depredador se debe introducir en el cultivo a principio de temporada, para actuar preventivamente. De esta manera, cuando aparezcan los trips, la población depredadora será la necesaria para controlarlos. Su introducción y manejo son similares a los del *Phytoseiulus*. Deben ser introducidos semanalmente, hasta que se alcance un nivel de 100 individuos por planta. Una chinche, *Orius tristicolor*, controla a los trips en pimientos y pepinos. Este depredador se alimenta también de polen, pulgones, mosca blanca y araña roja cuando las poblaciones de trips son bajas. *Hypoaspis miles* se alimenta de pupas de trips. Es apropiado para pepinos, tomates y pimientos.

6. Orugas y rosquillas. Las orugas son larvas de mariposas y las rosquillas son de polillas. Son frecuentes en la mayoría de los cultivos en invernadero. La larva se alimenta de la parte aérea de las plantas. Su presencia se nota por muescas en las hojas y cortes en los tallos y en los peciolo.

Las rosquillas trepan por las plantas y se alimentan del follaje durante la noche. Por el día, permanecen en el suelo o en el medio del cultivo. Las orugas, a diferencia de las rosquillas, no son nocturnas, pero se alimentan de las partes aéreas de las plantas durante el día y la noche. Las polillas y mariposas adultas vuelan desde el exterior al

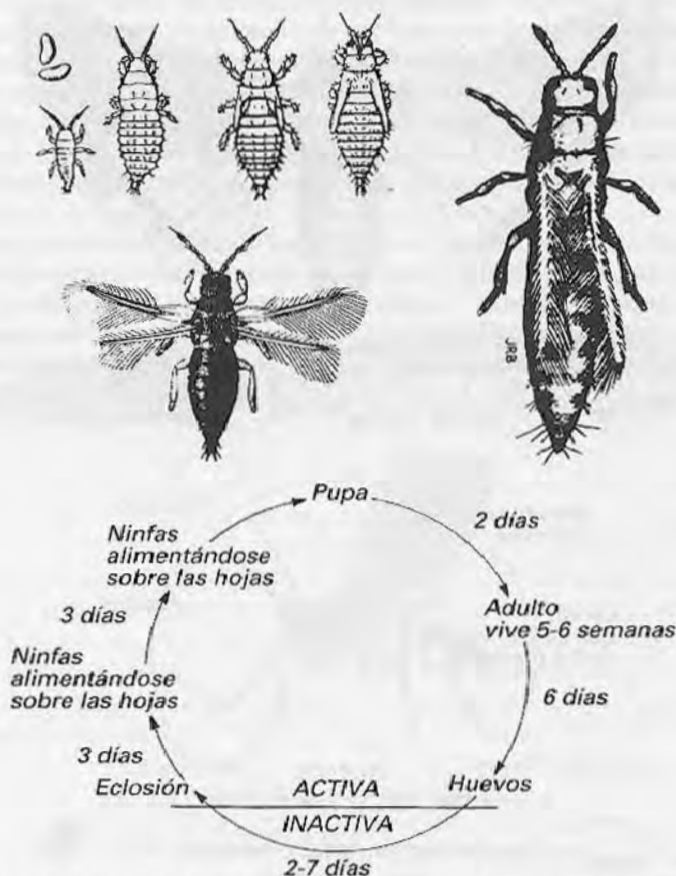


Fig. 13.37. Ciclo de vida de los trips. (Dibujos de insectos por cortesía de J. R. Baker, North Carolina Agricultural Extension Service, Raleigh, NC).

interior de los invernaderos, poniendo inmediatamente los huevos sobre las plantas. Estos huevos se convierten en larvas alimenticias, tras varios días de altas temperaturas.

Debe evitarse la entrada de adultos, cubriendo con pantallas las ventanas, respiraderos, etc. La duración de sus ciclos de vida varía según la estación, la temperatura y la especie (fig. 13.38).

Un cierto número de pesticidas químicos se pueden usar para obtener un control de la plaga. Estos pueden ser Lannate, Diazinon, Malathion, etc., así como una bacteria parasitaria, *Bacillus thuringiensis*, para el control biológico, que es comercializada como Dipel o Thuricida. Esta bacteria tiene que ser pulverizada semanalmente, para que todas las superficies estén protegidas, a medida que los cultivos crecen. Sólo es activa cuando la oruga o la rosquilla la ingieren. Las larvas quedan paralizadas y dejan de comer a las pocas horas de la pulverización, muriendo en un plazo de 1-5 días. La bacteria es inocua para los mamíferos, los peces y los pájaros; no deja residuos tóxicos

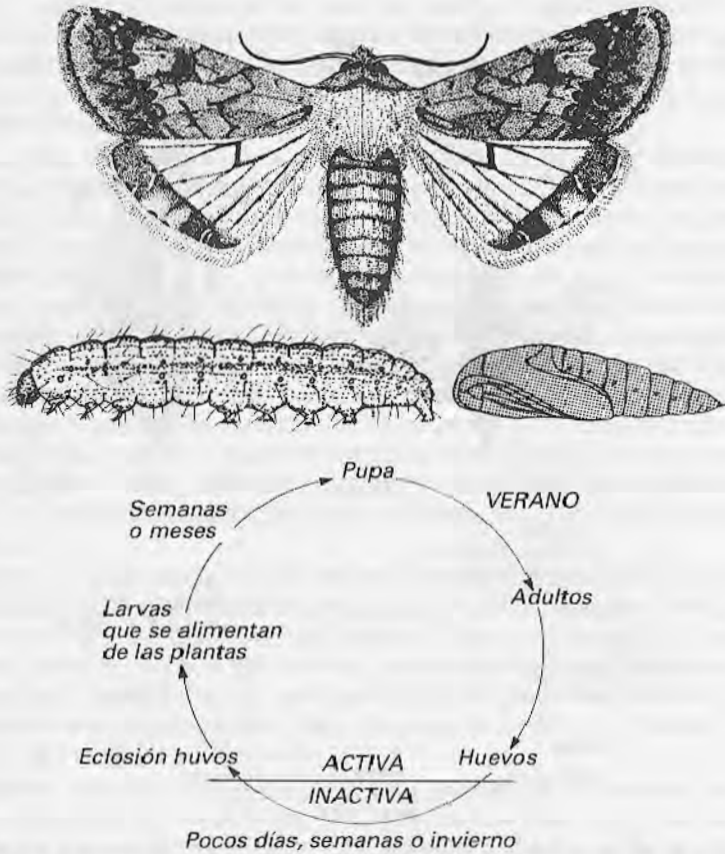


Fig. 13.38. Ciclo de vida de las orugas y las rosquillas. (Dibujos de los insectos por cortesía de J. R. Baker, North Carolina Agricultural Extension Service, Raleigh, NC).

en el medio ambiente. *Trichogramma evanescens*, una pequeña avispa, controla eficazmente más de 200 especies de larvas poniendo sus huevos en los huevos de las mariposas y polillas.

7. *Mosquitos sciáridos* (*Bradysia* sp. y *Sciara* sp.). La larva de esta pequeña mosca, gris oscura o negra, se alimenta normalmente de hongos del suelo y de materia orgánica en descomposición; pero, cuando aumenta la población, se alimenta de las raíces de las plantas. Las larvas son gusanos ápodos, de color blanco, de unos 6 mm (1/4 pulgada) de longitud y con la cabeza de color negra. Los adultos tienen las patas y las antenas largas, de unos tres milímetros de longitud, y con un par de alas transparentes. Atacan a todas las plántulas y se ven favorecidos por la presencia de humedad, tal y como la que existe en los materiales capilares y los cultivos de algas. También se alimentan de la raíz central, de la corteza del tallo y de los pelos radicales de pepinos maduros. Tienen un ciclo de vida de 4 semanas, tal y como se muestra en la figura 13.39.

Para controlar la plaga, se pueden utilizar trampas amarillas y pesticidas químicos tales como Diazinon. También, evitando áreas húmedas en el invernadero y mante-

niendo secas las superficies del medio. Se han obtenido algunos logros con un ácaro depredador que se alimenta, en el suelo, de los huevos y las pupas. La bacteria *Bacillus* puede ejercer algún control sobre las larvas. Vectobac, producido por los laboratorios Abbott, es una subespecie de *Bacillus* efectiva contra el mosquito. El ácaro depredador, *Hypoaspis miles*, se alimenta de los huevos y larvas del mosquito. Un nematodo parásito del insecto, *Steinernema carpocapsae*, controla a las larvas del mosquito. Los nematodos se mezclan con el agua y se aplican como pulverización, o a través del sistema de riego.

En general, los ciclos de vida de los insectos se pueden acortar en condiciones óptimas de humedad relativa y temperatura. El control de plagas de insectos se puede llevar a cabo sobre el estado más susceptible de su ciclo. Normalmente, éste es el estado de adulto, el de ninfa activa o el de larva que se alimenta. Para un efectivo control integral de plagas empleando agentes biológicos, las poblaciones de depredador y de presa

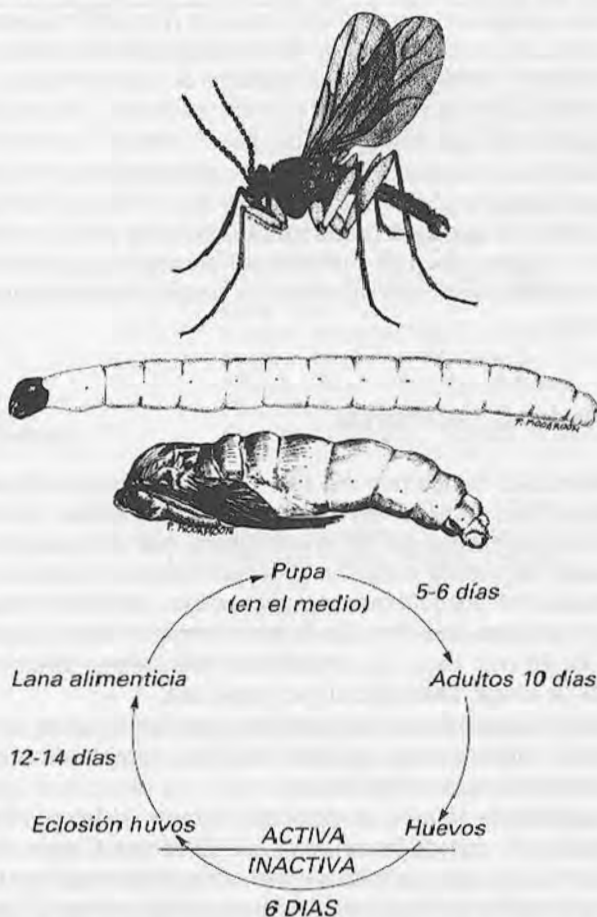


Fig. 13.39. Ciclo de vida del mosquito sciárido. (Dibujos por cortesía de J. R. Baker, North Carolina Agricultural Extension Service, Raleigh, NC).

deben estar equilibradas. Es necesario emplear pesticidas químicos selectivos para el control de los brotes de poblaciones de plagas localizadas. Antes de usar cualquier pesticida químico, los agricultores deben consultar con los fabricantes, los suministradores de agentes biológicos y/o el personal de extensión agraria los productos que pueden utilizar con seguridad. Las condiciones medioambientales dentro del invernadero deben mantenerse a niveles óptimos para los depredadores. Es necesario hacer un seguimiento semanal de las poblaciones de presa y depredadores para mantener el equilibrio, y realizar nuevas introducciones de los depredadores para conseguir un adecuado control integral de las plagas.

Los insecticidas naturales se están introduciendo para su uso en todos los tipos de programas IPM. Uno de estos productos es el componente activo azadirachtin, un extracto del árbol «neem», que se comercializa como Azatin o Neemix y es efectivo contra la mosca blanca, áfidos, trips, minadores de hojas y mosquitos sciáridos. Un cierto número de microinsecticidas, producidos por compañías como Mycotech Corporation, usan hongos del moho del pan como insecticidas: *Beauveria bassiana*, *B. brongniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium lecanii* e *Hirsutella thompsoni*. *Beauveria bassiana* se comercializa con el nombre de «BotaniGard ES». Es eficaz contra las moscas blancas, trips, áfidos y otros insectos chupadores de cuerpo blando. Los insectos no desarrollan resistencia a él y no existen problemas residuales. No perjudica a *Encarsia* y en realidad tiene un efecto adicional si se usa para controlar la mosca blanca.

El cultivo hidropónico minimiza las plagas y enfermedades en el medio de cultivo mediante la eficiente esterilización entre cosechas. Sin embargo, las plagas y enfermedades de la parte aérea de la planta no están influenciadas por el cultivo hidropónico. Por lo tanto, si no se siguen adecuados programas preventivos, pueden tener lugar graves infestaciones similares a las que aparecen en condiciones normales de cultivo con suelo en pleno campo.

13.16. Variedades de hortalizas

Las casas comerciales tienen hoy día a la venta gran número de variedades, tanto para el cultivo al aire libre como en invernadero, y si bien ambas pueden ser utilizadas en nuestro caso, son preferibles las de invernaderos, por dar cosechas mayores y en menor tiempo cuando se pueden controlar las condiciones ambientales; es decir, en un cultivo en invernadero se puede esperar mucho mejor resultado de una variedad de invernadero que de otra para aire libre. En la mayoría de los casos, las primeras no pueden desarrollarse fácilmente bajo las condiciones del campo, ya que no soportan los cambios frecuentes de temperatura que allí se presentan.

Un gran número de variedades de hortalizas para invernadero se comportan muy satisfactoriamente en cultivos hidropónicos, dándose éstas junto con otras también aceptables de invernadero en la tabla 13.4.

Variedades antiguas de tomate, tales como Vendor, Vantage, Tropic y Manapel se están sustituyendo por variedades holandesas: Dombito, Caruso, Larma, Perfecto, Trend, Belmondo y Trust, que son más vigorosas, productivas y resistentes a enfermedades. Como se indicó en el capítulo 10, muchos agricultores injertan variedades tales como Belmondo en portainjertos resistentes a las podredumbres de la raíz. La industria de la Columbia Británica se está cambiando ahora a Trust, pues es

CULTIVOS

resistente a las podredumbres de la raíz y, por tanto, no tiene que ser injertada. En efecto, Trust es la variedad «beefsteak» más popular cultivada en los invernaderos de América del Norte.

En los 3 a 4 años últimos, los tomates en racimos o tomates entutorados (TOV) se han hecho muy populares. En estas variedades, como «Tradiro» y «Ambiance», el fruto en un racimo madura uniformemente al mismo tiempo, de forma que se corta todo el racimo sin quitar los frutos individuales. Éstos se envasan en bolsas especiales u otros contenedores para mantener el fruto entutorado cuando se vende en el mercado. Aunque estas variedades son algo más pequeñas en tamaño que las variedades beefsteak, tienen un sabor más marcado a «tomate» similar a los tomates cherry. Su demanda está aumentando rápidamente entre los consumidores.

TABLA 13.4
Variedades de hortalizas recomendadas
para cultivos hidropónicos y en invernaderos

<i>Hortaliza</i>	<i>Variedad</i>
Pepinos europeos	*Toska 70, Rocket, Brilliant, *Pandex, Farbio, La Reine, Sandra, *Uniflora D, *Corona, *Faron, *Marillo, *Fidelio, *Bronco, *Mustang, *Exacta, *Ventura, «1289», *Jessica, *Optima, *Flamingo, *Dominica, *Accolade, *Discover, Crusade, *Millagon
Lechugas europeas:	*Deci-Minor, *Ostinata, *Cortina, *Rex, *Salina, Vivaldi, Cometa, *Milou, Titania, Rachel, *Vegas, *Cortina
Novedad	Buttercrunch
Sin acogollar	*Domineer, *Black Seeded Simpson, Grand Rapids, Waldmann's Dark Green
Tomates Beefsteak	Vendor, Vantage, Tropic, Manapel, *Dombito, *Caruso, *Larma, *Perfecto, *Belmondo, *Trend, *Trust, *Apollo, *Match, Grace, *Blitz, *Quest, Bounty, *Laura, Jumbo, Style
Cherry	*Favorita, *Conchita
TOV (tomate entutorado)	*Tradiro, *Ambiance, *Balance, *Cronos
Pimientos, tipos Bell:	
Verde a rojo	*Delphin, *Plutona, *Tango, *Cubico, *Mazurka, Val Valeta
Verde a amarillo	*Luteus, *Goldstar, *Samantha, *Gold Flame, *Kelvin
Verde a naranja	*Wonder, *Eagle, *Narobi, *Fellini
Verde a púrpura	*Violetta
Verde a rojo picante	*Fireflame

* Variedades particularmente apropiadas para el cultivo hidropónico.

Todas estas variedades holandesas son resistentes al virus del mosaico del tabaco (TMV), *Fusarium*, *Cladosporium* y *Verticillium*. Las casas de semillas dan símbolos para cada variedad indicando las enfermedades que resiste. Por ejemplo, la variedad de tomate Caruso viene dada con los símbolos «TmC₂VF₂» que indica que es resistente a: TMV, *Cladosporium* razas A, B, C, D y E, *Verticillium* y *Fusarium* razas 1 y 2. Las variedades más populares de pepinos son Accolade, Corona, Faron, Farbio, Bronco, Mustang, Ventura, Discover, Millagon, Marillo y Dominica. He encontrado que Marillo y Dominica son muy adecuadas para las condiciones tropicales bajo altas temperaturas y elevada difusión de oídio.

Existen muchas otras variedades de diferentes proveedores de semillas. Algunas variedades son más convenientes para la estación de primavera/principios de verano, mientras que otras son mejores para las cosechas de verano/otoño. Todas son variedades femeninas sin semillas que producen frutos sin polinización.

Los pimientos son un importante cultivo de invernadero. Estos son principalmente los pimientos «Sweet bell» que son verdes, pero al madurar pueden ser de color rojo, naranja, amarillo o púrpura. Las variedades más populares verde-rojas son Delphin, Plutona, Tango y Cubico, mientras que las verde-amarillas son Luteus, Goldstar, Samantha y Kelvin. Las variedades verde-naranjas son Nairobi y Fellini. Los tipos «cayenne» rojo picante también se están convirtiendo en un cultivo popular de invernadero. Uno de los más productivos y con mejor sabor que he encontrado en los trópicos es Fireflame.

Ciertas berenjenas no están ahora disponibles para el cultivo en invernadero en los trópicos. La única que se ha cultivado con éxito es Berinda. Las berenjenas de invernadero están llegando a ser un cultivo más corriente en Europa y en el futuro quizá aquí en América del Norte.

13.16.1. Lechugas

Las lechugas crecen muy bien en cultivos hidropónicos. Hay 4 tipos básicos de lechugas: lechuga Europea o «bib», lechuga sin acogollar, lechuga acogollada redonda o iceberg y lechuga romana.

Mientras muchas variedades de cada tipo pueden obtenerse de las casas de semillas, hay sólo algunas que son apropiadas para el cultivo hidropónico y las condiciones del cultivo en invernadero. Las variedades de lechuga europea más adecuadas son Decimino, Capitán, Ostinata y Rex. Rex es especialmente resistente a la «subida» con temperaturas altas, como he comprobado en condiciones tropicales.

Deben plantarse a 20 × 20 cm (8 × 8 pulgadas) de separación, y requieren una temperatura nocturna de 18° C (65° F), y diurna de 17° a 19° C (63° a 66° F) en días nublados, y de 21° a 24° C (70° a 75° F) en días soleados, necesitando unos 60 días desde la siembra a la maduración.

Las variedades sin acogollar son generalmente las más fáciles de cultivar. Variedades como Slo-bolt, Black, Seed-simpson, Grand Rapids y Waldmann's Dark Green, son muy vigorosas en cultivo hidropónico. Necesitan entre 45 y 50 días para madurar y su marco de plantación y temperaturas son parecidos a los de la lechuga europea. Estas variedades necesitan unas temperaturas nocturnas de 10° a 13° C (50° a 55° F) y 13° a 21° C (55° a 70° F) durante el día, dependiendo de la intensidad lumínica; sin embargo, aguantan altas temperaturas, hasta de 27° C (75° a 80° F), sin decaimiento o disminución del desarrollo, pero si sobreviniesen temperaturas más elevadas se producirían «quemaduras» de las puntas de las hojas o de los bordes de las mismas.

Algunas variedades son más tolerantes a altas temperaturas y resisten «las quemaduras de las puntas».

Entre las muchas variedades acogolladas de lechuga disponibles. Great Lakes 659 y Montemar son las que mejor crecen en ambientes hidropónicos y de invernadero. Son las más adecuadas a las condiciones tropicales, como se dice en el capítulo 12. Les lleva entre 80 y 85 días madurar y soportan las temperaturas más altas del día, hasta 27° y

28°C (77°F a 78°F) sin los efectos que ocurren en estos casos al recibir la luz solar. Estas lechugas deben tener un marco de plantación ligeramente mayor, a 25 × 25 cm (10 × 10 pulgadas).

Valmaine Cos, Cimmaron (tipo romano rojo) y Parris Islands Cos tienen necesidades similares y requieren marcos de plantación parecidos a los de las lechugas sin acogollar. He encontrado nuevas variedades que pueden tolerar las altas temperaturas de los trópicos, como son Red Salad Bowl, Green Salad Bowl (tipos hoja de roble) y Red Sails (un tipo rojo si acogollar).

Las lechugas deben sembrarse en cubos de turba, bloques de lana de roca, bloques «Oasis» o láminas de medios artificiales, como explicamos anteriormente.

El trasplante a las bancadas de cultivo deberá efectuarse una vez que las plántulas tienen 5-6 cm (2-2 1/2 pulgadas) de altura (unos 20 a 23 días después de la siembra).

Todas las lechugas son susceptibles a la podredumbre de las hojas interiores cuando una ventilación inadecuada produce que éstas permanezcan húmedas.

Como el sistema fibroso de las raíces de las lechugas no les permite entrar en el medio en profundidad, un buen drenaje con aplicaciones frecuentes uniformes y moderadas de las soluciones de nutrientes es mejor que más largos períodos o ciclos menos frecuentes.

13.17. Planes de plantación

Un gran número de programas de plantación son siempre posibles, dependiendo del tipo de cosecha o combinación de cosechas que van a ser cultivadas a lo largo del año. Si solamente van a cosecharse tomates, se puede utilizar un plan de cultivo en primavera y otoño, tal como se indica en la tabla 13.5. En particular, cuando se trabaja a escala de jardín familiar, es recomendable el intercalar lechugas en el cultivo de tomates de primavera. La lechuga deberá sembrarse y trasplantarse en las bancadas al mismo tiempo, colocándose de una a dos plantas entre cada par de tomates, desarrollándose éstos rápidamente sobre ellas, por lo que no recibirán sombra de éstas. Mientras que los tomates son aún pequeños [12-18 pulgadas (30-45 cm) de altura], las lechugas recibirán suficiente iluminación como para una buena cosecha, y así podremos recolectarlas un mes antes de que los tomates estén listos. Una vez que los tomates estén completamente desarrollados y se hayan recolectado los dos primeros racimos, estando eliminada la parte de hojas correspondiente, se podrán cultivar otras cosechas intercalares de lechugas, ya que tendrán bastante aireación e iluminación.

Esto será hacia mayo, tal como se demuestra en la tabla 13.5. Otro cultivo intercalar de lechugas puede efectuarse durante la cosecha de otoño, durante julio y agosto (tabla 13.5).

Una combinación de cosechas, con tomates de final de primavera y dos cultivos de lechugas, pueden ser de interés a escala comercial, tal como se indica en la tabla 13.6. Tal como en el plan para las dos cosechas de tomate, las lechugas pueden recolectarse de enero a marzo, mientras que los tomates van creciendo.

Un tercer plan es el que utiliza un cultivo de pepino de primavera, con otro de tomate de otoño, tal como se muestra en la tabla 13.7, pudiéndose una vez más intercalar las lechugas tanto con los tomates como con los pepinos.

CULTIVOS HIDROPONICOS

TABLA 13.5
Plan de plantación para una cosecha de primavera y otra de otoño de tomates (dos cosechas anuales) (sólo invernaderos de jardín)

<i>Fecha</i>	<i>Actividad</i>
20-31 diciembre	Sembrar lechugas y tomates en discos de turba.
1-15 febrero	Trasplantar a las bancadas de cultivo hidropónico.
15 marzo	Cosechar las lechugas.
15 abril	Empezar la recogida de tomates.
15 mayo	Fin de la plantación de tomate, siembra de lechugas.
1 junio	Sembrar los tomates en discos de turba para la cosecha de otoño, trasplantar las lechugas entre los tomates de la primera plantación.
1 julio	Cosechar lechugas, quitar las plantas de tomate, limpiar el suelo, esterilizar, etc.
15 julio	Trasplantar los tomates de otoño y las lechugas intercaladas entre ellos en las bancadas de invernadero.
15-30 agosto	Cosechar lechugas.
15 septiembre	Comenzar a recolectar los tomates que están madurando.
1 noviembre	Terminar la plantación de tomates.
20-31 diciembre	Quitar las plantas de cultivo de otoño, limpiar, desinfectar, etc., sembrar las lechugas y tomates de la cosecha de primavera.

TABLA 13.6
Combinación de un cultivo de tomate de final de primavera y dos de lechuga de otoño

<i>Fecha</i>	<i>Actividad</i>
<i>Final de primavera</i>	
Tomates:	
20-31 diciembre	Sembrar los tomates.
1-15 febrero	Trasplantar los tomates a las bancadas.
Mayo-julio	Cosechar tomates.
20-31 julio	Quitar las matas, limpiar, etc.
<i>Lechuga de otoño</i>	
Primera cosecha:	
10-15 agosto	Sembrar las lechugas.
5-10 septiembre	Trasplantar las lechugas a las bancadas del invernadero.
10-20 octubre	Cosechar.
Segunda cosecha:	
15-20 septiembre	Efectuar la segunda siembra.
15-25 octubre	Trasplantarlas a las bancadas.
12-15 diciembre	Cosecharlas.

Si sólo se cultivan pepinos a lo largo del año pueden efectuarse multitud de programas. Mientras que algunos agricultores prefieren efectuar de tres a cinco cosechas anuales, otros llevan a cabo sólo una, de febrero a octubre, utilizando el sistema continuo en sombrilla. Estos últimos suelen cerrar los invernaderos de noviembre a enero, ahorrando

la calefacción y pudiendo llevar a cabo un programa de mantenimiento y reparación durante estos meses del invierno. La tabla 13.8 nos da un plan para un sistema de tres cosechas de pepinos, pudiéndose intercalar lechugas durante las dos primeras, mas no durante la tercera, pues en esta época las condiciones luminosas son muy pobres.

TABLA 13.7
Combinación de una cosecha de pepinos de primavera y otra de tomates de otoño

<i>Fecha</i>	<i>Actividad</i>
<i>Pepinos de primavera</i>	
25-31 diciembre	Sembrar pepinos (y lechugas).
1-15 febrero	Trasplantar pepinos y lechugas a las bancadas del invernadero.
1-15 marzo	Cosechar lechugas y comenzar a recolectar pepinos.
15-25 junio	Quitar pepinos, limpiar, desinfectar, etc.
<i>Tomates de otoño</i>	
15-30 junio	Sembrar tomates (y lechugas).
20-31 julio	Trasplantar tomates (y lechugas).
15 septiembre	Cosechar lechugas.
1 octubre	Comenzar a regar tomates.
15-25 diciembre	Quitar las plantas de tomate, limpiar, desinfectar, etc.

TABLA 13.8
Plan para tres cosechas anuales de pepinos

<i>Fecha</i>	<i>Actividad</i>
1 enero	Sembrar pepinos (y lechugas), primera cosecha.
1-15 febrero	Trasplantar a las bancadas (primera cosecha).
1 marzo	Cosechar lechugas.
31 marzo	Comenzar a recolectar pepinos.
1 mayo	Sembrar pepinos (y lechugas), segunda cosecha.
31 mayo	Retirar las plantas de pepino de la primera cosecha, limpiar, etc.
1-10 junio	Trasplantar pepinos (y lechugas) a las bancadas (segunda cosecha).
1 julio	Cosechar lechugas.
15 julio	Comenzar la recolección de pepinos (segunda cosecha).
1 agosto	Sembrar pepinos (tercera cosecha).
31 agosto	Retirar las plantas de la segunda cosecha de pepinos, limpiar, etc.
1-10 septiembre	Trasplantar los pepinos (tercera cosecha) a las bancadas.
15 octubre	Comenzar a recolectar pepinos.
20-31 diciembre	Quitar las plantas de la tercera cosecha, limpiar, etc.

En los últimos años, ha sido una práctica común el cultivar una sola cosecha al año de tomates o pepinos. Los tomates se siembran a primeros de noviembre y se mantienen en cultivo hasta finales de noviembre del año siguiente. Los pepinos se siembran un poco más tarde, a primeros de diciembre, y los pimientos se siembran a primeros de octubre, tal como muestra la tabla 13.9.

TABLA 13.9
Unico cultivo anual de tomates, pepinos o pimientos

<i>Fecha</i>	<i>Actividad</i>
<i>Tomates</i>	
Principios de noviembre	Sembrar los tomates.
Finales de noviembre	Trasplantar a bloques mayores de lana de roca y mantenerlas con iluminación HID suplementaria, con un mínimo de 5.500 lux (510 foot candles) de intensidad en los semilleros.
1-7 diciembre	Poner las plantas en bloques de lana de roca sobre las planchas del invernadero.
1-7 enero	Trasplantar los tomates a las planchas (bancadas) cuando aparezcan los botones florales.
15-21 febrero	Primera cosecha.
15 noviembre	Ultima cosecha.
15-30 noviembre	Quitar las plantas, limpiar, etc.
<i>Pepinos</i>	
1 diciembre	Sembrar pepinos en el semillero.
Ultimos de diciembre	Trasplantar a las planchas o bancadas del invernadero.
1-7 febrero	Empezar a cosechar pepinos.
15 noviembre	Ultima cosecha.
15 noviembre-15 diciembre	Quitar las plantas, limpiar, etc.
<i>Pimientos</i>	
1 octubre	Sembrar pimientos en el semillero.
Ultimos de octubre	Trasplantar los pimientos a bloques de lana de roca del invernadero de plántulas.
Primeros de diciembre	Trasplantar a planchas o bancadas del invernadero.
Primeros de marzo	Empezar a cosechar pimientos.
15 noviembre	Ultima cosecha.
15 noviembre-7 diciembre	Quitar las plantas, limpiar, etc.

NOTA: Ver capítulo 10 para más detalles sobre procedimientos de cultivo.

13.18. Final del cultivo

En los cultivos de tomate, el ápice de cada una de las plantas deberá cortarse unos sesenta días antes de la fecha calculada para el arranque de las plantas (tabla 13.5), eliminando durante este período los chupones que irán apareciendo en la parte superior de las plantas. Algunos días antes del arranque de la plantación, hay que pulverizar las plantas para eliminar cualquier infestación de insectos. Hay que tener cuidado de no usar pesticidas que tengan un efecto residual a largo plazo que pudiera perjudicar a los depredadores beneficiosos del programa integrado para el control de plagas de los posteriores cultivos. Detener los aportes de agua y nutrientes a las planchas o bancadas unos días antes del arranque de las plantas del invernadero. Se deben sacar las raíces, pero dejando el resto de las plantas colgando del entutorado.

Esto dará como resultado una gran pérdida de agua en las plantas, reduciendo, por tanto, su peso en el momento de sacarlas del invernadero, debiéndose también sacudir la grava de las raíces en estos momentos y separar de los tallos las abrazaderas de plástico con el borde de una cuchara o navaja, pues pueden volverse a utilizar una vez lavadas y desinfectadas. Las plantas se pueden colocar en la basura, en el estercolero, o

bien, enterrarlas a alguna distancia del invernadero para evitar la reinfección de las nuevas cosechas. Después de que todas las plantas han sido sacadas del invernadero, barridos los suelos, etc., se deberán limpiar éstos de forma que no quede ningún resto de planta, debiendo entonces desinfectar a fondo las bancadas, el depósito de nutrientes y el medio de cultivo, según las medidas dadas en los capítulos anteriores. Una vez que ha sido todo completamente esterilizado, el sistema está listo para el cultivo siguiente.

Un sistema hidropónico adecuadamente desinfectado y cuidado después de cada cosecha podrá cultivarse de forma continua con grandes rendimientos durante muchos años, dando mejores beneficios que los que podrían obtenerse con el cultivo tradicional.

13.19. Observaciones finales

Tanto si las plantas se desarrollan en un sistema hidropónico o en el suelo, sus necesidades de cultivo serán siempre las mismas, pudiendo obtenerse una información más específica en los libros especializados de horticultura y en los boletines de divulgación agraria, publicados por las universidades y los departamentos agrarios. En el Apéndice 2 figura una lista de algunas agencias de extensión de las universidades.

Los invernaderos comerciales son ahora detenidamente examinados por varios grupos ambientales. Como consecuencia de ello, el uso del agua, el desagüe, los insecticidas y los restos de fertilizantes son aspectos importantes que hay que controlar. En Holanda, los invernaderos se ven forzados a reutilizar el agua, minimizar el uso de insecticidas y fertilizantes y reciclar los residuos. El reciclado de los materiales vegetales se podría lograr mediante su uso en alimentación animal. El uso del agua y de los fertilizantes se puede minimizar con sistemas hidropónicos de recirculación de lana de roca y con cultivos NFT. El uso de insecticidas se ha reducido grandemente empleando productos biológicos en un programa integrado para el control de las plagas. El uso de fungicidas se está reduciendo gracias a la selección de variedades resistentes a las enfermedades. Algunas de las futuras necesidades inmediatas del cultivo hidropónico son la investigación de métodos más eficientes, el análisis de nutrientes y el ajuste automático de la solución con esterilización de la solución durante cada paso por el depósito de nutrientes, todo ello monitorizado y controlado por un ordenador central.

Es precisamente este eficaz control lo que proporciona a los cultivos hidropónicos el potencial de convertirse en la solución para lograr una producción intensiva de cosechas en todo el mundo, y en los futuros viajes del hombre a otros planetas. Experimentos hidropónicos están ahora siendo realizados por varias compañías patrocinadas por la NASA en sus programas espaciales. Va a ser el método para suministrar productos vegetales frescos a los astronautas en las estaciones del espacio y en los futuros viajes espaciales. Actualmente, están programados experimentos sobre el cultivo de plantas en el espacio para los vuelos espaciales en un próximo futuro. Se han diseñado y ensayado sistemas hidropónicos para que funcionen en las condiciones ambientales de microgravedad de los vuelos espaciales. Se ha diseñado una cámara de producción de biomasa para «Controlled Ecological Life Support System» (CELSS), de la NASA. Actualmente se están realizando muchos estudios para desarrollar equipos y procedimientos culturales para cultivar cosechas hidropónicas en el espacio.

Referencias

- BLANCHARD, D.: *A color Atlas of tomato diseases, observation, identification and control*. Manson Publishing, John Wiley & Sons, New York. 212 p. 1997.
- CORNISH, P. S.: Use of electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grown in hydroponic culture. *Australian Journal of Exp. Agric.* v. 32(4):513-520. 1992.
- JOHNSTON, H., JR.: «Cultural practices for tomatoes» *Univ. of Calif. Agric. Extension Bulletin*, Nov. 1973.
- «Greenhouse tomato production». *Univ. of Calif. Leaflet* **2806**, 1975.
- «Greenhouse cucumber production». *Univ. of Calif. Coop. Ext. Leaflet* **2755**, 1975.
- LARSON, J. E.: «Growing tomatoes in plastic greenhouses». *Texas A & M Univ. Agric. Ext. Bulletin*, June 1970.
- LOUGHTON, A.: «The «How-To» of European cucumbers». *Am. Veg. Grower*, November 1975, pp. 16, 18, 58 y 60. 1975.
- MALAIS, M. y RAVENSBERG, W. J.: Knowing and recognizing. Koppert B.V., Berkel en Rodenrijs, Holanda, 109 p. 1992.
- Province of British Columbia. Greenhouse vegetable production guide. B. C. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Victoria, B.C., Canadá, 121 p. 1993.
- SCHALES, F. D., y MASSEY, P. H., JR.: «Tomato production in plastic greenhouse». *Virginia Polytechnic Inst. Ext. Div. Publ.* **154**, July 1968.
- «Starting early plants». *Virginia Polytechnic Inst. Ext. Div. Publ.* **226**, Jan. 1969.
- SMITH, DENNIS L.: 1988. Peppers & Aubergines. Grower Guide No. 3. 92 pp. London: Grower Books.
- STONER, A. K.: «Commercial production of greenhouse tomatoes». USDA Handbook No. **382**, Washington, D.C.: Gov. Printing Office, 1971.
- TIESSEN, H. WIEBE, J., y FISHER, C.: «Greenhouse vegetable production in Ontario». *Ontario Min. of Agric. and Food Publ.* **526**, 1976.
- WITTWER, S. H., y HONMA, S.: «Greenhouse tomatoes: guidelines for successful production». *East Lansing Michigan State Univ. Press.*, 1969.
- WITTWER, S. H.; HONMA, S., y ROBB, W. M.: «Practices for increasing yields of greenhouse lettuce». *East Lansing: Michigan State Univ. Research Rep.* **22**, 1964.

Apéndice 1

Sociedades hidropónicas y de cultivo sin suelo

La Sociedad Internacional para el Cultivo sin Suelo (ISOSC) es un grupo de personas (agricultores, aficionados, científicos) unidos de alguna forma por el trabajo del cultivo sin suelo. El propósito de la ISOSC es la promoción mundial de la investigación y promoción del cultivo sin suelo, operando dicha sociedad como centro de información de los trabajos efectuados en estos métodos de cultivo. Cada tres o cuatro años, la ISOSC organiza un congreso internacional sobre este tema, publicando las lecturas del congreso.

Cualquier persona relacionada por su actividad en la investigación, extensión o aplicación comercial del cultivo sin suelo puede ser elegida como miembro de la ISOSC. Para información y afiliación, hay que dirigirse a:

Secretariat of ISOSC
P.O. Box 52
Wageningen
Holanda

Una sociedad similar existe en Norteamérica, es la Hydroponic Society of America. Para información y afiliación, dirigirse a:

Hydroponic Society of America,
Post Office Box 1183,
El Cerrito, CA 94530.

Apéndice 2

Recursos para la producción en invernadero

Servicios de extensión y experimentación

B.C. Ministry of Agriculture
32916 Marshall Road
Abbotsford, B.C.
Canada V2S 1K2

Agriculture Engineering Cooperative
Extension Service
Pennsylvania State University
University Park, PA 16802

Cooperative Extension Service
Dept. of Agricultural Engineering
University of Kentucky
Lexington, KY 40506

Department of Vegetable Crops
New York State College of Agriculture
Cornell University
Ithaca, NY 14850

Superintendent of Documents
U.S. Government Printing Office
Washington, DC 20402

Agricultural Extension Service
University of California
Riverside, CA 92502

Agricultural Experiment Station
Mississippi State University
State College, MS 39762

Cooperative Extension Service
College of Agriculture
University of Illinois
Urbana, IL 61801

Agricultural Extension Service
University of California
Davis, CA 95616

Cooperative Extension Service
Rutgers University
New Brunswick, NJ 08903

Cooperative Extension Service
College of Agriculture and Natural
Resources
University of Connecticut
Storrs, CT 06268

Ontario Department of Agriculture and
Food
Parliament Buildings
Toronto, Ontario

CULTIVOS HIDROPONICOS

Agricultural Extension Service
The University of Arizona
4201 East Broadway
Phoenix, AZ 85040

Department of Horticulture
Oregon State University
Corvallis, OR 97331

Ontario Dept. of Agriculture and Food
Horticultural Research Institute
Vineland Station, Ontario

Cooperative Extension Service
Ohio State University
Wooster, OH 44691

Agricultural Experiment Station
Michigan State University
East Lansing, MI 48823

Vegetable Crops Department
University of Florida
Gainesville, FL 32611

Agricultural Extension Service
Purdue University
Lafayette, IN 4790

Department of Horticultural Science
North Carolina State University
Raleigh, NC 27607

Agricultural Extension Service
Texas A & M University
College Station, TX 77843

Department of Horticulture
Oklahoma State University
Stillwater, OK 74074

Laboratorios para análisis de suelos y de los tejidos de las plantas

Soil and Plant Laboratory, Inc.
P.O. Box 1648, Bellevue, WA 98009-1648
352 Mathew St., Santa Clara, CA 95050
P.O. Box 6566, Orange, CA 92863-6566

Soil Testing Laboratory
Texas A & M University
College Station, TX 77843

Peninsu-LAB (Disease and Pest Lab)
23976 N.E. Newellhurst Court
Kingston, WA 98346

A&L Southern Agricultural Laboratories
1301 West Copans Rd.
Building D, Suite 8
Pompano Beach, FL 33064

Northwest-Priva Plant
203-20771 Langley Bypass
Langley, B.C., Canada

Berger Peat Moss Co., Inc.
122 RR #1
St. Modeste, Cte. Riviere-du-Loup
Quebec, Canada G0L 2W0

Griffin Laboratories
1875 Spall Rd.
Kelowna, B.C. Canada
V1Y 4R2

CLC Labs
325 Ventura Ave.
Westerville, OH 43081

Department of Land Resource Science
University of Guelph
Guelph, Ontario, Canada

MMI Hawaii
P.O. Box 6027
Hilo, HI 96720

Scotts Testing Laboratory
6656 Grant Way
Allentown, PA 18106

Sun Gro Horticulture
15831 NE 8th St., Ste. 100
Bellevue, WA 98008

Servi-Tech Laboratories
1816 E. Wyatt Earp Blvd.
P.O. Box 1397
Dodge City, KS 67801

Wallace Laboratories
365 Coral Center
El Segundo, CA 90245-4620

Algunos Websites de invernaderos y cultivos hidropónicos

<http://www.aceis.agr.ca>
<http://www.ag.arizona.edu/hydroponictomatoes>
<http://www.cals.cornell.edu/dept/flori/cea/programs.html>
<http://www.ext.msstate.edu:80/anr/plantsoil/vegfruit/tomato/ghtomato/faq.html>
<http://www.greenhouseinfo.com>
<http://www.growroom.com>
<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/home>
<http://www.koppert.nl>
<http://ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-32-a.html>
<http://www.usda.gov>

Productos para control biológico

NOTA: Esta no es una lista completa de las compañías que venden productos para control biológico.

Applied Bio-Nomics Ltd.
P.O. Box 2637
Sidney, B.C.
Canada V8L 4C1

Biopest Canada Ltd.
2020 Mersea Rd. #3, RR4
TWP of Mersea
Leamington, ON N8H 3V7

Beneficial Insectary
14751 Oak Run Rd.
Oak Run, CA 96069

International Technical Services
P.O. Box 75
Lafayette, CO 80026

Bio Insect Control
710 South Columbia
Plainview, Tx 79072

Kopperts Biological Systems, Inc.
28465 Beverly Rd.
Romulus, MI 48174

Biosis
1057 East Meadow Circle
Palo Alto, CA 95303

Koppert (UK) Ltd.
Biological Control
P.O. Box 43
Tunbridge Wells, Kent TN2 5BX
England

CULTIVOS HIDROPONICOS

Organic Pest Management
P.O. Box 55267
Seattle, WA 98155

Richters
P.O. Box 26
Goodwood, Ontario
Canada LOC 1A0

Safer Ltd.
6761 Kirkpatrick Cres.
Victoria, B.C.
Canada V8X 3X1

Beneficial Bugs
P.O. Box 1627
Apopka, FL 32703

Better Yield Insects
13310 Riverside Dr. East
Tecumseh, Ontario
Canada N8N 1B2

Bio-Resources
P.O. Box 92
Santa Paula, CA 93060

Hydro-Gardens Inc.
P.O. Box 9707
Colorado Springs, CO 80932

Biotactics Inc.
7765 Lakeside Dr.
Riverside, CA 92509

M & R Durango, Inc.
P.O. Box 886
Bayfield, CO 81122

Nature's Control
P.O. Box 35
Medford, OR 97501

Praxis
P.O. Box 4164
Auburn Heights, MI 48051

Rincon-Vitova Insectories Inc.
P.O. Box 95
Oak View, CA 93022

Unique Insect Control
P.O. Box 15376
Sacramento, CA 95851

Equipo hidropónico especial

1. Canales NFT:

Rehau Plastics, Inc.
P.O. Box 1706
Leesburg, VA 22075

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Troy Hygro-Systems, Inc.
4096 Hwy, ES
East Troy, WI 53120

Hydro-Gardens, Inc.
P. O. Box 9707
Colorado Spring, CO 80932

Clover Greenhouses
200 Weakley Lane
Smyrna, TN 37167

Westbrook Greenhouse Systems Ltd.
270 Hunter Rd.
Grimsby, Ontario
Canada L3M 5G1

2. Canales NFT Reko de doble línea:

ADJ Horti-Projects Inc.
P.O. Box 3004
Langley, B.C.
Canada V3A 4R3

Reko bv
P.O. Box 191
6190 AD Beek (L)
Holland

3. Torres verticales y estructuras en A

Future Farms
141 7th Ave.
San Francisco, CA 94118

Verti-Gro, Inc.
720 Griffin Ave.
Lady Lake, FL 32159

Otros equipos

1. Esterilizadores UV:

Trojan Technologies
845 Consortium Court
London, Ontario
Canada N6B 2S8

Aquafine Corporation
25230 West Ave. Stanford
Valencia, CA 91355

2. Unidades refrigeradoras de agua:

Frigid Units, Inc.
3214 Sylvania Ave.
Toledo, OH 43613

3. Unidades hobby:

Para una lista de compañías que comercializan unidades hidropónicas hobby, remitirse a otros libros de Resh publicados por Woodbridge Press: *Hydroponic Home Food Gardens* y *Hydroponic Tomatoes for the Home Gardener*.

Apéndice 3

Unidades de medida: factores de conversión

Unidades de		Para convertir	→ en →	Multiplicar por
Longitud	25,401	Milímetros	Pulgadas	0,0394
	2,5401	Centímetros	Pulgadas	0,3937
	0,3048	Metros	Pies	3,2808
	0,9144	Metros	Yardas	1,0936
	1,6093	Kilómetros	Millas tierra	0,6214
Superficie	645,160	Milímetros cuadrados	Pulgadas cuadradas	0,001550
	6,4516	Centímetros cuadrados	Pulgadas cuadradas	0,1550
	0,0929	Metros cuadrados	Pies cuadrados	10,7639
	0,8361	Metros cuadrados	Yardas cuadradas	1,1960
	0,004046	Kilómetros cuadrados	Acre	247,105
	2,5900	Kilómetros cuadrados	Millas cuadradas	0,3861
	0,4046	Hectáreas	Acre	2,4710
Volumen	16,3872	Centímetros cúbicos	Pulgadas cúbicas	0,0610
	0,0283	Metros cúbicos	Pies cúbicos	35,3145
	0,7646	Metros cúbicos	Yardas cúbicas	1,3079
	0,003785	Metros cúbicos	Galones (USA)	264,178
	0,004545	Metros cúbicos	Galones (U.K.)	219,976
Capacidad	0,01639	Litros	Pulgadas cúbicas	61,0238
	28,3205	Litros	Pies cúbicos	0,03531
	3,7850	Litros	Galones (USA)	0,2642
	4,5454	Litros	Galones (U.K.)	0,2200
	0,4732	Litros	Pintas líquidas	2,1134
	0,9463	Litros	Quarter líquidas	1,0567
	0,03785	Hectolitros	Galones (USA)	26,4178
	0,04545	Hectolitros	Galones (U.K.)	21,9976
	0,3524	Hectolitros	Bushels (USA)	2,8378
	0,3636	Hectolitros	Bushels (U.K.)	2,7497
Peso	28,3495	Gramos	Onzas (Av)	0,0353
	31,1035	Gramos	Onzas (Troy)	0,0321
	0,4536	Kilogramos	Libras (Av)	2,2046
	0,0004535	Toneladas métricas	Libras (Av)	2,204,62
	0,907185	Toneladas métricas	Toneladas (USA)	1,1023
	1,016047	Toneladas métricas	Toneladas (U.K.)	0,9842
	Multiplicar por	→ en →	Para convertir	

Apéndice 4

Constantes físicas de los compuestos inorgánicos

Nombre	Fórmula	Densidad o peso específico	Solubilidad (gm/100 ml)	
			En agua fría	En agua caliente
Nitrato amónico	NH_4NO_3	1.725	118,3	871
Fosfato biamónico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1.803	22,7	173,2
Fosfato monoamónico	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1.619	57,5	106,0
Sulfato amónico	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1.769	70,6	103,8
Acido bórico	H_3BO_3	1.435	6,35	27,6
Carbonato cálcico	CaCO_3	2.710	0,0014	0,0018
Cloruro cálcico	CaCl_2	2,15	74,5	159
Cloruro cálcico hidratado	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,71	279	536
Hidróxido cálcico	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	2,24	0,185	0,077
Nitrato cálcico	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	2.504	121,2	376
Nitrato cálcico tetrahidratado	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,82	266	660
Oxido cálcico	CaO	3,25-3,38	0,131	0,07
Fosfato monocálcico	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2.220	1,8	Se descompone
Sulfato cálcico	CaSO_4	2.960	0,209	0,1619
Sulfato cálcico hidratado	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,32	0,241	0,222
Sulfato de cobre pentahidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	2.284	31,6	203,3
Dihidróxido de hierro	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	3,4	0,00015	—
Dinitrato férrico	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,6	83,5	166,7
Sulfato de hierro pentahidratado	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.898	15,65	48,6
Oxido de magnesio	MgO	3,58	0,00062	0,0086
Ortofosfato magnésico	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	—	Insoluble	Insoluble
Fosfato monohidreomagnésico heptahidratado	$\text{MgHPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.728	0,3	0,2
Ortofosfato magnésico tetrahidratado	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,64	0,0205	—
Sulfato magnésico heptahidratado	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,68	71	91
Dicloruro de manganeso tetrahidratado	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2,01	151	656
Hidróxido de manganeso	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	3.258	0,0002	—
Nitrato de manganeso	$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,82	426,4	∞
Dihidro fosfato de manganeso	$\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	Soluble	—
Hidrofosfato de manganeso	$\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	—	Ligeramente soluble	Se descompone
Sulfato de manganeso	MnSO_4	3,25	52	70
Sulfato de manganeso tetrahidratado	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2.107	105,3	111,2
Acido nítrico	HNO_3	1,5027	∞	∞
Acido ortofosfórico	H_3PO_4	1.834	548	Muy soluble
Anhídrido fosfórico	P_2O_5	2,39	Se descompone	H_3PO_4
Carbonato potásico	K_2CO_3	2.428	112	156
Dihidro carbonato potásico	$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.043	146,9	331
Carbonato potásico hidratado	KHCO_3	2,17	22,4	60
Carbonato potásico trihidratado	$2\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	2.043	129,4	268,3
Cloruro potásico	KCl	1.984	34,7	56,7
Hidróxido potásico	KOH	2.044	107	178
Nitrato potásico	KNO_3	2.109	13,3	247
Ortofosfato potásico	K_3PO_4	2.564	90	Soluble
Dihidro fosfato potásico	KH_2PO_4	2.338	33	83,5
Hidrofosfato potásico	K_2HPO_4	—	167	Soluble
Sulfato potásico	K_2SO_4	2.662	12	24,1
Carbonato de zinc	ZnCO_3	4.398	0,001	—
Cloruro de zinc	ZnCl_2	2,91	432	615
Ortofosfato de zinc	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	3.998	Insoluble	Insoluble
Dihidrofosfato de zinc	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	Se descompone	—
Ortofosfato de zinc tetrahidratado	$\text{Zn}(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,04	Insoluble	Insoluble
Sulfato de zinc heptahidratado	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.957	96,5	663,6

Apéndice 5

Proveedores de invernaderos y de cultivos hidropónicos

Productos de biocontrol

Microbios:

AgBio Development Inc.
9915 Raleigh Street
Westminster, CO 80030

Carolina Seeds Inc.
P.O. Box 2625, Hwy. 105 By-Pass
Boone, NC 28607

Grace-Sierra Horticultural Products Co.
1001 Yosemite Dr.
Milpitas, CA 95035

Harris Seeds/Garden Trends Inc.
60 Saginaw Dr., P.O. Box 22960
Rochester, NY 14692-2960

Rigo Co.
P.O. Box 189
Buckner, KY 40010

Sandoz Agro, Inc. (Steward)
1300 E. Touhy Ave.
Des Plaines, IL 60018

Mycotech Corporation
529 E. Front St.
P.O. Box 4109
Butte, MT 59702-4109

United Horticultural Supply
4564 Ridge Dr. N.E.
Salem, OR 97303

Depredadores/parásitos:

ARBICO Environmentals
P.O. Box 4247
Tucson, AZ 85738-1247

Beneficial Resources
P.O. Box 327
Danville, PA 17821

Biobest Canada
2020 Mersea Rd. #3, RR4
TWP of Mersea
Leamington, ON N84 3V7

Bioworks, Inc.
122 North Genesee St.
Geneva, NY 14456

CULTIVOS HIDROPONICOS

Chr. Hansen's Biosystems
9015 W. Maple St.
Milwaukee, WI 53214

Eco Solutions, Inc.
334 East Lake Rd., Ste. 196
Palm Harbor, FL 34685

Hydrogardens, Inc.
P.O. Box 25845
Colorado Springs, CO 80936-219

International Technical Systems
P.O. Box 75
Lafayette, CO 80026

IPM Laboratories, Inc.
P.O. Box 300
Locke, NY 13092-0300

Koppert Biological Systems, Inc.
28465 Beverly Rd.
Romulus, MI 48174

Ladies in Red
P.O. Box 2639
LaPine, OR 97739

Natural Industries
P.O. Box 692075-219
Houston, TX 77269

Novartis BCM North America
P.O. Box 2430
Oxnard, CA 93034

Plantco, Inc.
314 Orenda Rd.
Brampton, ON L6T 1G1

Plant Health Care, Inc.
440 William Pitt Way
Pittsburg, PA 15238

Plant Sciences, Inc.
342 Green Valley Rd.
Watsonville, CA 95076

Rincon-Vitova Insectaries Inc.
P.O. Box 1555
Ventura, CA 93002

Thermo Trilogy
9145 Guilford Rd., Ste 175
Columbia, MD 21406

Polinizadores (Bombus sp):

Bees West, Inc.
P.O. Box 1378
Freedom, CA 95019

Beneficial Resources
P.O. Box 327
Danville, PA 17821

Biobest Canada
2020 Mersea Rd. 3 #, RR4
TWP of Mersea
Leamington, ON N8H 3V7

Biobest Trading bvba
Ilse Velden 18
B-2260 Westerlo, Belgium

G.B. Systems
P.O. Box 39063
N. Ridgeville, OH 44039

Productos químicos e insecticidas

AgriDyne Technologies Inc.
2401 So. Foothill Dr.
Salt Lake City, UT 84109

BFG Supply Co.
P.O. Box 479, 14500 Kinsman Rd.
Burton, OH 44021

E.C. Geiger, Inc.
Rt. 63, Box 285
Harleysville, PA 19538

Grace-Sierra Horticultural Products Co.,
1001 Yosemite Dr.
Milpitas, CA 95035

Griffin Greenhouses & Nurseries Supplies
20 Grandview Court
Cheshire, CT 06410

Hummert International
2746 Chouteau Ave.
St. Louis, MO 63103

OFE International, Inc.
P.O. Box 16130
Miami, FL 33116

Plant Products Corp.
P.O. Box 1149
Vero Beach, FL 32961-1149

Reddick Fumigants
P.O. Box 391
Williamston, NC 27892

Rigo Co.
P.O. Box 189
Buckner, KY 40010

Uniroyal Chemical Co., Inc.
World Headquarters
Middlebury, CT 06749

Waldo & Associates, Inc.
28214 Glenwood Rd.
Perrysburg, OH 43551

J.C. Whitlam Mfg. Co.
P.O. Box 380
Wadsworth, OH 44282-0380

United Horticultural Supply
9335 Elm Court
Denver, CO 80221

Hardware y Software

Acme Engineering & Mfg.
P.O. 978
Muskogee, OK 74402

Argus Control Systems Ltd.
1281 Johnston Rd.
WhiteRock, B.C.
Canada V4B 3Y9

Automata, Inc.
16216 Brooks Rd.
Grass Valley, CA 95945-8816

Canadian Hydrogardens Ltd.
1386 Sandhill Dr.
Ancaster, ON L9G 4V5

Conley's Greenhouse Mfg.
4344 Mission Blvd.
Pomona, CA 91766

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

CULTIVOS HIDROPONICOS

Growth Zone Systems
1719 Hwy 99 S.
Mount Vernon, WA 98273

Frank Jonkman & Sons Ltd.
R.R. 4
Bradford, ON L3Z 2A6

Micro Grow Greenhouse Systems, Inc.
26111 Ynez Rd., Suite C-4
Temecula, CA 92591

Micro Vane, Inc.
8135 Cox's Dr.
Kalamazoo, MI 49002

National Greenhouses, Inc.
400 E. Main, P.O. Box 500
Pana, IL 62557

Neogen Corp.
620 Leshner Pl.
Lansing, MI 48912-1509

Nexus Greenhouse Corp.
10983 Leroy Dr.
Northglenn, CO 80233

Oglevee Computer Sustersms
150 Oglevee Lane
Connellsville, PA 15425

Priva Computers, Inc.
3468 S. Service Rd.
Vineland Station, ON LOR 2E0

Q-Com Corp.
2050 S. Grand Ave.
Santa Ana, CA 92705

Techmark, Inc.
P.O. Box 80835
Lansing, MI 48908-0835

U.D.S.
6095 28th Street S.E.
Grand Rapids, MI 49546-8754

United Greenhouse Systems
708 Washington St.
Edgerton, WI 53534

Jack Van Klaveren Ltd. (JVK)
P.O. Box 910
St. Catharines, ON L2R 6Z4

V & V Noordland Inc.
16 Commercial Blvd.
Medford, NY 11763

Van Wingerden Greenhouse Co.
4078 Haywood Rd.
Horse Shoe, NC 28742

Wadsworth Control Systems
5541 Marshall St.
Arvada, CO 80002

Westbrook Greenhouse Systems Ltd.
270 Hunter Rd.
Grimsby, ON L3M 4G1

Fertilizantes

Beneficial Resources
P.O. Box 327
Danville, PA 17821

BFG Supply Co.
P.O. Box 479 14500 Kinsman Rd.
Burton, OH 44021

AG RX
3250 Somis Rd.
Somis, CA 93066

Chilean Nitrate Corp.
150 Boush St., Ste. 701
Norfolk, VA 23510

APENDICES

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Fertilizer Corp. of America
9370 Sunset Dr., #A-240
Miami, FL 33173

Fruit Growers Supply
111 N. Palm Ave.
Santa Paula, CA 93060

Grace-Sierra Horticultural Products Co.
1001 Yosemite Dr.
Milpitas, CA 95035

Hummert International
2746 Chouteau Ave.
St. Louis, MO 63103

Hydro Agri
303 Twin Dolphin Dr., Suite 500
Redwood City, CA 94065

McConkey Co.
P.O. Box 1690
Summer, WA 98390

OFE International, Inc.
P.O. Box 161302
Miami, FL 33116

Planto Inc.
314 Orenda Rd.
Brampton, ON L6T 1G1

Plant Products Corp.
P.O. Box 1149
Vero Beac, FL 32961-1149

Rigo Co.
P.O. Box 189
Buckner, KY 40010

The Scotts Company
14111 Scotslawn Rd.
Marysville, OH 43041

J.R. Simplot Company
P.O. Box 198
Lathrop, CA 95330-0198

Sharp & Son Ltd.
900 Lind Ave. S.W.
Tenton, WA 98055

Sharp & Son Ltd.
9643-186th St.
Surrey, B.C. V3T 4W2

Southern Importers, Inc.
P.O. Box 8579
Greensboro, NC 27419

United Horticultural Supply
9335 Elm Court
Denver, CO 80221

Van Waters & Rogers Inc.
1910 Lockwood
Oxnard, CA 93030-2603

Vicksburg Chemical Co.
4280 Rifle Range Rd.
Vicksburg, MS 39182

Jack Van Klavern Ltd.
P.O. Box 910
St. Catharines, ON L2R 6Z4

Waldo & Associates, Inc.
28214 Glenwood Rd.
Perrysburg, OH 43551

Westcan Horticultural Ltd.
Bay 5, 6112-30 St. S.E.
Calgary, AB T2C 2A6

Westgro Sales Inc.
7333 Porgress Way
Delta, B.C.
Canada V4G 1E7

Wilbur-Ellis Co.
Box 454
Eagle Lake, TX 77434

Estructuras y cubiertas de invernadero

Agra Tech Inc.
2131 Piedmont Way
Pittsburg, CA 94565

Atlas Greenhouse Systems, Inc.
Hwy 82 E, P.O. Box 558
Alapaha, GA 31622

ATTKO Greenhouse Inc.
5243 Stilesboro Rd.
Kennesaw, GA 30144

BFG Supply Co.
P.O. Box 479
Burton, OH 44021

Paul Boers Greenhouse
Construction Co.
P.O. Box 134
St. Davids, ON LOS 1PO

Carolina Greenhouses
1504 Cunningham Rd,
Kinston, NC 28501

Conley's Mfg. & Sales
4344 E. Mission Blvd.
Pomona, CA 91766

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Cryo Canada Inc.
6285 Northam Dr., Ste. 300
Mississauga, ON L4V 1X5

DACE
1937 High St.
Longwood, FL 32750

Dalsem Greenhouses USA Inc.
P.O. Box 54039
Jacksonville, FL 32245

De Cloet Greenhouse Mfg. Ltd.
R.R. 1
Simcoe, ON N3Y 4J9

Greenhouse System USA Inc.
P.O. Box 777
Watsonville, CA 95076

Hamilton Steel Fabrications
3290 M-40
Hamilton, MI 49419

Hired Hand Green
P.O. Box 98
Bremen, AL 35033

Hove International, Inc.
1900 The Exchange, Suite 230
Atlanta, GA 30339

Hummert International
2746 Chouteau Ave.
St. Louis, MO 63103

Hydro-Gardens, Inc.
P.O. Box 25845
Colorado Springs, CO 80936
Industries Harnois Inc.
1044 Principale
St. Thomas, PQ J0K 3L0

Jacobs Greenhouse Mfg. Ltd.
371 Talbot Rd.
Delhi, ON N4B 2A1

JANCO Greenhouses
9390 Davis Ave.
Laurel, MD 20723

JVK Ltd.
P.O. Box 910, 1894 Seventh St.
St. Catharines, ON L2R 6Z4

Frank Jonkman & Sons Ltd.
R.R.4
Bradford, ON L3Z 2A6

APPENDICES

Keeler-Glasgow Co., Inc.
P.O. Box 158, 80444 C.R. 687
Hartford, MI 49057

Lincoln Greenhouse
Construction Ltd.
R.R. 3, Mud St.
Smithville, ON L0R 2A0

Ludy Greenhouse Mfg. Corp.
143 W. Washington St.
New Madison, OH 45346

McCalif Grower Supplies, Inc.
P.O. Box 310, 2905 Railroad Ave.
Ceres, CA 95307

McConkey Co.
P.O. Box 1690
Summer, Wa 98390

National Greenhouses, Inc.
P.O. Box 500, 400 E. Main
Pana, IL 62557

Nexus Greenhouse Corp.s
10983 Leroy Dr.
Northglenn, CO 80233

Ochmsen Plastic Greenhouse Mfg.
50 Carlough Rd.
Bohemia, NY 11716

Omni Growing Systems
145 Cushman Rd.
St Catharines, ON L2M 6T2

Polygal USA, Inc.
1227 Barberry Dr.
Janesville, WI 53545-0458

Poly Grower Greenhouse Co.
P.O. Box 359
Muncy, PA 17756

Poly-Tex, Inc.
P.O. Box 458
Castle Rock, MN 55010

Rough Brothers
P.O. Box 16010
Cincinnati, OH 45216

X.S. Smith Inc.
P.O. Drawer X
Red Bank, NJ 07701

SPS International
P.O. Box 20909
San Jose, CA 95160

Structures Unlimited
2122 Whitfield Park Ave.
Sarasota, FL 34243

Stuppy Greenhouse Mfg. Inc.
P.O. Box 12456
North Kansas City, MO 64116

United Greenhouse Systems
708 Washington St.
Edgerton, WI 53534

Vary Industries
P.O. Box 248
Lewiston, NY 14092

V & V Noordland Inc.
16 Commercial Blvd.
Medford, NY 11763

Verbakel/Bomdas BV
P.O. Box 41
De Lier 2678ZG
The Netherlands

Van Wingerden Greenhouse Co.
4078 Haywood Rd.
Horse Shoe, NC 28742

Waldo & Associates, Inc.
28214 Glenwood Rd.
Perrysburgh, OH 43551

Westbrook Greenhouse Systems Ltd.
270 Hunter Rd.
Grimsby, ON L3M 4G1

CULTIVOS HIDROPONICOS

Westcan Horticultural Ltd.
Bay 5, 6112-30 St. S.E.
Calgary, AB T2C 2A6

Winandy Greenhouse Co., Inc.
2211 Peacock Rd.
Richmond, IN 47374

Equipo de invernadero

Acme Engineering & Mfg. Corp.
P.O. Box 978
Muskogee, OK 74402

Berko, Inc.
4173 Cherry Ave., RR#1
Beamsville, ON L0R 1B0

Aerotech, Inc.
929 Terminal Rd.
Lansing, MI 48906

Biraghi Canada
700 Boul Alphonse-Deshaies
Becancour, PQ G0X 1B0

Agrotec Inc.
P.O. Box 49
Pendleton, NC 27862-0049
American Coolair Corp.
P.O. Box 2300
Jacksonville, FL 32203

BFG Supply Co.
P.O. Box 479, 14500 Kinsman Rd.
Burton, OH 44021

Biotherm Hydronic, Inc.
P.O. Box 750967
Petaluma, CA 94975

American Horticultural Supply Inc.
4045 Via Pescador
Camarillo, CA 93012

Bio-Energy Systems Inc.
221 Canal St.
Ellenville, NY 12428

A-roo Co.
P.O. Box 360050
Strongsville, OH 44136

Paul Boers Greenhouse
Construction Ltd.
P.O. Box 134
St. Davids, ON LOS 1P0

Atlas Greenhouses Systems, Inc.
Hwy 82 E., P.O. Box 558
Alapaha, GA 31622

Bouldin & Lawson Inc.
Route 10, Box 208
McMinnville, TN 37110

ATTKO Greenhouse Inc.
5243 Stilesboro Rd.
Kennesaw, GA 30144

Brighton By-Products Co. Inc.
P.O. Box 23
New Brighton, PA 15066

Automata, Inc.
16216 Brooks Rd.
Grass Valley, CA 95945-8816

Campbell O'Brian Limited
#1 Thompson Crescent
Erin, ON NOB 1T0

Argus Control Systems Ltd.
No. 10, 1480 Foster St.
White Rock, B.C. V4B 3X7

Canadian Hydrogardens Ltd.
1386 Sandhill Dr.
Ancaster, ON L9G 4V5

APENDICES

Climate Control Systems Inc.
R.R.#5, #509 Hwy. 77
Leamington, ON N8H 3V8

Conley's Mfg. & Sales
4344 E. Mission Blvd.
Pomona, CA 91766

Cravo Equipment Ltd.
White Swan Rd., R.R.#1
Brantford, ON N3T 5L4

Crofton Grower Services Ltd.
7311 Vantage Way, Unit 110
Delta, B.C. V4G 1C9

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Delta T Sales, Inc.
920 S. Andreasen Dr., Ste. 104
Escondido, CA 92029

Elero USA Inc.
10880 Alder Circle
Dallas, TX 75238

Ellis Mfg.
Box 606
Semmes, AL 36575

Engineered Systems & Designs
119A Sandy Dr.
Newark, DE 19713

En Tech Control Systems, Inc.
P.O. Box 205, 155 S. 3rd St.
Montrose, MN 55363

Environmental Engineering
Concepts Inc.
1229 S. Gene Autry Trail
Palm Springs, CA 92264

Galaxy Agri-Products Inter. Inc.
44775 Yale Rd. West
Sardis, B.C. V2R 1A9

GEC Alsthom Inter. Canada Inc.
2 Paxman Rd.
Etobicoke, ON M9C 1B6

E.C. Geiger, Inc.
Rt. 63, Box 285
Harleysville, PA 19438

Gleason Equipment
28055 S.W. Boberg Rd.
Wilsonville, OR 97070

Griffin, Greenhouses & Nursery Supplies
P.O. Box 36
Tewksbury, MA 01876-0036

Growing Systems, Inc.
2950 N. Weil St.
Milwaukee, WI 53212

Growers Greenhouse Supplies Inc.
3559 North Service Rd.
Vineland Station, ON LOR 2E0
Growth Zone Systems
1719 Hwy. 99 South
Mount Vernon, WA 98273

Halifax Seed Co. Ltd.
5860 Kane St.
Halifax, NS B3K 5L8

Hamilton Boiler Works Limited
105 Cascade St.
Hamilton, ON L8E 3B7

Hamilton Engineering, Inc.
32615 Park Lane
Garden City, MI 48195

Hove International, Inc.
1900 The Exchange, Suite 220
Atlanta, GA 30339

Hydro-Gardens, Inc.
P.O. Box 25845
Colorado Springs, CO 80936

CULTIVOS HIDROPONICOS

ICE Mfg. Ltd.
670 King Edward St.
Winnipeg, MB R3H 0P2

Industries Harnois Inc.
1044 Principale
St. Thomas, PQJ0K 3L0

Javo USA, Inc.
1900 Albritton Dr., Suites G & H
Kennesaw, GA 30144

JVK Ltd.
P.O. Box 910, 1894 Seventh St.
St. Catharines, ON L2R 6Z4

Jacobs Greenhouse Mfg. Ltd.
371 Talbot Rd.
Delhi, ON N4B 2A1

JANCO Greenhouses
9390 Davis Ave.
Laurel, MD 20723

Jaybird Mfg., Inc.
RD 1, Box 489A
Centre Hall, PA 16828

Frank Jonkman & Sons Ltd.
R.R. 4
Bradford, ON L3Z 2A6

Keeler-Glasgow Co., Inc.
P.O. Box 158, 80444 C.R. 687
Hartford, MI 49057

Ken-Bar Inc.
25 Walkers Brook Dr.
Reading, MA 01867-0704

Lander Control Systems Inc.
129A Watson Rd. S.
Guelph, ON N1H 6H8

Leader Fan Industries Limited
130 Clairville Dr.
Etobicoke, ON M9W 5Y3

Ludy Greenhouse Mfg. Corp.
143 W. Washington St.
New Madison, OH 45346

McConkey Co.
P.O. Box 1690
Sumner, WA 98390

Mee Industries, Inc.
4443 N. Rowland Ave.
El Monte, CA 91731

Munters Corp.
P.O. Box 6428
Ft. Myers, FL 33911

Modine Mfg. Co.
1500 De Koven Ave.
Racine, WI 53403

Niagrow Systems, Inc.
P.O. Box 297, 4300 Stanley Ave.
Niagara Falls, ON L2E 6T7

National Greenhouses, Inc.
P.O. Box 500, 400 E. Main
Pana, IL 62557

Nexus Greenhouse.Corp.
10983 Leroy Dr.
Northglenn, CO 80233

Omni Growing Systems
145 Cushman Rd.
St Catharines, ON L2M 6T2

Plantech Control Systems
3466 South Service Rd.
Vineland Station, ON LOR 2E0

Poly-Tex, Inc.
P.O. Box 458
Castle Rock, MN 55010

Roberts-Gordon, Inc.
P.O. Box 44
Buffalo, NY 13240-0044

APENDICES

Schaefer Fan Co., Inc.
P.O. Box 647
St. Cloud, MN 56387

X.S. Smith Inc.
Drawer X
Red Bank, NJ 07701

Structures Unlimited
2122 Whitfield Park
Sarasota, FL 34243

Stuppy Greenhouse Mfg. Inc.
P.O. Box 12456
North Kansas City, MO 64116

Triton Agri Heating Ltd.
27106 48th Ave.
Aldergrove, B.C., V0X 1A0

United Greenhouse Systems
708 Washington St.
Edgerton, WI 53534

V & V Noordland Inc.
16 Commercial Blvd.
Medford, NY 11763

Waldo & Associates, Inc.
28214 Glenwood Rd.
Perrysburgh, OH 43551

Westbrook Greenhouse Systems Ltd.
270 Hunter Rd.
Grimsby, ON L3M 4G1

Westcan Horticultural Ltd.
Bay 5, 6112-30St.S.E.
Calgary, AB T2C 2A6

Winandy Greenhouse Co., Inc.
2211 Peacock Rd.
Richmond, IN 47374

Weaver Distributing
RD 2, Box 470
Fredericksburg, PA 17026-9545

Medios de cultivo y suministros

Agro Dynamics Inc.
10 Elkins Rd.
East Brunswick, NJ 08816

Agro Dynamics Inc.
415 Industrial Dr.
Milton, ON L9T 5A6

Agro Dynamics Inc.
3891 N. Ventura Ave., BIB
Ventura, CA 93001
Agromin Horticultural Soils
1501 Las Posas Rd.
Camarillo, CA 93010

American Horticultural Supply, Inc.
4045 Via Pescador
Camarillo, CA 93012

ASB Greenworld Inc.
R.R.#1, Site 178, Point Sapin
Kent County, NB E0A 2A0

Berger Peat Moss Inc.
121 R.R.#1
St. Modeste, PQ G0L 3W0

BFG Supply Co.
P.O. Box 479, 14500 Kinsman Rd.
Burton, OH 44021

Brighton By-Products Co. Inc.
P.O. Box 23
New Brighton, PA 15066

Canadian Hydrogardens Ltd.
1386 Sandhill Dr.
Ancaster, ON L9G 4V5

CULTIVOS HIDROPONICOS

Coco Products, Inc.
P.O. Box 1021
Pace, FL 32571

Crofton Grower Services Ltd.
7311 Vantage Way, Unit 110
Delta, B.C. V4G 1C9

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Crystal Co.
P.O. Box 220045
St. Louis, MO 63122

DeWitt Co., Inc.
85 DeWitt Dr.
Sikeston, MO 63801

Robert G. Eckel Greenhouses
P.O. Box 12
Brooklin, ON LOB 1C0

EnviroLife, Inc.
P.O. Box 3577
Galveston, TX 77552

Fisons Horticulture Inc.
110-110th Ave. N.E., Suite 490
Bellevue, WA 98004

Fines and Company
R.R.#1
Scotland, ON NOE 1R0

Global Horticultural Inc.
11 Commerce Court
Stoney Creek, ON L8E 4G3

Grace-Sierra Horticultural Products Co.
1001 Yosemite Dr.
Milpitas, CA 95035

Grow Green International
21108 E. Glen Haven Cir.
Northville, MI 48167

HJS Wholesale Ltd.
1505 Molson St.
Winnipeg, MA R2G 3S6

Halifax Seed Co. Ltd.
5860 Kane St.
Halifax, NS B3K 5L8

Hummert Intenational
2746 Chouteau Ave.
St. Louis, MO 63103

J-M Trading Corp.
241 Frontage Rd., Ste. 47
Burr Ridge, IL 60521

JVK Ltd.
P.O. Box 910, 1894 Seventh St.
St. Catharines, ON L2R 6Z4

Jiffy Products of America Inc.
1119 Lyon Rd.
Batavia, IL 60510

Kim International, Inc.
1862 Enterprise Dr.
Norcross, GA 30093

Kube-Pak Corp. & Irrigation
RD 3, Box 2553, Route 526
Allentown, NJ 08501

Labon Inc.
1350 Newton
Boucherville, QC J4B SH2

McCalif Grower Supplies, Inc.
P.O. Box 310, 2905 Railroad Ave.
Ceres, CA 95307

McConkey Co.
P.O. Box 1690
Sumner, WA 98390

Michigan Growers Products, Inc.
251 McCollum
Galesburg, MI 49053

APENDICES

Morton's Horticultural Products, Inc. P.O. Box 24 McMinnville, TN 37110	Smithers-Oasis Co. P.O. Box 118 Kent, OH 44240
Pargro Ltd. 401 Westpark Dr., Suite 202 Peachtree City, GA 30269	Specialties Robert Legault Ltd. 204, boul. Labelle, Ste. 234 Ste-Therese, QC J7E 2X7
Pargro Ltd. 1 Geendale Dr. Caledonia, ON N0A 1A0	Southern Importers, Inc. P.O. Box 8579 Greensboro, NC 27419
Paygro, Inc. 11000 Huntington Rd., P.O. Box W South Charleston, OH 45368	Strong-Lite Products Corp. P.O. Box 8029 Pine Bluff, AR 71611
Pefferlaw Peat Products Inc. R.R.#1 Cannington, ON L0E 1E0	Tierra Associates 2945 Harding St., #105 Carlsbad, CA 92008
Plant Products Co. Ltd. 314 Orenda Rd. Brampton, ON L6T 1G1	The Professional Gardener Co. Ltd. 915 - 23rd Avenue S.E. Calgary, AB T2G 1P1
Premier Peat Moss Ltd. 1785, 55e Ave. Dorval, QC H9P 2W3	Otis S. Twilley Seed Co., Inc. P.O. Box 65 Trevose, PA 19053
Premier Brands, Inc. 733 Yonkers Ave. Yonkers, NY 10704	Vanhof and Blokker Ltd. 6745 Pacific Circle Mississauga, ON L5T 1N8
Premier Horticulture 326 Main St. Red Hill, PA 18076	Waldo & Associates, Inc. 28214 Glenwood Rd. Perrysburg, OH 43551
SAI Int. Coconut Fiber Products 3267 Lanier Place Thousand Oaks, CA 91360	Westcan Horticultural Ltd. Bay 5, 6112-30th St. S.E. Calgary, A8 T2C 2A6
The Scotts Company 14111 Scottslawn Rd. Marysville, OH 43041	Whittemore Perlite Co., Inc. 30 Glenn St. Lawrence, MA 01843
Shemin Nurseries R.R.#4, Fifth Line S. Milton, ON L9T 2X8	

Equipo y suministros hidropónicos

American Horticultural Supply Inc.
4045 Via Pescador
Camarillo, CA 93012

Agro Dynamics Inc.
10 Alvin Court
East Brunswick, NJ 08816

Agro Dynamics Inc.
415 Industrial Dr.
Milton, ON L9T 5A6
Blue Water Hydroponics
191 Sackville Dr.
LR Sackville, NS B4C 2R5

Canadian Hydrogardens Ltd.
1386 Sandhill Dr.
Ancaster, ON L9G 4V5

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Davis Engineering
8217 Corbin Ave.
Canoga Park, CA 91306

Engineered Systems & Designs
119A Sandy Dr.
Newark, DE 19713

Hydrofarms
P.O. Box 3460
Syracuse, NY 13220

Myron L. Company
6115 Corte Del Cedro
Carlsbad, CA 92009
Plant Products Co. Ltd.
314 Orenda Rd.
Brampton, ON L6T 1G1

Rambridge Structure & Design Ltd.
1316 Centre St. N.E.
Calgary, AB T2E 2A7

SGI - SEL Group International Inc.
P.O. Box 220
Plainview, NY 11803

The Professional Gardener Co. Ltd.
915 - 23rd Ave. S.E.
Calgary, AB T2G 1P1

Westcan Horticultural Ltd.
Bay 5, 6112 - 30 St. S.E.
Calgary, AB T2C 2A6

Hydro-Gardens, Inc.
P.O. Box 25845
Colorado Springs, CO 80936

Westbrook Greenhouse Systems Ltd.
P.O. Box 99, 270 Hunter Rd.
Grimsby, ON L3M 4G1

Equipo de riego

Agro Dynamics, Inc.
10 Alvin Court
East Brunswick, NJ 08816

Agricultural Supply, Inc.
1435 Simpson Way
Escondido, CA 920299

American Horticultural Supply Inc.
4045 Via Pescador
Camarillo, CA 93012

API Agricultural Products, Inc.
P.O. Box 3760
Ontario, CA 91761-0975

APENDICES

Advanced Irrigation Systems
P.O. Box 86881
North Vancouver, B.C. V7L 4P6

AGRITECH
2885 Lee Ave.
Sanford, NC 27330

Agrotec Inc.
P.O. Box 49
Pendleton, NC 27862-0049

Agroponic Industries Ltd.
204 4712-16 Ave. N.W.
Calgary, AB T3B 0N1

Amiad Water Systems Technology
P.O. Box 5547
Oxnard, CA 93031-5547

H.E. Anderson
P.O. Box 1006, 2100 Anderson Dr.
Muskogee, OK 74402-1006

Andpro Ltd.
P.O. Box 399
Waterford, ON N0E 1Y0

BFG Supply Co.
P.O. Box 479, 14500 Kinsman Rd.
Burton, OH 44021

Brighton By-Products Co. Inc.
P.O. Box 23
New Brighton, PA 15066

Brushking
4173 Domestic Ave.
Naples, FL 33942

Canadian Hydrogardens Limited
1386 Sandhill Dr.
Ancaster, ON L9G 4V5

Carolina Seeds, Inc.
P.O. Box 2625
Boone, NC 28604

Chapin Watermatics
P.O. Box 490
Watertown, NY 13601-0490

Climate Control Systems Inc.
R.R.#5, #509 Hwy. 77
Leamington, ON N8H 3V8

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Dosatron International Inc.
1610 N. Fort Harrison Ave.
Clearwater, FL 34615

Dosmatic USA Inc.
896 N. Mill St., Ste. 201
Lewisville, TX 75057

Dramm Corporation
P.O. Box 1960
Manitowoc, WI 54221-1960

Robert G. Eckel Greenhouses & Irrig.
P.O. Box 12
Brooklin, ON L0B 1C0

Foley Flo-Marketing
237 Stadley Rough Rd.
Danbury, CT 06811-3235

Global Horticultural Inc.
11 Commerce Court
Stoney Creek, ON L8E 4G3

Greenhouse Systems USA Inc.
P.O. Box 777
Watsonville, CA 95076

Growing Systems, Inc.
2950 N Weil St.
Milwaukee, WI 53212

Hakmet Ltd.
P.O. Box 248, 881 Harwood Blvd.
Dorion, QC J7V 7J5

CULTIVOS HIDROPONICOS

Halifax Seed Co. Ltd.
5860 Kane St.
Halifax, NS B3K 5L8

Hummert International
2746 Chouteau Ave.
St. Louis, MO 63103

Hunter Industries
1940 Diamond St.
San Marcos, CA 92069

Hydro-Gardens, Inc.
P.O. Box 25845
Colorado Springs, CO 80936

Industries Harnois Inc.
1044 Principale
St. Thomas, QC J0K 3L0

Jaybird Mfg., Inc.
RD 1, Box 489A
Centre Hall, PA 16828

J-M Trading Corp.
241 Frontage Rd., Ste. 47
Burr Ridge, IL 60521

JVK Ltd.
P.O. Box 910, 1894 7th St.
St. Catharines, ON L2R 6Z4

Frank Jonkman & Sons Ltd.
R.R.#4
Bradford, ON L3Z 2A6

Keeler-Glasgow
P.O. Box 158, 80444 C.R. 687
Hartford, MI 49057

Labon Inc.
1350 Newton
Boucherville, QC J4B 5H2

Maxijet
P.O. Box 1849
Dundee, FL 33838

McConkey Co.
P.O. Box 1690
Sumner, WA 98390

Netafim Irrigation Inc.
10 E. Merrick Rd., Ste. 205
Valley Stream, NY 11580

Niagrow Systems Inc.
4300 Stanley Ave.
Niagara Falls, ON L2E 6T7

OFE International, Inc.
P.O. Box 161302
Miami, FL 33116

Plant Products Co. Ltd.
314 Orenda Rd.
Brampton, ON L6T 1G1

Rain Bird Agri-Products Co.
633 W. Foothill
Glendora, CA 91740

Roberts Irrigation Products, Inc.
700 Rancheros Dr.
San Marcos, CA 92069-3007

Senninger Irrigation, Inc.
6416 Old Winter Garden Rd.
Orlando, FL 32835

Rain For Rent
333 S. 12th
Santa Paula, CA 93060

Shemin Nurseries
R.R.#4, Fifth Line S.
Milton, ON L9T 2X8

Submatic Irrigation Systems
25 W. Beaver Creek Rd., Unit # 10
Richmond Hill, ON L4B 1K4

Superior Controls, Inc.
24950 Kearny Ave.
Valencia, CA 91355

APENDICES

Toro Irrigation
5825 Jasmine St.
Riverside, CA 92504

The Professional Gardener Co. Ltd.
915 - 23rd Ave. S.E.
Calgary, AB T2G 1P1

United Pipe Supply
P.O. Box 66490
Portland, OR 97290-6490

Vanden Bussche Irrig. & Equip. Ltd
970 James St., Hwy. 3, Box 304
Delhi, ON N4B 2X1

Westcan Horticultural Ltd.
Bay 5, 6112 - 30 St. S.E.
Calgary, AB T2C 2A6

Waldo & Associates, Inc.
28214 Glenwood Rd.
Perrysburg, OH 43551

Windsor Factory Supply Ltd.
213 Talbot St. W.
Leamington, ON N8H 1N8

Young Products, Inc.
499 A Edison Ct.
Suisun, CA 94585

Zwart Systems
623 S. Service Rd., Unit # 1
P.O. Box 235
Grimsby, ON L3M 4G3

Equipos de iluminación y suministros

Agra Tech Inc.
2131 Piedmont Way
Pittsburg, CA 94565

BFG Supply Co.
P.O. Box 479, 14500 Kinsman Rd.
Burton, OH 44021

Brighton By-Products Co. Inc.
P.O. Box 23
New Brighton, PA 15066

Canadian Hydrogardens Ltd.
1386 Sandhill Dr.
Ancaster, ON L9G 4V5

Climate Control Systems Inc.
RR#5, #509 Hwy. 77
Leamington, ON N8H 3V8

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville, OH 44273-9413

Distributions Corbeil Bigras Ltee
3398 Boul. Industriel
Laval, QC H7L 4R9

Duro-Lite Lamps
419 Attwell Dr.
Rexdale, ON M9W 5W5

Energy Techniques
P.O. Box 3424
York, PA 17402

Galaxy Agri-Products International Inc.
44775 Yale Rd. West
Sardis, B.C. V2R 1A9

Global Horticultural Inc.
11 Commerce Court
Soney Creek, ON L8E 4G3

Glow Crystal Lighting
226 A Steelcase Rd. West
Markham, ON M2J 1P8

CULTIVOS HIDROPONICOS

GTE Sylvania Canada Limited
54 Atomic Ave.
Etobicoke, ON M8Z 5L4

Halifax Seed Co. Ltd.
5860 Kane St.
Halifax, NS B3K 5L8

Hummert International
2746 Chouteau Ave.
St. Louis, MO 63103

Hydrofarm
755 Southpoint Rd.
Petaluma, CA 94954

Hydro-Gardens, Inc.
P.O. Box 25845
Colorado Springs, CO 80936
Frank Jonkman and Sons Ltd.
RR#4
Bradford, ON L3Z 2A6

JVK Ltd.
P.O. Box 910, 1894 Seventh St.
St. Catharines, ON L2R 6Z4

Labon Inc.
1350 Newton
Boucherville, QC J4B 5H2

Light-Tech Systems
429 Dewitt Rd., Unit 13
Stoney Creek, ON L8E 4C3

Osram Sylvania, Inc.
100 Endicott St.
Danvers, MA 01923

Phillips Lighting
601 Milner Ave.
Scarborough, ON N1B 1M8

P.L. Light Systems Canada Inc.
P.O. Box 206
Grimsby, ON L3M 4G3

The Professional Gardener Co. Ltd.
915 -23rd Ave. S.E.
Calgary, AB T2G 1P1

Roxter Lighting
10-11 40th Ave.
Long Island City, NY 11101

Sunlight Supply
12609 Northeast 95th St., Ste. B101
Vancouver, WA 98682

Superior Lighting of Minnesota
136 Eva St.
St. Paul, MN 55107

W.A.C. Lighting Company
615 South Street
Garden City, NY 11530

Waldo & Associates, Inc.
28214 Glenwood Rd.
Perrysburg, OH 43551

Westbrook Greenhouse Systems Ltd.
270 Hunter Rd.
Grimsby, ON L3M 4G1

Westcan Horticultural Ltd.
Bay 5, 6112 - 30 St. S.E.
Calgary, AB T2C 2A6

Zwart Systems
623 S. Service Rd., Unit #1
P.O. Box 235
Grimsby, ON L3M 4G3

APENDICES

Semillas

Alf Christianson Seed Co.
P.O. Box 98
Mt. Vernon, WA 98273

American Takii, Inc.
301 Natividad Rd.
Salinas, CA 93906

Asgrow Seed Co./Bruinsma Seed Co.
Hydro-Gardens, Inc.
RR#3, Site 39C
Summerland, B.C. VOH 1Z0

Asgrow Seed Co.
7000 Portage Rd.
Kalamazoo, MI 49001

Ball Seed Co.
622 Town Rd.
West Chicago, IL 60185

Ball Superior Ltd.
1155 Birchview Dr.
Mississauga, ON L5H 3E1

Central Valley Seeds
P.O. Box 12561
Fresno, CA 93778

Corona Seeds
590-F Constitution Ave.
Camarillo, CA 93012

Crofton Grower Services Ltd.
7311 Vantage Way, Unit 110
Delta, B.C. V4G 1C9

CropKing, Inc.
5050 Greenwich Rd.
Seville OH 44273-9413

De Ruiter Seeds, Inc.
P.O. Box 20228
Columbus, OH 43220

Ferry-Morse Seed Co.
P.O. Box 4938
Modesto, CA 95352

H.G. German Seeds
201 West Main St.
Smethport, PA 16749

Halifax Seed Co. Ltd.
5860 Kane St.
Halifax, NS B3K 5L8

Harris Seeds/Garden Trends Inc.
P.O. Box 22960
Rochester, NY 14692-2960

Harris Moran Seed Co.
4511 Willow Rd., Suite 3
Pleasanton, CA 94588

Hazera Quality Seeds
Bruirin, D.N.
Shikmim, 79837 Israel

A.H. Hummert Seed Co.
2746 Chouteau Ave.
St. Louis, MO 63103

Hydro-Gardens, Inc.
P.O. Box 25845
Colorado Springs, CO 80936

Johnny's Selected Seeds
1 Foss Hill Rd., R.R. 1, Box 2580
Albion, ME 04910-9731

Labon Inc.
1350 Newton
Boucherville, QC J4B 5H2

Henry F. Michell Co.
P.O. Box 60160
King of Prussia, PA 19406-0160

Northrup King Co.
P.O. Box 959
Minneapolis, MN 55440

CULTIVOS HIDROPONICOS

Nunhems Seed Corp.
P.O. Box 18, 221 E. Main St.
Lewisville, ID 83431

Ornamental Edibles
3622 Weedon Court
San Jose, CA 95132

Pan American Seed Co.
P.O. Box 438
West Chicago, IL 60186-0438

Park Seed Co., Wholesale Div.
FS237 Cokesbury Rd.
Greenwood, SC 29647-0001

Penn State Seed Co.
Rte. 309, Box 390
Dallas, PA 18612

W.H. Perron & Co. Ltd.
2914 Labelle Blvd.
Laval, QC H7P 5R9

Richters
357 Hwy. 47
Goodwood, ON L0C 1A0

Rogers Seed Co.
P.O. Box 4188
Boise, ID 83711

Royal Sluis Inc.
1293 Harkins Rd.
Salinas, CA 93901

Sakata Seed America, Inc.
P.O. Box 880
Morgan Hill, CA 95038

Seeds by Design, Inc.
130 N. Butte St. #C
Willows, CA 95988

Shepherd's Garden Seeds
30 Irene St.
Torrington, CT 06790

Sluis & Groot America, Inc.
5405 Illinois Rd.
Fort Wayne, IN 46804

Stokes Seeds Inc.
P.O. Box 548
Buffalo, NY 14240

Stokes Seeds Ltd.
P.O. Box 10, 39 James St.
St. Catharines, ON L2R 6R6

Sunseeds
18640 Sutter Blvd.
Morgan Hill, CA 95037

United Genetics Seeds Co.
P.O. Box 2323
Gilroy, CA 95021

Vanhof & Blokker Ltd.
6745 Pacific Circle
Mississauga, ON L5T 1N8

Vaughan's Seed Co.
5300 Katrine Ave.
Downers Grove, IL 60515-4095

Vilmorin Inc.
P.O. Box 707
Empire, CA 95319

Rijk Zwaan Zaadteelt en
Zaadhandel B.V.
Burgemeester Crezeelaan 40,
P.O. Box 40
DeLier, Netherlands 2678 ZG

Nickerson-Zwaan B.V.
P.O. Box 19
2990 AA Barendrecht
Netherlands

APENDICES

Suministros de brotes

Caudill Seed Company, Inc.
1201 Story Ave.
Louisville, KY 40206-1791

International Specialty Supply
820 E. 20th St.
Cookeville, TN 38501

Bibliografía

HYDROPONICS

General

Publicaciones

- ALLENSTON, L., KANTON, A., y HARRISON, M.: *How to Grow in Edges: Practical Techniques and Recipes for small commercial growers*. New Moon Press, Inc. 2005.
- BRADLEY, M.: *Hydroponics plus*. Slough, Bucks, South Eastern, G. Cardog Presses, 1974.
- BLAIR, D.: *Growing without soil*. Journal National de la Recherche Agronomique, Paris, 1965.
- BROWNELL, R.: *Hydroponics gardening*. rev. ed. Santa Barbara, CA: W. W. Dodge Press, 1989.
- BROOKS, J. W., y KANTON, A.: R. H. Caudill pub. Co. manual for commercial plant growing. Volume 100-43. Ithaca, NY: Cornell Univ. 1973.
- BRYANT, M., y DICKSON, N. P.: *Hydroponics as a hobby growing plants without soil*. Vol. 1. 1984. Oregon, IL: Univ. of Illinois, Ext. Service in Agric. and Home Economics, 1982.
- CARRUTHERS, STEVEN L.: *Hydroponic gardening*. San Mateo, CA: W. W. Dodge Press, 1989.
- DALETON, L., y SMITH, R.: *Hydroponic gardening*. Auckland, Calif: Harvard Publ. 1984.
- DAY, D.: *Growing without soil*. Garden Design 12, London: Dorset Books, 1981.
- DEKORNE, JAMES D.: *Hydroponics for dummies*. San Jose, high school greenhouse gardening. First Edition. W. W. Dodson Productions, 1999.
- DODGSON, J. S.: *Second year guide to hydroponics*. rev. ed. London: Pollard Books, 1974.
- DODGSON, J. S.: *A practical guide to hydroponics*. rev. ed. London: Pollard Books, 1985.
- ELIA, C., y SWANN, M. M.: *Soilless growth of plants*. New York: Perennial Press, 1963.
- ELIA, R. E., HEDDER, M., DALLAN, L., y CHURCH, M.: *Hydroponics systems - growing plants without soil*. Bull. No. 44. West Lafayette, IN: Purdue Univ. 1974.
- GERARD, W. F.: *The complete guide to indoor gardening*. New York: Prentice Hall, 1989.
- GLASS, A. D.: *Hydroponics: An introduction to various concepts*. Boston, MA: Jones & Bartlett Publishers, 1999.
- GRUBB, L.: *The hydroponic workbook: A guide to efficient gardening*. Stamford, NY: Rocky Top Publ. 1998.
- HARRIS, D.: *Hydroponics: The complete guide to growing without soil: A practical handbook for beginners, hobbyists and commercial growers*. London: New Holland Publ. 1983.
- HENRY, R. L.: *Land and water culture: methods in plant nutrition*. Backs, England: Lutterworth Agric. Sci. 1965.
- HONGLAND, D. H., y ARNOLD, D. L.: *The water culture method for growing plants without soil*. 3rd. Ed. Berkeley, CA: Agric. Exp. Sta., Univ. of Calif. 1950.
- HOLL, H. H. F.: *Practical growing without soil*. London: The English Club, 1966.
- Hydroponic Society of America: *Proceedings of the annual conference on hydroponics*. Hydroponic Society of America, 2819 Chino Canyon Rd., Suite 212, San Ramon, CA 94583. 1996-1999.

Bibliografía

HIDROPONICOS

General

Publicaciones

- ALEXANDER, T., KNUTSON A. y Harrington M. *Best of Growing Edge: Popular hydroponics and gardening for small commercial growers*. New Moon Publ. Inc. 2000.
- BENTLEY, M.: *Hydroponics plus*. Sioux Falls, South Dakota: O'Connor Printers. 1974.
- BLANC, D.: *Growing without soil*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris. 1985
- BRIDWELL, R.: *Hydroponic gardening*. rev. ed. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press. 1990
- BROODLEY, J.W., y SHELDRAKE, R. JR.: *Cornell peat-lite mixes for commercial plant growing*. Inform. Bull. 43. Ithaca, NY: Cornell Univ. 1973.
- BUTLER, J.D., y OEBKER, N. F.: *Hydroponics as a hobby growing plants without soil*. Ext. Circ. #844. Urbana, IL: Univ. of Illinois, Ext. Service in Agric. and Home Economics. 1962.
- CARRUTHERS, STEVEN L. *Hydroponic gardening*. Port Melbourne, Vic.: Lothian Publ. Co. 1999
- DALTON, L., y SMITH, R.: *Hydroponic gardening*. Auckland: Cobb Horwood Publ. 1984.
- DAY, D.: *Growing in perlite*. Grower Digest 12, London: Grower Books. 1991.
- DEKORNE, JAMES B. *Hydroponic hot house: low-cost, high yield: greenhouse gardening*. Port Townsend, WA: Breakout Productions. 1999
- DOUGLAS, J. S.: *Beginner's guide to hydroponics*. new ed. London: Pelham Books. 1984.
- DOUGLAS, J. S.: *Advanced guide to hydroponics*. new ed. London: Pelham Books. 1985.
- ELLIS, C., y SWANEY, M. W.: *Soilless growth of plants*. New York: PrenticeHall. 1947.
- ELLIS, N. K.; JENSEN, M.; LARSEN, J., y OEBKER, N.: *Nutriculture systems—growing plants without soil*. Bull. No. 44. West Lafayette, ID: Purdue Univ. 1974.
- GERICKE, W. F.: *The complete guide to soilless gardening*. New York: Prentice-Hall. 1940.
- GLASS, A. D. M. *Plant nutrition: An introduction to current concepts*. Boston, MA: Jones & Bartlett Publishers. 1989.
- GOOZE, J.: *The hydroponic workbook: A guide to soilless gardening*. Stamford, NY: Rocky Top Publ. 1986.
- HARRIS, D.: *Hydroponics: The complete guide to gardening without soil: A practical handbook for beginners, hobbyists and commercial growers*. London: New Holland Publ. 1988.
- HEWITT, E. J.: *Sand and water culture methods in plant nutrition*. Bucks, England: Commonwealth Agric. Bur. 1966.
- HOAGLAND, D. R., y ARNON, D. I.: *The water-culture method for growing plants without soil*. Circ. 347. Berkeley, CA: Agric. Exp. Stn., Univ. of Calif. 1950.
- HOLLIS, H. F.: *Profitable growing without soil*. London: The English Univ. Press. 1964.
- Hydroponic Society of America. *Proceedings of the annual conferences on hydroponics*. Hydroponic Society of America, 2819 Crow Canyon Rd., Suite 218, San Ramon, CA 94583. 1979-1995.

CULTIVOS HIDROPONICOS

- International Society for Soilless Culture (ISOSC). *Proceedings of the international congresses on soilless culture*. Secretariat of ISOSC, P.O. Box 52, Wageningen, Netherlands. 1973-2000.
- Hydroponic Society of America. *Proceedings of the annual conferences on Hydroponics*. Hydroponic Society of America, El Cerrito, CA. 1979-1997
- JENSEN, M. H.: *The use of polyethylene barriers between soil and growing medium in greenhouse vegetable production*. Tucson, AZ: Environ. Research Laboratory, Univ. of Arizona. 1971.
- JENSEN, M. H. y MALTER A. J. *Protected agriculture: A global review*. World Bank Technical Paper N° 253, Washington, DC: World Bank. 1995
- JOHNSON, H., Jr., HOCHMUTH, A. J. y MAYNARD D. N. *Soilless culture of greenhouse vegetables*. IFAS Bulletin 218, C. M. Hinton Publications Distribution Center, Cooperative Extension Service, Univ. of Florida, Gainesville, FL. 1985
- JOHNSON, H. Jr.; HOCHMUTH, G. J., y MAYNARD, D. N.: *Soilless culture of greenhouse vegetables*. Cooperative Ext. Service, Univ. of Florida, IFAS Bulletin 218. Gainesville, FL: C.M. Hinton, Publ. Distrib. Center. 1985.
- JONES, J. B.: *A guide for the hydroponic & soilless culture grower*. Portland, OR: Timber Press. 1983.
- JONES, J. B.; WOLF, B., y MILLS, H.: *Plant analysis handbook*. Athens, GA: Micro-Macro Publ., Inc. 1991.
- JONES, J. BENTON. *Plant nutrition manual*. Boca Raton, FL: CRC Press. 1997^a.
- JONES, J. BENTON. *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower*. Boca Raton, FL: Saint Lucie Press. 1997b.
- JONES, L.; BEARDSLEY, P., y BEARDSLEY, C.: *Home hydroponics ... and how to do it!* rev. ed. New York, NY: Crown Publishers. 1990.
- JUTRAS, M. W.: *Nutrient solutions for plants (hydroponic solutions)*. Their preparation and use. Circ. 182. Clemson, SC: South Carolina Agric. Expt. Sta. 1979.
- KENYON, S.: *Hydroponics for the home gardener*. rev. ed. Key Porter Books, Ltd. 1992.
- LARSEN, J. E.: *Formulas for growing tomatoes by nutriculture methods (hydroponics)*. (Mimeo) College Station, TX: Texas A & M University. 1971.
- LARSEN, J. E.: *A peat-vermiculite mix for growing transplants and vegetables in trough culture*. College Station, TX: Texas A & M Univ. 1971.
- MAAS, E. F., y ADAMSON, R. M.: *Soilless culture of commercial greenhouse tomatoes*. Publ. 1460. Information Div., Canada Dept. of Agric., Ottawa, ON, Canada. 1971.
- MASON, J.: *Commercial hydroponics*. Kenthurst, NSW, Australia: Kangaroo Press. 1990.
- MASON, JOHN. *Commercial hydroponics: How to grow 86 different plants in Hydroponics*. Simos & Schuster. 2000.
- MAYNARD, D. N., y BAKER, A. V.: *Nutriculture—A guide to the soilless culture of plants*. Publ. No. 41. Amherst: Univ. of Massachusetts.
- MITTELEIDER, J. R.: 1982. More food from your garden. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press. 1970.
- MUCKLE, M. E.: *Basic hydroponics*. Princeton, B.C.: Growers Press. 1982.
- MUCKLE, M. E.: *Hydroponic nutrients—easy ways to make your own*. rev. ed. Princeton, B.C.: Growers Press. 1990.
- NICHOLLS, R. E.: *Beginning hydroponics: Soilless gardening: A beginner's guide to growing vegetables, house plants, flowers, and herbs without soil*. Philadelphia, PA: Running Press. 1990.
- PAPADOPOULOS, A. P. *Growing greenhouses seedless tomatoes in soil and soilless media*. Agriculture Canada Publication 186/E, Ottawa, Canada: Communications Branch, Agriculture, Canada. 1991.
- PAPADOPOULOS, A. P. *Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and soilless media*. Agriculture Canada Publ. 1902/E, Ottawa, Canada: Communications Branch, Agriculture Canada. 1994.
- PARKER, D. (Ed.). *The best of the Growing Edge*. Corvallis, OR: New Moon Publishing. 1994.
- PRANIS, EVE y JOREEN HENDRY. *Exploring classroom hydroponics*. National Gardening Association, Inc. 1995
- RESH, H. M.: *Hydroponic home food gardens*. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press. 1990.
- RESH, H. M.: *Hydroponic tomatoes for the home gardener*. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press. 1993.
- RESH, H. M. *Hydroponic Agriculture*, En: *Encyclopedia of Rural America*, Vol. 1 Ed. Gary A. Goreham, Inc. Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, Inc. 1997.
- RESH, H. M. *Hydroponics: Questions & Answers—for successful growing*. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press. 1998.
- RESH, H. M. *Home hydroponics*. National Gardening, Burlington, VT., Vol. 22, N° 1, Enero/Febrero '99. 1999.
- ROMER, JOE. *Hydroponic crop production*. Simon & Shuster. 2000.
- ROSS, J. *Hydroponic tomato production: A practical guide to growing tomatoes in containers*. Narrabeen,

BIBLIOGRAFIA

- Australia: Casper Publications. 1998.
- SAFFEL, HILMUR L. *How to start on a shoestring and make a profit with hydroponics: Including set-up, production and maintenance, and marketing*. Mayhill Press. 1994
- SAVAGE, A. J. (editor): *Hydroponics worldwide: State of the art in soilless crop production*. Honolulu, HI: International Center for Special Studies. 1985.
- SAVAGE, A. J.: *Master guide to planning profitable hydroponic greenhouse operations*. rev. ed. Honolulu, HI: International Center for Special Studies. 1989.
- SAVAGE, ADAM J. *Planning a profitable hydroponic greenhouse business*. Sark, Channel Islands, U.K.: Sovereign University Pub. House. 1996
- SCHWARZ, M.: *Guide to commercial hydroponics*. Jerusalem, Israel: Israel Univ. Press. 1968.
- SMITH, D. L.: *Rockwool in horticulture*. London: Grower Books. 1987.
- SHORT, T. H., EL-ATTAL, A. y KEENER, H. M. *Decisions and risk for hydroponic greenhouse tomato production*. Wooster, OH: Mimeograph, Ohio State Univ. 1997.
- SNYDER, R. G. *A spreadsheet approach to fertilization management for greenhouse tomatoes*. Mississippi State, MS: Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletin 1003. 1993.
- SONNEVELD, C. *A method for calculating the composition of nutrient solutions for soilless cultures*. Naaldwijk, The Netherlands: N° 10, 2nd translated ed. Glasshouse Crops Research and Experiment Station. 1985
- SUNDSTROM, A. C.: *Simple hydroponics—for Australian and New Zealand gardeners*. 3rd ed. South Yarra, Victoria, Australia: Viking O'Neil. 1989.
- TAYLOR, J. D.: *Grow more nutritious vegetables without soil: New organic method of hydroponics*. Santa Ana, CA: Parkside Press. 1983.
- VAN PATTEN, G. F.: *Gardening: The rockwool book*. Portland, OR: Van Patten Publ. 1990.
- WALLACE, T.: *The diagnosis of mineral deficiencies in plants*. 3rd ed. New York: Chemical Publ. 1961.
- WITHROW, R.B., y WITHROW, A. P.: *Nutriculture*. Circ. 328. Purdue Univ. Agric. Expt. Sta. 1948.
- YAGIL, ISAAH. *New hydroponic technology for growing plants: a step-by-step instructional guide with complete information on this unique hydroponic technique of growing plants in "phenolic foam medium": vegetables, flowers, ornamentals, herbs*. Northridge, CA. 1992.

Artículos

- ADAMS, P. Crop nutrition in hydroponics. *Acta Horticulturae* 323:289-305. 1993
- ALAFIFI, M. A.: *The use of the sea coastal areas in Abu Dhabi as a growing medium for vegetables*. Proc. of 4th International Congr. on Soilless Culture, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976, pp. 377-84. 1977.
- BENOIT, F. High-technology glasshouse vegetable growing in Belgium. *Soilless Culture* 3(1):21-29. 1992.
- BLI, J. Growing commercial vegetable in rockwool. *Proc. of the 11th Annual Conference on Hydroponics*: 18-24. Hydroponic Society of America, Concord, CA. 1990.
- BOODLEY, J. W.: *Phenolic foam, a unique plastic, its characteristics and use in hydroponics*. Proc. of 19th National Agric. Plastics Congr., Peoria, IL, pp. 203-209. 1986.
- BRENTLINGER, D. Commercial hydroponics in North America. *Proc. of the 18th Annual Conference on Hydroponics*: 67-73. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1997.
- BROWN, C. S., COX, W. M., DRESCHER, T. W. Y CHETIRKIN, P. V. The vacuum-operated nutrient delivery system: hydroponics for microgravity. *HortScience* v. 27 (11):1183-1185. 1992.
- BUGBEE, B. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Proc. of the 16th Annual Conference on Hydroponics*: 15-30. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1995.
- BUYANOVSKY, G., GALE, J. y DEGANI, N. Ultra-violet radiation for the inactivation of microorganisms in hydroponics. *Plant Soil* 60: 131-136. 1981.
- CARRIER, ANDRE. Status of the Quebec greenhouse industry. *Proc. of the 18th Annual Conference on Hydroponics*: 181-186. Hydroponic Society of America. San Ramon, CA. 1997.
- CARPENTIER, D. R.: *Hydroponics on a budget*. The Agric. Education Magazine 63(7):15-16, 23. 1991.
- COLLETT, R.: *Hydroponic gardening*. Flower and Garden 33(2):70-72, 74, 84. 1989.
- COLLETT, R. K.: *Lazy man's garden—hydroponically*. Flower and Garden 26(4):36-39. 1982.
- CURRY, H. Colorado greenhouses: State-of-the-art tomato production. *Greenhouse Manage. Prod.* 17: 30-34. 1997.
- DAVIS, N. Lighting for plant growth: An overview. *Proc. of the 17th Annual Conference on Hydroponics*: 59-69. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1996.
- EDWARDS, R. Computer control system wired to grow. *Growing Edge* 5(3): 34-38. 1994
- FISHER, D. F., GIACOMELLI, G. A. y JONES, H. W. A system of intensive tomato production using ebb-flood

- benches. *Prof. Hortic.* 4(3): 99-106. 1990.
- EHRLICH, K. F., y CANTIN, M. C.: *Aeroponic production of lettuce in Quebec during winter in a solar assisted greenhouse*. Proc. of 17th National Agric. Plastics Congr., Peoria, IL., pp. 88-97. 1983.
- FONTES, M. R.: Controlled-environment horticulture in the Arabian Desert at Abu Dhabi. *Hort. Science* 8(1): 13-16. 1973.
- FOX, J. P.: *Hydroponics at work*. *Agrologist* 16(1):12-14. 1987.
- GHOLER, F., HEISSNER, A. y SCHMEIL, H. Control of water and nutrient supply in greenhouse vegetable production by means of hydroponic systems. *Acta Horticulturae* 260: 237-253. 1989.
- GILBERT, H.: Hydroponics/nutrient film techniques, 1979-1983 (Bibliography). USDA, Beltsville, MD: *Quick bibliography series—National Agric. Library* (83-31):13 p. 1983.
- GILBERT, H.: Hydroponics/nutrient film technique: 1979-85. USDA, Beltsville, MD: *Quick bibliography series—National Agric. Library* (8622):16 p. 1985.
- GILBERT, H.: Hydroponics/nutrient film technique: 1983-1991. USDA, Beltsville, MD: *Quick bibliography series—National Agric. Library* (9243):49 p. 1992.
- GILBERT, H.: Hydroponics and soilless cultures, 1969-May 1978. USDA, Beltsville, MD: *Quick bibliography series—National Agric. Library* (79-02): 18 p. 1979.
- GRASGREEN, I.; JAMES, H., y GIACOMELLI, G.: The growth of hydroponic lettuce under tomatoes with supplementary lighting. *Proc. of 19th National Agric. Plastics Congr.*, Peoria, IL., pp. 193-202. 1986.
- HALL, D. A., y WILSON, G. C. S.: The development of hydroponic culture in Scotland. *Research and Development in Agric.* 3(2):61-69. 1986.
- HANDWERKER, T. S., y NEUFVILLE, M.: Hydroponics—spaceage agriculture. *The Agric. Education Magazine* 61 (9): 12-13. 1989.
- HANGER, B. C.: Preliminary results with Australian rockwool used for plant propagation and in hydroponic systems. *Inter. Plant Propagators' Society* 32: 151. 1983.
- HARRIS, D. A.: A modified drop-culture method for the commercial production of tomatoes in vermiculite. *Proc. of 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov.1, 1976, pp. 85-90. 1977.
- HASHIMOTO, Y.; MORIMOTO, T.; FUKUYAMA, T.; WATAKE, H.; YAMAGUCHI, S., y KIKUCHI, H.: Identification and control of hydroponic system ion sensors. *Acta Horticulturae* 245:490-497. 1989.
- HERSHEY, D. R.: Easily constructed, inexpensive, hydroponic propagation system. *HortScience* 24(4):706. 1989.
- HICKLENTON, P. R., y WOLYNETZ, M. S.: Influence of light- and dark-period air temperatures and root temperatures on growth of lettuce in nutrient flow systems. *Jour. of the Amer. Soc. for Hort. Sci.* 112(6):932-935. 1987.
- HITCHON, G. M., HALL, D. A. y SZMIDT, R. A. K. Hydroponic production of glasshouse tomatoes in Sardinian plaster-grade perlite. *Acta Horticulturae* 287: 261-266. 1991.
- HITCHON, G. M., SZMIDT, R. A. K. y HALL, D. A. A low-technology hydroponic crop production system based on expanded perlite. *Acta Horticulturae* 287: 431-433. 1991.
- HOCHMUTH, G. J. Production of greenhouses tomatoes in Florida. En C. J. Hochmuth (Ed.), *Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook*. Vol. 3, Univ. of Florida, Gainesville, FL. 1991.
- HOCHMUTH, G. J. Tomato fertilizer management, pp. vii-xv. En: C.S. Vavrina (Ed.), 1996 *Proceedings Florida Tomato Institute*. PRO 108, Univ. of Florida, Gainesville, FL. 1996a.
- HOCHMUTH, G. J. Greenhouse tomato nutrition and fertilization for southern latitudes, pp. 37-39. En: *Greenhouse Tomato Seminar*. ASHS Press, American Society of Horticultural Science, Alexandria, VA. 1996b.
- HOCHMUTH, G. J. y Hochmuth, B. Challenges for growing tomatoes in warm climates, pp. 34-36. En: *Greenhouse Tomato Seminar*. ASHS Press, American Society of Horticultural Science, Alexandria, VA. 1996.
- HOCHMUTH, R. C., LEON, L. y HOCHMUTH, G. J. Cluster tomatoes, pp. 16-17. En: C.S. Vavrina, P.R. Gilreath y J.W. Noling (Eds.), 1997 *Florida Tomato Institute Proceedings*. Citrus and Vegetables Magazine, Univ. of Florida, Gainesville, FL. 1997.
- HODGES, C. N., y HODGE, C. O.: An integrated system for providing power, water and food for desert coasts. *HortScience* 6(1):10-16. 1971.
- JENSEN, M. H., y TERAN, M. A.: Use of controlled environment for vegetable production in desert regions of the world. *HortScience* 6:33-36. 1971.
- JENSEN, M. H., y HICKS, N. G.: Exciting future for sand culture. *Am. Veg. Grower*, Nov. 1973, pp.33, 34, 72, 74. 1973.
- JENSEN, M. H., y COLLINS, W. L.: Hydroponic vegetable production. *Horticulture Reviews* 7:483-558. 1985.
- JENSEN, M. H. Hydroponics. *HortScience* 32(6): 1018-1021. 1997.

- JONES, J. B., Jr. Advantages gained by controlling root growth on a newly-developed hydroponic growing system. *Proc. of the 18th Annual Conference on Hydroponics*: 125-136. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1997c.
- JONES, SCOTT. The hydroponic grower on-line. *Proc. of the 17th Annual Conference on Hydroponics*: 51-57. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1996.
- KAUTZ, G.W. Basement garden (hydroponic gardening under lights). *Popular Science* 215: (Dec. 1979). 1979.
- KUENEMAN, T. C. Bumble bee pollination and biological control. *Proc. of the 17th Annual Conference on Hydroponics*: 107-111. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1996.
- KUO, C. G., CHEN, B. W., CHOU, M. H., TSAI, C. L. y TSAY, T. S. Tomato fruit-set at high temperature. En: R. Cowell (Ed.), *First International Symposium on Tropical Tomato*. Asian Vegetable Research and development Center, Shanhua, Taiwan, Republic of China. 1978.
- KNIGHT, S. L., y MITCHELL, C. A.: Enhancement of lettuce yield by manipulation of light and nitrogen nutrition. *Jour. of Amer. Soc. for Hort. Science* 108(5):750-754. 1983.
- KNIGHT, S. L., y MITCHELL, C. A.: Stimulating productivity of hydroponic lettuce in controlled environments with triacontanol. *HortScience* 22(6): 1307-1309. 1987.
- KOBAYASHI, K.; MONMA, Y.; KEINO, S., y YAMADA, M.: Financial results of hydroponic farmings of vegetables in the central Japan. *Acta Horticulturae* 230:337-341. 1988.
- KRATKY, B. A.; IMAI, H., y TSAY, J. S.: Non-circulating hydroponic systems for vegetable production. *Proc. of 21st National Agric. Plastics Congr.*, Peoria, IL., pp. 22-27. 1989.
- KRATKY, B. A. A capillary, noncirculating hydroponic method for leaf and semi-head lettuce. *HortTechnology*. v.3 (2):206-207. 1993.
- LAFAVORE, M.: Gardens without ground. *Organic Gardening* 29(7):72-74. 1982.
- LEBEDEV, G. V. ABRAMENKOVA, N. A., SABININA, E. D. MITSKHOVETARIDZE N. E. y ROZDIN, I. A. *Soviet Plant Physiology* v. 37 (4, pt.2): 615-618. 1991.
- LOGENDRA, L. S. y JANES, H. W. Hydroponic tomato production: Growing media requirements. *Proc. of the 18th Annual Conference on Hydroponics*: 119-123. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1997.
- MACFADYEN, J. T.: The allure of hydroponics. *National Audubon Soc.* 86(4): 12-15. 1984.
- MARFA, O.; SERRANO, L. y SAYE, R.: Lettuce in vertical and sloped hydroponic bags with textile waste. *Soilless Culture* 3(2):57-70. 1987.
- MARFA, O., MARTÍNEZ, A., OROZCO, R., SERRANO, L. y MARTÍNEZ, F. X. The use of finegrade perlites in lettuce bag culture. I. Physical properties, rheologic effects and productivity. *Acta Horticulturae* 342: 339-348. 1992.
- MARSH, L. S.; ALBRIGHT, L. D.; LANGHANS, R. W., y McCULLOCH, C. E.: Economically optimum day temperatures for greenhouse hydroponic lettuce production. *Amer. Soc. of Agric. Engineers*. 37 pp. 1987.
- MARSHALL, N.: Commercial hydroponic vegetable growers in Massachusetts. *NewAlchemy Quarterly* 19:12. 1985.
- MARTÍNEZ, P. F. Soilless culture of tomato in different mineral substrates. *Acta Horticulturae* 323: 251-259. 1992.
- MARTÍNEZ P. F. Modified soil culture and hydroponic techniques in a Mediterranean climate. *Acta Horticulturae* 323: 129-138. 1993.
- MASSANTINI, F.: Floating hydroponics; a new method of soilless culture. *Proc. 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct.25-Nov.1, 1976, pp. 91-98. 1977.
- MASSANTINI, F.: The light and dark sides of aeroponics. *Soilless Culture* 1(1):85-96. 1985.
- MAXWELL, K.: Soilless (hydroponic) culture—the past—present—and future. An Australian viewpoint. *Soilless Culture* 2(1):27-34. 1986.
- McCOY, D.: Nature's «hydroponic» harvest. *The New Farm* 9(5):38-40. 1982.
- MOHYUDDIN, M.: Hydroponics. *Agrologist* 16(1):10-11. 1987.
- MOHYUDDIN, M. Managing the production of greenhouses vegetables for above average yields. En: *Texas Greenhouse Council Meeting*, Julio 1994. Fort Worth, TX. 1994.
- MONEYSMITH, M.: Hydroponics: growing wave of the future. *Country Gentleman* 132(3):20-21. 1981.
- MUNSUZ, N.; CELEBI, G.; ATAMAN, Y.; USTA, S., y UNVER, I.: A recirculating hydroponic system with perlite and basaltic tuff. *Acta Horticulturae* 238:149-156. 1989.
- NAMIKA, H.: Kuntan as a substrate for soilless culture. *Proc. 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct.25-Nov.1, 1976, pp. 289-302. 1977.
- NONAMI, H., MOHRI K., FUKUYAMA, T. y HASHIMOTO, Y. Growth regulation of plant seedling by ion concentration management in hydroponic culture. *Acta Horticulturae* v.2 (319): 477-482. 1992.

- OBRAZTSOV, A. S., PIUTKIN, S. N. y GEORGIADI, N. I. Study of dry substance balance on hydroponic fodder under different methods of cultivation. *Soviet Agricultural Sciences* (1): 28-31. 1986.
- OKANO, T.; HOSHI, T., y TERAZOE, H.: Development of hydroponic system and adaptation of microcomputers for a commercial size vegetable factory. *Acta Horticulturae* 230:343-348. 1988.
- OLSON, R. L.; OLESON, M. W., y SLAVIN, T. J.: CELSS for advanced manned mission. *HortScience* 23(2):275-286.
- PECK, N. H., y MACDONALD, G. E.: Outdoor sand-nutrient culture system. *HortScience* 22(5):949. 1987.
- PENNINGSFELD, F.: Soilless culture, using ion-exchange resins. *Proc. 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976, pp. 247-259. 1977.
- PETERSON, L. A., y KRUEGER, A. R.: An intermittent aeroponics system. *Crop Science* 28(4):712-713. 1988.
- POMEROY, D.: Growing herbs the hydroponic way. *The Business of Herbs* 8(2): 1-2, 19. 1990.
- RAKOCY, J. E. y NAIR, A. Integrating fish culture and vegetable hydroponics: Problems and prospects. Univ. of the Virgin Islands Agric. Expt. Stn.; *Island Perspectives* v. 2 (1): 19-23. 1987.
- RAKOCY, J. E. Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system. Univ. of the Virgin Islands Agric. Expt. Stn.; *Island Perspectives* (3): 4-10. 1989.
- RAULT, P.: Hydroponics for vegetable production in a desert climate. Account of the Sarir-Libya project. *L'Agronomie tropicale* 40(2): 115-123. 1985.
- RICKETTS, R. T. Jr.: Hydroponics, what a way to grow. *Light Garden* 16(2):50-53. 1979.
- ROBBINS, S. R.: Commercial experiences in soilless culture. *Int. Hort. Congr. Proc.* 15(1): 112-117. 1958.
- ROBBINS, W. R.: Growing plants in sand cultures for experimental work. *Soil Science* 62:3-22. 1946.
- RODALE, R.: Gardening without soil, is it practical? *Organic Gardening* 26(5):26-32. 1979.
- RORABAUGH, P. A. A brief and practical trek through the world of hydroponics. *Proc. of the 16th Annual Conference on Hydroponics*: 7-14. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1995.
- SCHIPPERS, P. A.: Hydroponic growing systems. *Proc. 19th National Agric. Plastics Congr.* Peoria, IL., pp. 121-133. 1986.
- SCHWARZ, M.: The use of brackish water in hydroponic systems. *Plant and Soil* 19(2):166-172. 1963.
- SCHWARZ, M.: The use of saline water in hydroponics. *Soilless Culture* 1(1):25-34. 1985.
- SERRANO, L., OROZCO, R., MARTÍNEZ, A. y MARFA, O. The use of fine graded perlites in bag culture. II. Yield and water consumption of lettuce. *Acta Horticulturae* 335:435-442. 1993.
- SHEEN, T. F.: Nutrient absorption of leafy lettuce grown in root floating hydroponics. *Jour. of Agric. Res. of China* 36(4):372-380. The Taiwan Agric. Research Institute. 1987.
- SMAY, V. E.: How to grow lush gardens without soil: hydroponics. *Popular Science* 212:104+ (March 1978). Smay, V.E. 1978. Modular hydroponics—plant growing systems that fit any space. *Popular Science* 212: 118+ (May 1978). 1978.
- SOFFER, H., y BURGER, D. W.: Effects of dissolved oxygen concentration in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. *Jour. of Amer. Soc. of Hort. Science* 113(2):218-221. 1988.
- SOFFER, H. Research on aero-hydroponics. *Proc of the 9th Annual Conference on Hydroponics*: 69-74. Hydroponic Society of America. Concord, CA. 1988.
- SOFFER, H., y BURGER, D. W.: Plant propagation using an aerohydroponics system. *HortScience* 24(1):154. 1989.
- SONNEVELD, C. Rockwool as a substrate in protected cultivation. *Chron. Hortic.* 29 (3): 33-36. 1989.
- STEINER, A. A.: The future of soilless culture: its possibilities and restrictions under various conditions all over the world. *Int. Hort. Congr. Proc.* 15(1):112-117. 1961.
- STEINER, A. A.: A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15(2): 134-154. 1961.
- STEINER, A. A.: Soilless culture. *Proc. of the 6th Colloquium of the Int. Potash Instit.*, Florence, pp. 324-341. 1968.
- STONER, R. y SCHORR, S.: Aeroponics versus bed and hydroponic propagation. *Florists' Review* 173(4477):49-51. 1983.
- STRAVER, W. A. Inert growing media for greenhouse tomatoes. En: *Proc. of Greenhouse Tomato Seminar*: 13-15. ASHS Press, American Society for Horticultural Science, Alexandria, VA. 1996a.
- STRAVER, W. A. Nutrition of greenhouse tomatoes in inert substrates in northern latitudes. En: *Proc. of Greenhouse Tomato Seminar*: 31-33. ASHS Press, American Society for Agricultural Science, Alexandria, VA. 1996b.
- THOMAS, L. Hydroponic tomatoes: The flavor factor. *Growing Edge* 7 (2): 23-26. 1996.
- THORNDIKE, J.: Hydroponics at home. *Horticulture* 58(11):28-29. 1980.
- THORNDIKE, J.: The unearthly world of hydroponics. *Horticulture* 58(11):24-28, 30-31. 1980.
- THYS, C., VANTHOMME, P., SCHREVEN, E. y DE PROFT, M. Interactions of Cd with Zn, Cu, Mn and Fe for lettuce, (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic culture. *Plant, Cell and Environment* v. 14 (7): 713-717.

- 1991.
- TROPEA, M.: The controlled nutrition of plants II—A new system of «vertical hydroponics.» *Proc. 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976, pp. 75-83. 1977.
- VERCELLINO, C.: Producing herbs hydroponically. *Proc. 2nd National Herb Growing and Marketing Conference*, West Lafayette, IN., pp. 104-106. 1987.
- VINCENZONI, A.: «Colonna de cultura,» a contribution to the development of hydroponics. *Proc. 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976, pp. 99-105. 1977.
- VOOGT, W. Potassium and Ca ratios of year round tomato crops. *Acta Horticulturae*: 339: 99-112. 1993.
- VOOGT, W. y SONNEVELD, C. Nutrient management in closed growing systems for greenhouse production. En: E. Goto, K. Kurate, M. Hayashi y S. Sase (Eds.), *Plant Production in Closed Ecosystems*: 83-102. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 1997.
- WALLACE, A.; SOUFI, S. M., y EL GAZZAR, A. M.: Wastewater as a source of nutrients and water for hydroponic crop production in arid regions (California). *Advances in Desert and Arid Land Technology and Development* 1:263-270. 1979.
- WALLACE, G. A., y WALLACE, A.: Maintenance of iron and other micronutrients in hydroponic nutrient solutions (Tomatoes, cucumbers). *Journal of Plant Nutrition* 7(1/5):575-585. 1984.
- WANG, R. H. WANG, S. S. XU, Z. X. y GUAN, L. M. The present situation and prospects of soilless cultivation in China. *Acta Horticulturae* 230: 291-298. 1988.
- WILCOX, G. E. Nutrient control, in hydroponic systems. *Proc of the 12th Annual Conference on Hydroponics*: 50-53. Hydroponic Society of America. San Ramon, CA. 1991.
- WILSON, G. C. S. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Horticulturae* 172: 151-156. 1985.
- WOLKOMIR, R.: Astrocrops. *Omni* 9(10):16,101. 1987.
- WRIGHT, B. D.; BAUSCH, W. C., y KNOTT, W. M.: A hydroponic system for microgravity plant experiments. *Transactions of the ASAE* 31(2):440-446. 1988.
- YAMAGUCHI, F. M.; JBPHB, y KRUEGER, A. P.: Electroculture of tomato plants in a commercial hydroponics greenhouse. *Journal of Biological Physics* 11(1):5-10. 1983.
- ZERONI, M.; GALE, J., y BEN-ASHER, J.: Root aeration in a deep hydroponic system and its effects on growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum*). 1983.

Técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT)

Publicaciones

- COOPER, A.: *The ABC of NFT*. London: Grower Books. 1979.
- FURLANI, P. R. *Instructions for the NFT hydroponic production of some leafy horticultural crops*. Campinas, Brasil. Instituto Agronómico, (Tech. Bulletin 168), p. 30. 1997.
- MOLYNEUX, C. J.: *A practical guide to NFT*. Preston, Lancashire, England: T. Snape & Co. Ltd. 1994.
- SCHIPPERS, P. A.: *Construction and operation of the nutrient flow technique for growing plants*. Veg. Crops Mimeo 187. Cornell Univ. Ithaca, NY. 1977.
- SCHIPPERS, P. A.: *Annotated bibliography on nutrient film technique*. Veg. Crops Mimeo 186. Cornell Univ., Ithaca, NY. 1977.
- SCHIPPERS, P. A.: *The nutrient flow technique*. Veg. Crops Mimeo 212. Cornell Univ., Ithaca, NY. 1979.
- WILCOX, G. E.: *The nutrient film hydroponic system*. Bull. 166. West Lafayette, IN: Purdue Univ. Agric. Expt. Sta. 1981.
- WILCOX, G. E.: *Growing greenhouse tomatoes in the nutrient film hydroponic system*. Bull. 167. West Lafayette, IN: Purdue Univ. Agric. Expt. Sta. 1981.
- WILCOX, G. E.: *NFT and principles of hydroponics*. Bull. 530. West Lafayette, IN: Purdue Univ. Agric. Expt. Sta. 1987.

Artículos

- ADAMS, P., y EL-GIZAWY, A. M.: Effect of calcium stress on the calcium status of tomatoes grown in NFT. *Acta Horticulturae* 222: 15-22. 1988.
- ADAMS, P.: Plant growth in NFT and other soilless substrates. *Aspects of Applied Biology* 22:341-348. 1989.
- AL-HARBI, A. R. y BURRAGE, S. W. Effect of NaCl salinity on growth of cucumber (*Cucumis sativus*).

- Acta Horticulturae 323: 39-50. 1993.
- ASSABGHY, F., EL-BAGOURI, I., SEIF, S. A. y EL-KHESHEN, K. A solar powered NFT system for desert development. *Advances in Desert and Arid Land Technology and Development* v. 5: 307-334. 1991.
- BAILEY, B. J.; HAGGETT, B. G. D.; HUNTER, A.; ALBERY, W. J., y SAVENBERG, L. R.: Monitoring nutrient film solutions using ion-selective electrodes. *Jour. of Agric. Engineering Research*. 40(2):129-142. 1988.
- BEDASIE, S., y STEWART, K.: Effect of intermittent flow on seasonal production of NFT lettuce. *Soilless Culture* 3(1):11-19. 1987.
- BEDASIE, S., y STEWART, K.: Effect of watering regime on the growth and development of NFT lettuce. *Soilless Culture* 3(1):3-9. 1987.
- BEDASIE, S., y STEWART, K.: Effect of watering regime on the growth and development of NFT lettuce. *Soilless Culture* 3(2):3-7. 1987.
- BENOIT, F. (ahora), y CEUSTERMANS, N.: Energy input in two NFT (Nutrient film technique). *Acta Horticulturae* 15:227-233. 1981.
- BENOIT, F., y CEUSTERMANS, N.: Survey of a decade of research (1974-1984) with nutrient film technique (NFT) on glasshouse vegetables. *Soilless Culture* 2(1): 5-17. 1986.
- BENOIT, F., y CEUSTERMANS, N.: Growth control of tomatoes and cucumbers in NFT by means of rockwool and polyurethane blocks. *Soilless Culture* 2(2):3-9. 1986.
- BENOIT, F., y CEUSTERRLLANS, N.: Growing lamb's lettuce (*Valerianella olitoria* L.) on recycled polyurethane (PUR) hydroponic mats. *Acta Horticulturae* 242:297-304. 1989.
- BULEY, N.: Innovations in greenhouse growing challenge conventional methods (Hydroponics, aeroponics, nutrient film technique, ornamental plants, growing more and better plants in less space and at lower costs). *American Nurseryman* 159(1):95-99. 1984.
- BURRAGE, S. W. Nutrient film technique in protected cultivation. *Acta Horticulturae* 323: 23-28. 1993.
- CHARBONNEAU, J.; GOSSELIN, A., y TRUDEL, M. J.: Influence of electrical conductivity and intermittent flow of the nutrient solution on growth and yield of greenhouse tomato in NFT. *Soilless Culture* 4(1):19-30. 1988.
- CHARLESWORTH, R.: Soil and nutritional problems; NFT problems. *The Grower*, Jan. 13, 1977, p. 65. 1977.
- CLAYTON, A.: Nutrient film technique: practicalities and problems. *Horticulture Industry*, Feb. 1980, pp. 18-20. 1980.
- COOPER, A. J.: Rapid turn-round is possible with experimental nutrient film technique. *The Grower*, May 5, 1973.
- COOPER, A. J.: Improved film technique speeds growth. *The Grower*, March 2, 1974.
- COOPER, A. J.: Hardy nursery stock production in nutrient film. *The Grower*, May 4, 1974.
- COOPER, A. J.: Soil? Who needs it? Part I. *Am. Veg. Grower* 22(8):18, 20. 1974.
- COOPER, A. J.: Soil? Who needs it? Part II. *Am. Veg. Grower* 22(9):13, 64. 1974.
- COOPER, A. J.: Rapid progress through 1974 with nutrient film trials. *The Grower*, Jan. 25, 1975.
- COOPER, A. J.: Nutrient film technique—early fears about nutrition unfounded. *The Grower*, Aug. 23, 1975, pp. 326-327. 1975.
- COOPER, A. J.: Crop production in recirculating nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 3:251-258. 1975.
- COOPER, A. J.: Comparing a nutrient film tomato crop with one grown in the soil. *The Grower*, Dec. 12, 1975.
- COOPER, A. J.: Crop production with nutrient film technique. *Proc. of 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct.25-Nov.1, 1976, pp. 121-136. 1977.
- COOPER, A. J.: 22 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, HI. 1985.
- COOPER, A. J.: NFT cropping from the beginning to the present day. *Proc. of 19th National Agric. Plastics Congr.*, Peoria, IL., pp. 105-120. 1986.
- COWAN, I.: NFT (nutrient film technique) simplicity (Designs and costs for amateur greenhouse growers, Great Britain). *Greenhouse* 3(9):24-25. 1979.
- COWAN, I.: D.I.Y.—N.F.T. (Nutrient film technique, homemade equipment for growing greenhouse plants successfully without soil). *Greenhouse* 3(4):24,26-27. 1979.
- DEEN, J.: The simplest growing medium. *Gardeners Chronicle/HTJ*, 186(15):35, 36. 1979.
- DEVONALD, V. G., y TAPP, A.: The effect of warming the nutrient solution on the early growth of tomatoes in NFT in a heated and unheated environment. *Soilless Culture* 3(1):31-38. 1987.
- DOOLAN, D. W. (ahora), HENNERTY, M. J., y MORGAN, J. V.: Culture of micropropagated strawberry plants in nutrient film technique. *Acta Horticulturae* 133:103-109. 1983.
- DOUGLAS, J. S.: Hydroponic layflats. *World Crops*, March/April 1976, pp. 82-87. 1976.
- ECONOMAKIS, C. D. Effect of solution conductivity on growth and yield of lettuce in nutrient film culture. *Acta Horticulturae*. 287: 309-316. 1991.

BIBLIOGRAFIA

- ECONOMAKIS C. D. The influence of solution heating and intermittent solution circulation on tomatoes in nutrient film culture *Acta Horticulturae* 323: 81-87, 1993.
- EL-BEHAIRY, U. A., ABOU-HADID, A. F., EL-BELTAGY A. S. y BURRAGE, S. W. Intermittent circulation for earlier tomato yield under nutrient film technique (NFT). *Acta Horticulturae* 287: 267-272, 1991.
- EL-HAGGAR, S. M. y AAWN, A.A. Optimum conditions for a solar still and its use for a greenhouse using the nutrient film technique. *Desalination* v. 94 (1): 55-68, 1993.
- GIACOMELLI, G. A. (ahora), JANES, H. W.; MEARS, D. R., y ROBERTS, W. J.: A cable supported NFT tomato production system for the greenhouse. *Acta Horticulturae* 133:89-102, 1983.
- GIACOMELLI, G. A., y JANES, H. W.: The growth of greenhouse tomatoes by the nutrient film technique at various nutrient solution temperatures. *Proc. of 16th National Agric. Plastics Congr.* Peoria, IL., pp. 1-13, 1981.
- GIACOMELLI, G. A., y JANES, H. W.: NFT (nutrient film technique) greenhouse tomatoes grown with heated nutrient solution. *Acta Horticulturae* 148(2):827-834, 1984.
- GIACOMELLI, G. A. y JANES, H. W. The growth of greenhouse tomatoes in nutrient film at various nutrient solutions temperatures. *Soilless culture* v. 2 (2): 11-20, 1986.
- GORMLEY, T.R.; MAHER, M. J., y WALSH, P. E.: Quality and performance of eight tomato cultivars in a nutrient film technique system. *Crop Research* 23(2):83-93, 1983.
- GRAVES, C. J.: The nutrient film technique. *Horticultural Reviews* 5:1-44, 1983.
- GRAVES, C. J. (ahora), y HURD, R. G.: Intermittent solution circulation in the nutrient film technique. *Acta Horticulturae* 133:47-52, 1983.
- GUERNSEY CAUTIONS ON NFT CROPS. When you fail, you lose the lot, warns adviser. *The Grower*, Feb. 24, 1977, p. 397.
- HEINEN, M. y HARMANNY, K. Evaluation of the performance of ion-selective electrodes in an automated NFT system. *Acta Horticulturae* 304: 273-280, 1992.
- HICKLENTON, P. R. y WOLYNETZ, M. S. Influence of light- and dark-period air temperatures and root temperature on growth of lettuce in nutrient flow systems. *Journal of the American Society for Horticultural Science* v. 112 (6): 932-935, 1987.
- HOW NFT COMPARES. *The Grower*, Oct. 7, 1976.
- ISMAIL, M. R. y BURRAGE, S. W. Effects of salinity, vapour pressure deficit and root temperature on growth and yield of NFT-grown tomatoes. *Acta Horticulturae* 292: 143-148, 1992.
- JACKSON, M. B.; BLACKWELL, P. S.; CHRIMES, J. R., y SIMS, T. V.: Poor aeration in NFT and a means for its improvement. *The Jour. of Horticultural Science* 59(3):439-448, 1984.
- KHUDHEIR, G. A. (ahora), y NEWTON, P.: Water and nutrient uptake by tomato plants grown with the nutrient film technique in relation to fruit production. *Acta Horticulturae* 133:67-88, 1983.
- LAUDER, K.: GCRI hope to make low cost crops worth growing by NFT. *The Grower*, July 15, 1976.
- LAUDER, K.: Lettuce on concrete. Supplement to *The Grower*, Feb. 24, 1977, pp. 40-46, 1977.
- LIM, E. S.: Development of an NFT system of soilless culture for the tropics. *Pertanika* 8(1):135-144, 1985.
- LIM, E. S.: Hydroponic production of vegetables in Malaysia using the nutrient film technique. *Soilless Culture* 2(2):29-39, 1986.
- LOVELIDGE, B.: Kent grower to go the whole hog with NFT tomato crops. *The Grower*, Aug. 19, 1976.
- LOVELIDGE, B.: Better working life is extra benefit, says Sussex grower. *The Grower*, Nov. 4, 1976.
- MAHER, M. J.: The use of hydroponics for the production of greenhouse tomatoes in Ireland. *Proc of 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976, pp. 161-169, 1977.
- MAKING NFT COMMERCIAL. *World Crops*, May/June 1977, pp. 125-126.
- MASSANTINI, F., y MAGNANI, G.: Mobile hydroponics for energy saving. *Acta Horticulturae* 148(1):81-88, 1983.
- MILIEV, K.: Nutrientfilm experiments in Bulgaria. *Proc. of 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976, pp. 149-159, 1977.
- NEW TWIST FOR HYDROPONICS. *Am. Veg. Grower* 24(11):21-23.
- NOGUERA, V.; ABAD, M.; PASTOR, J. J.; GARCÍA-CODONER, A.C.; MORA, J., y ARMENGOL, F.: Growth and development, water absorption and mineral composition of tomato plants grown with the nutrient film technique in the East Mediterranean Coast region of Spain. *Acta Horticulturae* 221:203-211, 1988.
- Nutrient film technique: Cropping with the Hydrocanal commercial system. *World Crops*, September/October-1976, pp. 212-218.
- Nutrient film techniques; PP's seven factors for success. *The Grower*, April 21, 1977, p. 907.
- PARDOSSI, A.; TOGNONI, F.; TESI, R.; BERTOLACCI, M., y GROSSI, P.: Root zone warming in tomato plants in soil and NFT. *Acta Horticulturae* 148(2):865-870, 1984.
- PARDOSSI, A., TOGNONI, F. y BERTERO, G. The influence of nutrient solution concentration on growth, mineral uptake and yield of tomato plants grown in NFT. *Advances in Horticultural Science* v. 1 (2):

- 55-60. 1987.
- RICHARDSON, F. I.: Nutrient film technique. *Agriculture in Northern Ireland* 55(11):349-351. 1981
- ROBER, R.: Nutrient film technique and substrates. *Acta Horticulturae* 133. 1983.
- SCHIPPERS, P. A.: Soilless growing in Europe. *Amer. Veg. Grower and Greenhouse Grower* 26(12): 17-18. 1978.
- SCHIPPERS, P. A.: The nutrient flow technique—a versatile and efficient hydroponic growing method. *Proc. of 1st Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Brentwood, CA., Oct. 20, 1979.
- SCHIPPERS, P. A.: Hydroponics is the answer. *Amer. Veg. Grower and Greenhouse Grower* 27(2): 16, 18, 34. 1979.
- SCHIPPERS, P. A.: Hydroponic lettuce: the latest. *Amer. Veg. Grower and Greenhouse Grower* 28(6):22-23, 50. 1980.
- SCHLAGNHAUFER, B. E.; HOLCOMB, E. J., y ORZOLEK, M. D.: Effects of supplementary light, solution heating, and increased solution Ca levels on lettuce production in the nutrient film technique. *Applied Agricultural Research* 2(2): 124-129. 1987.
- SILVA, G. H. y TOOP, E. W.: Lettuce growth in a nutrient film with carbon dioxide enrichment within a controlled-environment system. *Soilless Culture* v. 2 (2): 41-47. 1986.
- SPARKES, B.: Variation on NFT theme. *The Grower*, April 21, 1977, pp. 905-906. 1977.
- SPENSLEY, K., y WINSOR, G. W.: Nutrient film technique, crop culture in flowing nutrient solution. *Outlook on Agriculture* 9(6):299-305. 1978.
- TOOP, E. W.; SILVA, G. H., y BOTAR, G.: Comparison of 24 lettuce cultivars in a controlled environment with extra CO₂ in NFT and stagnant solution. *Soilless Culture* 4(1):51-64. 1988.
- VERWER, F. L. J. A. W.: Growing horticultural crops in rock wool and nutrient film. *Proc. of 4th Int. Congr. on Soilless Culture*, Las Palmas, Oct. 25-Nov. 1, 1976, pp. 107-119. 1977.
- WEES, D., y STEWART, K.: The potential of NFT for the production of six herb species. *Soilless Culture* 2(2):61-70. 1986.
- WEES, D., y STEWART, K.: The influence of bicarbonate enrichment and aeration on dissolved carbon dioxide and oxygen in NFT nutrient solutions used for lettuce production. *Soilless Culture* 3(1):51-62. 1987.
- WILCOX, G. E.: High hopes for hydroponics. *Amer. Veg. Grower and Greenhouse Grower* 28(11):11-12, 14. 1980.
- WILCOX, G. E.: Nutrient uptake by tomatoes in nutrient film technique hydroponics. *Acta Horticulturae* 145:173-180. 1984.

CONTROL DE INSECTOS Y ENFERMEDADES

- ASSCHE C. VAN y VAANCHEEL, M.: Plant protection in hydroponics. *Acta Horticulturae* 260: 363-375. 1989.
- DAUGHTREY, M.: Hydroponic systems are vulnerable to disease. *Ag Impact*, March 1983, pp. 11-12. 1983.
- CRESSWELL, G. C.: Effect of lowering nutrient solution concentration at night on leaf calcium levels and the incidence of tipburn in lettuce (var. Gloria). *Journal of Plant Nutrition* v. 14 (9): 913-924. 1991.
- FUNCK-JENSEN, D. (ahora), y HOCKENHULL, J.: The influence of some factors on the severity of Pythium root rot of lettuce in soilless growing systems. *Acta Horticulturae* 133:129-136. 1983.
- GOLD, S. E., y STRANGHELLINI, M. E.: Effects of temperature on Pythium root rot of spinach grown under hydroponic conditions. *Phytopathology* 75(3):333-337. 1985.
- GUNSTONE, G. W.: Biological systems for glasshouse horticulture. *Koppert. Growing Edge* 5 (4): 43-47, 50-51. 1994.
- HARRIS, M.: Tips for fine-tuning your thrips control program. *GMPRO*. 18 (1): 56-57. 1998.
- HARRIS, P., JARRATT, J. H., KILLEBREW, F., BYRD J. Jr, y SNYDER, R. G.: *Organic Vegetable IPM Guide*. Cooperative Extension Publication 2036. Mississippi State University, MS. 1996.
- HOCKENHULL, J. (ahora), y FUNCK-JENSEN, D.: Is damping-off, caused by Pythium, less of a problem in hydroponics than in traditional growing systems. *Acta Horticulturae* 133:137-145. 1983.
- JARVIS, W. R., y MCKENN, C. D.: *Tomato diseases*. Canada Dept. of Agric. Publ. 1479/E. Agric. Canada, Ottawa, Ontario. 1984.
- MALAIS, M., y RAVENSBURG, W. J.: *Knowing and recognizing—the biology of glasshouse pests and their natural enemies*. Koppert B.V., Berkel en Rodenrijs, Netherlands. 1992.
- MCENO, J.: Hydroponic IPM. En: D. Parker (Ed.), *The Best of the Growing Edge*: 61-66 New Moon Publishing, Corvallis, OR. 1994.

BIBLIOGRAFIA

- NELSON, P. V.: *Greenhouse operation and management*. 3rd ed. Reston, Virginia: Reston Publ. Co. 1985.
- Ontario Dept. of Agric. and Food. *Greenhouse vegetable production recommendations*. Publ. 365. Ontario Dept. of Agric. and Food, Parliament Buildings, Toronto, ON, Canada. 1975.
- PARTYKA, R. E., y ALEXANDER, L. J.: *Greenhouse tomatoes—disease control*. Bull. SB-16. Columbus, OH: Ohio State Univ. Cooperative Ext. Service. 1973.
- PEET, M. M. Fruit cracking in tomato. *HortTechnology* 2: 216-223. 1992.
- PEET M. M. Managing insects. En: M.M. Peet (Ed.), *Sustainable Practices for Vegetable Production in the South*: 31-53. Focus Publishing, R. Pullins Company, Newburyport, MA. 1996a.
- PEET M. M., Managing diseases. En: M.M. Peet (Ed.), *Sustainable Practices for Vegetable Production in the South*: 55-74. Focus Publishing, R. Pullins Company, Newburyport, MA. 1996b.
- PEET, M. M. Tomato. En: M.M. Peet (Ed.), *Sustainable Practices for Vegetable Production in the South*: 149-157. Focus Publishing, R. Pullins Company, Newburyport, MA. 1996c.
- PEET, M. M. Greenhouse crop stress management. En: R. Wignarajah (Ed.), *Proceedings 18th Annual Conference on Hydroponics*: 91-101. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA. 1997.
- POLSTON, J. E. y ANDERSON, P. K. The explosion of whitefly-transmitted geminivirus in tomato in the Americas. En: C.S. Vavrina, P.R. Gilreath, y J.W. Noling (Eds.), *1997 Florida Tomato Institute Proceedings*: 38-42. Citrus and Vegetable Magazine, University of Florida, Gainesville, FL. 1997.
- ROBERTS, W. J. y KANIA, S. Screening for insect exclusion from greenhouse. En: *Proceedings 26th International Congress of American Society for Plasticulture*, Atlantic City, NJ. 1996.
- ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L., y SMILDE, K. W.: *Nutritional disorders in glasshouse tomatoes, cucumbers, and lettuce*. Wageningen: Center for Agric. Publ. and Documentation. 1981.
- SCHWARTZKOPF, S. H.; DUDZINSKI, D., y MINNERS, R. S.: The effects of nutrient solution sterilization on the growth and yield of hydroponically grown lettuce. *HortScience* 22(5):873-874. 1987.
- STANGHELLINI, M. E., y GILBERTSON, R. L.: *Plasmopara lactucae-radices*, a new species of rots of hydroponically grown lettuce. *Mycotaxon* 31(2):395-400. 1988.
- STANGHELLINI, M. E., y KRONLAND, W. C.: Yield loss in hydroponically grown lettuce attributed to subclinical infection of feeder rootlets by *Pythium dissotocum*. *Plant Disease* 70(11): 1053-1056. 1986.
- STANGHELLINI, M. E.; STOWELL, L. J., y BATES, M. L.: Control of root rot of spinach caused by *Pythium aphanidermatum* in a recirculating hydroponic system by ultraviolet irradiation. *Plant Disease* 68(12):1075-1076. 1984.
- STEINER, M. Y., y ELLIOTT, D. P.: *Biological pest management for interior landscapes*. 30 pp. The Publications Office, Min. of Agric. and Food, Victoria, B.C., Canada. 1983.
- ZINNEN, T. M.: Assessment of plant diseases in hydroponic culture. *Plant Disease* 72(2):96-99. 1988.

PUBLICACIONES ESPECIALIZADAS Y REVISTAS CIENTIFICAS

- Horticultural Research*. Scottish Academy Press, 33 Montgomery St., Edinburgh.
- HortScience*. Publ. bimonthly by the American Society for Horticultural Science, 914 Main St., St. Joseph, MI 49085.
- Journal of the American Society for Horticultural Science*. Publ. bimonthly for ASHS. American Society for Horticultural Science, 914 Main St., St. Joseph, MI 49085.
- The Journal of Horticultural Science*. Headley Bros. Ltd., The Invicta Press, Ashford, Kent, England.
- Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. Dr. H. J. Reitz, Secretary, Florida State Hort. Soc., P. O. Box 552, Lake Alfred, FL 33850.

REVISTAS DE DIVULGACION

- American Horticulturist*. Publ. by the American Horticultural Society, 7931 East Boulevard Dr., Alexandria, VA 22308.
- American Nurseryman*. 310 South Michigan Ave., Chicago, IL 60604.
- American Vegetable Grower*. Publ. by Meister Publ. Co., Willoughby, OH 44094.
- Canadian Florist, Greenhouse and Nursery*. 287 Queen St. South, Streetsville, Ont., Canada.
- Florist*, An FTD Publication. FTSA, 900 West Lafayette, Detroit, MI 48226.
- Flower News*, the Florists' National Weekly Newspaper. 549 West Randolph St., Chicago, IL 60606.
- Grower Talks*. Geo. J. Ball, Inc., W. Chicago, IL 60185.
- Greenhouse Canada*. Publ. by NCC Publ. Ltd., 222 Argyle Ave., Delhi, ON, Canada N4B 2Y2.

CULTIVOS HIDROPONICOS

Greenhouse Grower. Publ. by Meister Publ. Co., Willoughby, OH 44094.

Greenhouse Management & Production. Box 1868, Fort Worth, TX 76101.

Horticulture. Horticulture Subscription Service, 125 Garden St., Marion OH 43302.

Seed World. 434 S. Wabash Ave., Chicago, IL 60605.

The Florist's Review. Florist's Publ. Co., 343 S. Dearborn St., Chicago, Ill.

The Grower. 49 Doughty St., London, WC 2BR, England.

The Growing Edge. P.O. Box 1027, Corvallis, OR 97339.

The Packer. Circulation Manager, One Gateway Center, Kansas City, KS 66101. Publ. by Vance Publ. Co., 300 W. Adams St., Chicago, IL 60606.

Yoder Grower Circle News. Yoder Bros. Inc., Barberton, Ohio.

Índice alfabético

- Ábaco 302-303
- Abbot Laboratories 491
- Abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) 285, 307
- Abrazaderas 463-465
- Absorción del agua 47-52, 120
- Abu Dhabi 257, 266, 271-274
- Accolade 493
- Achaparrado 56
- Achersonia aleyrodii* 481
- Acidez 45
- Ácido bórico 71, 73, 76, 101
- Ácido clorhídrico 94, 132, 254
- Ácido fosfórico 70, 73, 76, 82, 94, 95, 138
- Ácido muriático 254
- Ácido nítrico 83, 84, 94, 138
- Ácido ortofosfórico 70, 76
- Ácido sulfúrico 73, 94
- Acoples 247, 248
- Acostillado verde 475
- Adams, P. 120
- Adamson, R.M. 285, 286
- ADP, Inc. 316
- Áfidos 218, 253, 332, 336, 338, 484, 485
- Agora 437
- AgraTech 440
- Agregado 230-233, 261
- Agregados calcáreos 68, 230
- Agrios, G.N. 307
- Agri-Sistemas NFT 195-202
- Agros, S.A. 388
- Agua 124-128
 - características 124
 - cloruro sódico 124
 - dureza 125
 - magnesio y calcio
 - contenido de carbonato 124, 125
 - salina 125, 127, 128
 - uso 118
- Ahuecado 56
- Aireación 133, 136, 142, 145, 232, 233
- Aireación de las raíces 133
- Alacorthum solani* (áfido) 484
- Albahaca 220-225, 274, 278, 377-379
- Alcalinidad 45
- Alfalfa 153-157
- Algas 221, 233, 267, 325
- Alt, D 117
- Alternaria* 477
- Alturas 35
- Aluminio 43
- Aluminio, óxido de 316
- Ambiance 493
- Amblyseius californicus* 483
- Amblyseius cucumeris* 488
- Aminoácidos 43
- Amoníaco 73
- Amonio 68
- Análisis de agua 125
- Análisis de absorción atómica 53
- Análisis de la solución de nutrientes 53

- Análisis del tejido de las plantas 114-115
 Análisis de los fertilizantes químicos 72
 Análisis de nutrientes 53, 114
 Análisis garantizado 74
 Anguilla 178, 439
 Anhídrido fosfórico 72, 73
 Aniones 47
Aphidoletes aphidimyza 484
 Ápice 498
 Aplicaciones especiales 438-441
 Apollo 493
 Apoplasto 48
 Aqua-Gro 362, 363
 Arano, C.A. 150
 Araña roja 482-484
 Arcenes 205-209
 Arena 32, 261
 Arid Lands Research Institute 257, 271-274
 Aristóteles, 31
 Aros metálicos 340, 341
 Arnon, D.I. 32, 42
 Átomo 75
 Azatin 492
 Azufre 32, 42, 43, 73
 Aztecas 31

 Babilonia 31
Bacillus thurengiensis 489
 Balance 493
 Balsas 139-145
 Bancadas 234-237, 250, 261-263, 274-279, 286-287, 365-367, 371, 416-421
 Bandeja de cultivo 154-157
 Bandeja de inicio 329-330
 Bandeja de malla 135
 Bandeja de recogida 330
 Bandeja-depósito de ventana 281, 282
 Bandeja hidropónica de vivero 405
 Barros 261
 Basamid 424
 Bastidor tipo A de styrofoam 146
 B.C. Hothouse Foods, Inc. 294, 316, 342
 Belmondo 338, 344, 493
 Benavides, E.V. 150-153
 Berinda 494
 Bernac 33

 Berros 142-145, 205-219, 430-434
 Bevo Farms 202, 295, 443
 Bicarbonato 125
 Bicarbonato potásico 125
 Black-Seeded Simpson 493
 Blitz 493
 Bloques BR-8 444
 Bloques de lana de roca 290, 294, 320-322, 338, 350, 444-446
 Bloques Oasis 186
 Bobina 339
 Bock Choy 396
 Bombas 239
 Bonita Nurseries Ltd. 33, 316, 344, 347
 Bórax 64, 71, 73
 Boro 32, 42, 44, 138
 BotanicGard ES 492
Botrytis 136, 477
 Bounty 493
 Boussingault 31
Bradysia sp. 490
 Brécol raab 178-180
 Brilliant 493
 British Columbia 285, 290, 291, 316
 Bromuro de metilo 131, 254, 270, 271
 Bronco 338, 493
 Boodley, J.W. 362
 Buttercrunch 493

 Cable de calefacción 130
 Calcio 32, 42, 43, 73, 125
 Cálculo de las formulaciones de nutrientes 77-85, 94-102
 Calentador por inmersión 130, 233
 California Watercress 205-225, 249-253, 274-279, 364-381
 Canadá 34
 Canal 298, 299
 Canal 90, 430, 431
 Canal colector 249, 371, 372
 Canal de polietileno 161-163
 Canal NFT 182, 185-191
 Canales de cultivo 169-172, 174-182, 185-191, 195, 198-202, 220
 Canales móviles 182-185
 Capa cortical 48
 Capa de Casparian 48

- Capa endodérmica 48
 Capacidad tampón 125
 Capitan 494
 «Cara de gato» 475
 Caracas 411, 414, 416
 Características de la situación 35
 Carbamida 76
 Carbonato 124
 Carbonato cálcico 83, 117, 124, 230, 386
 Carbonato magnésico 125
 Carbono 41, 42, 44
 Carbonyldiamida 76
 Caribe 34
 Caruso 493
 Cáscaras de arroz 371-377, 435-438
 Cationes 47
 Cebollinos 274, 275, 278, 279, 364, 369
 CELSS 146, 499
 Célula oclusiva 53
 Centro de Investigación de Cultivos
 Hidropónicos y Nutrición Mineral 407
 Chandler, P.A. 361, 402
Chrysopa carnea 484
 Cimmaron 494
 Cinta móvil 195-197
 Cisterna 166, 179, 199, 200, 221, 249,
 356, 373, 375, 416, 430
 Cladosporiosis 476
Cladosporium 136, 476, 493
 Cloro 32, 42, 44
 Clorofila 43, 44, 52
 Cloropirina 131, 254
 Clorosis 56-58, 230
 Clorosis entre los nervios 56
 Cloruro 48
 Cloruro cálcico 68, 70, 73-76, 76, 81
 Cloruro de zinc 71, 73
 Cloruro férrico 71
 Cloruro manganésico 71, 73
 Cloruro potásico 61, 68, 69, 73-76, 125
 Cloruro sódico 61, 68, 117, 124, 127, 286
 Cobalto 43
 Cobre 32, 42, 44
 Coenzima 43
 Cogeneración 35, 306, 384
 Collins 142
 Colmenas de abejorros 473, 474
 Colorado Greenhouses 316
 Com-packs 404, 443-445
 Concentración osmótica 126
 Concepto de apoplasto-symplasto 48
 Conchita 493
 Conductividad eléctrica (EC) 90, 116-
 119, 138, 203, 331, 356, 448, 450,
 451, 453, 456, 457
 Constituyentes de las plantas 41
 Control biológico 579-492
 Controlador 93, 210
 Cook, C.D. 363
 Cooper, A.J. 161, 166, 173
 Cordón en V 460, 468, 469
 Corona 493
 Cortarraíces 262
 Cortina 504
 Cronos 493
 CropKing 178
 Cubico 493
 Cubos Bato 388-392, 441
 Cubos de lana de roca 138, 164, 166,
 175, 186, 188, 203, 290, 294, 317,
 338, 350, 444, 445
 Cubos Lelli 427, 435
 Cubos Kys 444
 Cuerdas para entutorar 463-471
 Cuerpo de la raíz 48
 CuisinArt Resort & Spa 143, 144, 178-
 181, 388-392, 440, 441-442, 454
 Cultivo aeropónico, 133, 145-147
 Cultivo de judía Mung 157-159
 Cultivo en agua 133-159
 Cultivo en arena 257-283, 416-429
 características del medio 261
 detalles de construcción 261-265
 esterilización 270, 271, 424, 425
 hierbas 274-279
 riego 269, 270
 riego por goteo 265-269
 trópicos 416-429
 unidades caseras 280-281
 ventajas e inconvenientes 281, 283
 Cultivo en canales de agua y balsas 135-
 145, 441
 Cultivo en columna 392-398
 Cultivo en corteza 305-314

- Cultivo en grava
 - bombeo y drenaje 232-233
 - características del medio 229-231
 - construcción de bancadas 234-237
 - depósito de nutrientes 238, 239-243
 - esterilización 254
 - frecuencia de riego 231-232
 - pleno 237-243
 - sistema de riego por goteo 247-253
 - sistema de subirrigación 231-246
 - ventajas e inconvenientes 255
- Cultivo en grava por subirrigación 231-246
- Cultivo en lana de roca 315-357
 - diseño 323-325
 - drenaje 323, 324, 324, 327, 330
 - medio 316-322
 - nutrición 327-331
 - riego 325-331
 - riego por goteo 325-331
 - sistema abierto 323
 - sistema recirculante 342, 354-357
 - ventajas e inconvenientes 357
- Cultivo en perlita 383-392
- Cultivo en sacos 399-303
- Cultivo en serrín 285-306
 - bancadas 286-298
 - nutrición 298, 300-304
 - medio de cultivo 285, 286
 - riego por goteo 291, 296, 298-304
 - riego y formación de sales 304
 - sacos 287-298
 - unidades caseras 304, 305
 - ventajas e inconvenientes 306
- Cultivo intercalado 345, 347
- Cultivos hidropónicos, 31-35, 48
 - definición 31
 - futuro 34-35, 499
 - pasado 31-33
 - presente 33
- Cultivos hidropónicos populares 407-408
- Cultivos hidropónicos tropicales 411-438
- Cultivos sin suelo 31, 33, 36, 37
- Curvado 310, 475
- Cutícula 52
- Dacnusa sibirica* 487
- Day, Desmond 315, 383
- De Saussure 31
- Deci-Minor 493
- Deficiencias de nutrientes 54-65
- Deformación 56
- Del Mar Farms 142
- Delfín, Alfredo 398, 407
- Delphin 493
- Densidad 83-85
- Depósito de nutrientes 185
- Desórdenes fisiológicos 474, 475
- Desórdenes nutricionales 54-55
- Diazinon 489
- Difusión 49
- Diglyphus isaea* 487
- Dihidrofosfato amónico 69, 76
- Dioscórides 31
- Dióxido de carbono 31, 41, 232, 449, 451
- Dióxido de carbono, enriquecimiento 291, 293, 449, 451, 453, 454, 458, 459
- Dióxido de silicio 316
- Dipel 253, 489
- Discos de turba 138, 164, 444, 445
- Discover 493
- Disentería 411
- Dombito 493
- Domineer 493
- Dominica 493
- DTPA 68
- Eagle 493
- EDDHA 68
- EDTA 68, 85
- Egipcios 31
- Elementos 31, 32, 41-44
- Elementos esenciales 41-44, 53, 61-65
 - definición 41, 42
 - funciones 43, 44
 - inmóviles 54, 62-65
 - móviles 54, 61, 62
- Elementos inorgánicos 48
- Elementos menores 42
- Elementos minerales 41-65
 - absorción 45-52
- Elementos trazas 32, 42
- Eliminación de chupones 463-471
- Emisores 212, 249, 267, 300, 304, 325, 356

- Encarsia formosa* 481-482
 Enfermedades 476-479
 Enriquecimiento de dióxido de carbono 291, 293, 449, 451, 453, 454, 458
 Ensaladas verdes Baby 249-253
 Entutorado 462-464
 Environmental Farms 331-338
 Environmental Research Laboratory 135, 146, 257, 271
 Enzima 43
 Epcot Center 146, 173
 Epidermis 52
 Erevan 34
 Esclerénquima 50
 Escucha a la Tierra 146
 Espacio formado por los poros 123, 233, 316
 Espuma 377-382
 Espuma de urea-formaldehído 363
 Estados Unidos 34
 Estantería de cultivo 154-156
 Estación de Investigaciones Agrarias de Saanichton 285
 Estación de Investigaciones Agrarias del Departamento de Agricultura de Canadá 285
 Esterilización 37, 130-132, 139, 202, 223, 254, 270, 271, 288, 305, 306, 322 al vapor 130, 271, 322, 424, 425 métodos 130-132, 254, 270, 271, 322, 356, 424, 425
 Esterilizador de ultravioleta 136-138
 Estomas 52
 Estructura en A 146, 147, 173-182
 Etileno 164, 165
 Evapotranspiración 128
 Exacta 338, 493
 Exceso de semilla 446
 Factores de conversión 73, 74, 79-82
 Farbio 493
 Faron 493
 Fase generativa 460, 461
 Fase vegetativa 460, 461
 Favorita 493
 FeEDTA (ver quelato de hierro)
 Fellini 493
 Fertilizantes 72-74, 82
 Fibra de coco 364, 435-438
 Fidelio 493
 Fijación del nitrógeno 43
 Final del cultivo 498
 Fireflame 493
 Flamingo 493
 Floema 52, 53
 Floema primario 50
 Flor receptiva 472
 Flujo 48
 Fontes, M.R. 273
 Forma de cono 254
 Formaldehído 131
 Formulación de nutrientes 72, 74, 77-111 cálculos 70-111
 Formulación óptima 88
 Fosfato 73, 230 bicálcico 230 tricálcico 230
 Fosfato amónico 69
 Fosfato biamónico 73, 82
 Fosfato bicálcico 230
 Fosfato monocálcico 70, 74, 76
 Fosfato monopotásico 61, 69, 72, 73, 74, 82, 95, 97, 98
 Fosfato tricálcico 230
 Fósforo 32, 42, 43, 73, 82
 Fotosíntesis 52
Frankliniella tritici 488
Frankliniella occidentalis 488
 Frecuencia de riego (ver riego)
 Fresex 401-403
 Fresones 396-398, 401-403
 FTE 363
 Fumigación 270
Fusarium 37, 136, 255, 281, 307, 338, 449, 452, 477, 493
 Future Farms 180-183
 F.W. Armstrong Ranch 195-202, 455
 Fuerzas de cohesión 52
 Geotérmica 35
 Gerhart, K. 383
 Gerhart, R. 383
 Gerhart Greenhouses 383-387
 Gerhart, Inc. 383

- Gericke, W.F. 32, 33, 229
 Gipaanda Greenhouses Ltd. 291, 338, 340
 Glasshouse Crops Research Institute, 161, 168, 315
 Goldstar 493
 Gold Flame 493
 Goteros (ver Emisores)
 Gourmet Hydroponics, Inc. 187-191
 Grace 493
 Grand Rapids 493
 Grava 32, 123, 124
 calcárea 124
 ígnea 124
 Grava de garbanzo 214, 231, 247, 249
 Graves, C.J. 315
 Great Lakes 423, 494
 Green Cuisine Ltd. 439
 Green Salad Bowl 495
 Grietas del fruto 475
 Gynoeceas 474

 Hawaii 34
 Haydite 230
 Haz conductor 53
 Haz vascular 53
Heliothrips haemorrhoidalis 488
Helminthosporium 307
 Herculite 230
 Hidrocanal 168
 Hidrógeno 32, 41, 42, 44
 Hidroponías Venezolanas 155, 156, 399, 411, 414-438
 Hidroscópico 68
 Hidróxido potásico 82, 84, 85, 138
 Hierbas 220-225, 364-382, 455
 Hierro 32, 42, 44, 138
 Higiene 476
 Hipoclorito cálcico 132, 254
 Hipoclorito sódico 132, 254
 Hoagland 32
 Hodges, Carl 146
 Hokkaido 35
 Holanda 34
 Honma, S. 459
 Hoppmann Hydroponics 138-141
 Horticubos Oasis 444-445

 Houweling Nurseries Ltd. 336, 343, 344, 345, 346, 352
 Houweling Nurseries Oxnard, Inc. 33, 290-300, 316, 382, 383
 Huecos 233
 Humus 45, 49
 Huso 56
Hypoaspis miles 488, 491
 Hypol 377-381

 Impureza 74, 79, 80, 84, 95-102
 Impurezas en los fertilizantes 74, 79, 80, 84, 95-102
 Industrias Eternit 430
 Infección de los brotes 477
 Ingeniería genética 412
 Inglaterra 34
 Injerto 338, 477
 Insectos 479-492
 Instituto de Cultivos Hidropónicos 34
 Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) 412
 Invernadero
 con forma de túnel 243, 244
 inflable 272
 Inyector 89-93, 210, 267-269, 310, 312, 356, 365, 392, 393
 Inyector Anderson 91, 92, 269, 312
 Iones 47-52
 absorción 47-52
 Iones extraños 116
 Isla de Chofu 33
 Islas Canarias 33
 ISOSC 501

 Jardines colgantes 31
 Jardines flotantes 31
 Jensen Merle, 135, 138, 142, 146
 Jessica 493
 Jiffy 138, 444
 Judías Mung 157-159

 Kharg Environmental Farms 257
 Kelvin 493
 Kiev 34
 Knop 32

- La Reine 493
 Lámina de vinilo 235-236, 262, 286, 301
 Lana de roca 138, 315-317
 Lannate 489
 Larma 493
 Laura 493
 Lechuga 115, 135-145, 185-205, 423-429, 439, 454, 493
 Lechuga sin acogollar (looseleaf lettuce) 493, 494
 Lechuga tipo europeo 135-143, 185, 192
 Lejía 304
 Lenny 440
 Lenteja de agua 218
Liriomyza bryoniae 486, 487
L. huidobrensis 486
L. trifolii 486
 Llave 57-60
 Localizado 56
 Long Island Horticultural Research Laboratory 173
 Loughton, A. 470
 Lucas, R.E. 359
 Lucha integral contra plagas 479-492
 Luteus 493

 Maas, E.F. 285, 286
 Maceta 175
 Maceta a maceta 446
 Macetas de styrofoam 395-398
 Macroelementos 32, 42, 69
 Macronutrientes 32, 42, 72
Macrosiphum euphorbiae 484
 Madurez de las plantas 466
 Magnesio 32, 42, 43, 73, 125
 Malathion 489
 Manapel 493
 Manchado 56
 Manchado del fruto 475
 Manganese 32, 42, 44, 138
 Marco de plantación 339, 460
 Marchitamiento 56, 476, 477
 Marchitamiento de las raíces 166
 Marginal 56
 Marillo 332, 493
 Match 493
 Materia de las plantas 32
 Materia inerte 67, 74
 Matkin O.A. 361
 Mavrik 483
 Mazurka 493
 Medidor de conductividad 90
 Medio de cultivo 123-132, 229-231, 359-364
 arena 124, 261, 422
 calcáreo 124, 230, 269
 características 123, 124, 229-231, 261
 corteza 306
 drenaje 129
 dureza 124
 espacio formado por los poros 123, 233, 316
 espuma 123, 363
 esterilización 130-132, 270, 356, 425, 426
 grava 123, 229-231, 247, 249
 lana de roca 123, 315-357
 perlita 123, 360
 pumita 123, 360
 retención del agua 123, 129, 130
 serrín 123, 285
 tamaño de las partículas 123, 124, 229, 230, 247
 turba 123, 359
 vermiculita 123
 Medio de cultivo sin suelo 123-124
 Membrana celular 48
 Menta 220-225, 274, 277, 373-377, 380-381, 396
 Mesófilo esponjoso 52
Metaseiulus occidentalis 483
 México 31
 Mezclas para cultivos sin suelo 361-363
 Peat Lite de Cornell 361, 362
 U.C. 361
 Mho 116
 Microelementos 32, 42, 71
 Microgravedad 35
 Micronutrientes 42, 72, 106-110, 138, 363
 Microorganismos 45, 385
 Microtubos 247-249
 Mildiu 477, 478
 Miliequivalentes 126, 127
 Milimhos (mMho) 116

- Milimolar 125, 126
 MiliSiemen/cm (mS/cm) 116
 Millagon 493
 Milou 493
 Minador 486, 487
 MnEDTA (ver quelato de manganeso)
 Mohyuddin 136, 138
 Mol 125
 Molécula 75
 Molibdato amónico 65, 71, 73, 101
 Molibdato sódico 65, 73
 Molibdeno 32, 42, 44
 Montemar 423
 Mosca blanca 253, 479, 480
 Mosquito sciárido 218, 377, 490, 491
 Moteado 56
Multi-pots 453-455
 Münch, E. 48
 Muriato de potasa 69
 Mustang 338, 493
 Mycostop 449, 452
Myzus persicae 484

 Narobi 493
 Nebulización 307
 Nebulizador 154, 155, 336, 337
 Necrosis 56
 Neemix 492
 Nematodos 131, 424-425
 NFT móviles 146, 182-185
 NFT Rehau 185-191
 Níquel 43
 Nitrato 68, 73
 Nitrato amónico 69, 73, 74, 94, 96, 99
 Nitrato cálcico 61, 63, 69, 73, 74, 67, 77-79, 83, 94, 95, 99, 118
 Nitrato potásico 61, 67, 69, 73, 74, 76, 84, 94, 97, 99, 125
 Nitrato sódico 76
 Nitrógeno 32, 42, 43, 72, 73
 Nutrición 52
 Nutrición vegetal 53
 Nutriculture 32
 Nutrientes 41-44

Opius pallipes 487
 Optima 493

 Orégano 364, 371, 397
Orius tristicolour 488
 Orugas 488, 489
 Oscomote 363
 Oscuridad de las raíces 134
 Ostinata 138, 187, 493
 Otsuki Greenhouses 170, 172, 339
 Óxido cálcico 73, 316
 Óxido de aluminio 316
 Óxido de hierro 316
 Óxido de magnesio 73, 316
 Óxido de potasio 72
 Oxigenación 166, 175, 232, 233, 342, 368
 Oxígeno 31, 41, 42, 44, 134
 Ozonización 356

Pandex 493
 Parénquima en empalizada 52
 Parris Island Cos 494
 Partes por millón (ppm) 74, 125
 Patek, J.M. 259
 Pelos radiculares 47
 Pentac 483
 Pepinos
 cultivo en arena 273
 cultivo en corteza 306-313
 cultivo en lana de roca 331-338
 cultivo en perlita 383-388
 cultivo en serrín 287
 densidad 307-310, 338
 desórdenes fisiológicos 475
 desórdenes nutricionales 61-65
 eliminación de chupones y entutorado 307-312, 332, 336, 468-470
 enfermedades 477, 478
 entutorado 310, 462-464
 formulación de nutrientes 88
 insectos 336, 479-492
 marco de plantación 460
 planes de plantación 331-336, 495-498
 plántulas 450-452
 rendimientos 338
 riego 450
 temperaturas 451, 452, 456
 trasplante 452
 variedades 493

- Pepinos largos ingleses (ver pepinos)
 Pérdidas en transpiración 52, 231
 Perfecto 493
 Perlita 123, 185, 383-392
 Peróxido de hidrógeno 449, 451
 Peso específico 83, 511
 Pesos atómicos 72, 75, 76
 Pesos moleculares 72, 75, 76, 125
 pH 45, 46, 94, 111, 124, 125, 210, 230,
 317, 331, 356, 364, 453, 454, 456
 ajustes 94, 102
 cambios 46, 68
Phytophthora 385
Phytoseiulus persimilis 483-484, 488
 Piedra azul 71, 76
 Piedra dolomítica 124
 Pimientos
 cultivo en lana de roca 350-354
 densidad 351
 desórdenes fisiológicos 474, 475
 eliminación de chupones y entutorado
 352, 353, 471
 entutorado 352, 353, 471
 germinación 350
 insectos 479-492
 marco de plantación 351, 460
 planes de plantación 351, 498
 plántulas 453
 temperaturas 350, 351, 453, 457
 trasplante 350, 453
 variedades 494
 Pintura bituminosa 135, 183, 239, 416
 Pintura de asfalto 135
 Piscifactoría 142
 Planchas de lana de roca 170, 172, 320-322
 Planes de plantación 496-498
 Planta indicadora 55
 Plastoponia 363
 Platino 43
 Pleno 233, 237-243, 420
 Pleno dividido 239-243
 Plutona 493
 Podredumbre apical «Blossom-end-rot»
 (BER) 128, 435, 437, 474, 476
 Poliestireno 363
 Polinización 472-474
 Poliuretano 363
 Porcentaje de pureza 74
 Portador 51
 Portainjertos 338
 Potasa 73
 Potasio 32, 42, 43, 73, 83
 Potencial de agua 52
 Potencial electroquímico 50
 Potencial químico 49
 Precipitado 85, 104, 111
 Presión del agua 267
 Presión osmótica 126-128
 Programador horario 239, 240, 269, 280
 Puerto Peñasco 257
 Pulgones (ver áfidos)
 Pulverización foliar 55, 61-65
 Pumita 32, 360
 Pureza 96-102, 106, 107
 Pyrenone 218, 221, 253
 Pyrethrina 480
Pythium 137, 307, 386, 459, 552
 Quechan Environmental Farms 257
 Quelato 68
 Quelato de hierro, 63, 71, 73, 85, 94, 100
 Quelato de zinc 71, 73
 Quelato manganésico 71, 73
 Quemaduras de las puntas 494
 Quemaduras del sol 475
 Quest 493
 Red Salad Bowl 495
 Refrigerador de la solución 137, 138
 Reko 192
 Relación N:K 88, 89
 Relación N:P:K 72, 89
 Retención del agua 316
 Retícula 56
 Rex 493
 Riego 128-129, 231-254, 265-279, 325-
 331, 365, 367, 371, 384, 392, 420-423,
 430-433, 462
 Riego por goteo 172, 186, 247-254, 265-
 269, 275, 280, 291, 292, 298, 301-304,
 392, 397, 399, 402-403
 Ringgold Nurseries 33
 Robbins 32
 Rocket 493

- Rosquillas 488, 489
 Rueda hidráulica 145
 Ryall, D. 340, 354, 356

 Sachs 32
 Sacos 287-298, 307
 Safer's Soap (M-pede) 218, 221
 Sal 68, 125
 exceso 114
 salinidad 128
 Sales de Epson 70, 76
 Sales extrañas 269
 Sales fertilizantes 67, 69, 116
 Sales inorgánicas 47, 49
 Salina 138
 Salmonella 153
 Salpeter 69, 76
 Salpeter de Chile 76
 Salvia 274-279
 Samantha 493
 Sandra 493
 Sangster, D.M. 362
 Schippers, P.A. 161, 173, 182, 185
 Schwarz, M. 127, 128, 230
Sciara sp 490
Sclerotinia sclerotiorum 136
 Seca 56
 Selenio 43
 Sellador L-bar 332-335
 Sensor de rueda de paletas 91
Septoria 477
 Sequestrene 71, 73
 Serrín 32, 285
 Sheldrake, R. 362
 Shive 32
 Siembra 443-456
 Silicato potásico 386
 Silicio 43
 Síntomas 52-65
 Sintomatología 55-65
 Sistema abierto 90
 Sistema cerrado 112, 113, 231, 249-253
 Sistema de absorción por mecha 280-281
 Sistema de distribución (ver riego por goteo)
 Sistema de flujo y reflujo 195, 202-205, 430, 443

 Sistema de nebulización 251, 252
 Sistema de poda en sombrilla 468, 469, 470
 Sistema de realimentación 239
 Sistema en cascada 146, 173, 174, 176
 Sistema NFT en doble línea 177, 192-194
 Sistema reciclado 231
 Smith, D.L. 125, 330
 Snyder, R. 316
 Sodio 128, 269
 Sólidos totales disueltos (TDS) 116-118
 Solubilidad 67, 69, 94-99, 102, 108-110
 Solución de nutrientes 48, 61-65, 67-120, 116
 cambios 113-116
 preparación 110-113
 salinidad 128
 temperatura 130, 233
 Solución stock 89-112, 213
 Soluciones de nutrientes stock 89-112
 Soluto 48
 Soporte de las plantas 134, 340, 341
 Spensley, K 120
 Steiner, A.A. 115, 127
Steinernema carpocapsae 491
 Style 493
 Styrofoam 139, 142, 169, 350, 355
 Subida 423, 494
 Suelo 36-39, 45-48
 coloides 47, 48
 componentes orgánicos e inorgánicos 45, 48
 funciones 47-48
 materia orgánica 45, 48
 organismos 45, 48
 reacción 45
 solución 45-48
 Sulfato 47, 48
 Sulfato amónico 69, 73, 74
 Sulfato cálcico 63, 67, 70, 73-76
 Sulfato de cobre 63, 70, 73, 75, 100
 Sulfato de potasa 76
 Sulfato de zinc 62, 71, 73, 76, 101
 Sulfato ferroso 71, 73, 76, 85
 Sulfato magnésico 62, 70, 72, 73-76, 95, 98, 99
 Sulfato manganesico 65, 70, 73, 100

- Sulfato potásico 61, 69, 73, 74-76, 95, 98-99
- Sumidero 239
- Sun Gro Greenhouses 33
- Sun Valley Hydroponics 257
- Suntastic, Inc. 316
- Superfosfato 76
- Superfosfato triple 70, 76
- Superior Farming Company 257, 258
- Sweet Charlie 402
- Symplasto 48
- Tamaño de las partículas 231
- Tambor rotatorio 154, 156
- Tango 493
- Técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT) 120, 129, 133, 146, 161-226
- Técnica de flujo de nutrientes 161, 173, 182
- Tejido capilar 140, 169, 214-215, 220-225, 377, 379
- Tensiómetro 130
- Tetraborato sódico 71, 73
- Tetranychus urticae* 482
- Theophrasto 31
- Thuricida 489
- Tolerancia a las sales 127
- Tollens 32
- Tomahook 463
- Tomate entutorado (TOV) 294, 298, 300, 316, 493
- Tomates
- cultivo en lana de roca 338-350
 - densidad 339, 344
 - desórdenes fisiológicos 474, 475
 - desórdenes nutricionales 61-65
 - eliminación de chupones y entutorado 339-341, 346, 465-467
 - enfermedades 476-477
 - enriquecimiento de dióxido de carbono 449
 - entutorado 339, 340, 462-464
 - final del cultivo 498
 - iluminación 457
 - injerto 338
 - insectos 479-492
 - marco de plantación 339, 460
 - nutrición y riego 462
 - planes de plantación 345, 495-498
 - polinización 472-474
 - riego 448
 - siembra 447-449
 - temperatura de cultivo 448, 449
 - temperatura de germinación 338, 448
 - temperaturas 448, 449, 456
 - trasplante 338, 339, 459
 - variedades 493, 494
- Tomillo 370
- Torres vegetales 395-398
- Toska 493
- Tottingham 32
- Tradiro 294, 493
- Translocación 54
- Transpiración 52, 231, 232
- Transporte activo 50
- Transporte pasivo 50
- Trasplante 459
- Tratamiento al calor 356
- Trelease 32
- Trend 493
- Trialeurodes vaporariorum* 479
- Trichoderma 307
- Trichogramma evanescens* 490
- Trips 488, 489
- Tropea, M. 401
- Tropic, 493
- Trust 292, 339, 344, 494
- Tsuga (*Tsuga heterophylla*) 285
- T-tape 272, 275, 276, 362, 365
- Tubería de material poroso «Twin-Wall» 248
- Tubería de material poroso «Via Flow» 248
- Tubería de PVC de llenado y drenaje 234-237
- Tubería NFT 190, 191
- Tubería receptora 166, 167, 170, 172, 199, 220, 249
- Tubería Via-Flow de Dupont 248
- Tuberías de drenaje 234-239, 249, 254-255, 287, 392, 416-419
- Tuberías verticales 173
- Tubo Chapin Twin-Wall 248, 265

- Tubo de material poroso 248, 300
 Turba 32, 359
 Turba de Sphagnum 359
 Tuya roja (*Thuja plicata*) 285
 Ulises Durany, Carol 88, 89
 Ultravioleta 356
 Unidades caseras 180-183, 280-281, 305, 404-406
 Unidades forrajeras 147-153
 Uniflora D 493
 Universidad de Arizona 135, 146
 Universidad de Purdue, 146
 Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) 396, 398, 407
 Vaadia, V. 230
 Valmaine Cos 494
 Val Valeta 493
 Válvula de caudal 266, 267
 Válvula de compuerta 163, 242, 302
 Válvula de desagüe 238-241
 Válvula de flotación 166, 239
 Válvula de tres vías 239
 Válvulas solenoides 33, 211, 301
 Vanadio 43
 Van Helmont, Jan 31
 Vantage 493
 Vapam 132, 254, 270
 Variedades de hortalizas 492-493
 Vaso 52
 Vectobac 491
 Vegas 493
 Vendex 483
 Vendor 493
 Venezuela 411, 414, 430
 Ventura 338, 493
 Vermiculita 32, 317
 Verticillium 37, 131, 136, 255, 281, 306, 476, 493
 Verticillium lecanii 481, 486, 492
 Verti Gro, Inc. 395-397, 405
 Victor, R. S. 127, 230
 Vineland Research Station 362
 Violetta 493
 Virus del mosaico del pepino (CMV II) 270, 271, 477
 Virus del mosaico del tabaco (TMV) 270, 271, 477, 478, 493
 Visita a los cultivos del mañana 146
 Vitriolo blanco 76
 Vitriolo de hierro 76
 Vitriolo de zinc 76
 Vitriolo verde 71, 76
 Waldmann's Dark Creek 138, 493
 Walt Disney World 146
 We Gro-Rite 398
 Whittaker Corporation 195-197
 Wilcox, G. 449
 Wilcox Greenhouses 349
 Winsor, G.W. 120
 Withrow, A.P. 230
 Wittwer, S.H. 459
 Wonder 493
 Woodward, John 31
 Xilema 52
 Xilema primario 50
 Yeso 70, 76
 Zanja 161-163, 185
 Zinc 32, 42, 44



Los costos cada vez más elevados de la agricultura tradicional, y la necesidad de asegurar al máximo la producción hortícola y ornamental, disminuyendo los riesgos de plagas y los problemas derivados de la nutrición inadecuada, han acrecentado el interés de especialistas y agricultores por las nuevas técnicas de cultivo intensivo, la mayor parte de ellas basadas en la hidroponía.

Es una respuesta adecuada a esta preocupación, la que se pretende dar en la obra de H. M. Resh (Ph. D.), no sólo con un estudio detallado desde sus fundamentos, sino con una amplia explicación de los problemas que se pueden presentar y la forma de resolverlos, basada en la experiencia tomada durante sus viajes de estudio, principalmente en las zonas cálidas de Sudamérica y de Arabia.

Queremos destacar aquí nuestro agradecimiento al autor por su esfuerzo en poner al día las ediciones españolas, incluyendo las últimas técnicas aparecidas en Holanda, Japón y otros países avanzados en esta tecnología.

En esta 5.^a edición –versión española de la 6.^a americana– se incluye un nuevo capítulo sobre cultivos hidropónicos tropicales y aplicaciones especiales.