

CULTIVOS HIDROPONICOS



5ª EDICION

MP

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

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 española
revisada y ampliada
por
Carlos de JUAN**

Reimpresión 2006



Ediciones Mundi-Prensa

Madrid • Barcelona • México

2006

Grupo Mundi-Prensa

- **Mundi-Prensa Libros, s. a.**

Castelló, 37 - 28001 Madrid
Tel. +34 914 36 37 00 - Fax +34 915 75 39 98
E-mail: libreria@mundiprensa.es
• Internet: www.mundiprensa.com

- **Mundi-Prensa Barcelona**

- **Editorial Aedos, s. a.**

Aptdo. de Correos 33388 - 08080 Barcelona
Tel. +34 629 26 23 28 - Fax +34 933 063 499
E-mail: barcelona@mundiprensa.es

- **Mundi-Prensa México, s. a. de C. V.**

Río Pánuco, 141 - Col. Cuauhtémoc
06500 México, D. F.
Tel. 00 525 55 533 56 58 - Fax 00 525 55 514 67 99
E-mail: mundiprensa@mundiprensa.com.mx

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

HYDROPONIC FOOD PRODUCTION **Sixth Edition**

por Woodbridge Press Publishing Company Post Office Box 209, Santa Bárbara, California 93102.

© 2001 by Howard M. Resh
Edición inglesa
© 2001, Ediciones Mundi-Prensa
Edición española
Depósito Legal: M-39091-2001
ISBN: 84-8476-005-7

1.^a edición: 1982
2.^a edición: 1987
3.^a edición: 1992
4.^a edición: 1997
5.^a edición: 2001
Reimpresión: 2006

No se permite la reproducción total o parcial de este libro ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

Artes Gráficas Cuesta, S. A. - Seseña, 13 - 28024 Madrid

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

e quiera no sólo utilizar los
té o incluso tener una base
con climas templados en
cultura 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,

e quiera no sólo utilizar los
é o incluso tener una base
con climas templados en
ultura 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,

CULTIVOS HIDROPONICOS

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

C.; Harry Otsuki, Otsuki Hydroponics Inc., Lakeview, CA; Ken Gerhart, Gerhart Nurseries Oxnard, Inc.,

, que han tenido la paciencia de escribir los capítulos de este libro.

la aprobación de cualquier edición de este libro.

EL AUTOR

Indice

Prólogo a la 5.ª edición española.....	7
Reconocimientos.....	9
Indice de tablas.....	17
Indice 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

CULTIVOS HIDROPONICOS

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

..... 67
 67
 a de nutrientes..... 68
 72
 74
 74
 75
 77
 ductos químicos..... 82
 85
 89
 89
 94
 110
 on normal 110
 112
 olución de nutrientes. 113
 114
 114
 115
 de la conductividad
 116
 118
 120
 123
 123
 124
 128
 e cultivo 129
 130
 132
 133
 133
 135
 135
 145
 147
 153
 153
 157
 159
 (NFT)..... 161
 161
 161
 164
 166

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

..... 304
 306
 306
 314
 315
 Norte..... 315
 316
 317
 320
 323
 325
 331
 338
 350
 354
 357
 358
 359
 359
 359
 360
 360
 360
 361
 363
 364
 364
 364
 371
 377
 383
 383
 388
 392
 399
 404
 407
 409
 409
 410
 ciales..... 411
 411
 414
 416
 ujo 430
 oz y fibra de coco.... 435

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

hidropónicos y en	493
de otoño de tomates...	496
una y dos de lechu-	496
una y otra de tomates	497
	497
	498

Indice 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	Brotos 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

144
145
146
146
147
147
148
149
149
151
151
152
153
154
155
155
156
157
158
159
162
163
164
165
167
168
168
169
170
171
171
172
172
173
173
174
176
176
176
177
178
179
179
180
181
181
182

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 inver-
nadero..... 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 tampón 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

cada uno de los cinco	211	Figura 8.2	Vista aérea de un complejo de 2 acres de invernaderos con cultivo en arena en la isla de Kharg, Irán	259
ndaria alimenta a cada	212	Figura 8.3	Vista aérea de un complejo de 5 acres de invernaderos en Abu-Dhabi	260
tan a las bancadas	213	Figura 8.4	Sección de una bancada de cultivo en arena	261
tra las malas hierbas...	214	Figura 8.5	Sección de una bancada utilizando soportes de alambre	262
s malas hierbas durante	215	Figura 8.6	Sección de un suelo de invernadero diseñado para cultivo en arena	263
on grava de garbanzo ..	216	Figura 8.7	Fondo de polietileno y tuberías de drenaje	264
.....	216	Figura 8.8	Relleno con 12 pulgadas de arena.....	264
.....	217	Figura 8.9	Instalación de las tuberías de rezume en un sistema automático de riego ..	265
trasplante	218	Figura 8.10	Sistema típico de riego por goteo.....	266
erros hidropónicos.....	218	Figura 8.11	Colocación de los tubos de rezume junto a los pepinos.....	268
.....	219	Figura 8.12	Distribuidor automático de fertilizantes por inyección.....	269
apilar.....	220	Figura 8.13	Inyección de bromuro de metilo	271
.....	221	Figura 8.14	Dibujo esquemático de un sistema de invernaderos inflables.....	272
a	222	Figura 8.15	Los invernaderos inflables son especialmente apropiados para cultivos bajos ..	273
T de tejido capilar.....	222	Figura 8.16	Suelo de invernadero cubierto con una lámina contra las mala hierbas	275
.....	223	Figura 8.17	Sistema de riego por goteo para un cultivo en arena de hierbas	276
ce, listas para su	224	Figura 8.18	Unión de una línea de goteo "T-tape" al adaptador de polietileno	276
apilar del sistema NFT..	224	Figura 8.19	Trasplante de hierbas a las bancadas de cultivo en arena	277
ubirrigación	225	Figura 8.20	Menta lista para la recolección, 6 semanas después del trasplante de las plántulas	277
arena de río.....	235	Figura 8.21	Albahaca en cultivo en arena, recolectada cada 3 semanas	278
tuberías de drenaje de	236	Figura 8.22	Cebollinos 7 días después de la recolección	278
.....	236	Figura 8.23	Cebollinos 33 días después de la corta, listos para otra cosecha.....	279
rientes.....	238	Figura 8.24	Cebollinos recién cosechados	279
s	238	Figura 8.25	Sistema sencillo de cultivo en arena con goteo a escala reducida	280
cada.....	240	Figura 8.26	Cultivo en arena con maceta independiente y sistema de absorción por mecha .	280
.....	241	Figura 8.27	Cultivo en arena con sistema de absorción por mecha	282
no dividido	241	Figura 9.1	Secciones de bancadas de cultivo en serrín	287
o de un pleno dividido ..	242	Figura 9.2	Cultivo de tomate en bancadas con serrín.....	288
ava	243	Figura 9.3	Sección de una zanja de drenaje con una tubería perforada de 4 pulgadas ..	289
n un sistema de cultivo	244	Figura 9.4	Sistema de cultivo de tomates en bolsas con serrín	289
irrigación.....	245	Figura 9.5	Pepinos tipo europeo cultivados en un sistema de bolsas con serrín	289
irrigación.....	245	Figura 9.6	Planchas de serrín.....	290
cha	246	Figura 9.7	Cultivo en serrín con tuberías de calefacción de agua caliente.....	291
teo en una bancada de	247	Figura 9.8	Los carros para la recogida o para el trabajo corren sobre las tuberías de calefacción	291
.....	247	Figura 9.9	Cultivo en serrín con línea de riego por goteo y tuberías de calefacción ...	292
da.....	248	Figura 9.10	Unidad de recuperación de CO ₂ acoplada a la caldera central.....	293
.....	250	Figura 9.11	Los tomates se recogen en recipientes plásticos de carga	293
.....	250	Figura 9.12	Plataforma empleada en el transporte de recipientes de carga «paletizados» .	293
líneas de nebulización	251	Figura 9.13	Tomates de invernadero embalados por B.C Hothouse Foods, Inc.	294
.....	253	Figura 9.14	Invernadero de 86 acres de Houwelling Nurseries Oxnard, Inc.	295
os con cultivo en arena..	258	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 espaciamento 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

o tierra.....	302	Figura 10.23	Comprobación de la EC y del pH de la solución con un conductivímetro y un papel para medir el pH.....	332
.....	303	Figura 10.24	Catorce días después de la siembra, los pepinos han sido transplantados a las planchas.....	333
.....	304	Figura 10.25	Pepinos de 28 días después de la siembra.....	333
.....	305	Figura 10.26	Pepinos de 31 días después de la siembra.....	334
.....	305	Figura 10.27	Pequeño fruto sobre el tallo, muchos de los cuales son extraídos.....	334
.....	307	Figura 10.28	Comienzo de la recogida, a los 40 días de la siembra.....	334
na de roca.....	308	Figura 10.29	El fruto es recogido en grandes cajones de plástico.....	334
ita éstas y las enfer.....	308	Figura 10.30	Los pepinos pueden ser envasados en plástico con un sellador L-bar.....	335
.....	308	Figura 10.31	Pepinos envasados a razón de 12 por caja.....	335
pepino.....	309	Figura 10.32	Aplicación de un fungicida en la base del tallo.....	336
e pepino a los sacos,.....	309	Figura 10.33	Un nebulizador puede aplicar los insecticidas en cosechas de gran densidad..	337
.....	309	Figura 10.34	Es importante usar una ropa protectora cuando se aplican los insecticidas...	337
epinos.....	310	Figura 10.35	Una cinta de plástico se fija a la parte superior del bloque de lana de roca...	339
idas posteriormente..	310	Figura 10.36	Una planta de tomate con dos brotes.....	340
que sirve de soporte..	311	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
evidente entonces la.....	311	Figura 10.38	Aros metálicos colocados en las planchas de lana de roca.....	341
.....	311	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
hojas muertas de la.....	311	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
.....	312	Figura 10.41	Recogida de tomates y transporte a lo largo de la fila.....	343
primer plano.....	312	Figura 10.42	Houwelling Nurseries, un invernadero de 30 acres, utiliza serrín como combustible para sus calderas de agua caliente para calefacción.....	343
.....	313	Figura 10.43	La alimentación de las plantas en un gran invernadero es controlada por ordenador.	344
a de plástico.....	313	Figura 10.44	Planchas con plantas de tomate colocadas en un canal de aluminio.....	345
bos de lana de roca..	317	Figura 10.45	Máquina que forma un canal continuo de aluminio.....	346
.....	318	Figura 10.46	Una tubería central recoge la solución de los canales.....	346
.....	318	Figura 10.47	Entutorado en cordón en V de plantas de tomate.....	346
roca.....	319	Figura 10.48	Bonita Nurseries, Wilcox, Arizona.....	347
nsplanta a un bloque.....	319	Figura 10.49	Cultivo intercalado de tomates.....	347
de lana de roca a blo.....	320	Figura 10.50	SopORTE del cultivo intercalado de tomates.....	348
.....	320	Figura 10.51	Máquina para encalar y lavar los techos de los invernaderos.....	349
roca.....	321	Figura 10.52	Pasillo central del invernadero.....	350
e alambre que permi.....	321	Figura 10.53	Los respiraderos en cresta proporcionan una ventilación natural.....	351
.....	321	Figura 10.54	Los pimientos se siembran en cubos de lana de roca.....	352
picado de las raíces.....	322	Figura 10.55	Pimientos transplantados a bloques de lana de roca.....	352
.....	322	Figura 10.56	Los cultivadores de pimiento de Columbia Británica empiezan la recolección a primeros de marzo.....	353
roca.....	323	Figura 10.57	Pimientos en lana de roca en la primera recogida.....	353
.....	324	Figura 10.58	Los pimientos son guiados como dos tallos con un método de cordón en V..	353
blanco.....	324	Figura 10.59	Los pimientos son soportados por un cordel de plástico atado a cuatro alambres colocados a unos 10 pies de altura.....	353
.....	326	Figura 10.60	Styrofoam bajo el canal y las planchas de lana de roca.....	355
obre el bloque.....	326	Figura 10.61	Sistema propuesto de recirculación de un cultivo en lana de roca.....	355
e las planchas.....	327	Figura 10.62	La formación de mechas de solución entre las planchas de lana de roca es evitada.....	356
eros para las plantas.....	328	Figura 11.1	Bancadas construidas con bloques de cemento y paletas.....	365
de roca.....	328	Figura 11.2	Las bancadas se forran con tela metálica para gallinero, para sostener la cubierta de polietileno.....	366
herramienta especial,.....	328			
esente en la plancha..	329			
ceso de solución en.....	330			
solución en la.....	331			

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

la.....	366	Figura 11.44	Cultivo en columna de fresones en las islas Canarias.....	394
bancada finalizada..	367	Figura 11.45	Cultivo en columnas en Costa Rica utilizando tuberías de asbesto-cemento..	394
érea de 2 pulgadas y		Figura 11.46	Esquema de un sistema de cultivo en columna italiano.....	394
a, con ocho líneas de		Figura 11.47	Torre vegetal Verti-Gro	396
.....	376	Figura 11.48	Cubo colector	396
van a lo largo de toda		Figura 11.49	Llenado de macetas de la torre vegetal	397
.....	368	Figura 11.50	Riego por goteo en la parte superior de la torre vegetal	397
n un medio de cultivo		Figura 11.51	Serie de torres vegetales.....	397
.....	369	Figura 11.52	Cultivo de fresones en torres vegetales.....	397
bancada de la izquierda,		Figura 11.53	Torres vegetales de fresones en Perú	398
ha.....	369	Figura 11.54	Cultivo de fresones en sacos	398
era cosecha.....	370	Figura 11.55	Cultivo de hierbas en un sistema vertical de niveles en Venezuela.....	399
».....	370	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
.....	371	Figura 11.57	Esquema de un sistema en sacos suspendidos	400
las bancadas	372	Figura 11.58	Filas de "sacos" suspendidos por la estructura del invernadero	401
.....	372	Figura 11.59	Fresones cultivados en sacos verticales	402
.....	373	Figura 11.60	Soporte de fresones en sacos en Colombia	402
.....	374	Figura 11.61	Sacos atados en siete secciones.....	403
.....	374	Figura 11.62	Drenaje en la base del saco	403
bancada de cultivo..	375	Figura 11.63	Sistema de riego por goteo en el cultivo en sacos.....	403
.....	376	Figura 11.64	Altos rendimientos de fresones en el cultivo en sacos en Colombia.....	403
ción 38 días después		Figura 11.65	Pequeñas "unidades caseras" con un medio de perlita-vermiculita.....	404
.....	376	Figura 11.66	Bandeja hidropónica de vivero utilizada para el cultivo de plantas de bancada ..	405
istema NFT.....	378	Figura 11.67	Sistema hobby Verti-Gro de 2 pilas.....	405
bilar	378	Figura 11.68	Sistema hobby Verti-Gro de 3 pilas.....	406
después de la primera		Figura 11.69	Gotero en la parte superior de una torre.....	407
.....	379	Figura 11.70	Cultivo hidropónico popular de lechugas en balsas.....	408
ías después de la pri-		Figura 11.71	Cultivo hidropónico popular utilizando un cultivo en columna	408
.....	379	Figura 11.72	Cultivo hidropónico popular utilizando contenedores para cultivar plantas forrajeras	408
na NFT de espuma de		Figura 12.1	Típicos terrenos en pendiente de las regiones montañosas de los trópicos..	413
la anterior corta, lista	380	Figura 12.2	Sistemas de filtración del agua de una fuente de montaña	414
.....	381	Figura 12.3	Terreno en pendiente de agricultura tradicional con terrazas de cultivos hidropónicos.....	415
na NFT de espuma ..	381	Figura 12.4	Vista de terrazas hidropónicas en la explotación de Hidroponías Venezolanas ..	417
.....	382	Figura 12.5	Estructuras de acero de bancadas hidropónicas	417
en V.....	383	Figura 12.6	Fondo de ladrillo de arcilla de las bancadas hidropónicas.....	418
.....	384	Figura 12.7	Bancadas niveladas con capa de hormigón.....	418
.....	385	Figura 12.8	Bancadas selladas con pintura bituminosa.....	418
orteza	386	Figura 12.9	Tuberías de drenaje en el fondo de las bancadas	419
.....	387	Figura 12.10	Distribución de las tuberías desde la cisterna a las bancadas elevadas.....	419
cultivan en las bolsas		Figura 12.11	La solución de nutrientes entra en un extremo de las bancadas.....	420
.....	387	Figura 12.12	Tapones manuales de drenaje para elevar el nivel de la solución en la bancada ..	421
e lava	388	Figura 12.13	Sistema de distribución desde la cisterna con múltiples secciones que suministra la solución a los sectores de las bancadas	421
ita	389	Figura 12.14	Roca gruesa con grava de garbanzo y finalmente una capa superior de arena gruesa	422
.....	389	Figura 12.15	Abultamiento en las raíces de lechuga causado por una infección de nematodos...	425
.....	390	Figura 12.16	Esterilizador al vapor portátil.....	425
.....	391	Figura 12.17	Esterilización al vapor de bancadas de un cultivo en arena	425
.....	391	Figura 12.18	Lechuga de alta calidad producida en un cultivo en arena	426
.....	393			
.....	393			

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

..... 427
 bos «Lelli» 427
 durante 5 días para 428
 n en canales de flujo 428
 429
 plante 429
 cultivo 429
 431
 431
 432
 432
 r un nuevo cultivo... 432
 433
 434
 435
 436
 436
 437
 tomates 437
 cáscaras de arroz 438
 fertizo en el Caribe... 439
 439
 anes» 440
 hArt Resort & Spa... 441
 ort & Spa 442
 gación de plántulas ... 445
 ras hojas verdaderas .. 448
 para el trasplante..... 450
 451
 los hojas 452
 echuga 454
 455
 464
 464
 almente las plantas ... 465
 mate son eliminados 465
 estado..... 466
 ajada de los tallos... 467
 plástico que sirven 468
 ediatamente después 468
 469
 469
 470
 antas de pimiento en 471
 nación de los brotes 471

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 azu-
 carada 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 *hidropónics*, 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, Africa 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 ministrasen 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

spiración en las plantas, prote-
cturas podrían también ser usa-
dos en los Estados Unidos
en invernaderos. Canadá tam-
bién cultiva vegetales en invernaderos.

En Japón, en los siguientes paí-
ses (120.000 hectáreas); Holanda,
(1.700 hectáreas); Canadá, 1.500
hectáreas).

En el Extremo Oriente, los comple-
jos están siendo desarrollados
y los complejos están localizados
cerca de la playa.

En cultivos sin tierra, en Moscú
y Erevan, en la región del Cáucaso,
donde esto se utiliza son: Aus-
tralia central y del este, Kuwait,

usada bajo una base comercial
en este relativamente corto pe-
ríodo, desde los cultivos al aire y
reactores atómicos para obtener
energía espacial, pero al mismo tiempo
en el mundo para proveer una pro-
mueva restricción son las fuentes
de energía que no existe, los cultivos
de desalinización, de esta forma
de producción de alimentos en zonas que
son como desiertos. Los complejos
de producción costeras en combinación
con el mar, usando la arena de la playa

de agua fresca no solamente en los
países sino también en aquellos que,
teniendo una gran industria es el turismo.
Además, con frecuencia, las responsa-
bles, forzando la agricultura local
para ser usados para que las zonas no
dejen a la población indígena como a
las Indias orientales y Hawaii, las
plantas para la producción vege-
tal sirve como ejemplo el que

los tomates crecidos de esta forma pueden cosechar 150 t/acre anualmente, una planta-
ción 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 millo-
nes 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 pro-
duzcan 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 Esta-
dos 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 proble-
mas 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 produc-
ción 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, Califor-
nia, es capaz de mantener 20 acres de invernadero. En el futuro, los grandes invernade-
ros 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 siste-
mas hidropónicos para el cultivo de vegetales en las estaciones espaciales que se cons-
truyan en el futuro. Se están diseñando y probando sistemas de recirculación en circuito
cerrado, para trabajar en ambientes de microgravedad (gravedad muy baja). Tales siste-
mas 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.