

# 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.<sup>a</sup> 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](mailto:libreria@mundiprensa.es)  
• Internet: [www.mundiprensa.com](http://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](mailto: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](mailto: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.<sup>a</sup> edición: 1982

2.<sup>a</sup> edición: 1987

3.<sup>a</sup> edición: 1992

4.<sup>a</sup> edición: 1997

5.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> 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  
ué 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  
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,

## 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., Lake  
w, CA; Ken Gerhart, Ger-  
ng Nurseries Oxnard, Inc.,

, que han tenido la pacien-  
os distantes durante largos

la aprobación de cualquier  
encionados en este libro.

EL AUTOR

## Indice

Prólogo a la 5. <sup>a</sup> edición española.....	7
Reconocimientos .....	9
Indice de tablas.....	17
Indice de figuras .....	19
Capítulo 1. <b>Introducción</b> .....	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. <b>Nutrición de las plantas</b> .....	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 nu- trientes) 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
	11

Capítulo 3.	<b>La solución de nutrientes</b> .....	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.	<b>El medio</b> .....	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.	<b>Cultivo en agua</b> .....	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.	<b>Técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT)</b> .....	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.	<b>Cultivo en grava.....</b>	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.	<b>Cultivo en arena.....</b>	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.	<b>Cultivo en serrín.....</b>	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
<b>Capítulo 10. Cultivo en lana de roca.....</b>		<b>315</b>
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
<b>Capítulo 11. Otros cultivos sin suelo.....</b>		<b>359</b>
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
<b>Capítulo 12. Cultivos hidropónicos tropicales y aplicaciones especiales.....</b>		<b>411</b>
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
.....	315
Norte.....	315
.....	316
.....	317
.....	320
.....	323
.....	325
.....	331
.....	338
.....	350
.....	354
.....	357
.....	358
.....	359
.....	359
.....	359
.....	359
.....	360
.....	360
.....	360
.....	361
.....	363
.....	364
.....	364
.....	364
.....	371
.....	377
.....	383
.....	383
.....	388
.....	392
.....	399
.....	404
.....	407
.....	409
.....	409
.....	410
.....	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

## Índice 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
vera y dos de lechu-	496
a y otra de tomates	497
	497
	498

## 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	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
cos .....	145
diculares de lechugas ..	146
ndo en láminas de sty- .....	146
.....	147
n en un bastidor aero- .....	147
.....	148
ro.....	149
una nave parcialmente .....	151
.....	151
.....	152
ores rotatorios .....	153
.....	154
.....	155
s de 4 días .....	155
.....	156
.....	157
.....	158
.....	159
o en un sistema NFT ..	162
ortan a las plantas .....	163
ión de nutrientes .....	164
.....	165
.....	167
.....	168
ate .....	168
s NFT .....	169
los canales NFT .....	170
erías .....	171
.....	171
e roca .....	172
o .....	172
dores de nutrientes.....	173
lector de nutrientes...	173
.....	174
.....	176
.....	176
.....	176
e raíces en la base de .....	177
en A .....	178
e goteo en los canales .....	179
nal NFT.....	180
las estructuras en A ....	181
epósito de nutrientes....	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
ndaria alimenta a cada	212
tan a las bancadas .....	213
214	214
tra las malas hierbas...	215
s malas hierbas durante	215
on grava de garbanzo ..	216
216	216
217	217
trasplante .....	218
218	218
erros hidropónicos.....	219
219	219
apilar .....	220
221	221
a .....	222
222	222
T de tejido capilar .....	223
224	224
ce, listas para su	224
224	224
apilar del sistema NFT..	225
ubirrigación .....	235
arena de río .....	236
tuberías de drenaje de	236
236	236
rientes.....	238
238	238
cada.....	240
241	241
no dividido .....	241
o de un pleno dividido ..	242
ava .....	243
n un sistema de cultivo	244
244	244
irrigación.....	245
irrigación.....	245
cha .....	246
teo en una bancada de	247
247	247
da.....	248
250	250
250	250
íneas de nebulización	251
251	251
253	253
253	253
os con cultivo en arena..	258

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 pepinos.....	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 <sub>2</sub> 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



o tierra.....	302
.....	303
.....	304
.....	305
.....	305
.....	307
na de roca .....	308
ita éstas y las enfer-	
.....	308
pepino.....	309
e pepino a los sacos,	
.....	309
epinos .....	310
idas posteriormente ..	310
que sirve de soporte ..	311
evidente entonces la	
.....	311
hojas muertas de la	
.....	311
primer plano.....	312
.....	313
a de plástico.....	313
bos de lana de roca ..	317
.....	318
.....	318
roca.....	319
nsplanta a un bloque	
.....	319
de lana de roca a blo-	
.....	320
roca .....	321
e alambre que permi-	
.....	321
epicado de las raíces	
.....	322
roca .....	323
.....	324
blanco .....	324
.....	326
.....	326
obre el bloque .....	326
e las planchas .....	327
eros para las plantas	
.....	328
de roca.....	328
herramienta especial,	
.....	328
sente en la plancha ..	329
ceso de solución en	
.....	330
solución en la	
.....	331

## INDICE DE FIGURAS

Figura 10.23	Comprobación de la EC y del pH de la solución con un conductivímetro 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

la.....	366
bancada finalizada..	367
érea de 2 pulgadas y	
a, con ocho líneas de	
.....	376
van a lo largo de toda	
.....	368
n un medio de cultivo	
.....	369
acada de la izquierda,	
ha.....	369
era cosecha.....	370
».....	370
.....	371
las bancadas .....	372
.....	372
.....	373
.....	374
.....	374
.....	375
bancada de cultivo..	375
.....	376
ción 38 días después	
.....	376
istema NFT.....	378
obilar .....	378
espués de la primera	
.....	379
ías después de la pri-	
.....	379
na NFT de espuma de	
.....	380
la anterior corta, lista	
.....	381
na NFT de espuma ..	381
.....	382
en V.....	383
.....	384
.....	385
orteza .....	386
.....	387
cultivan en las bolsas	
.....	387
e lava .....	388
ita .....	389
.....	389
.....	390
.....	390
.....	391
.....	391
.....	393
.....	393

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



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.....	431
.....	431
.....	432
.....	432
ar un nuevo cultivo ...	432
.....	433
.....	434
.....	435
.....	436
.....	436
.....	437
tomates .....	437
áscaras de arroz .....	438
ertizo en el Caribe....	439
.....	439
anes» .....	440
Art 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
te .....	455
.....	464
.....	464
almente las plantas ...	465
nate son eliminados .....	465
.....	466
estado.....	467
ajada de los tallos...	467
plástico que sirven .....	468
.....	468
mediatamente después .....	468
.....	469
o europeo .....	469
.....	470
pino.....	470
antas de pimiento en .....	471
.....	471
nación de los brotes .....	471
.....	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 tomatera .....	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-



a, suelo y aire. Este principio químico francés que en sus vegetal añadió una solución fusión de que el agua era hidrógeno, y que la materia n y oxígeno que provenían drógeno y otros elementos

aquella época que las plan- a solución acuosa que con- paso fue eliminar comple- contenía dichos minerales; chs (1860) y Knop (1861), día técnicas similares en los

mostraron que se podía con- las raíces en una solución zufre (S), potasio (K), cal- alidad como los macroele- mente grandes cantidades). química descubrieron los ativamente pequeñas canti- n el hierro (Fe), cloro (Cl), no (Mo).

a diversas fórmulas básicas Tottingham (1914), Shive Robbins (1946) fueron algu- en los trabajos de laborato-

n nutrientes no llegó hasta emonstró interés en su uso, ara evitar los problemas de vestigadores comenzaron a plazar los métodos de cul- lugar un desarrollo exten- ivo en nutrientes hacia una

Universidad de California, comercial, denominando a rivada de las griegas *hydro* ».

inidos como la ciencia del ando un medio inerte, tal a los cuales se añade una enciales necesitados por la muchos de estos métodos 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 Hawái. 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 aquella 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 Hawái, 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 vegetales en invernaderos.

ican que, en los siguientes paí-  
(120.000 hectáreas); Holanda,  
(700 hectáreas); Canadá, 1.500  
hectáreas).

Extremo Oriente, los comple-  
jos están siendo desarrollados  
los complejos están localizados  
na de la playa.

on cultivos sin tierra, en Moscú  
Erevan, en la región del Cáu-  
caso 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  
espacial, pero al mismo tiempo  
Mundo para proveer una pro-  
tección restringida son las fuentes  
aquella no existe, los cultivos  
de desalinización, de esta forma  
de alimentos en zonas que  
como desiertos. Los complejos  
iones costeras en combinación  
del, usando la arena de la playa

dura fresca no solamente en los  
también en aquellos que, teniendo  
nación; esto podría también ser  
principal industria es el turismo.  
o, con frecuencia, las responsa-  
bles, forzando la agricultura local  
r usados para que las zonas no  
a la población indígena como a  
Indias orientales y Hawai, las  
ranjas para la producción vege-  
tales 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.