

S è r i e D i v u l g a c i ó T è c n i c a

Cultivo sin Suelo de Hortalizas

Aspectos Prácticos y Experiencias

Carlos Baixauli Soria

José M. Aguilar Olivert



GENERALITAT VALENCIANA
CONSELLERIA D'AGRICULTURA, PEIXCA I ALIMENTACIÓ

S è r i e D i v u l g a c i ó T è c n i c a

Cultivo sin Suelo de Hortalizas

Aspectos Prácticos y Experiencias

Carlos Baixauli Soria
José M. Aguilar Olivert

Edita: GENERALITAT VALENCIANA
Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación

Autores: Carlos Baixauli Soria. *Director Técnico del Centro de Formación. Fundación Caja Rural Valencia.*
José M. Aguilar Olivert. *Fundación Caja Rural Valencia.*

Fotomecánica,
Diseño e Impresión: Textos i Imatges, S.A.
Tel.: 96 313 40 95 Valencia

I.S.B.N.: 84-482-3145-7
Depósito Legal: V-1876-2002

Cultivo sin suelo de Hortalizas

ÍNDICE DE MATERIAS

9	PRÓLOGO
11	1 • DEFINICIÓN, ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL
11	1•1 DEFINICIÓN
11	1•2 ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL
12	2 • JUSTIFICACIÓN DEL CULTIVO SIN SUELO
12	2•1 VENTAJAS DEL CULTIVO SIN SUELO
14	2•2 INCONVENIENTES
15	3 • PRINCIPALES SUSTRATOS EMPLEADOS, CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES
15	3•1 EVOLUCIÓN DE LOS SUSTRATOS Y SUPERFICIES CULTIVADAS
15	3•2 PRINCIPALES SUSTRATOS, CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES
16	3•2•1 PROPIEDADES FÍSICAS
17	3•2•1•1 POROSIDAD TOTAL
17	3•2•1•2 CAPACIDAD DE AIREACIÓN
17	3•2•1•3 AGUA FÁCILMENTE DISPONIBLE
17	3•2•1•4 AGUA DE RESERVA
18	3•2•1•5 AGUA TOTAL DISPONIBLE
18	3•2•1•6 AGUA DIFÍCILMENTE DISPONIBLE
18	3•2•1•7 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS
18	3•2•1•8 ESTRUCTURA ESTABLE
18	3•2•1•9 DENSIDAD APARENTE
8	3•2•2 PROPIEDADES QUÍMICAS
19	3•2•2•1 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO. C.I.C
19	3•2•2•2 DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES
19	3•2•2•3 SALINIDAD
19	3•2•2•4 PH
20	3•2•2•5 RELACIÓN C/N
20	3•2•3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS
20	3•2•3•1 VELOCIDAD DE DESCOMPOSICIÓN
20	3•2•3•2 ACTIVIDAD REGULADORA DEL CRECIMIENTO
20	3•2•3•3 ESTAR LIBRE DE SEMILLAS DE MALAS HIERBAS Y DE PATÓGENOS
20	3•3 PRINCIPALES SUSTRATOS UTILIZADOS EN CULTIVO SIN SUELO DE HORTALIZAS
21	3•3•1 LANA DE ROCA
23	3•3•2 PERLITA
24	3•3•3 ARENAS
24	3•3•4 TURBAS
24	3•3•5 FIBRA DE COCO
26	3•3•6 PICÓN
26	3•3•7 OTROS SUSTRATOS

27	4 • SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO Y PREPARACIÓN DEL INVERNADERO
27	4•1 PREPARACIÓN DEL INVERNADERO
29	4•2 INSTALACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL
30	4•3 SISTEMA DE CULTIVO EN LANA DE ROCA
31	4•4 SISTEMA DE CULTIVO EN PERLITA
33	4•5 SISTEMA DE CULTIVO EN ARENA
34	4•6 SISTEMA DE CULTIVO EN FIBRA DE COCO
35	4•7 SISTEMAS DE CULTIVO EN AGUA
36	4•8 OTROS SISTEMAS
37	5 • SOLUCIÓN NUTRITIVA
38	5•1 PH
39	5•2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
40	5•3 FORMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA
41	5•4 CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA
47	6 • INSTALACIÓN DE RIEGO
47	6•1 ALMACENAMIENTO DEL AGUA
48	6•2 CABEZAL DE RIEGO
49	6•3 SISTEMAS QUE PERMITEN PREPARAR LA SOLUCIÓN NUTRITIVA
49	6•3•1 SISTEMA Balsa
50	6•3•2 INYECCIÓN PROPORCIONAL
51	6•3•3 SISTEMAS DE INYECCIÓN AUTOMÁTICA CON CONTROL DEL pH Y DE CE
51	6•3•3•1 INYECCIÓN DIRECTA EN LA TUBERÍA DE RIEGO
52	6•3•3•2 DEPÓSITO DE MEZCLA
53	6•3•4 RED DE DISTRIBUCIÓN
53	6•3•5 EMISORES
54	6•3•5•1 CAPILARES O MICROTUBOS
54	6•3•5•2 EMISORES DE LABERINTO
54	6•3•5•3 EMISORES DE MEMBRANA AUTORREGULADOS Y ANTIDRENANTES
54	6•3•5•4 EMISORES AUTOCOMPENSANTES Y ANTIDRENANTES
55	7 • MANEJO DE LOS CULTIVOS SIN SUELO
56	7•1 LABORES PREPARATORIAS
58	7•2 PLANTACIÓN
59	7•3 CONTROL DEL RIEGO
65	7•4 MANEJO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA
67	7•5 PROGRAMACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS RIEGOS
67	7•5•1 RIEGOS A HORA FIJA
67	7•5•2 RIEGOS CÍCLICOS
67	7•5•3 RIEGOS POR RADIACIÓN
68	7•5•4 RIEGOS POR DEMANDA
69	7•5•5 RIEGOS POR MEDIDA DE DRENAJE
69	7•5•6 OTROS SISTEMAS

72	8 • FISIOPATÍAS MÁS IMPORTANTES EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO
72	8•1 "BLOSSOM END ROT"
73	8•2 VITRESCENCIA DEL MELÓN
74	8•3 CRAKING
74	8•4 CARENCIAS NUTRICIONALES
74	8•4•1 DEFICIENCIA DE FÓSFORO
75	8•4•2 CLOROSIS FÉRRICA
75	8•4•3 OTRAS CARENCIAS NUTRICIONALES
75	8•5 SÍNTOMAS DE EXCESO DE SALES
75	8•6 PIE DE ELEFANTE
76	8•7 FRUTOS PARTENOCÁRPCOS
76	8•8 QUEMADURA DEL CUELLO DE LA PLANTA
77	9 • PATOLOGÍAS ESPECÍFICAS MÁS FRECUENTES EN SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO
78	10 • DESINFECCIONES Y POSIBILIDAD DE EMPLEO DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO DISUELTO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA
80	11 • SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DEL DRENAJE
82	11•1 DISTINTOS SISTEMAS PARA TRATAR EL DRENAJE
82	11•1•1 SISTEMA NFT
82	11•1•2 SISTEMA NGS
83	11•2 OTRAS POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN DE LOS DRENAJES
84	11•3 RECIRCULACIÓN DEL DRENAJE
87	12 • ALGUNOS ASPECTOS DEL MANEJO DEL SEMILLERO
91	13 • ALGUNOS RESULTADOS DE EXPERIENCIAS EN SISTEMAS DE CULTIVOS SIN SUELO
91	13•1 EXPERIENCIAS DE MÁS INTERÉS EN CULTIVO DE TOMATE DESARROLLADAS EN EL CAMPO DE EXPERIENCIAS DE SURINVER. (PILAR DE LA HORADADA)
94	13•2 EXPERIENCIAS DE MÁS INTERÉS REALIZADAS EN TOMATE EN EL CENTRO DE FORMACIÓN DE FUNDACIÓN CAJA RURAL VALENCIA (PAIPORTA)
99	13•3 EXPERIENCIAS DE MÁS INTERÉS EN CULTIVO DE PIMIENTO DESARROLLADAS EN EL CAMPO DE EXPERIENCIAS DE SURINVER
100	13•4 CULTIVO DE BERENJENA EN EL CENTRO DE FORMACIÓN DE FUNDACIÓN CAJA RURAL VALENCIA
102	13•5 CULTIVO DE MELÓN, EXPERIENCIAS EN EL CENTRO DE FORMACIÓN DE FUNDACIÓN CAJA RURAL VALENCIA
107	BIBLIOGRAFÍA

Prólogo

Cuando uno de los autores de este libro me propuso que confeccionara el prólogo del mismo, le comentaba medio en broma y medio en serio que se lo pensara, porque este tipo de cosas, como otras formalidades que socialmente han estado muy arraigadas en el pasado, hoy en día no sólo no se estilan, sino que a veces son tildadas despectivamente de “antiguas” y él era demasiado joven y “moderno” para asumir esta críticas.

Dejando de lado la chanza, quiero en primer lugar señalar que para mi es un honor prologar un trabajo como el presente, que se presupone que se hace en el ámbito de mi especialidad, y a cargo de dos amigos, casi discípulos, y con los que tengo la oportunidad de relacionarme cotidianamente en el desarrollo del amplio programa de experimentación hortícola que impulsa desde hace años la Consellería de Agricultura de la Generalitat Valenciana, en colaboración con FECOAV, ANECOOP y la Fundación Caja Rural Valencia, organismo este último a cuya plantilla pertenecen los dos autores.

El trabajo aquí expuesto recoge una tecnología en plena expansión, novedosa y en continuo cambio, como es la del cultivo sobre suelo no convencional, que sobre todo estuvo al alcance de los agricultores a partir de mediados de la década de los 70, cuando el inglés Cooper patentó un sencillísimo y eficaz sistema de NFT, en el que según nuestra modesta opinión se basan, en mayor o menor medida, todos los prototipos actuales.

Como en tantos otros ámbitos - y no sólo el agrario -, en muchas ocasiones, ante un sistema eficaz, el empirismo rebasa su propia justificación científica y ese ha sido el caso de la tecnología del manejo nutricional de los cultivos con soluciones nutritivas, ya que los horticultores descubrieron que con la utilización de los sistemas “sin suelo”, se soslayaban algunos problemas de patógenos del suelo, las cosechas podían ser más abundantes y sobre todo mejoraban la calidad de las mismas, objetivo prioritario de la Agronomía actual.

En este libro se abordan preferentemente tres tipos de cuestiones:

- Se trata de establecer un fundamento científico del manejo agronómico de los cultivos “sin suelo”.
- Se hace una amplia descripción de los principales sistemas de manejo de los mismos.
- Se aporta la inestimable experiencia práctica de más de 10 años de trabajo directo en el tema.

No puede decirse que no exista bibliografía específica sobre esta tecnología, como puede comprobarse en la exhaustiva lista consultada y citada por los autores, pero en la mayor parte de los textos - salvo contadas excepciones, que las hay -, se hace un gran hincapié en la descripción de los sistemas y en los fundamentos básicos de su funcionamiento, pero a veces en la comunicación que proporcionan - que en algunos de ellos, por otra parte es magnífica -, se hecha en falta una mayor justificación en las bases de su puesta en marcha que permita una proyección utilizable fácilmente en otras condiciones, y sobre todo una información aplicada y aplicable en nuestra área mediterránea, que el lector puede encontrar en este libro, fruto de la gran experiencia de los dos autores responsables del mismo, insertados en un grupo de trabajo más amplio, radicado en la Comunidad Valenciana, como ya indicamos anteriormente, desde hace más de 10 años.

Si la agronomía, como algunos agrónomos actuales opinamos - y siempre han considerado los tratadistas agrarios serios, como Columela, Abú Zacarías, Du Hamel, Thull, Dumont, etc -, es una ciencia fundamental y prosaicamente local, los profesionales que estudien y consulten este libro podrán obtener del mismo una información valiosísima capaz de ser extrapolada a los sistemas hortícolas del área mediterránea española para el manejo de los cultivos con soluciones nutritivas.

Ambos autores son en la actualidad ingenieros técnicos agrícolas, que desarrollan sus funciones, como se indicó anteriormente, en la finca que la Fundación Caja Rural Valencia posee en Paiporta (Valencia), centradas principalmente en la experimentación, investigación y demostración hortícola. La actividad agronómica desarrollada en esta finca ha pasado a ser un referente en la Horticultura de otras áreas españolas o extranjeras, a través de viajes específicos.

Por todo ellos queremos recomendar la lectura y consulta de este texto, felicitar a los autores del mismo por una exposición tan magnífica y rigurosa, como la que han redactado, y por último agradecer a los responsables de la Consellería de Agricultura de la Generalitat Valenciana que han financiado y propiciado este libro, así como los experimentos tan interesantes para el sector hortícola valenciano, que han dado lugar al mismo.

Valencia, Octubre de 2000

J. Vicente Maroto Borrego

Catedrático de Horticultura y Cultivos Herbáceos. ETSIA.

Universidad Politécnica de Valencia.

1 • Definición, Antecedentes y Situación Actual

1•1 Definición

Por cultivo sin suelo, se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutriente.

La terminología es diversa, aunque originalmente la denominación es la de cultivos hidropónicos, que es como coloquialmente más se le conoce. Fue el Dr. W.F. Gericke el que acuñó la palabra "hidropónico" para designar este tipo de cultivo. Cultivo hidropónico procede de las letras griegas hydro (agua) y ponos (trabajo), literalmente trabajo en agua, este término es conocido mundialmente y únicamente varía la pronunciación (Steiner A., 1968). Se consideran sistemas de cultivo hidropónico, aquellos que se desarrollan en una solución nutritiva o en sustratos totalmente inertes y a los sistemas que cultivan en sustratos orgánicos, como cultivo sin suelo. Existen incluso autores que prefieren no incluir el cultivo en sacos de turba como sistemas de cultivo sin suelo. La terminología "Cultivo sin Suelo" es empleada literalmente en otros idiomas, *soiless culture*, *culture senza terreno*, *culture sans sol*.

Desde un punto de vista práctico, los cultivos hidropónicos pueden clasificarse en: cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico) (Abad y Noguera, 1997).

Por solución nutritiva se entiende, el agua con oxígeno (O₂) y todos los nutrientes esenciales para las plantas, disueltos en una forma inorgánica completamente dissociada, aunque en la solución pueden existir formas orgánicas disueltas, procedentes de los microelementos en forma de quelato.

1•2 Antecedentes y Situación Actual

Los cultivos hidropónicos surgen de los primeros trabajos de investigación, encaminados a conocer las necesidades nutritivas de las plantas. Se conocen algunos trabajos desarrollados bajo sistemas de cultivo sin suelo en 1666 por el científico Robert Boyle, que publicó el primer experimento de cultivo en agua. A mediados del siglo XVII Van Helmont pensó que el agua es el factor de crecimiento más importante de los vegetales. Hasta mediados del siglo XVIII, tan sólo hubo pequeñas experiencias realizadas por Woodward, Morceau y de Saussure. De 1850 a 1860 se emplearon diversas técnicas para entender la nutrición de las plantas por Fürst zu Salm Horsmar, Knop y Sachs. Los cultivos hidropónicos tal y como los conocemos en la actualidad, fueron impulsados en 1930 por Gericke de la Universidad de California, introduciendo el sistema de cultivo sin suelo de forma comercial para tomates, desarrollando los cultivos en balsas de arena. Ellis-Swaney realiza cultivos en grava.

La necesidad de suministrar verduras frescas a los soldados americanos durante la segunda guerra mundial, en las islas del Pacífico, por la imposibilidad de cultivar en sus suelos rocosos, hace que en 1945 se produzca un cierto desarrollo de las técnicas de cultivo sin suelo.

El gran despegue de los cultivos protegidos o forzados se produce en los años sesenta, con la difusión de los plásticos como material de cubierta en los invernaderos (Maroto, 1990). La aparición de nuevos plásticos para conducción de riego, el desarrollo de los riegos localizados, la incorporación de los programadores de riego, ordenadores para su manejo y el desarrollo de distintos sustratos inertes, ha permitido la implantación de los sistemas de cultivo sin suelo.

Este impulso se reactiva en los años 70 en países como Japón y algunos países de Europa, en este segundo caso influenciado claramente por la antigua P.A.C., que entre sus objetivos primordiales figura, el aumentar la productividad agraria para garantizar el abastecimiento alimentario.

El sistema de cultivo enarenado de Almería y Murcia se acerca bastante al sistema de cultivo sin suelo y se considera como el precursor de estos nuevos sistemas de cultivo hidropónico, que se desarrollan en España, iniciándose en Murcia por medio de cultivos en salchichas de arena (Martínez, P. F. 1996).

En España en 1980 la empresa Ariel instala en Almería una finca experimental con sistema NFT. En 1983-84 se inician los primeros desarrollos con lana de roca. En 1985 se realizan trabajos conducentes al estudio de nuevos sustratos substitutivos de "lana de roca", debido principalmente a su elevado precio, mediante el uso de arenas silíceas, calcáreas y turbas (Martínez, E. García, M. 1993). En la campaña 1985-86 había en España un total de unas 30 hectáreas cultivadas en sistemas de cultivo sin suelo.

El crecimiento de la superficie destinada a los cultivos sin suelo en la última década ha sido espectacular, pasando de 200 hectáreas cultivadas durante la campaña 1988-89 a las aproximadamente 3.600 hectáreas de cultivos sin suelo de hortalizas cultivadas en toda España durante la campaña 1999-2000. Dicho incremento está claramente influenciado por el desarrollo de la horticultura intensiva en los últimos 10 años tras la total adhesión de España como miembro de la Unión Europea y el incremento espectacular de las exportaciones de la mayor parte de los productos hortícolas, duplicándose en la mayor parte de los casos y cuatuplicándose en productos como el tomate, las lechugas y los melones.

Este crecimiento está claramente relacionado con el de la superficie protegida. En España hemos pasado de 24.000 hectáreas en 1991 a 47.000 hectáreas de invernaderos en 1997, situándonos como el 2º país en importancia a nivel mundial detrás de Japón.

2 • Justificación del Cultivo sin Suelo

Para ello se analizan las ventajas y los inconvenientes del sistema.

2.1 Ventajas del Cultivo sin Suelo

- a) Se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo.
- b) La nutrición está mucho más controlada que en los sistemas de cultivo en suelo, puesto que

no existen interacciones. Se emplea una solución nutritiva directamente o aplicada a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico.

- c) En sistemas cerrados, en donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua y fertilizantes. Por el hecho de tener controlados dichos drenajes se evita la contaminación de suelos y acuíferos.
- d) Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos y procedentes de residuos, como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de la industria del corcho, etc., con muchas posibilidades y con posibles soluciones por explotar a nivel local.
- e) Al emplear en la mayor parte de los casos sustratos totalmente inertes, con ausencia de enfermedades típicas del suelo, convierten al sistema de cultivo sin suelo, como una buena alternativa al empleo de desinfectantes, entre los que cabe citar el bromuro de metilo, el cual se encuentra en fase de desaparición.
- f) Generalmente se obtiene en los cultivos una buena uniformidad que facilita las labores culturales, como podas, entutorados, etc.. Se suprimen los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas, mejorando en general las condiciones de trabajo. En determinados cultivos como el fresón cultivado en invernadero, la posibilidad de montar el sistema en altura, puede facilitar la recolección.
- g) Se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo.
- h) Generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto.



1. Cultivo sin suelo en fresón, sobre estructura que facilita la labor de recolección.

2•2 Inconvenientes

- a) En las instalaciones donde se trabaja a solución perdida, el sistema puede ser contaminante, cuando se evacuan los drenajes al suelo ó a una fosa.
- b) El vertido tanto de sustratos como de plásticos de forma incontrolada, es también contaminante.
- c) Pueden aparecer, y de hecho aparecen, enfermedades de raíz, por ausencia de mecanismos de defensa en los sustratos. Un ejemplo es el *Phyitium* que actúa en sistemas de cultivo sin suelo sobre plantas adultas, produce enanismo acusado y llega a matar las plantas.
- d) El sistema requiere de una mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición. En cultivos sin suelo generalmente se trabaja con bajos volúmenes de sustrato, con poca reserva de agua y un error puede traer consecuencias fatales.
- e) En sustrato se da una menor inercia térmica que en el suelo y los cultivos están más expuestos a los posibles cambios de temperatura ambiental.
- f) El establecimiento de un cultivo sin suelo, supone un mayor coste de instalación, tanto por los elementos de riego, por la conveniencia de adecuar el cabezal de riego, la adquisición de contenedores y sustratos.
- g) Por ser una técnica novedosa para el agricultor, requiere de un asesoramiento técnico, aunque en muchos casos pasa a ser una ventaja, puesto que dicho servicio termina siendo un asesoramiento integral del cultivo.

Podemos decir que el sistema es eficaz en la mayor parte de los cultivos hortícolas y en algunos



2. Cultivo de tomate valenciano en sistema de cultivo sin suelo.

florales, como rosas, gerbera, clavel, cultivados en invernadero. La tecnología se está imponiendo principalmente en sistemas de cultivos hortícolas avanzados y con limitaciones del suelo. La instalación, antes de dar el paso debe estar totalmente justificada, existen casos claros como el establecimiento de un invernadero en un suelo incultivable o de malas características agronómicas, en suelos que por la repetición de cultivo y tras realizar desinfecciones continuadas, resulta difícil obtener una buena productividad, o bien en aquellos cultivos de plantas, especies o variedades locales, especialmente sensibles a enfermedades y plagas del suelo.

Tras los puntos expuestos dicho sistema, por ser alternativo al empleo de desinfectantes más o menos agresivos, siempre que se cumplan una serie de normas de higiene en cuanto a los lixiviados y los materiales de desecho, podría contemplarse como compatible a los reglamentos de producción integrada que se están diseñando para los cultivos hortícolas producidos en invernadero.

3 • Principales Sustratos Empleados, Características y Propiedades

La elección del tipo de sustrato es una de las decisiones más importantes. Un primer dato que puede ayudar a su elección es la evolución que han seguido los distintos sustratos en España en los últimos años y la situación actual de los de reciente introducción.

3.1 Evolución de los Sustratos y Superficies Cultivadas

En la tabla 1 se expone de forma aproximada, la evolución de la superficie de cultivo sin suelo, con datos extraídos del libro "Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo" y actualizado con encuesta efectuada a los expertos de las distintas Comunidades Autónomas.

Campaña	Lana de Roca	Perlita	Arena	Fibra de coco	Picón	Otros	Total
87/88	32	-	65			37	134
88/89	17	-	105			90	212
89/90	24	5	240			120	389
90/91	32	75	525			120	752
91/92	85	125	550			120	880
92/93	105	205	490			30	830
95/96	450	800	450			20	1.720
99/00	1.390	1.375	400	225	210	25	3.625

Tabla 1. Evolución aproximada de la superficie (en hectáreas) de cultivos hortícolas por sustratos en España.

Almería es la principal provincia con unas 2.000 hectáreas cultivadas en sistema de cultivo sin suelo, de las cuales 800 se desarrollan en perlita y 1.200 en lana de roca, a las que se puede añadir alguna hectárea que se desarrolla en materiales como fibra de coco o nuevos sistemas similares al N.F.T., conocido como N.G.S. La segunda provincia en importancia es Murcia, en la que el sustrato con el que más se cultiva es la arena, con unas 400 ha. La misma se encuentra sometida a un proceso continuo de sustitución, dando paso a sustratos como perlita que supone unas 200 ha, a fibra de coco con unas 225 ha., con un total aproximado de 830 ha. cultivadas en sistema de cultivo sin suelo. En Canarias se cultivan unas 405 ha. de las cuales 153 corresponden a lana de roca, 225 a picón y 25 a perlita. En la costa de Granada se están cultivando unas 150 ha. en perlita. En el resto de España (Comunidad Valenciana, País Vasco y Cataluña) se cultivan unas 50 ha. en perlita, unas 30 en lana de roca y 20 ha. con otros sustratos como fibra de coco, turba y piedra volcánica.

3.2 Principales Sustratos, Características y Propiedades

Se pueden clasificar los distintos sustratos utilizados en los sistemas de cultivo sin suelo en:

a) Sustratos orgánicos, que al mismo tiempo se pueden subdividir en:

- De origen natural, entre los que se encuentran las turbas.
- Subproductos de la actividad agrícola: la fibra de coco, virutas de madera, paja de cereales, residuos de la industria del corcho, etc..

- Productos de síntesis, entre los que encontramos: polímeros no biodegradables, como la espuma de poliuretano y el poliestireno expandido.

b) Sustratos inorgánicos, que podemos subdividir en:

- De origen natural, que no requieren de un proceso de manufacturación, entre los que encontramos: la arena, las gravas y las tierras de origen volcánico.
- Aquellos que pasan por un proceso de manufacturación, como son: la lana de roca, la fibra de vidrio, perlita, vermiculita, arcilla expandida, arlita, ladrillo troceado, etc..

La elección de un determinado material va a depender por orden de prioridad: de la disponibilidad del mismo, de las condiciones climáticas, de la finalidad de la producción y especie cultivada, de sus propiedades, del coste, de la experiencia de manejo, homogeneidad, de la dedicación al sistema y de las posibilidades de instalación.

En este capítulo nos centraremos en aquellos sustratos más utilizados en horticultura, donde se definirán una serie de factores de calidad mediante la descripción de las características físicas, químicas e hidrológicas.

Antes de entrar a catalogar los distintos sustratos es importante tener claros una serie de conceptos que ayudarán a entender mejor dichas características.

3•2•1 Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de un sustrato son más importantes que las químicas, puesto que las segundas las podremos modificar mediante el manejo de las soluciones nutritivas, siendo las primeras más difíciles de modificar.

A un buen sustrato le vamos a pedir un comportamiento similar al de una esponja, es decir, una elevada porosidad, gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, distribución del tamaño de partículas, baja densidad aparente y estabilidad.

La disponibilidad de agua de un sustrato y su relación con las plantas queda perfectamente explicado en la curva de desorción o liberación de agua. (Figura 1).

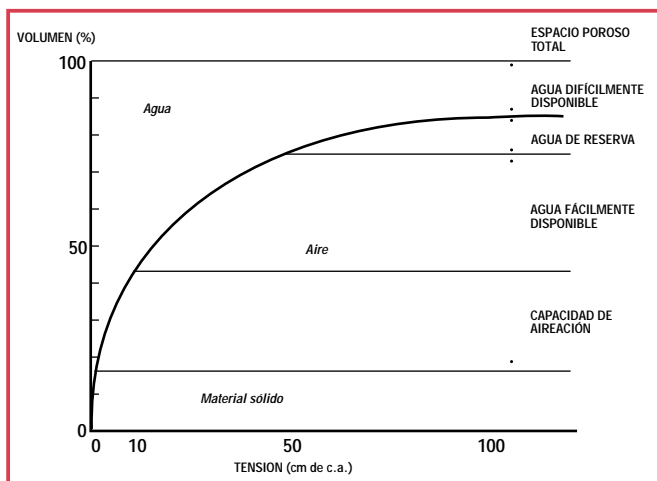


Figura 1. Curva de liberación de agua de un sustrato de cultivo. (Elaboración a partir de De Bood, et al., 1974; Handreck y Black, 1991). Fuente: Abad, M.; Noguera, P. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales.

3•2•1•1 Porosidad total

Es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas o minerales. El valor óptimo de porosidad es superior al 85%, razón por la cual podemos cultivar con volúmenes reducidos de sustrato, dejando un gran volumen disponible al aire y a la solución nutritiva. El total de poros se mide en microporos, que son los encargados de retener el agua, y los macroporos que permiten la correcta aireación y drenaje del sustrato. La porosidad puede ser: intraparticular (poros en el interior de las partículas), que podrá estar conectada al exterior o cerradas, esta última no será efectiva y se le conoce como porosidad ocluida ó interparticular, poros existentes entre las diferentes partículas.

Como ejemplo tenemos la perlita, que presenta una porosidad efectiva inferior a la total, debido a la existencia de poros cerrados hasta en un 13,6% (Gras, 1982), con porosidad efectiva del 81,3% y total de 94,9%.

3•2•1•2 Capacidad de aireación

Es la proporción de volumen de sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar (tensión de 10 cm de columna de agua). El valor óptimo se sitúa entre el 20-30%, siendo dicho valor el encargado de suministrar aire y por lo tanto, oxígeno a las raíces de la planta. Un mismo volumen de sustrato retendrá más agua cuanto menor sea la altura del contenedor, debiendo adecuar la altura al tipo de sustrato empleado.

3•2•1•3 Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a tensión de 10 cm de columna de agua y la cantidad de agua presente en dicho sustrato tras una succión de 50 cm de columna de agua. Como bien dice el nombre, es la succión efectuada por la planta en su alimentación sin necesidad de realizar un gran esfuerzo. Muchos experimentos han demostrado que, una tensión de agua superior a 50 cm puede afectar desfavorablemente al crecimiento y el desarrollo de las plantas.

El valor óptimo es 20-30%.

3•2•1•4 Agua de reserva

Es la cantidad de agua (% de volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua de desorción.

Valor óptimo es del 4-10%.

En plantas horticolas se ha estudiado que pueden alcanzar hasta 300 cm de columna de agua, sin afectar significativamente al crecimiento de la planta.

3•2•1•5 Agua total disponible

Viene dada por la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva.

Nivel óptimo se encuentra entre el 24 y el 40% de volumen.

3•2•1•6 Agua difícilmente disponible

Es el volumen de agua retenida por el sustrato tras ser sometido a una tensión superior a 100 cm. columna de agua. En muchos casos se produce una incapacidad por parte de la planta de extraer el agua del sustrato, pudiendo llegar incluso a mostrar síntomas de marchitez.

3•2•1•7 Distribución del tamaño de las partículas

Hemos visto como el tamaño de los poros determina la capacidad de un sustrato en retener el agua y el aire. La porosidad aumenta en la medida que lo hace el tamaño medio de las partículas. Las partículas pequeñas hacen disminuir la porosidad y aumentar la cantidad de agua retenida. En un sustrato, es también importante la distribución del tamaño de sus partículas.

El material más adecuado es el de textura media a gruesa, con distribución de tamaño de los poros entre 30 y 300 micras, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee un adecuado contenido de aire.

3•2•1•8 Estructura estable

Que permita una buena durabilidad del material y una manipulación adecuada.

3•2•1•9 Densidad aparente

Viene definida como la materia seca en gramos contenida en un centímetro cúbico de medio de cultivo. Los sustratos con valores bajos de densidad aparente son fáciles de manipular.

3•2•2 Propiedades Químicas

Hemos visto que los sustratos que más se están utilizando en los sistemas de cultivo sin suelo para el cultivo de hortalizas, son aquellos que tienen una baja actividad química y que por lo tanto, apenas interfieren en la solución nutritiva aportada.

En principio la inactividad química es algo deseado en un sustrato, también lo es el que no se disuelva y por lo tanto, que sean estables químicamente, que presenten una baja o nula salinidad, pH neutro o ligeramente ácido y una adecuada relación C/N.

3•2•2•1 Capacidad de intercambio catiónico. C.I.C.

Se define como la suma de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso del sustrato, es decir, la capacidad de retener cationes nutrientes e intercambiarlos con la solución acuosa. Una CIC alta es propia de los sustratos orgánicos. Se expresa en miliequivalentes por unidad de peso o volumen, meq/100 g. o meq/100 cc.

En los actuales sistemas de cultivos sin suelo, en los que con la nueva tecnología existente en el riego permite formular de forma cómoda las soluciones nutritivas, suele interesar sustratos con una baja CIC, o sea, que sean químicamente inertes o de muy baja actividad.

3•2•2•2 Disponibilidad de los nutrientes

La mayor parte de los sustratos inertes existentes poseen un contenido de nutrientes inicial casi nulo.

Cuando hemos elegido un sustrato orgánico como medio para desarrollar nuestro cultivo sin suelo, será conveniente realizar un análisis del extracto de saturación, para ajustar la solución nutritiva, al menos durante las primeras semanas de cultivo. Como ejemplo tenemos la fibra de coco que inicialmente puede ser rica en potasio.

3•2•2•3 Salinidad

Hace referencia a la concentración de sales existente en el sustrato cuando es suministrado. En aquellos que son inertes la salinidad es prácticamente nula, en sustratos orgánicos puede tener valores elevados. La podremos determinar a través de una analítica del extracto saturado, para aprovechar dichas sales, si son apropiadas, o proceder al lavado del sustrato empleando agua de riego. Se considera que valores de conductividad eléctrica superior a 3,5 mS/cm son excesivamente altos para la mayor parte de cultivos hortícolas.

3•2•2•4 pH

El desarrollo de las plantas se ve reducido en condiciones de acidez o alcalinidad marcada.

El pH influye en la asimilabilidad de los nutrientes por la planta. Con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y con valores superiores a 6,5 se disminuye la asimilabilidad de hierro (Fe), fósforo (P), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), y cobre (Cu).

Los materiales orgánicos presentan mayor capacidad tampón que los inorgánicos y por lo tanto, mayor capacidad para mantener constante el pH.

En general, cuando un sustrato se encuentra fuera de los rangos de pH aconsejados, lo debemos corregir a valores adecuados.

El nivel óptimo aconsejado para el manejo de cultivo sin suelo de hortalizas en la disolución del sustrato se sitúa en valores comprendidos entre 5,5 y 6,8, que es el rango en el que se encuentran de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes.

3•2•2•5 Relación C/N

El valor de dicha relación nos da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y de su estabilidad. Un nivel del orden de 30 puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato, dando lugar a una inmovilización del nitrógeno de la solución y a una reducción del oxígeno debida a la actividad microbiana. En sustratos para horticultura se recomiendan valores inferiores a 20.

3•2•3 Propiedades Biológicas

3•2•3•1 Velocidad de descomposición

La descomposición de los sustratos se da generalmente en los orgánicos, siendo deseable para el manejo de sistemas de cultivo sin suelo que tengan una baja velocidad de descomposición por degradación biológica. En aquellos casos en los que opte por la elección de sustrato orgánico y se pretenda una larga duración de cultivo, deberemos elegir y tomar las medidas oportunas para evitar una rápida degradación.

3•2•3•2 Actividad reguladora del crecimiento

Se conocen determinadas sustancias existentes en los sustratos orgánicos que tienen un cierto efecto estimulador sobre el crecimiento de las plantas.

3•2•3•3 Estar libre de semillas de malas hierbas y de patógenos

Sobre todo en los sustratos naturales y de origen orgánico. Estos sustratos han de estar también exentos de sustancias tóxicas.

3•3 Principales Sustratos Utilizados en Cultivo Sin Suelo de Hortalizas

Las principales funciones de un sustrato dentro del sistema de cultivo sin suelo es el de proporcionar un medio ambiente "ideal" para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas. (M. Abad, P.F. Martínez y J. Martínez Corts 1992).

En este epígrafe se tratan los principales sustratos empleados en los sistemas de cultivo sin suelo en hortalizas, definiendo sus características físicas, químicas e hidrológicas más importantes.

3.3.1 Lana de Roca

El cultivo en lana de roca tienen su origen en Dinamarca y posteriormente se desplaza a los Países Bajos, donde se desarrollan en la actualidad unas 3.600 ha. En España, su crecimiento ha sido espectacular en los últimos años.

La lana de roca se obtiene por la fundición de un 60% de diabasa, 20% de piedra caliza y 20% de carbón de coque, que se introduce en un horno a una temperatura de 1.600 °C. La masa fundida pasa por unas ruedas giratorias, de donde sale en forma de fibras de aproximadamente 0,005 mm. de grosor. En el proceso se añaden estabilizantes (resina fenólica bakelita) y mojanter. Posteriormente la lana se comprime a una temperatura de 260°C y adquiere su forma, en donde se corta en tablas, para ser embolsadas con un plástico opaco, generalmente blanco en la cara exterior y embaladas. Las planchas se convierten en lo que denominamos tablas, tacos y bloques, en donde cultivamos las plantas o se realizan los semilleros respectivamente.



3. Distintas presentaciones de lana de roca: tabla, bloque, dado, materia prima para su fabricación y ladrillo procedente de su reciclado.

El producto así presentado es prácticamente inerte y totalmente libre de patógenos.

Propiedades físicas:

Densidad aparente	0,08 g./cm ³
Porosidad total	96%
Capacidad de retención de agua fácilmente disponible	30%
Capacidad de aireación	35 - 45%
Agua de reserva.....	0,9 %

Más del 95% del agua retenida por la lana de roca es fácilmente asimilable, el material no tiene prácticamente agua de reserva ni agua difícilmente disponible, con lo que la planta puede disponer de casi la totalidad del agua retenida en la tabla con una gran facilidad, aspecto que resulta conve-

niente en la medida en que la planta debe esforzarse muy poco para tomar la solución nutritiva, al mismo tiempo en su manejo se deben tomar las precauciones oportunas, evitando dejar sin suministro de solución nutritiva durante un periodo largo.

Su estabilidad mecánica es baja y su duración limitada.

Propiedades químicas:

Es un material químicamente inerte, aunque está compuesto por óxidos de azufre, calcio, aluminio, magnesio, hierro etc., que no los puede aprovechar la planta. La lana de roca tiene una cierta reacción alcalina en un primer momento, que puede ser corregida mediante su manejo por medio de la saturación del sustrato con una solución nutritiva ácida, con un pH de 5,5-5,8.

Su capacidad de intercambio catiónico y su poder tampón son prácticamente nulos. Por lo que se deberá prestar especial atención en el manejo de la solución nutritiva.

Con la solución nutritiva tiene baja inercia térmica.

Como principal problema presenta, que es un material no biodegradable. Existe la posibilidad de creación de plantas de reciclado, en donde el producto residual se convierte en ladrillos que se destinan a la construcción, pero no se encuentra todavía ninguna instalada en España y el crecimiento de la superficie de invernaderos que utilizan el sustrato lana de roca en el sur de España, puede hacer necesario este tipo de instalaciones.

Puede existir heterogeneidad en los distintos lotes. Existen diversas dimensiones de tablas de lana de roca y disposición de las fibras: en vertical, crespada y horizontal, desarrollándose nuevos diseños por parte de las distintas firmas que la comercializan, así como la altura de la tabla. Una de las últimas novedades es la adición a la lana de roca clásica de partículas de arcilla, que permite una alta capacidad de retención de agua y fuerte efecto tampón.

La fibra vertical permite un mejor ajuste de los niveles de agua, una mejor resaturación de la tabla, es más rígida, de mayor densidad, durabilidad y permite una disminución de los drenajes (García, A. 1999).

La lana de roca presenta como ventajas que, por ser un material totalmente inerte apenas interfiere en la nutrición, control de enfermedades de suelo, presenta una excelente relación aire agua, la mayor parte del agua es fácilmente asimilable, existe una gran experiencia de manejo contrastada en diversos países. Como inconvenientes presenta, el que debemos estar muy atentos en el manejo evitando quedarnos sin agua, por su difícil recuperación, formulando correctamente la solución nutritiva, por su nula C.I.C. y bajo poder tampón.

	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad Total (%)	Porosidad Ocluida (%)	Capacidad retención agua fácil- mente dispo- nible (%)	Agua fá- cilmente asimilable (%)	Agua difi- cilmente disponible (%)	Agua de reserva (%)	Capacidad Aireación (%)	Inerte	Reacción	C.I.C. (meq/100g)	Poder Tampón
Lana de Roca	0,080	96,0	≈0	30,0	>95	0	0,9	35-45	Si	Alcalina	0	Muy bajo

Tabla 2. Características Lana de Roca.

3.3.2 Perlita

La perlita se introduce en España unos años más tarde que la lana de roca, en 1990, aunque su crecimiento ha sido similar.

La perlita es un silicato de aluminio de origen volcánico. El material recién sacado se muele y es transformado industrialmente mediante un tratamiento térmico con precalentado a 300-400°C y depositado en hornos a 1.000°C. A estas temperaturas se evapora el agua contenida en sus partículas, obteniendo un material muy ligero con una alta porosidad, obteniendo un material de 128 kg./m³ de densidad.

Existe en el mercado diferentes tamaños de partícula, que da lugar a los distintos tipos de perlita, siendo uno de los más comercializados el tipo B-12, que está formado por fracciones medias y gruesas junto con fracciones finas.

Propiedades físicas de perlita tipo B-12:

Porosidad total (% vol.)	85,9%
Densidad aparente	0,143 g./cm ³ .
Agua fácilmente disponible (% vol.)	24,6%
Agua de reserva (%vol.)	7%
Agua difícilmente disponible (%vol.)	25,2%
Agua total disponible (%vol.).....	31,6%
Posee una porosidad ocluida de	8,1%

Se debe prestar especial atención a su manipulación evitando posible degradación de su granulometría, una perlita pulverulenta puede reducir la aireación del sustrato y afectar al buen drenaje del mismo.

Propiedades químicas:

Es también un material inerte que no se descompone ni biológica ni químicamente. Al ser un silicato de aluminio, empleando soluciones nutritivas con pH inferior a 5, se puede producir una solubilización del aluminio y provocar fitotoxicidad. El pH es neutro o ligeramente alcalino inicialmente y puede ser corregido como en el caso de la lana de roca. Su salinidad es muy baja. Tiene muy baja capacidad de intercambio catiónico (1,5-2,5 meq./100 g.) y capacidad tampón.

	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad Total (%)	Porosidad Ocluida (%)	Capacidad retención agua fácilmente disponible (%)	Agua fácilmente asimilable (%)	Agua difícilmente disponible (%)	Agua de reserva (%)	Capacidad Aireación (%)	Inerte	Reacción	C.I.C. (meq/100g)	Poder Tampón
Perlita (B-12)	0,143	85,9	8,1	24,6	>25	25,2	7,0	29,1	Si	Neutra-Ligeramente Alcalina	1,5-2,5	Muy bajo

Tabla 3. Características Perlita B-12.

3•3•3 Arenas

Es un material de naturaleza silíceo y de composición variable, dependiendo de la roca silíceo original.

Procede de canteras (granito, gneis, basalto, etc.), o en ríos procedente de depósitos de formación aluvial, más o menos reciente. Las primeras son más homogéneas que las de río.

Deben estar exentas de limo y arcilla. Los niveles de carbonato cálcico no deberá ser superior al 10%. El tamaño de las partículas debe estar comprendido entre 0,02 y 2 mm. y una adecuada distribución de los tamaños.

Tiene una densidad aparente de 1,5 g./cm³, un espacio poroso <50%. Con tamaños de partícula inferiores a 0,5 mm la capacidad de retención de agua es alta. Con los tamaños aconsejados presenta un buen drenaje.

Si está exenta de limo, arcilla y carbonato cálcico, es inerte químicamente y presenta una capacidad de intercambio catiónico muy baja < 5 meq/100 g.

Por su gran resistencia mecánica es un sustrato permanente. Presenta un problema de suministro a largo plazo debido al impacto ambiental, principalmente de la procedente de extracciones de ramblas de río.

	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad Total (%)	Porosidad Ocluida (%)	Capacidad retención agua fácilmente disponible (%)	Capacidad Aireación (%)	Inerte	Reacción	C.I.C. (meq/100g)	Poder Tampón
Arena	1,500	<50	= 0	Alta	<7,2	Puede	Alcalina	<5	Bajo

Tabla 4. Características Arena.

3•3•4 Turbas

La turba es un sustrato orgánico de origen natural, son vegetales fosilizados.

Existen distintos tipos de turbas y por su grado de descomposición podemos encontrar: las rubias, que están ligeramente descompuestas, de color más claro y de un mayor contenido en materia orgánica. Presenta unas excelentes propiedades físicas y químicas, con una estructura mullida, alta porosidad, alta capacidad de retención de agua, aceptable contenido de aire, baja densidad aparente, alta capacidad de intercambio catiónico y baja salinidad. La turba negra es de color oscuro y está fuertemente descompuesta. Es de calidad inferior a la turba rubia.

Está poco extendida como sustrato de cultivo sin suelo de hortalizas, aunque es empleada en semilleros y cultivos de planta en maceta.

3•3•5 Fibra de coco

Es un material vegetal procedente de los desechos de la industria del coco, tras la extracción de las fibras más largas del mesocarpo que son utilizadas para la fabricación de cuerdas, cepillos, etc., se aprovechan las fibras cortas y el polvo de tejido medular en proporciones variables como sustrato.

Son varios los países que producen la fibra de coco, siendo Sri Lanka el principal productor, habiéndose encontrado una gran variabilidad en las propiedades físicas y químicas del sustrato entre los distintos orígenes (Evans et al., 1996; Noguera et al., 1997,1999).

La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93%. Presenta cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y está bien aireado. La fibra de coco se contrae poco cuando se deja secar (Abad et al, 1997).

La fibra de coco posee un bajo poder tampón (aunque superior a la lana de roca).

Propiedad	Fibra de Coco		Turba <i>Shagnum</i>
	Intervalo	Mediana	
Índice de grosor (%) ^y	11-66	34	63
Densidad aparente (g/cm ³)	0,020-0,094	0,059	0,084
Espacio poroso total (%vol.)	93,8-98,7	96,1	94,2
Capacidad de aireación (% vol.)	22,2-90,5	44,9	41,2
Agua fácilmente disponible (% vol.)	0,7-36,8	19,9	22,5
Agua de reserva (% vol.)	0,1-7,8	3,5	4,4
Capacidad de retención de agua (ml/l sustrato)	110-797	523	620
Contracción (% vol.)	n.d.-28	14	13
pH (pasta saturada)	4,76-6,25	5,71	3,17
Conductividad eléctrica (extracto de saturación, dS/m)	0,39-6,77	3,52	0,21
Capacidad de intercambio catiónico (m.e./100 g)	31-97	61	100
Materia orgánica total (%)	88,6-95,7	93,8	97,9
Relación C/N	74-194	132	48
Elementos asimilables: (ppm extracto de saturación)			
N-NO ₃ ⁻	n.d.*-1,7	0,21	0,8
N-NH ₄ ⁺	n.d.-1,8	0,14	7,4
P	7,4-104	41	1,7
K ⁺	115-2.343	956	10
Ca ⁺⁺	6,9-114	26	27
Mg ⁺⁺	2,6-59	20	4,4
Cl ⁻	27-2.242	1.085	22
SO ₄ ⁻	2,5-314	23	20
Na ⁺	25-294	137	10

[†]Turba Sphagnum rubia finlandesa débilmente descompuesta.

^y% en peso de partículas con $\phi > 1$ mm.

*No detectable.

Tabla 5. Propiedades físicas, fisico-químicas y químicas de trece muestras de fibra de coco comparadas con una turba de *Sphagnum*. (Abad et al, 1997).

La salinidad es debida, principalmente a niveles altos de cloruro sódico y potasio.

Como en el caso de la turba, estos sustratos poseen un cierto carácter estimulador del crecimiento sobre la planta y requiere de una preparación previa.

3•3•6 Picón

El picón es un sustrato natural granular, de forma irregular, con superficie rugosa y poros en su interior, es de origen volcánico, con tamaño de partícula inferior a 16 mm..

Se pueden encontrar 2 tipos de picón: el negro, y el rojo más antiguo y degradado.

Presenta una alta heterogeneidad en sus características, que dificulta su manejo.

Se extrae de canteras a cielo abierto, posteriormente se clasifica por tamaños o no.

Se empezó a utilizar como sustrato para cultivo sin suelo en Gran Canaria en los años 60, posteriormente se abandona y en los años 90 se vuelve a introducir, usándose en sacos largos con riego localizado de alta frecuencia.

Tiene un porcentaje de partículas mayores de 1 mm superior al 80%.

Porosidad efectiva de 50-60%

Porosidad ocluida 8 a 13%

30-40% de capacidad de aireación.

Baja retención de agua 100 a 150 cm³/litro.:

< 2% de agua de reserva.

4-5% de agua fácilmente disponible.

5-7% de agua difícilmente disponible.

El picón negro, que es el más usado, tienen una baja CIC: 5 meq/100 g., CE < 0,1 mS/cm en extracto 1:6 (vol./vol.) y pH alcalino 7,5 y 8,5.

Los picones rojos presentan una reactividad química mayor, que los hace difícilmente manejables como sustratos para cultivo sin suelo.

(Caracterización del picón facilitada por D. Belarmino Santos Coello, Agencia de Extensión Agraria de Fasnía Tenerife, 2000).

	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad Total (%)	Porosidad Ocluida (%)	Capacidad retención agua fácil- mente dispo- nible (%)	Agua fá- cilmente asimilable (%)	Agua difi- cilmente disponible (%)	Agua de reserva (%)	Capacidad Aireación (%)	Inerte	Reacción	C.I.C. (meq/100g)	Poder Tampón
Picón	0,7-0,8	50-60	8-13	10-15	4-5	5-7	<2	30-40	Si	Alcalina	5	Bajo

Tabla 6. Características Picón.

3•3•7 Otros sustratos

Menos extendido se encuentran otros sustratos, que son utilizados en aquellos casos de una disponibilidad local, como la arcilla expandida, la vermiculita, piedras volcánicas, grava, espumas sintéticas, cascarilla de arroz, etc.

4 • Sistemas de Cultivo sin Suelo y Preparación del Invernadero

4.1 Preparación del Invernadero

El sistema viene influenciado claramente por la elección del sustrato, empleando los volúmenes aconsejados, las dimensiones de saco, salchicha o contenedor más adecuados, con una correcta instalación que permita la evolución más favorable del cultivo.

En general, el suelo del invernadero va a ser sometido a transformaciones que van a permitir el cultivo sin suelo en cualquier sistema y sustrato, con el objeto de obtener un cultivo lo más uniforme posible, una recogida de los drenajes en el invernadero, y en los sistemas cerrados, una correcta canalización y tratamiento para su reutilización.

En aquellas explotaciones dotadas de suelos con un buen drenaje, se recurre a esparcir unos centímetros de gravilla por encima del suelo, para sobre ella colocar el saco, contenedor o incluso el canal de recogida de un sistema cerrado.

Para mejorar las condiciones de higiene, se pueden emplear film de polietileno en la zona de colocación del sustrato para evitar el contacto directo con el suelo o la gravilla y evitar que las raíces del cultivo tras salir del punto de corte de drenaje pueda arraigar en el suelo. Uno de los aspectos de mayor importancia es el de la nivelación del suelo, que permitirá que el sustrato se encuentre lo más horizontal posible y podamos evacuar el drenaje a uno o varios puntos de la explotación, evitando encharcamientos en el suelo del invernadero, irregularidades en el contenido de la solución nutritiva en el interior del saco, o posible estancamiento del agua en contenedores o sacos de mayor longitud.



4. Planta de tomate afectada de asfixia radicular por encharcamiento debido a mala nivelación del contenedor.



5. Invernadero con base gravilla y film plástico que aísla del suelo.

En la transformación del invernadero caben distintas posibilidades y la elección de cada una de ellas dependerá del coste de ejecución, de la maquinaria disponible, del tipo de sustrato empleado y de la disposición del mismo.

Los sistemas empleados en los invernaderos de cultivo sin suelo, principalmente en lana de roca, han consistido en la ejecución de unos perfiles en el suelo en los que queda totalmente delimitada la zona de colocación del saco y la del pasillo. En la zona de drenaje se puede instalar un film de polietileno negro de unas 300 galgas, se puede incluso colocar tuberías de

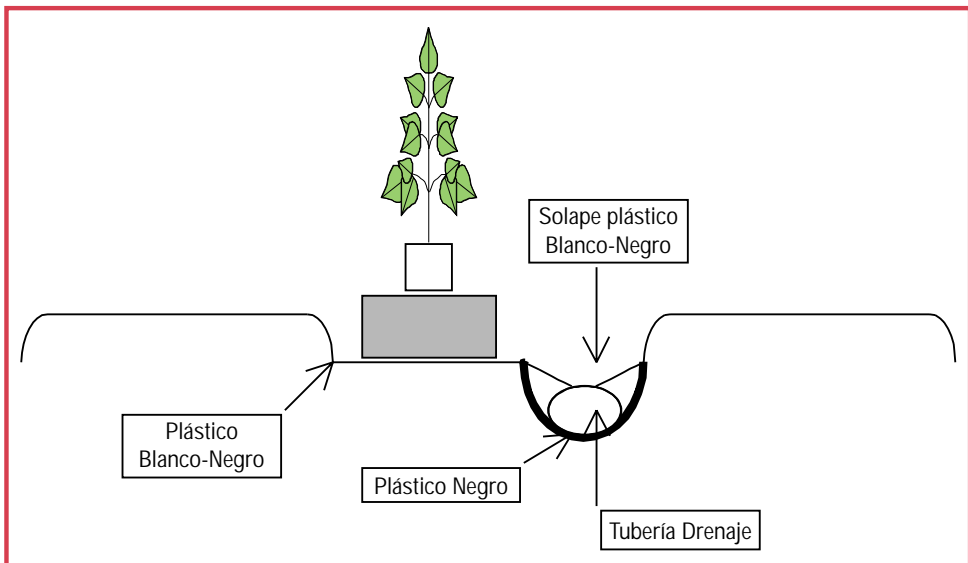


Figura 2. Disposición de tablas, plásticos y drenaje.

drenaje y posteriormente, se puede acolchar toda la superficie del suelo con un film de polietileno bicapa de unas 400 galgas de color blanco en la parte exterior y negro en el interior para evitar la salida de malas hierbas, que se solapa en la zona de drenaje, tal y como se indica en la figura 2. En los países de centroeuropa en donde esta instalación ha sido extensamente empleada, los marcos de plantación y disposición de los cultivos hortícolas son muy similares y existe maquinaria que realiza estos perfiles al tiempo que nivelan las líneas de cultivo.

En España, por la heterogeneidad de los sistemas, las instalaciones, en general, se han simplificado. En la mayoría de las instalaciones de cultivo sin suelo, se ha reducido notablemente el volumen de sustrato empleado, respecto a los invernaderos de centroeuropa, permitiendo disposiciones, más sencillas y prácticas.

En sistemas cerrados, se recoge el drenaje producido en el invernadero, impidiendo la entrada de luz, para evitar la proliferación de algas, hasta un depósito desde donde bombear para su mezcla o para destinar a otras parcelas. Cuando se hace una instalación pensada para sistema cerrado, existen diferentes tipos de contenedores o canales, en donde colocar el sustrato directamente o embolsado para la correcta canalización del drenaje, que por gravedad lo llevarán hasta un depósito.



6. Disposición de tabla en invernadero

4•2 Instalación de puntos de control

La instalación del punto o puntos de control del invernadero, serán referencia del funcionamiento del sistema, dichos puntos serán visitados al menos una vez al día, para tomar las mediciones de riego aportado, volumen de drenaje, mediciones de pH y conductividad eléctrica.

Los puntos instalados aportan información fiable de lo que está ocurriendo en el cultivo y su número dependerá de la sectorización del riego, del número de cultivos o plantaciones y de la superficie cultivada. Se aconseja un mínimo de 4 puntos por hectárea, que deberán señalizarse correctamente para su localización, ser representativos, accesibles y que se pueda trabajar con comodidad.

En este punto de control tomaremos medida de uno o dos emisores de la instalación, del volumen de solución aportado, de su pH y conductividad eléctrica. Para conocer el consumo de solución nutritiva y el drenaje de las plantas, instalaremos un dispositivo que nos permita recoger el drenaje de una muestra compuesta generalmente de dos metros lineales de sustrato en los que podemos tener de 4 a 12 plantas, para medir el volumen de lixiviado, pH y conductividad eléctrica.



7. Punto de control de drenaje

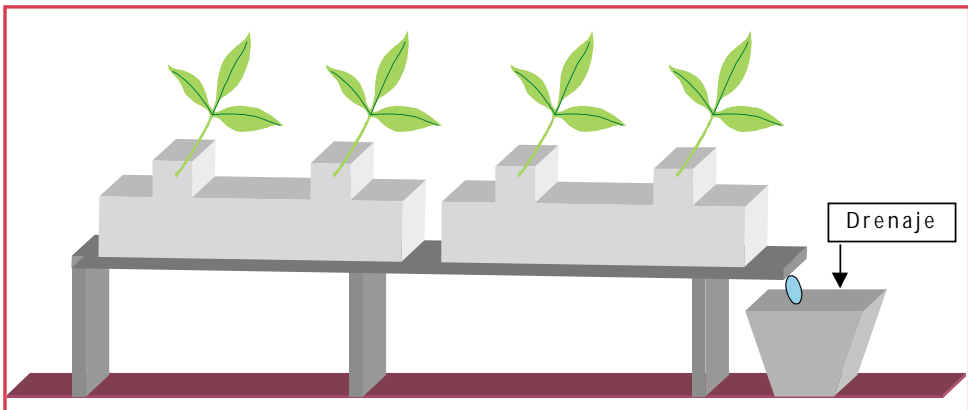


Figura 3. Punto de control de drenaje

4•3 Sistema de Cultivo en Lana de Roca

El cultivo en lana de roca es introducido en España en 1982. Su desarrollo y evolución han sido espectaculares y se estiman en estos momentos una superficie de unas 1.400 ha. Existen diferentes firmas que la comercializan, empleando distintas dimensiones de tablas y disposiciones del fibraje.

Las tablas van embolsadas con un polietileno de color blanco exteriormente y negro en el interior, para evitar la proliferación de algas, de 500 galgas de grosor que permite una duración mínima de dos años. Las dimensiones más comunes son las de tablas de 100 cm de largo, 15 a 24 cm. de ancho y entre 7,5 a 10 cm. de alto. Presentan diferentes densidades de lana de roca, a mayor densidad mayor duración del material, oscilando las densidades aparentes desde 100 mg/l hasta 47 mg/l.

Las distintas dimensiones y usos de lana de roca dan nombre al bloque, que es un pequeño cilindro sobre el que se puede realizar la siembra, el taco sobre el que se realiza el repicado y que

puede ser de distintas dimensiones, siendo el más utilizado el de 7,5 x 7,5 x 6,5 cm y por último, tenemos la tabla sobre la cual se desarrolla el cultivo.

Para cultivos hortícolas, se emplean densidades de plantación comprendidas entre 2 y 6 plantas por tabla, dándose casos de plantaciones que utilizan densidades altas de cultivo (cultivo de tomate en ciclo primaveral) en las que se puede llegar hasta 9 plantas por tabla.

Se utiliza una cantidad total comprendida entre 3.333 a 5.000 tablas/ha., que corresponde aproximadamente entre 50 y 75 m³/ha. de sustrato. En países de centroeuropa como el caso de Holanda, se emplean volúmenes de hasta 150 m³/ha.

Es el sistema que más se utiliza en Europa y del que más información y experiencia se dispone. Por sus excelentes características físicas y químicas como sustrato para cultivo de hortalizas, lo convierte en uno de los sistemas ideales para el manejo de cultivo sin suelo. Algo más del 95% del agua retenida por el sustrato es fácilmente asimilable por la planta, aspecto que no permite dejar sin suministro de agua al cultivo durante un periodo largo de tiempo y por la dificultad de rehidratar el material una vez extraída la totalidad del agua. Por su baja capacidad de intercambio catiónico y su bajo poder tampón, exige un manejo muy exacto de la nutrición y del riego.

El conjunto, lana de roca y solución nutritiva, presenta una baja inercia térmica, por lo que las variaciones de temperatura del sistema radicular está sujeta a los cambios de temperatura del aire en el interior del invernadero y de la temperatura de la solución nutritiva.

Su duración es limitada y se recomienda para dos años. Presenta también como inconveniente los problemas medioambientales que genera su eliminación.



8. Sistema de cultivo en lana de roca.

4.4 Sistema de Cultivo en Perlita

La perlita es introducida en España como sustrato para cultivo sin suelo en 1990 y desde entonces el número de hectáreas cultivadas se ha ido incrementando a un ritmo incluso mayor que el de lana de roca. Como en el caso de la lana de roca, la mayor parte de la superficie cultivada se encuentra en los invernaderos de Almería.

La perlita se comercializa en sacos casi cilíndricos de 120 cm de longitud y 22 cm de diámetro, conteniendo un volumen de 40 litros de perlita B-12. El polietileno utilizado es de 800 galgas de espesor, blanco y negro, con una duración garantizada de 2 años. Cada saco es capaz de retener unos 23 litros de solución nutritiva. Se recomienda para un máximo de 6 plantas en cada saco y una densidad de 3.334 sacos por hectárea, que equivale a un volumen total de 134 m³/ha. Cada saco pesa aproximadamente 5 kilos, que lo hace manejable y fácil de instalar. Los sacos pueden quedar dispuestos en el invernadero, guardando una separación entre hileras de 2 m. y de 30 cm. entre sacos, disposición que puede variar en función del cultivo hortícola con el que estemos trabajando.

Como ocurre con lana de roca, el manejo de la perlita requiere atención y control exacto de los nutrientes, por su baja o nula capacidad de intercambio catiónico y bajo efecto tampón, al trabajar con mayor volumen de sustrato por planta, permite diluir un poco los errores cometidos en el manejo del riego.

La perlita la podemos emplear con sistema de sacos, que es el más extendido, se puede adquirir a granel para rellenar contenedores de poliestireno expandido, o bien, en contenedores continuos, encareciendo la instalación en estos dos últimos respecto al cultivo en sacos, por la adquisición de dichos contenedores.

El semillero se puede realizar en bandejas de poliestireno con una mezcla de perlita y vermiculita evitando el sobrecoste del semillero en taco de lana de roca, o si se prefiere también se puede realizar en este último sustrato, incluso se puede efectuar siembra directa.

Aunque es un material inerte químicamente, si se trabaja con soluciones nutritivas con un pH inferior a 5, puede producir la solubilización del aluminio existente en la perlita provocando fitotoxicidad. Durante su manipulación y transporte deben tomarse las precauciones oportunas, puede perder su estabilidad granulométrica, incluso durante el cultivo, produciendo las partículas finas tras estratificación anegamiento, falta de aireación y posibles problemas de asfixia radicular.



9. Sistema de cultivo en sacos de perlita Cultivo de pimiento en el Campo de Ensayos de SURINVER.



10. Sistema de cultivo sin suelo en contenedores rellenos de perlita. Cultivo de rosas.



11. Instalación de salchicha de arena para cultivo de melón al aire libre en Fundación Caja Rural Valencia.

4•5 Sistema de Cultivo en Arena

El cultivo en arena se configuró como posibilidad práctica en 1929, cuando los técnicos de la Estación Experimental de New Jersey sugirieron su aplicación comercial (Ellis y Swaney., 1967). La introducción de los cultivos sin suelo en España se realiza a través de este sistema.

Inicialmente el cultivo en arena se desarrollaba en bancadas hechas de obra, con sus correspondientes drenajes.

Actualmente el empleo de la arena como sustrato se encuentra muy extendida en los invernaderos de producción de tomate de Murcia, empleando arena lavada de río, que se dispone en sacos de polietileno a modo de salchichas, e incluso en algunas explotaciones se rellenan contenedores de plástico rígido.

Para la fabricación de la salchicha se emplea polietileno coextrusionado blanco y negro, de un espesor de 400 a 600 galgas, de 1,5 m. de ancho y longitud de 30 a 50 m., dependiendo de la longitud del invernadero. La dimensión del saco que nos queda, es de unos 40 cm de ancho y entre 20 a 25 cm de alto, se emplea un total de 250 m³/ha., repartidos en 4.000 a 5.000 m. lineales.

Una vez preparado el terreno de asiento, se extiende el plástico, se rellena de arena, se dobla el plástico envolviendo la arena y se solapan los extremos que son sellados. La construcción emplea mucha mano de obra, aunque su fabricación puede mecanizarse.

Presenta como ventaja el bajo coste del sistema, la longitud de la salchicha puede ver compensada el posible mal funcionamiento de algún gotero. La duración del sustrato es permanente por la gran resistencia mecánica.

Como inconveniente presenta la falta de estandarización, posibles problemas de contaminación por transmisión de enfermedades entre plantas, con el empleo de sustrato de tanta longitud y que el suministro no está garantizado a largo plazo por el impacto ambiental que provoca su extracción.

4•6 Sistema de Cultivo en Fibra de Coco

La fibra de coco comienza a introducirse lentamente como sustrato en sistemas de cultivo sin suelo. El sistema mayoritariamente empleado es el de cultivo en contenedor, a partir de suministro de dicho sustrato en forma de ladrillo deshidratado y comprimido, que es la forma de suministro que menor grado de variación de las características físicas y químicas presenta. El mayor grado de variación lo presentan en las formas de bala prensada y saco de cultivo (Noguera, P. et al., 1999).

Es conveniente, previo al empleo del sustrato realizar un análisis del mismo, para proceder al posible ajuste de la solución nutritiva ó al lavado del sustrato en caso de exceso de sales.

Se puede utilizar contenedores de 16 a 24 l. de capacidad, en los que se introducirán dos o tres ladrillos de 8 l. que hidrataremos y disgregaremos en el contenedor. En ocasiones, tanto el hidratación de los ladrillos como el disgregado se puede complicar, pudiéndose mecanizar la segunda labor con el empleo de hormigoneras móviles y pequeños trituradores mecánicos en el contenedor.

En los últimos años se viene comercializando la fibra de coco disgregada o en balas prensadas en bolsas de polietileno, de similares características a las de los sacos de perlita o lana de roca.

Se recomienda emplear un volumen de 85 a 130 m³/ha. de sustrato.

Como ventaja presenta su efecto estimulante sobre el crecimiento de la planta, elevada porosidad total, retiene cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y es fácil de manejar. Su residuo participa en procesos de humificación y enriquecimiento de la materia orgánica del suelo.

Como inconvenientes presenta la falta de homogeneidad de las distintas partidas, procedencias y modalidad de presentación, alta salinidad de algunos lotes, su elevada relación C/N que puede producir sobre el cultivo el hambre de nitrógeno, labores preparatorias y la garantía de suministro.



12. Hidratación de ladrillos comprimidos de fibra de coco.



13. Sistema en salchichas de polietileno rígido, con empleo de tablas de fibra de coco. Trasplante tras cultivo anterior de tomate.

4•7 Sistemas de Cultivo en Agua

El sistema más conocido es el NFT que corresponde a las siglas de nutrient film technique, que fue desarrollado a finales de 1960 por el Dr. Allan Cooper. Está basado en mantener una delgada lámina de solución nutritiva que continuamente se encuentra en recirculación, pasando a través de las raíces de la planta aportando agua, nutrientes y oxígeno. Para la instalación se emplean canales perfectamente nivelados, por los que circula dicha solución, dejando una cámara de aire y cerrando dicho canal con un plástico flexible que impide la entrada de luz.



14. Sistema de cultivo NFT

Una variación del sistema NFT, es el recién introducido sistema NGS, new growing system, que consiste en un canal formado por bolsas de polietileno, interiormente en tres capas interconectadas y forrada por una última de polietileno blanco y negro, que es la que impide la entrada de luz en el sistema radicular, todo ello suspendido en el aire, con un sistema de sujeción y perfectamente nivelado para recoger el drenaje al final de la línea de cultivo y recircularlo. El sistema de riego está constantemente en funcionamiento y la solución nutritiva recogida llega a un depósito en donde se añade agua fresca, se ajusta la solución nutritiva, se calienta dicha solución mediante unos intercambiadores de calor y se vuelve a bombear al cultivo. En su recorrido se hace circular la tubería de riego cerca del sistema radicular de la planta para aprovechar y calentar las raíces de la planta.



15. Sistema de cultivo NGS

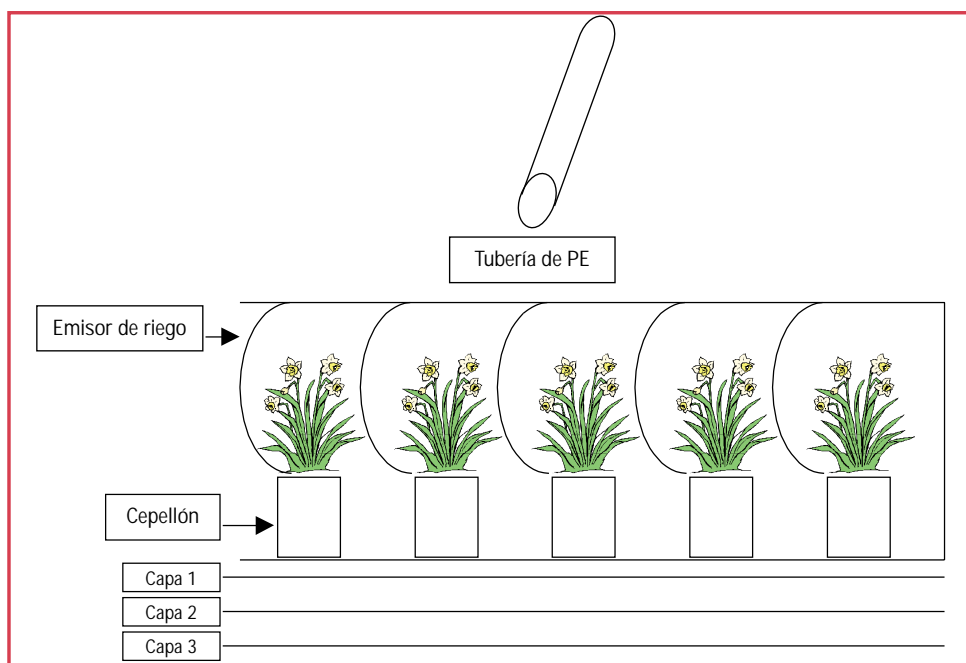


Figura 4. Sistema NGS

4•8 Otros Sistemas

Existen otros sistemas, aunque la superficie cultivada es de poca importancia, o bien, el desarrollo del mismo es a nivel local, por el posible aprovechamiento de un sustrato. Como puede ser el picón en las Islas Canarias, cultivo en grava con empleo incluso de sistema de riego por

subirrigación en bancadas; cultivo en otros sustratos orgánicos como la turba, serrín, corteza de árboles, sistemas de cultivo aeropónico, en los que las raíces de la planta se encuentran colgando en el interior de un contenedor que suministra la solución nutritiva con una alta frecuencia de riego, mojando dicho sistema radicular. Aplicación de cultivo de columna vertical, adaptado al cultivo de lechuga y fresón.



16. Esquema de cultivo aeropónico.



17. Demostración de cultivo aeropónico en crisantemo.

5 • Solución Nutritiva

El término solución nutritiva lo hemos venido empleando durante los epígrafes anteriores. Aunque pueden aplicarse cualquier otra técnica de fertilización, se ha generalizado el empleo de la solución nutritiva en los sistemas de cultivo sin suelo.

La solución nutritiva está formada por el agua de riego junto con los iones disueltos, procedentes de la disolución de los abonos empleados para la formulación de dicha solución, en donde se encuentran disueltos los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, en una proporción adecuada.

Las soluciones nutritivas han venido empleándose por los investigadores durante mucho tiempo, que han intentado ajustar la idónea para cada cultivo y condición climática. Inicialmente en los cultivos sin suelo de España se han utilizado las soluciones aconsejadas en otros países de Europa, como el caso de las propuestas de los investigadores holandeses, C. Sonneveld y N. Straver, que han sido ajustadas a las condiciones climáticas mediterráneas e incluso ajustadas para el empleo de aguas salinas.

Cualquier solución nutritiva completa contendrá los macronutrientes esenciales para la planta, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, elementos que la planta requiere en su nutrición en cantidades relativamente elevadas y que se encuentran a nivel de porcentaje en la planta. También deberá contener los microelementos esenciales, hierro, cinc, manganeso, cobre, boro y molibdeno que los aportaremos generalmente a partir de un complejo comercial.

Para llegar a formular la solución nutritiva es importante familiarizarse con una serie de conceptos, algunos de los cuales, el agricultor que se encuentra trabajando con estos sistemas utiliza habitualmente.

5•1 pH

El pH de una solución nutritiva nos marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones.

En general, nuestras aguas tienen un pH básico, o sea un pH superior a 7, pudiéndose dar en dichas condiciones insolubilidades y precipitados, ello evita la buena nutrición y provoca la obturación de los goteros en nuestra instalación.

La mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pHs comprendidos entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5,5 a 5,8, puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los microelementos.

Las sustancias que son capaces de liberar iones (H^+) (protones) son ácidas y las que pueden liberar OH^- dan reacciones básicas. El ácido nítrico tiene reacción ácida puesto que libera H^+ .



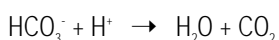
El medio ácido lo encontramos cuando la concentración de protones es superior a la de grupos hidroxilo y el medio será básico cuando se de el caso contrario.

El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición. Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7,5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales.

El valor de pH a utilizar en la solución nutritiva debe permitir una buena asimilación de los nutrientes, evitando posibles fitotoxicidades y precipitados. Por encima de pH 7 la mitad del hierro se encuentra no disponible para la planta formando $\text{Fe}(\text{OH})$ precipitado, a no ser que el hierro se encuentre en forma de quelato. Por debajo de 6,5, el hierro se encuentra disuelto. El manganeso también ve reducida su solubilidad con niveles de pH altos.

Por encima de pH 6,5 la disponibilidad del fósforo y del calcio puede decrecer. En el rango de pH de 5,5 a 6,5 la práctica totalidad de los nutrientes está en forma asimilable. Por encima de 6,5 se pueden producir precipitados y por debajo de 5 puede verse deteriorado el sistema radicular de la planta, y más en sistemas de cultivo sin suelo en los que se emplean sustratos con bajo poder tampón.

En el agua de riego el pH suele ser básico y para bajarlo generalmente hacemos uso de ácidos, como puede ser el ácido fosfórico o el nítrico, encargados de neutralizar al ión bicarbonato:



El bicarbonato actúa de elemento tampón, debiendo mantener en las soluciones nutritivas finales unos 0,5 mmol/litro para evitar caídas bruscas de pH. Como puede verse la cantidad de ácido necesaria para conseguir bajar el pH a un cierto valor, va a depender de la cantidad de bicarbonatos existente en nuestro agua de riego.

Uno de los problemas con los que nos solemos encontrar en el manejo de soluciones nutritivas en cultivos hortícolas, son las variaciones de pH del drenaje, detectando en determinadas especies un pH superior al de entrada, en otras y en ciertos momentos del cultivo, pH incluso inferior al que estamos suministrando por medio del sistemas de riego.

Sobre el pH tiene influencia la forma de nutrirse la planta, principalmente en cómo toma los cationes o los aniones. Generalmente, un exceso de absorción de cationes sobre aniones provoca un descenso del pH, mientras que un exceso de absorción de aniones sobre cationes produce una subida del pH, ello se explica con el caso del nitrógeno, según las formas nítricas o amoniacales afectando sobre el pH final.

5•2 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0,7 o 0,9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. La CE expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica.

Tan importante es conocer la CE de un agua de riego o de una solución nutritiva, como la concentración de sus iones, puesto que los puede haber en niveles de concentración que pueden resultar fitotóxico.

En general, podemos decir que un agua es de buena calidad cuando su valor de CE es inferior a 0,75 mS/cm, permisible con valores de 0,75 a 2 mS/cm, dudosa con valores entre 2 y 3 mS/cm, e

inadecuada cuando la CE es superior a 3 mS/cm. Por otra parte, los cultivos hortícolas son más o menos resistentes a la salinidad y así tenemos que: el tomate, el melón, la sandía, la berenjena son cultivos medianamente tolerantes a la salinidad; el fresón y la judía son sensibles.

Los iones disueltos están formados por: aniones, que son los iones de carga negativa y los cationes, que son los de carga positiva. Puesto que la electronegatividad de la solución nutritiva se mantiene siempre, el sumatorio de las concentraciones de aniones y cationes expresadas en meq/l., deben ser 0 ó <5%. La relación entre la CE y la suma de aniones o cationes en meq/l. debe ser aproximadamente 10. Esta relación es más baja en aguas que predominan los sulfatos y/o bicarbonatos y mayor de 10 cuando predominan los cloruros.

5.3 Formulación de la Solución Nutritiva

La concentración a la que se encuentran los distintos iones se puede expresar de distintas formas, siendo en los sistemas de cultivo sin suelo la de mmol/l. o meq/l, la más común para el caso de los macroelementos y la de ppm., para la de los microelementos.

Mol: se define como la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg. de carbono 12. Cuando se emplea el mol debe especificarse si las cantidades elementales son átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas.

Puede decirse que el mol es la masa atómica, o la masa molecular, o la masa iónica de una sustancia, expresada en gramos.

Milimol: es la milésima parte del mol, o sea, la masa de una partícula elemental expresada en miligramos. Su símbolo es mmol.

Miliequivalente: es el resultado de dividir la masa atómica de un átomo o la masa molar de un radical iónico expresado en miligramos, entre la valencia del átomo o del radical. Su símbolo es meq.

Partes por millón: expresa la concentración de una partícula elemental. En soluciones nutritivas suele significar los miligramos de una sustancia concentrada en un litro de agua. Su símbolo es ppm.

El peso atómico lo utilizaremos para los distintos cálculos.

Elementos	Peso atómico	Elementos	Peso atómico
N	14	Na	23
P	31	Cl	35,5
K	39,1	Fe	55,9
Ca	40,1	Mn	54,9
Mg	24,3	Zn	65,4
S	32,1	B	10,8
O	16	Cu	63,6
H	1	Mo	95,9
C	12	Si	28,1

Tabla 7. Pesos atómicos de los elementos redondeados en el primer decimal.

Los iones disueltos en el agua los utiliza la planta en su nutrición, la concentración de cada uno de esos iones esenciales nos determinará la solución nutritiva, que como hemos visto, puede variar en función de la especie cultivada, de las condiciones climáticas y de las condiciones del agua de partida. Estas soluciones nutritivas no son precisas y únicamente perseguirán acercarse lo mejor posible a las necesidades de la planta, evitando deficiencias, excesos, posibles fitotoxicidades y antagonismos entre iones.

El bicarbonato HCO_3^- no es un nutriente para la planta, aunque como se ha indicado, la acumulación puede incrementar el nivel de pH. La concentración de bicarbonato se neutraliza mediante el empleo de ácido fosfórico y/o nítrico.

Nombre fertilizante	Forma común de la sal	Peso molecular	Forma iónica	Peso iónico
Acido nítrico 100%	HNO_3	63	NO_3^-	62
Acido nítrico 37%		170,3	NO_3^-	62
Nitrato amónico	NH_4NO_3	80	NO_3^- , NH_4^+	
Acido fosfórico 100%	H_3PO_4	98	H_2PO_4^-	97
Acido fosfórico 37%		264,9		
Fosfato monoamónico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115	NH_4^+ , H_2PO_4^-	
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	136	K^+ , H_2PO_4^-	
Nitrato potásico	KNO_3	101	K^+	39
Sulfato potásico	K_2SO_4	174	SO_4^{2-}	96
Nitrato cálcico	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	(181)	Ca^{2+}	40
Sulfato magnésico	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	246	Mg^{2+}	24
Nitrato magnésico	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	256	NO_3^- , Mg^{2+}	
			Cl^-	35,5
			Na^+	23
			HCO_3^-	61

Tabla 8. Abonos más empleados en agricultura, en sistemas de fertirrigación.

El nitrato de cal contiene agua de cristalización y nitrato amónico. Su fórmula molecular es $5 [\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}] \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$ y su peso molecular es de 1080,5, de forma que un mol de nitrato de cal es químicamente equivalente a 5 mol de Ca^{2+} , 11 mol de NO_3^- y 1 mol de NH_4^+ (Sonneveld, 1989). El peso molecular en este caso está calculado sobre la base del contenido en nitrógeno y el peso molecular indicado 181 sería relativo. Considerando este punto, en el cálculo de la solución nutritiva deberemos tener en cuenta que 1 mmol de nitrato de cal aporta 1 mmol de Ca^{2+} , 2,20 mmol de NO_3^- y 0,20 mmol de NH_4^+ .

5•4 Cálculo de la Solución Nutritiva

Para calcular la solución nutritiva necesitamos primero un análisis del agua de riego que vamos a utilizar, la misma tendrá una determinada concentración de iones, alguno de los cuales podrá ser utilizado por la planta y otros se encontrarán en exceso que deberemos considerar en nuestros cálculos.

Partiendo de la solución nutritiva que queremos formular y por diferencia con el agua de riego, corregiremos para añadir los fertilizantes que nos permitan el ajuste de dicha solución.

Los cálculos los vamos a realizar para obtener la cantidad de abono que necesitaremos aportar a un depósito de solución madre de 1.000 l., que está 100 veces concentrada, o lo que es lo mismo, el cálculo obtendrá la cantidad de abono en kg. que deberemos suministrar a una balsa de 100.000 l., para conseguir la solución nutritiva que pretendemos.

Para mayor comodidad iremos rellenando el cuadro que se adjunta de arriba abajo, en donde se puede ver los pasos a seguir:

Formulación de solución nutritiva

		Cultivo:					Fecha:						
		Aniones mMol/l					Cationes mMol/l						
d	Orden de ajuste de los elementos	8	1	5	2	7	6	3	4				
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	CE mS/cm
a	Agua de riego												
b	Solución ideal												
c=b-a	Aportes previstos												

Fertilizantes		mMol/l											
	H ₃ PO ₄												
	HNO ₃												
	Ca(NO ₃) ₂												
	KNO ₃												
	NH ₄ NO ₃												
	K ₂ SO ₄												
	MgSO ₄												
	NH ₄ H ₂ PO ₄												
	KH ₂ PO ₄												
	Mg(NO ₃) ₂												
e	Aportes reales												
f=a+e	Solución nutritiva final mMol/l												
g	Solución nutritiva final meq/l												
	Aniones												
	Cationes												
	ppm												
	CE prevista												

Fertilizantes para 1.000 lts. de solución madre 100 veces concentrada.

h	Fertilizante	Mmol/lit.	Total Abono
	Acido nítrico (37%)	X 13,8	litros
	Acido nítrico (59%)	X 7,8	litros
	Acido fosfórico (37%)	X 21,2	litros
	Acido fosfórico (75%)	X 8,2	litros
	Nitrato potásico	X 10,1	kilos
	Nitrato cálcico	X 18,1	kilos
	Nitrato amónico	X 8,0	kilos
	Sulfato potásico	X 17,4	kilos
	Sulfato magnésico	X 24,6	kilos
	Fosfato monoamónico	X 11,5	kilos
	Fosfato monopotásico	X 13,6	kilos
	Nitrato magnésico	X 25,6	kilos
i	Complejo de microelementos		kilos

- a) En la primera fila copiaremos el resultado del análisis de nuestro agua de riego expresada en mmol/l.
- b) En la segunda fila, anotaremos la solución nutritiva que queremos formular para nuestro cultivo.
- c) La fila correspondiente a los aportes previstos la obtendremos por diferencia de las dos anteriores. Puede que nos encontremos con iones en exceso, procedentes del agua de riego. En el caso de los bicarbonatos, hemos visto cuando hemos definido el pH, que son en gran medida los causantes de pH alto y que se neutraliza mediante el empleo de ácidos, dejando 0,5 mmol/l. conseguimos mantener un pequeño poder tampón, al tiempo que nos permitirá estimar la cantidad de ácido que deberemos emplear.
- d) Ajuste de los macroelementos, escogiendo para ello los abonos más convenientes. Por comodidad en el cálculo, es recomendable seguir el siguiente orden:

Comenzar ajustando el fósforo (con ácido fosfórico o si los niveles de bicarbonatos son muy bajos con fosfato monopotásico), terminar de neutralizar los bicarbonatos empleando ácido nítrico, ajustar el calcio con el empleo de nitrato cálcico, ajuste del magnesio empleando nitrato de magnesio y/o sulfato en caso de necesitar incrementar los sulfatos y por último, terminar de ajustar los niveles de potasio, nitratos, amonio y sulfatos restantes, intentando cuadrar lo mejor posible los aportes previstos.

- e) Cálculo de los aportes reales, que pueden diferir ligeramente de los previstos.
- f) Cálculo de la solución nutritiva final, que se obtendrá de la suma de las concentraciones del agua de riego más los aportes reales.
- g) Como comprobación y para el cálculo de la CE final, emplearemos el método de los miliequivalentes, para lo cual la concentración de los iones los pasaremos a meq/l, multiplicando los mmol/l por la valencia del ión, calcularemos el sumatorio de aniones y el de cationes, que deberá ser muy similar. El sumatorio de los cationes o el de aniones dividido entre un factor que varía entre 10 para conductividades bajas y 12 para conductividades altas, nos dará el valor de la CE expresado en mS/cm de la solución final. Otro método para calcular la CE es pasar la concentración de mmol/l. a ppm multiplicando por el peso del ión, calcular el sumatorio de iones y dividirlo por el factor 0,7 para aguas de baja CE y 0,9 para soluciones de alta CE.
- h) Obtendremos la cantidad de kilos o litros del abono a diluir en un depósito de 1000 l de solución madre 100 veces concentrada. Para ello emplearemos la segunda parte de la tabla, en donde para obtener los kilos o litros de abono comercial en estas condiciones multiplicaremos los mmol/l. de abono que necesitamos por el peso molecular/10, teniendo en cuenta en el caso de líquidos la densidad para pasarla a litros.
- i) Aportaremos la cantidad de 2 a 2,5 kilos de un complejo de microelementos comerciales aconsejados para sistemas de cultivo sin suelo en el depósito de 1000 litros.

Se exponen dos ejemplos de cálculo de solución nutritiva, el primero empleando un agua de riego de buena calidad y el segundo a partir de una agua con altos niveles de salinidad, para un supuesto cultivo de tomate.

La solución madre se prepara en dos o tres tanques que los vamos a denominar como tanque A y tanque B. Los cálculos se realizan para tanques con una capacidad de 1.000 litros y en donde la solución que preparemos estará 100 veces concentrada.

Cuando se preparan las mezclas debemos evitar la adición en un mismo depósito de sulfatos y calcio, con fosfatos, el complejo de microelementos los podemos incorporar en el mismo tanque en el que pongamos el nitrato de cal, añadiéndolos antes de mezclar la cal. Intentaremos que los dos depósitos tengan la misma cantidad de abono en kilos, pudiendo utilizar el nitrato potásico para igualar dichos pesos.

En la mayor parte de las instalaciones de riego, el sistema está preparado para dosificar el ácido a partir de un tercer depósito en el que generalmente se incorpora el ácido nítrico diluido.

En la siguiente tabla podemos ver la compatibilidad de las mezclas de los principales abonos utilizados en fertirrigación.

Nitrato Amónico									
C	Fosfato Monoamónico								
C	C	Fosfato Monopotásico							
C	C	C	Nitrato Potásico						
C	C	C	C	Sulfato Potásico					
C	I	I	C	I	Nitrato Cálcico				
C	C	C	C	C	I	Sulfato Magnésico			
C	I	I	C	C	I	C	Nitrato Magnésico		
C	C	C	C	C	C	C	C	Acido Nítrico	
C	C	C	C	C	I	I	I	C	Acido Fosfórico

Tabla 9. Compatibilidad de las mezclas de los principales abonos. (C: Compatible; I: Incompatible)

Formulación de solución nutritiva

		Cultivo:					Fecha:						
		Aniones mMol/l					Cationes mMol/l						
d	Orden de ajuste de los elementos	8	1	5	2	7	6	3	4				
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	CE mS/cm
a	Agua de riego	0,70	0,00	1,88	0,56	1,90	0,00	0,11	1,52	0,54	0,90	8,46	0,47
b	Solución ideal	13,75	1,50	3,75	0,50	0,00	0,50	8,75	4,25	2,00	0,00		
c-b-a	Aportes previstos	13,05	1,50	1,87	-0,06	-1,92	0,50	8,64	2,73	1,46	-0,90		

Fertilizantes	mMol/l												
H ₃ PO ₄	0,00		0,00		0,00								
HNO ₃	0,06	0,06			-0,06								
Ca(NO ₃) ₂	2,73	6,01					0,55		2,73				
KNO ₃	6,98	6,98						6,98					
NH ₄ NO ₃	0,00	0,00					0,00						
K ₂ SO ₄	0,08			0,08				0,16					
MgSO ₄	1,46			1,46						1,46			
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,00		0,00				0,00						
KH ₂ PO ₄	1,50		1,50					1,50					
Mg(NO ₃) ₂	0,00	0,00								0,00			
e	Aportes reales	13,50	1,50	1,54	-0,06	0,00	0,55	8,64	2,73	1,48	0,00		
f=a+e	Solución nutritiva final mMol/l	13,75	1,50	3,42	0,50	1,92	0,55	8,75	4,25	2,00	0,90		
g	Solución nutritiva final meq/l	13,75	1,50	6,84	0,50	1,92	0,55	8,75	8,50	4,00	0,90		
	Aniones	24,506											
	Cationes	22,696											
	ppm												
	CE prevista	2,45											

Fertilizantes para 1.000 lts. de solución madre 100 veces concentrada.

Fertilizante	Mmol/lit.		Total Abono
Acido nítrico (37%)	0,06	x 13,8	0,83 litros
Acido nítrico (59%)	0,06	x 7,8	0,47 litros
Acido fosfórico (37%)	0,00	x 21,2	0,00 litros
Acido fosfórico (75%)	0,00	x 8,2	0,00 litros
Nitrato potásico	6,98	x 10,1	70,50 kilos
Nitrato cálcico	2,73	x 18,1	49,41 kilos
Nitrato amónico	0,00	x 8,0	0,00 kilos
Sulfato potásico	0,08	x 17,4	1,93 kilos
Sulfato magnésico	1,46	x 24,6	35,92 kilos
Fosfato monoamónico	0,00	x 11,5	0,00 kilos
Fosfato monopotásico	1,50	x 13,6	20,40 kilos
Nitrato magnésico	0,00	x 25,6	0,00 kilos
i	Complejo de microelementos		2,00 kilos

Conductividad eléctrica: 2,4 mS/cm (por ser un agua de buena calidad)
pH: 5,5

Tanque A

Fosfato monopotásico: 20,4 kg.
Sulfato Magnésico: 35,9 kg
Sulfato Potásico: 1,4 kg.
Nitrato Potásico: 32,1 kg.

Tanque B

Nitrato Cal: 49,4 kg.
Microelementos: 2 kg.
Nitrato Potásico: 38,4 kg.

Formulación de solución nutritiva

		Cultivo:					Fecha:						
		Aniones mMol/l					Cationes mMol/l						
Orden de ajuste de los elementos		8	1	5	2	7	6	3	4				
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	CE mS/cm
a	Agua de riego	6,00	0,00	2,88	2,66	6,73	0,00	0,08	6,30	3,19	5,00	7,86	2,27
b	Solución ideal	13,75	1,50	3,75	0,50	0,00	0,50	8,75	4,25	2,00	0,00		
c-b-a	Aportes previstos	7,75	1,50	0,95	-2,16	-6,73	0,50	8,67	-2,05	-1,19	-5,00		

Fertilizantes	mMol/l												
H ₂ PO ₄	1,50		1,50		-1,50								
HNO ₃	0,66	0,66			-0,66								
Ca(NO ₃) ₂	0,00	0,00					0,00		0,00				
KNO ₃	6,77	6,77						6,77					
NH ₄ NO ₃	0,50	0,50					0,50						
K ₂ SO ₄	0,95			0,95					1,90				
MgSO ₄	0,00			0,00							0,00		
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,00		0,00				0,00						
KH ₂ PO ₄	0,00		0,00					0,00					
Mg(NO ₃) ₂	0,00	0,00									0,00		
e	Aportes reales	7,93	1,50	0,95	-2,16	0,00	0,50	8,67	0,00	0,00	0,00		
f=a+e	Solución nutritiva final mMol/l	13,93	1,50	3,75	0,50	6,73	0,50	8,75	6,30	3,19	5,00		
g	Solución nutritiva final meq/l	13,93	1,50	7,50	0,50	6,73	0,50	8,75	12,60	6,38	5,00		
	Aniones	30,16											
	Cationes	33,23											
	ppm												
	CE prevista	3,02											

Fertilizantes para 1.000 lts. de solución madre 100 veces concentrada.

Fertilizante	Mmol/lit.		Total Abono
Acido nítrico (37%)	0,66	x 13,8	9,11 litros
Acido nítrico (59%)	0,66	x 7,8	5,15 litros
Acido fosfórico (37%)	1,50	x 21,2	31,80 litros
Acido fosfórico (75%)	1,50	x 8,2	12,30 litros
Nitrato potásico	6,77	x 10,1	68,38 kilos
Nitrato cálcico	0,00	x 18,1	0,00 kilos
Nitrato amónico	0,50	x 8,0	4,00 kilos
Sulfato potásico	0,95	x 17,4	16,53 kilos
Sulfato magnésico	0,00	x 24,6	0,00 kilos
Fosfato monoamónico	0,00	x 11,5	0,00 kilos
Fosfato monopotásico	0,00	x 13,6	0,00 kilos
Nitrato magnésico	0,00	x 25,6	0,00 kilos
i	Complejo de microelementos		2,00 kilos

Conductividad eléctrica: 3,0 mS/cm (por ser un agua de buena calidad)

pH: 5,5

Tanque A

Acido Fosfórico 75%: 12,3 l
Nitrato Amónico: 4 kg.
Nitrato Potásico: 31,8 kg.

Tanque B

Sulfato Potásico: 16,5 kg.
Microelementos: 2 kg.
Nitrato Potásico: 36,6 kg.

6 • INSTALACION DE RIEGO

6•1 Almacenamiento del Agua



18. Balsa cubierta con malla negra para evitar la proliferación de algas.

Para alimentar al cabezal de riego, puede que el agua nos venga de una red con presión, de una aspiración directa de pozo, o bien de una balsa que nos servirá de elemento de reserva, cuya capacidad se calculará para asegurar un suministro continuo. La balsa es conveniente cubrirla con una malla negra, con placas o material de construcción, para evitar la entrada de luz y por consiguiente la proliferación de algas.

En algunas instalaciones el agricultor ha optado por canalizar el agua de lluvia procedente de la cubierta de los invernaderos, situación que nos obligará a reajustar la solución nutritiva con el cambio de calidad del agua, que en determinados momentos puede resultar incómodo y poco conveniente para el ajuste de las solución nutritiva adecuada. Una posible opción es la de disponer de una balsa para la captación del agua de lluvia y un sistema que permita una mezcla con el agua de normal suministro en la explotación.



19. Canalización del agua de lluvia a la balsa de riego.



20. Sistema de mezcla automático a partir de la medida de conductividad eléctrica, agua de lluvia y agua de pozo. Fundación Caja Rural Valencia.

6•2 Cabezal de Riego

En principio la instalación debe estar dotada de los elementos esenciales de cualquier cabezal de riego localizado. Bomba de aspiración o impulsión del agua de riego, que nos permitirá tener agua en suficiente cantidad a una determinada presión que alimentará nuestro sistema de riego.

El cabezal estará dotado de un prefiltrado, cuando el tipo de agua empleado lo requiera, seguidamente se instalarán filtros de arena que nos permitirá eliminar las algas y materia orgánica, con un posible contralavado para poder hacer la limpieza del filtro, manómetro a la entrada y salida del filtro, que nos permitirá detectar cuándo tenemos el filtro sucio. Una vez pasado el filtro de arena, se produce la inyección de los fertilizantes y ácidos para conseguir nuestra solución nutritiva, punto éste que trataremos en un epígrafe aparte por la importancia que tiene sobre el manejo de los sistemas de cultivo sin suelo. Una vez aportados los fertilizantes procederemos a filtrar la solución nutritiva por medio de filtros de mallas o anillas. Después del filtrado colocaremos un manómetro que nos indicará por diferencias de presión cuando el filtro se encuentra sucio. El filtrado del agua es necesario si vamos a trabajar con goteros, puesto que el diámetro de paso es tan pequeño, que se pueden obturar con relativa facilidad.

En la figura 6 podemos ver un esquema tipo de un cabezal de riego. Deberá estar dotado de las llaves, reguladores de presión, válvulas de retención y ventosas necesarias.

Generalmente, las tuberías empleadas en el montaje del cabezal son de P.V.C. rígido, resguardadas de la radiación solar, dado que estos cabezales van montados en pequeñas casetas de obra o en los almacenes de la explotación.

En el cabezal de riego colocaremos los depósitos de poliéster o polietileno en donde irán preparadas las soluciones madre, con un sistema de agitación mecánica, o por medio de sopladores, para la correcta dilución de los fertilizantes. A la salida de estos depósitos instalaremos grifos y filtros para posteriormente inyectar la solución concentrada en la red de riego. El número de éstos dependerá de los cultivos que pretendamos manejar, requiriendo un mínimo de 2.

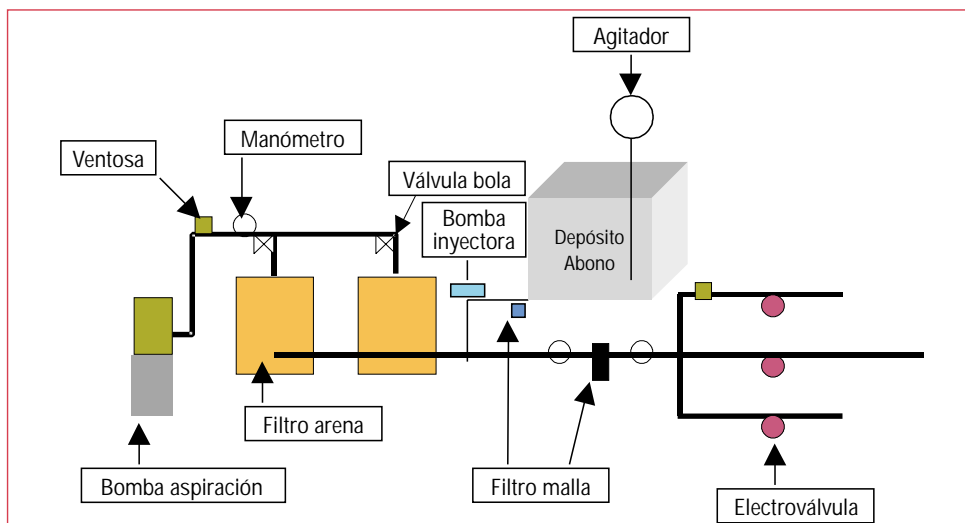


Figura 5. Esquema cabezal riego.

6.3 Sistemas que Permiten Preparar la Solución Nutritiva

6.3.1 Sistema balsa

Para el sistema balsa deberemos construir un depósito a propósito, con una capacidad adecuada.

En la misma se prepara directamente la solución nutritiva en la que quedará determinada la CE y el pH, por medio de la adición de los abonos y ácidos siguiendo las instrucciones indicadas en el epígrafe de preparación de las soluciones. La balsa ha de ser lo suficientemente grande que nos permita una mezcla para varios días, por ejemplo, para una hectárea de invernadero necesitaremos una balsa de unos 100.000 litros, debiendo reponerla cada dos días en períodos de máxima demanda. La balsa debe de estar totalmente cerrada para evitar la entrada de luz. Instalaremos cualquier sistema que permita un fácil aforado, para saber exactamente el agua que tenemos y la que añadimos y así poder hacer los cálculos de abono a incorporar. Normalmente no requieren de sistemas de agitación, siempre que los abonos los incorporemos disueltos y aprovechando el llenado de la balsa.

Este sistema presenta como inconveniente que requiere de la construcción de la balsa. En aquellos casos en los que tengamos agua a presión en la red hemos de volver a bombear el agua y la preparación se ha de realizar con mucha frecuencia en los períodos de máximo consumo de agua.

Como principal ventaja tiene que la solución preparada es constante, así como la CE y el pH. El valor de pH, transcurridas unas horas de la preparación puede variar unas décimas al alza, que puede ser corregida con la adición de un poco de ácido. El mantenimiento es mínimo. El sistema es muy sencillo y queda completo con un pequeño programador de riego, que sea capaz de distribuir los riegos en función de las necesidades del cultivo.

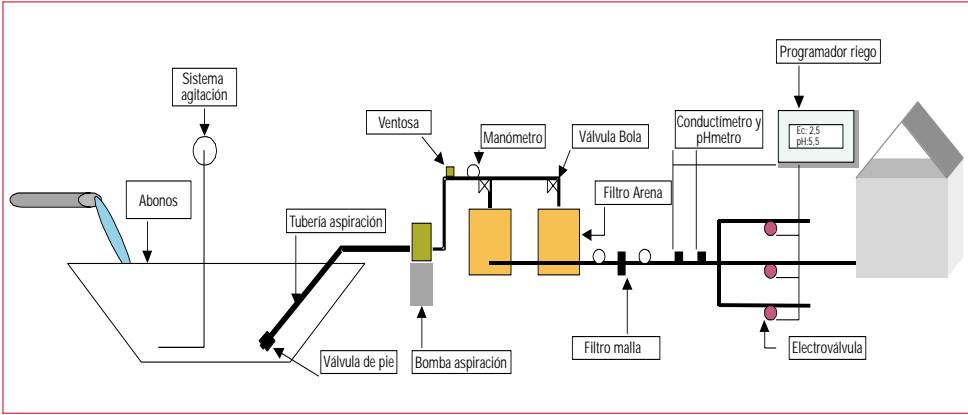


Figura 6. Esquema sistema balsa.

6-3-2 Inyección proporcional

La inyección de abono se efectúa directamente en la red de riego por medio de inyectoros proporcionales. La instalación mínima estará dotada de dos inyectoros proporcionales, que tomarán el abono de los depósitos de solución madre.

El sistema es también muy sencillo y fácil de manejar. El ajuste de CE y pH es también exacto. En algunos casos en los que el precio de estos inyectoros depende del caudal de inyección de abono, se puede concentrar ligeramente la solución madre y sectorizar el riego del invernadero. La mayor parte de estos inyectoros no requieren de energía eléctrica para su funcionamiento y en aquellas explotaciones en donde el agua les llega con presión, puede ser el sistema ideal, sin necesidad de electrificar la instalación, trabajando con un programador de pilas o con batería.

Como inconveniente presenta que los sectores de riego han de funcionar siempre con el mismo volumen.



21. Cabezal de riego con inyección proporcional. Fundación Caja Rural Valencia.

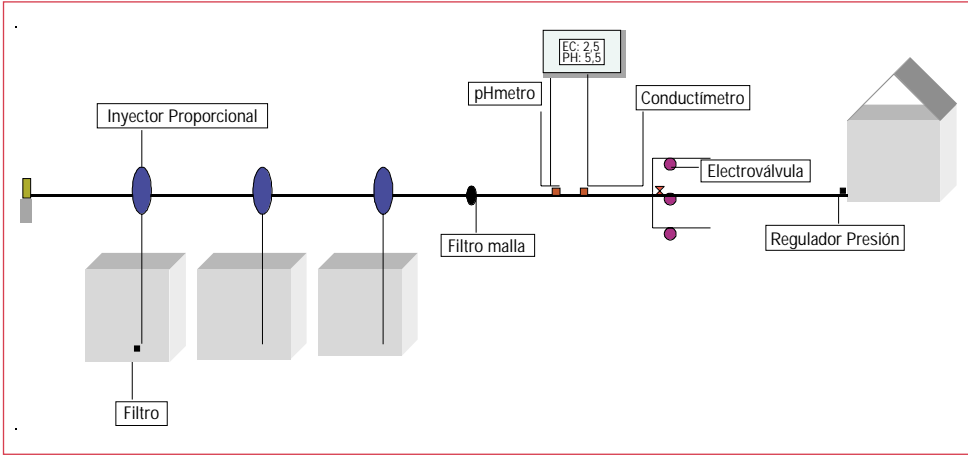


Figura 7. Esquema sistema inyección proporcional.

6•3•3 Sistemas de inyección automático con control del pH y de CE

Estos sistemas son los que emplean la mayor parte de los actuales ordenadores de riego, denominados en algunas zonas “máquina de riego”. El sistema inyecta los nutrientes y el ácido de los depósitos de solución madre, homogeneiza la solución y se produce la lectura de conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva. Utiliza inyectores eléctricos y/o venturis con electroválvulas para su apertura y cierre.

En el mercado podemos encontrar una gran cantidad de marcas y modelos que se ajustan a las necesidades concretas de la explotación y así tenemos:

6•3•3•1 Inyección directa en la tubería de riego

Las sondas que miden el pH y la conductividad eléctrica se instalan en la tubería de riego, después de la inyección de abono y ácido y después de un homogeneizador. La lectura de estos parámetros modifica la inyección de abono y ácido hasta ajustar el valor requerido.

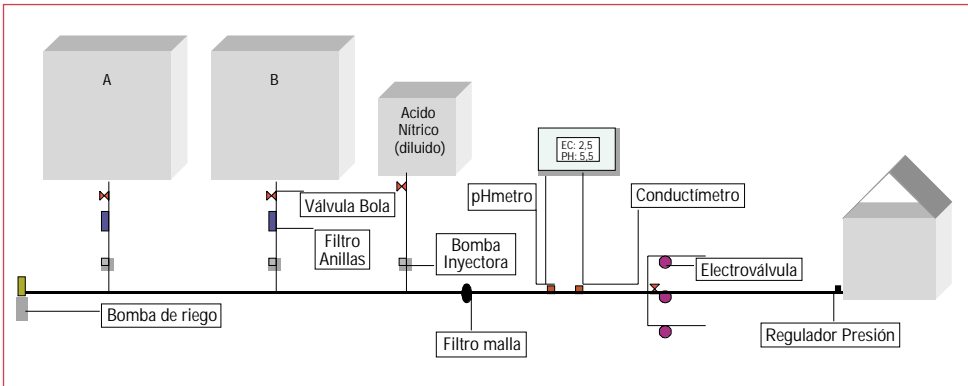


Figura 8. Esquema sistema inyección directa a la tubería de riego.

6·3·3·2 Depósito de mezcla

El funcionamiento es similar al anterior, la diferencia es que la solución es fabricada en un pequeño depósito a donde llega el agua de riego, se inyectan los fertilizantes y ácido, la solución nutritiva es bombeada al sistema y por medio de un by pas, se hace pasar por los sensores de pH y CE, que a partir de la lectura marcan las inyecciones de abono y ácido hasta obtener el valor deseado. El depósito está dotado de sondas de nivel y válvulas hidráulicas que pueden regular de forma automática el nivel requerido del tanque. Podemos encontrar modelos dotados de pHmetros y conductímetros de seguridad.

Este segundo sistema presenta como principal inconveniente que requiere de un segundo grupo de bombeo, la ventaja es que permite formular distintas soluciones nutritivas para distintos cultivos de una forma muy exacta con una homogeneización de la mezcla más completa. En ambos casos el equipo está dotado de un sistema de alarma que se activa cuando las lecturas difieren de los valores programados, deteniendo de forma automática el riego para evitar cualquier problema sobre el cultivo. El ordenador de riego permite diferentes sistemas de programación de riego, hora fija, riegos cíclicos, por radiación solar, riego por demanda y sus combinaciones como veremos posteriormente.



22. Ordenador de riego con ajuste automático del pH y de la CE. Fundación Caja Rural Valencia.

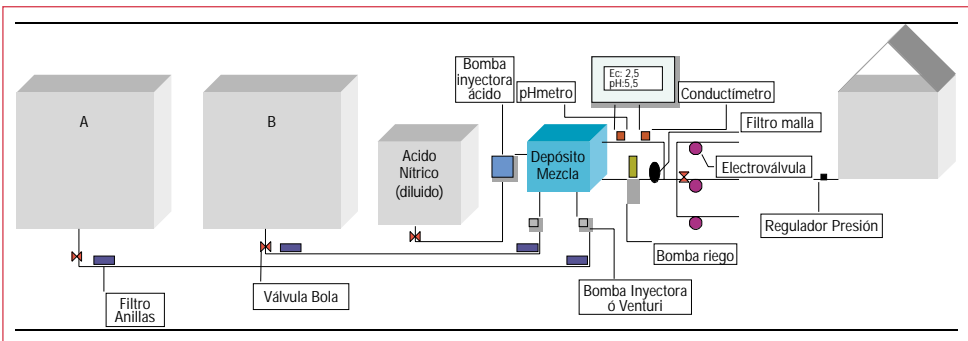


Figura 9. Esquema con depósito de mezcla

6•3•4 Red de distribución

La red de distribución está formada por las conducciones y elementos auxiliares que van a permitir llevar la solución nutritiva a la planta. Electroválvulas que nos van a permitir sectorizar el riego de forma automática y reguladores de presión que permitirán una distribución homogénea de la presión en los distintas tuberías terciarias.

Las tuberías primarias, por su diámetro, generalmente son de PVC, van enterradas para evitar su degradación por efecto de la radiación solar y salen directamente desde el cabezal. En invernaderos en los que se vayan a manejar diferentes cultivos, o en los que se dispongan distintas plantaciones de un mismo cultivo, y por tanto, requiera de aplicación de distintas soluciones nutritivas, será conveniente que desde el cabezal, se instalen primarias totalmente independientes a cada sector de riego. Conectada a la primaria tendremos las tuberías secundarias, terciarias, etc.. que en los últimos tramos pueden ser de polietileno y pueden ir superficialmente. Es conveniente que a la red de tuberías, aun siendo de polietileno, no les dé directamente el sol, debido al calentamiento excesivo de la solución nutritiva, que puede producir en períodos estivales y que puede afectar a la planta cuando es de pequeño tamaño.

Esta distribución nos llevará a las tuberías portagoteros, que son de polietileno con diámetros nominales de 12 a 20 mm.

El diseño de la instalación debe permitir una uniformidad de riego superior al 90%, para garantizar una alta homogeneidad en el reparto de riego y garantizar que todas las plantas reciben la misma cantidad de solución nutritiva.

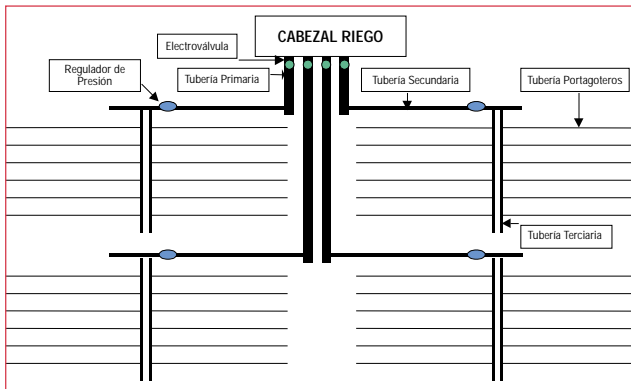


Figura 10. Esquema red de distribución.

6•3•5 Emisores

En sistemas de cultivo sin suelo que emplean contenedores continuos rellenos de sustrato, podemos emplear goteros de laberinto incorporados a la tubería de riego e incluso cintas de riego del tipo empleado para cultivo de hortalizas en sistemas de riego localizado.

En sistemas de cultivo en sacos o contenedores individuales, se vienen utilizando goteros que van pinchados en la tubería (emisores sobre línea), portaemisores conectados a un microtu-

bo y una piqueta que permite llegar hasta la planta, sirviendo este último elemento como sujeción de la planta procedente del semillero sobre el sustrato y localizador del punto de descarga. En algunos invernaderos en los que desarrollan ciclos de producción otoñal y que deben recurrir a trasplantes durante los meses de julio y agosto, algunos agricultores han optado también por enterrar ligeramente con grava o taparla con un plástico blanco la tubería lateral, para evitar que se sobrecaliente la solución nutritiva.

Debido al mayor coste del emisor se emplea un gotero por cada dos plantas de un caudal que oscila entre los 2 a 4 litros/hora.

Los emisores que pueden emplearse son:

6•3•5•1 Capilares o microtubos

Formados por un microtubo de polietileno de un diámetro interno de 0,6 a 2 mm. y de una longitud de hasta 2 m., que trabaja con presiones muy bajas 7 m.c.a. en régimen laminar. Son sensibles a las variaciones de presión y temperatura y propensos a las obstrucciones. Para obtener una buena uniformidad de riego se debe sobredimensionar las terciarias y la tubería portagotero. También se puede compensar la pérdida de carga con distintas longitudes de microtubo. Presenta como ventaja el bajo precio.

6•3•5•2 Emisores de laberinto

En ellos el agua recorre una trayectoria tortuosa hasta salir sin presión. Son de menor sensibilidad a las variaciones de presión, temperatura y obturaciones. Su presión de trabajo mínimo de 1 atmósfera y caudales comprendidos entre 2 a 4 litros/hora.

Para evitar una falta de uniformidad, en los frecuentes riegos que se aplican en estos sistemas, se deben instalar electroválvulas en los subsectores para evitar descargas y conseguir un llenado rápido de las tuberías al inicio del riego.

6•3•5•3 Emisores de membrana autorregulados y antidrenantes

Estos goteros poseen una membrana que no abre hasta que no alcanza una presión de 4 o 10 m.c.a., tanto la apertura como el cierre se efectúa con la red llena de agua. En sistemas de riego para cultivos sin suelo en donde se aportan numerosos riegos al día, permite mejorar los coeficientes de uniformidad.

6•3•5•4 Emisores autocompensantes y antidrenantes

Permiten un caudal constante dentro de un rango de presiones. Son aconsejados cuando existe una baja uniformidad, debida a desniveles del terreno y de pérdidas de carga en las tuberías. Estos emisores son caros y con el tiempo pierden eficacia por el envejecimiento de la membrana elástica. En la práctica se emplean en muchas explotaciones de cultivos sin suelo.



23. Instalación en contenedor con tubería de riego con gotero de laberinto incorporado



24. Elemento típico formado por: gotero, microtubo y piqueta.

7 • MANEJO DE LOS CULTIVOS SIN SUELO

Cada uno de los sistemas explicados requiere de un manejo específico, la elección del sistema más adecuado va a depender de una serie de factores, entre los que debemos destacar, el tipo de cultivo, la duración del mismo, el sustrato elegido, volumen de sustrato a emplear, coste de instalación del sistema, facilidad, asesoramiento de manejo, sistema de riego, etc. Por esta razón resulta complicado decantarse por uno de ellos y afirmar cual es el ideal.

En distintas experiencias realizadas, con el objetivo de comparar distintos sistemas, apenas se dan diferencias, tal como veremos en el último capítulo. Lo realmente importante es conocer la correcta preparación y manejo de cada uno de ellos.

Hay aspectos de las labores preparatorias y del manejo que son comunes o similares a cada uno de los sistemas, y existe un manejo específico para cada sustrato. Como ejemplos trataremos los sistemas de cultivo en lana de roca, en perlita y algún comentario respecto a otros sistemas.

7.1 Labores Preparatorias

Dichas tareas van a consistir en repartir el sustrato a lo largo del invernadero de forma que permita el cultivo hortícola en cuestión, no debiendo necesariamente modificar las densidades ni la disposición de la plantación por el hecho de cultivar en sistemas de cultivo sin suelo, por lo que la distancia entre hileras y entre plantas será fácil de adecuar. Para la mayor parte de los cultivos hortícolas, la distancia entre hileras de sustrato puede ser de 2 m., pudiendo hacerse algo más estrecha para cultivos como el pimiento y en ocasiones algo más ancha para cultivar tomate.

Es aconsejable comprobar la instalación de riego, funcionamiento de los goteros, medición de uniformidad de riego. Si es la primera vez que ponemos en marcha nuestra instalación, es importante familiarizarse con el funcionamiento del programador de riego, con el sistema, inyección de solución madre, de ácido, con la formulación de la solución nutritiva, ajuste de pH y CE, frecuencia de riegos, tiempos y demás automatismos.

Previo a la plantación se procede a saturar el sustrato, la lana de roca y la perlita, con la solución nutritiva prevista, llenando totalmente el espacio poroso del sustrato y con objeto de contrarrestar la reacción básica inicial de los mismos. Se mantienen saturados durante al menos 24 horas.



25. Reparto de tablas en el invernadero.



26. Corte de la tabla para evacuar el drenaje.

Si el cultivo lo desarrollamos en sacos, en el caso de la perlita realizaremos antes de la plantación unos cortes en el punto más bajo del mismo, en forma de, o simplemente cortando el extremo más bajo con una tijera para drenar el agua sobrante, en el caso de lana de roca dicho corte se puede practicar varios días después de realizar el trasplante.

Cuando se cultiva en fibra de coco prensada y deshidratada, suministrada en forma de ladrillo o bloque, será necesario, tal como hemos indicado anteriormente, hacer previamente un análisis, para conocer su posible salinidad y los iones de que dispone, para de esta forma proceder a lavados y/o ajuste de la solución nutritiva durante los primeros riegos. Los primeros riegos irán destinados al proceso de hidratado e hinchado del sustrato, posteriormente se tendrá que disgregar, seguidamente emplearemos agua de riego con la menor cantidad de sales posible para lavar el sustrato hasta tener seguridad de haber eliminado la salinidad por medio de medida de conductividad eléctrica del agua de salida, para terminar con riegos que permitan empapar

el sustrato con la solución nutritiva requerida por el cultivo. En algunos casos y por comodidad en el manejo, el proceso de hinchado y disgregado se realiza mecánicamente fuera del contenedor o bolsa y posteriormente, se procede a su relleno o embolsado.



27. Proceso de hidratación de la fibra de coco y disposición del ladrillo, para evitar en el hinchado la rotura del contenedor



28. Disgregado de la fibra de coco.

7•2 Plantación

Una vez saturado el sustrato, se procede a la plantación. En los sistemas de cultivo sin suelo que mantienen el sustrato embolsado, deberemos cortar o agujerear el plástico para enterrar el cepellón de las plantas que han desarrollado su fase de semillero en bandejas de alvéolos, o simplemente apoyar en el sustrato y sujetar clavando la piqueta adherida al microtubo del gotero al saco de sustrato, para aquellas plantas cuyo semillero se ha realizado en bloques de lana de roca. En este punto tiene especial importancia el contacto del material del semillero con el sustrato definitivo, para asegurar el enraizamiento de la planta.

Existe la posibilidad de realizar siembra directa, aunque en la práctica apenas es utilizada, por las ventajas del manejo de plantaciones con planta procedente de semilleros.



29. Colocación de la planta



30. Sujeción de la planta utilizando la piqueta

7•3 Control del Riego

Uno de los aspectos más importantes del manejo de los sistemas de cultivo sin suelo es el del riego, frecuencia, dotación, número, drenaje y manejo de la solución nutritiva. El aporte de riego ha de permitir compensar las extracciones de la planta, evitar una posible acumulación de sales en el sistema radicular y mantener los niveles de oxígeno adecuados, con una correcta aireación.

La solución nutritiva está compuesta de un equilibrio adecuado, obtenido a partir de trabajos realizados por grupos de investigadores en nutrición. Todos los iones disueltos no los aprovecha la planta en su totalidad. Por otra parte, el agua de riego puede contener iones en exceso, como cloruros, sodio, niveles altos de magnesio, sulfatos, etc., que se acumulan en el sistema radicular y en el sustrato, produciendo salinización. También hemos de contar con la posible falta de uniformidad, aunque en estos sistemas vamos a exigir una uniformidad de riego superior al 95%, los emisores envejecen. En el interior de los invernaderos se producen gradientes de temperatura, humedad relativa, luminosidad y heterogeneidad de plantas, que hace que no consuman exactamente la misma cantidad de agua. Para contrarrestar estos efectos, manejamos el sistema de riego con drenaje, es decir, cuando aportamos la solución nutritiva lo hacemos con una dotación superior a las necesidades reales de la planta, en cantidades que al menos supone entre un 20 a un 25% de drenaje y cuando se emplean aguas salinas, en donde la acumulación de iones puede ser importante, se trabaja con drenajes del 30-35 % o superiores.

Durante los 15 a 20 primeros días, en los que el sistema radicular de la planta va a ir invadiendo el sustrato, el aporte de riego debe ir destinado a mantener la humedad del taco o cepellón del semillero, especialmente en aquellos sistemas que emplean los bloques de lana de roca. En esta fase estaremos atentos al arraigue de las plantas durante los primeros días, principalmente en trasplantes que se realizan sobre un sustrato en donde se ha desarrollado un cultivo con anterioridad, debido a que la saturación completa es más difícil por estar el saco o contenedor con el corte de drenaje efectuado, quedando la parte superior del sustrato algo más seca.

En plantaciones que se realizan durante el invierno o finales del otoño y en situaciones de baja evapotranspiración, podemos pasar un período de dos a tres semanas con aportes de riegos mínimos e incluso, en algunos sistemas con el sustrato completamente saturado, se puede pasar un tiempo relativamente largo sin aportar riego.

Transcurridas esas dos a tres semanas, iniciaremos las mediciones en el punto o puntos de control del drenaje, calculando el porcentaje de drenaje y realizando mediciones del pH y de la conductividad eléctrica del mismo. Dichas mediciones serán anotadas en una tablilla del tipo que exponemos a continuación durante todos los días preferiblemente a la misma hora.

En el supuesto de un invernadero de 1 ha. de tomate en el que tengamos un sistema de cultivo sin suelo en sacos de perlita, con tres goteros en cada saco, 6 plantas en cada saco, dos puntos de control y en cada uno de ellos una bandeja formada por una muestra de dos sacos, la tablilla a utilizar podría ser la siguiente:

Cultivo sin suelo de tomate en perlita															
Mes: MAYO															
Punto control nº 1								Punto control nº 2							
Gotero				Drenaje				Gotero				Drenaje			
Día	Volumen cm ³ (A)	PH	CE	Volumen cm ³ (B)	PH	CE	%	Volumen cm ³ (A)	PH	CE	Volumen cm ³ (B)	PH	CE	%	
1	1300	5.8	2.4	1650	6.5	3.5	21	1320	5.7	2.4	1975	6.8	3.2	25	
2	1650	5.7	2.3	2300	6.3	3.5	23	1700	5.7	2.3	2700	6.8	3.3	26	
3	1525	5.7	2.4	2150	6.4	3.6	23	1500	5.7	2.3	2350	6.6	3.3	26	
4	1475	5.6	2.4	2000	6.5	3.6	22	1475	5.7	2.4	2300	6.7	3.4	26	
5	1350	5.7	2.4	1950	6.4	3.5	24	1325	5.7	2.4	1975	6.6	3.4	25	
6	1600	5.7	2.3	2175	6.4	3.5	22	1575	5.6	2.3	1900	6.6	3.5	20	
7	1425	5.7	2.4	1800	6.6	3.6	21	1400	5.7	2.4	1925	6.7	3.5	23	
8	1000	5.6	2.4	1100	6.7	3.7	18	1100	5.5	2.4	1375	6.9	3.5	21	
9	1300	5.7	2.4	1500	6.6	3.7	19	1300	5.7	2.4	1650	7.0	3.6	21	
10	1560	5.7	2.4	2100	6.6	3.8	22	1550	5.7	2.4	1850	6.9	3.5	20	
11	300	5.8	2.1	200	6.8	3.8	11	300	5.7	2.1	225	6.9	3.5	13	
13	450	5.8	2.2	325	6.7	3.9	12	425	5.7	2.1	375	6.9	3.4	15	
14	400	5.7	2.1	375	6.6	3.9	16	400	5.7	2.1	350	7.1	3.3	15	
15	1400	5.6	2.4	1800	6.7	4.0	21	1375	5.6	2.4	1650	6.9	3.3	20	
16	1525	5.6	2.4	2000	6.7	3.9	22	1550	5.5	2.4	2325	7.0	3.2	25	
17	1675	5.8	2.3	2800	6.6	3.8	28	1650	5.8	2.3	3475	6.8	3.3	35	
18	1700	5.7	2.4	2750	6.8	3.8	27	1700	5.7	2.4	3375	6.9	3.3	33	
19	2100	5.6	2.4	3400	6.7	3.7	27	2125	5.6	2.4	4450	6.9	3.3	35	
20	1975	5.5	2.4	3375	6.7	3.7	28	1950	5.6	2.4	4450	6.8	3.4	38	
21	1800	5.6	2.3	3225	6.7	3.6	30	1800	5.6	2.3	4100	6.9	3.4	38	
22	1750	5.6	2.4	3100	6.8	3.6	30	1750	5.6	2.4	3675	6.7	3.4	35	
23	1700	5.6	2.4	2950	6.7	3.6	29	1700	5.7	2.4	3775	6.9	3.4	37	
24	1800	5.7	2.4	2900	6.7	3.6	27	1825	5.7	2.3	4050	6.8	3.5	37	
25	1325	5.6	2.4	2000	6.7	3.7	25	1325	5.5	2.4	2775	6.7	3.5	35	
26	1500	5.7	2.3	2050	6.8	3.8	23	1500	5.6	2.3	2700	6.7	3.6	30	
27	1450	5.8	2.4	2100	6.7	3.9	24	1450	5.7	2.4	2425	6.8	3.6	28	
28	1625	5.6	2.4	2575	6.8	3.8	26	1625	5.6	2.4	2925	6.8	3.5	30	
29	1600	5.6	2.4	2800	6.8	3.8	29	1625	5.6	2.4	2825	6.7	3.5	29	
30	1525	5.7	2.4	2775	6.9	3.7	30	1500	5.7	2.5	2975	6.8	3.4	33	
31	1500	5.7	2.3	2625	6.8	3.7	29	1500	5.7	2.3	3150	6.8	3.4	35	

Tabla 10. Ejemplo control de drenaje

En la misma podemos ver lo que podría ser un caso real, en el que se procede a realizar las mediciones en cada punto de control, formado por un recipiente en el que se mide el volumen aportado diariamente por un gotero, que habremos pinchado expresamente para su control, se mide el pH y la CE del agua de riego, seguidamente medimos el volumen de agua recogida en el drenaje, el pH y la CE del dicho drenaje y calculamos el porcentaje:

$$\% \text{ Drenaje} = \frac{[\text{Volumen drenaje (B) / n}^\circ \text{ goteros}] \times 100}{\text{Volumen del gotero (A)}} = \% \text{ drenaje}$$

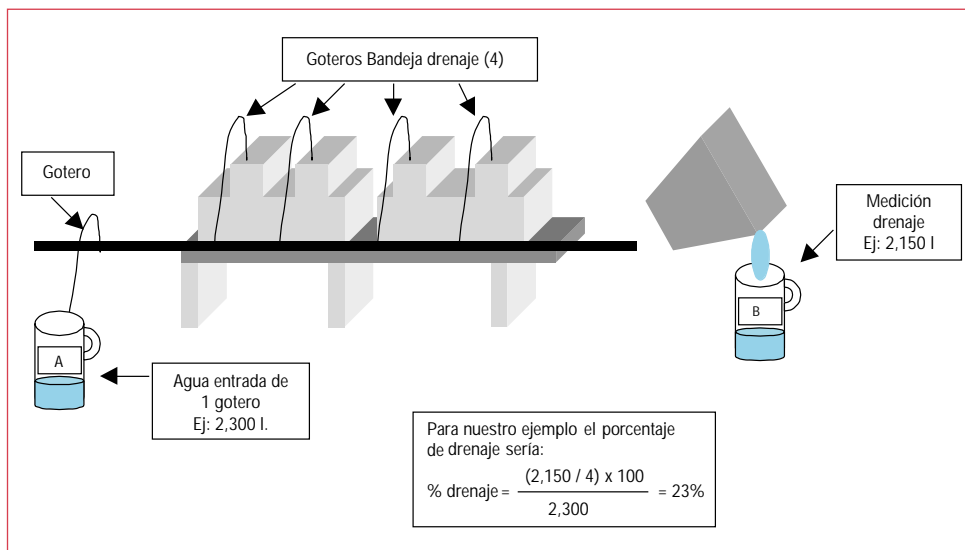


Figura 11. Medición y ejemplo del cálculo del porcentaje de drenaje.

Seguidamente procederemos igual en el otro u otros puntos de control, permitiéndonos conocer la uniformidad de riego y comportamiento del invernadero.

Existen sistemas que utilizan sondas de succión o jeringuillas para la toma de muestras de la solución nutritiva existente en el sistema radicular y su medición de pH y CE, permitiendo mejorar la precisión de la medida, aunque en ocasiones puede resultar laboriosa, recurriendo en la mayor parte de los casos a los drenajes.

La toma de estos datos, su análisis diario y evolución, es la principal base para el manejo de la solución nutritiva y de la dotación de riego.

El cálculo de la dotación de riego para cada sistema en particular es importante, incluso antes de iniciar su manejo y depende de: sistema, sustrato, calidad de sustrato, volumen del mismo, calidad de agua de riego, cultivo, caudal de los emisores, uniformidad de riego, etc.

Exponiendo un ejemplo real se facilitará la comprensión.

Imaginemos un invernadero preparado para el cultivo de tomate en sistema de cultivo en perlita, con granulometría B-12, sacos de 40 litros, en los que se van a trasplantar 6 plantas en cada uno, con tres goteros con caudales de 3 litros/hora en cada saco. En el caso en que la solución nutritiva asimilable del saco fuese del 60% de su volumen, nos encontraríamos con que el agua disponible es de 24 litros. Bajo la hipótesis de que el nivel de agotamiento al que queremos llegar es del 5%, significa que el siguiente riego lo daremos cuando las 6 plantas hayan consumido 1,2 litros del saco.

La dotación de riego será de 1,2 litros más el drenaje correspondiente. En el supuesto de que estemos trabajando con un 25% de drenaje será: $(1,2 \times 0,25 = 0,3 \text{ l.})$, por lo que la dotación final sería de: $(1,2 + 0,3 = 1,5 \text{ l.})$.

$1,5 \text{ litros} / 3 \text{ goteros} = 0,5 \text{ litros. } Q \text{ gotero} = 3 \text{ l/h}$

$0,5 \text{ litros} / 3 \text{ litros/h} = 0,16 \text{ h} * 60 \text{ minutos} = 9,999 \text{ minutos.}$

La dotación de riego sería de 10 minutos.

En la práctica los niveles de agotamiento empleados en el manejo de perlita y lana de roca son inferiores al 5% y con este valor se manejan sustratos como la arena y la fibra de coco.



Figura 13. Dotación de riego.

Hasta ahora los tiempos de riego vienen siendo fijos durante un cultivo, con pequeñas modificaciones propias del manejo. Existen programas informáticos que permiten modificar el tiempo de riego en diferentes periodos del día, aportando riegos cortos en primeras y últimas horas del día y riegos más largos en las horas centrales, en las que se requieren niveles de drenaje más elevados.

El número de riegos diarios y el lapso de tiempo que debe transcurrir entre un riego y el siguiente los debemos obtener experimentalmente, por medio de las medidas de drenajes diarias y en determinados momentos de cultivo, con medidas de drenaje en diferentes periodos del día.

Para determinar el manejo del riego podemos dividir el día en 4 periodos:

Primer período, correspondiente a las dos o tres primeras horas después de salir el sol, en el cual la evapotranspiración de la planta es baja. La planta inicia su actividad, la temperatura del invernadero todavía es baja y generalmente, los niveles de humedad relativa son altos. Si no hemos regado durante la noche el sustrato se encontrará con una fracción de agotamiento superior al 5% que inicialmente habíamos fijado, puesto que la actividad de la planta durante la noche no es nula.

Los primeros riegos servirán para recuperar los niveles de humedad adecuados en el sustrato, generalmente se consigue con el primer o segundo riego. Los niveles de drenaje en este período deberán ser bajos, un 5 a un 10% inferior al prefijado. El primer riego se puede realizar en muchos casos 1 o 2 horas después de salir el sol, permitiéndonos durante esos primeros instantes una buena oxigenación del sistema radicular.

Segundo período, que coincide con las horas centrales del día. Se está incrementado la temperatura en el invernadero, máxima luminosidad, se produce una disminución de la humedad relativa y nos encontramos en el período de máxima evapotranspiración del día. Durante este período y muy especialmente en las estaciones calurosas, la planta tiende a consumir más agua que nutrientes, siendo el momento en el que debemos mantener niveles de drenaje más altos, que se consigue incrementando las frecuencias de riego, que en casos de manejo de fracciones de agotamiento inferiores al 5%, el lapso entre dos riegos puede llegar a ser de menos de 30 minutos.

Algunos ordenadores de riego, bajo influencia de niveles de radiación altos, permiten reducir ligeramente la conductividad de la solución nutritiva, adecuando el manejo a la situación expuesta.

Tercer período, correspondiente a las últimas horas del día o atardecer, en donde la luminosidad empieza a disminuir, baja la temperatura y el nivel de humedad relativa aumenta. Se reducen los riegos, incrementando el tiempo que transcurre entre los mismos y se reduce el nivel de drenaje.

Cuarto período, que corresponde a la noche, la planta disminuye notablemente su actividad con evapotranspiración muy baja, en este período generalmente no se riega, reduciéndose el nivel de humedad en el sistema radicular y permitiendo así su oxigenación. El riego nocturno se justifica en situaciones de noches calurosas en tiempo seco, invernaderos con sistema de calefacción en los que se mantienen temperaturas altas con niveles de humedad relativa inferiores al 90% y en momentos en los que puede haber problemas de "Blossom End Rot" o "podredumbre apical", los riegos nocturnos puede favorecer el transporte de calcio a nivel de floema.

Los niveles de drenaje en general podrán ser bajos, del orden del 10 al 25%, durante la fase de crecimiento y cuajado del cultivo hortícola, será máximo durante la fase de crecimiento de los frutos con niveles comprendidos entre 30 al 60% y se reduce durante el período de maduración, hasta valores del 25 al 30%.

Estos porcentajes de drenaje se pueden modificar también en función de las condiciones climáticas. Lo expuesto nos sirve para un día soleado, con elevada evapotranspiración, las necesidades de riego se ven incrementadas con la misma luminosidad acompañado de vientos fuertes y secos y se reduce notablemente en días nublados en los que se deberá disminuir notablemente los niveles de drenaje, e incluso anular los riegos en días muy nublados y con bajas temperaturas.

Como se puede ver, la dotación y frecuencia de riego está totalmente ligado al porcentaje de drenaje que obtenemos. El drenaje debe ser bajo a primera y última hora del día, máximo en las horas centrales y con valores mínimos en días nublados. Como ejemplo exponemos en un cuadro, cómo podría evolucionar el manejo del drenaje en un cultivo de tomate, en fase de crecimiento con los primeros 4 racimos cuajados, para un agua de mediana calidad, cuya solución nutritiva tiene una CE de 2.5 mS/cm, en un día soleado de principios de mayo en un invernadero ubicado en Valencia:

En la tabla exponemos una situación ideal en la que hemos obtenido un drenaje del 25% durante el día, siendo máximo en las horas centrales y con valores bajos al principio y final del día. Hemos aplicado un total de 13 riegos, que aportan 2.210 cm³ por cada planta, de los cuales 1640 cm³ los ha consumido la planta y 566 cm³ han sido drenaje.

HORA	8:00	9:15	10:30	11:45	12:20	13:00	13:40	14:20	15:00	15:45	16:50	18:00	19:30
riego cm ² /planta	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
agua consumida cm ³	170	153	123	136	119	114	110	107	119	110	128	119	136
agua drenada cm ³	0	17	47	34	51	56	60	63	51	60	42	51	34
% drenaje	0	10	28	20	30	33	35	37	30	35	25	30	20
CE riego	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5

Tabla 11. Ejemplo de manejo del drenaje

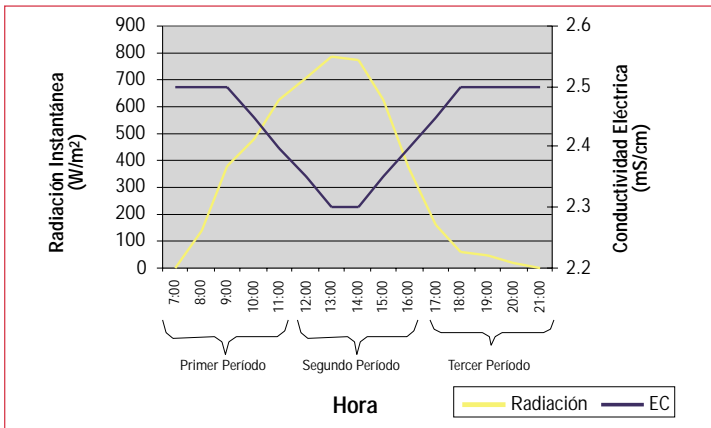


Figura 13. Relación Radiación instantánea-Conductividad eléctrica

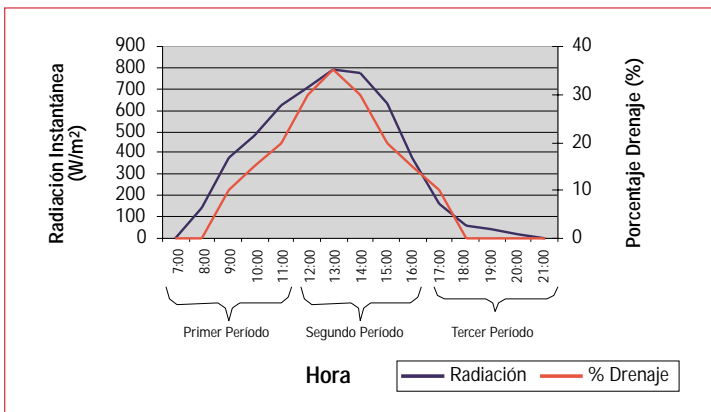


Figura 14. Relación Radiación instantánea- Porcentaje de drenaje

7.4 Manejo de la Solución Nutritiva

La solución nutritiva, depende principalmente del cultivo, estado fenológico, de la calidad del agua de riego y de las condiciones meteorológicas.

Una vez establecida la solución nutritiva en un cultivo, las variaciones son mínimas y la posible variación de la concentración de los iones estará sujeta a los posibles desajustes detectados tras un análisis del drenaje, que es conveniente realizarlo en diferentes estados del cultivo, como pueden ser: periodo de cuajado, engorde de frutos y recolección.

Durante los dos primeros meses de cultivo es difícil encontrarnos niveles de CE elevados en el drenaje, puesto que es a partir de ese momento cuando empiezan a producirse acumulaciones de sales en el sustrato. Durante esos primeros meses en los que los riegos no son abundantes y la renovación de la solución nutritiva en el sustrato es menor, se pueden producir reacciones e interacciones con el sistema radicular de la planta, encontrándonos en el drenaje niveles de pH superiores a 7 e incluso 8, aun regando con una solución nutritiva de pH 5,5. Durante ese periodo es importante aportar los microelementos en forma quelatada y el Fe⁺⁺ incluso con complejo en forma de EDDHA, que permite una mayor estabilidad e impide la formación de precipitados insolubles.

Podemos encontrar tablas que nos ayudan a interpretar los análisis de drenaje para cada uno de los cultivos.

Los valores de CE en drenaje podrán ser entre 0,5 a 1,5 mS/cm superior al de la solución nutritiva de entrada. Bajo un correcto manejo, debemos evitar las oscilaciones bruscas de CE en drenaje, tal y como se indica en el punto anterior, así como de la CE y el pH de la solución nutritiva.

Durante un mismo día, sujetos a las diferencias de luminosidad, podemos modificar ligeramente la CE de entrada entre 0,2 a 0,5 mS/cm, intentando mantener la CE del drenaje dentro de los niveles aconsejados, evitando variaciones bruscas. Esta forma de trabajar nos permite anticiparnos realizando un manejo más racional y equilibrado.

Las soluciones nutritivas, se van a modificar en función de los resultados de los análisis del agua de drenaje. En la siguiente tabla, se indican unos rangos de concentración de iones de la solución nutritiva con la que podemos regar y los niveles con los que nos podríamos encontrar en la solución del drenaje en los principales cultivos hortícolas:

Concentración iones mmol/litro.	Solución nutritiva entrada	Solución nutritiva en drenaje
EC	2,1-2,3	3
NO ₃ ⁻	10-16	17-20
H ₂ PO ₄ ⁻	1,25-1,5	0,7-0,9
SO ₄ ⁼	1,5-3,75	3-5
NH ₄ ⁺	1,5	<0,5
K ⁺	6,75-8,75	6,25-8
Ca ⁺⁺	3,25-4,75	6,25-7
Mg ⁺⁺	1,25-2,5	2,5-4,25
Concentración en µmol/litro		
Fe	10-15	15
Mn	10	7
Zn	4-5	7
B	20-30	50-60
Cu	0,5-0,75	0,7-1
Mo	0,5	

Tabla 12. Concentración de los iones en la solución nutritiva y en drenaje

En general se puede decir que podemos encontrar concentraciones menores en drenaje de K^+ , $H_2PO_4^-$ y Mn con concentraciones entre un 50 a 100% de la de entrada. Concentración semejante en NO_3^- , concentración entre 100-150% en Ca^{++} , $SO_4^{=}$, Fe, Cu y Zn, concentraciones entre 100-200% en B, entre 100-300% en Mg^{++} y los niveles de Cl⁻ y Na⁺ en drenaje cuanto más bajo mejor.

ANALISIS SOLUCIÓN NUTRITIVA DRENAJE

CULTIVO: tomate

DETERMINACIONES	VALOR
pH	6,95
Conductividad mS/cm	3,57
Sales Solubles Totales ppm	2,03

		ppm	meq/l	mmol/l
Nit. Amoniacal	$N-NH_4^+$	13,63	0,97	0,97
Nit. Nitrico	$N-NO_3^-$	198,00	14,14	14,14
Fósforo	$H_2PO_4^-$	23,20	0,74	0,74
Potasio	K^+	239,00	6,11	6,11
Calcio	Ca^{++}	220,00	11,00	5,50
Magnesio	Mg^{++}	80,80	6,65	3,33
Sulfatos	$SO_4^{=}$	350,00	7,29	3,65
Sodio	Na^+	89,70	3,90	3,90
Cloruros	Cl ⁻	171,00	4,82	4,82
Carbonatos	$CO_3^{=}$	0,00	0,00	0,00
Bicarbonatos	HCO_3^-	162,00	2,66	2,66

		ppm	meq/l	mmol/l
Hierro	Fe	0,19		3,40
Manganeso	Mn	0,05		0,89
Zinc	Zn	0,50	7,68	7,68
Cobre	Cu	0,34		5,35
Boro	B	0,28	77,78	25,93
Molibdeno	Mo	0,03		0,33
Aluminio	Al	0,27	29,67	9,89

7•5 Programación y Automatización de los Riegos

La programación de los riegos está basada en la dotación y la frecuencia, para lo cual disponemos de programadores de riego más o menos sofisticados, así como señales externas que terminan definiendo distintos tipos de programación de riegos.

La dotación se puede automatizar por volúmenes, mediante contadores de riego automáticos. El otro sistema es por tiempo, que es el más económico y el más extendido, nos permite conocer el volumen aportado a partir del caudal de funcionamiento de la instalación.

La frecuencia de riego es la más difícil de ajustar y para ello, podemos encontrar desde sistemas y programadores de riego muy sencillos, hasta tecnología muy sofisticada y de aplicación reciente.

7•5•1 Riegos a hora fija

Por medio del cual se establecen riegos a horas prefijadas. Es de gran utilidad tras el trasplante del cultivo y durante las dos a tres semanas. Diariamente se realizan de uno a tres riegos manteniendo la humedad suficiente para el correcto arraigue de la planta. También son muy útiles dentro de la programación, en combinación con otros modos de programación, para dar riegos en momentos fijos del día.

7•5•2 Riegos cíclicos

Se programa una hora de comienzo y finalización del riego y duración del intervalo entre riegos. Combinado con un programa de riegos a hora fija nos permite realizar una programación de riegos que se ajusta bastante a las necesidades de un sistema de cultivo sin suelo. Un programa similar al expuesto en el epígrafe 7.3. se podría conseguir con una programación de riegos cíclicos con un período de pausa de 2 horas, inicio del riego a las 8 h y finalización a las 20 h. y para suplir las mayores necesidades en las horas centrales del día añadir arranques a hora fija a las 11, 13 y 15 h, obteniendo un programa de 10 riegos diarios. En una situación de nubes y claros se podrían desprogramar los riegos a hora fija, en un día completamente nublado desprogramaríamos los riegos cíclicos y en situaciones puntuales de mayor necesidad de riego simplemente se puede realizar algún riego manual.

7•5•3 Riegos por radiación

La radiación está altamente relacionada con la tasa de transpiración de la planta. Existen ordenadores de riego que llevan conectada una señal exterior, un solarímetro, capaz de medir la intensidad luminosa instantánea y la radiación acumulada.

Generalmente se trabaja con radiaciones acumuladas, asociamos un valor de radiación acumulada y su equivalencia a un riego. En el momento en que se activa el riego, en el sector en cuestión el contador de radiación se pone a cero e inicia de nuevo la acumulación.

El valor de radiación equivalente a un riego depende de muchos factores agronómicos como estado del cultivo, densidad de plantación, época de cultivo, tipo de invernadero, ubicación, etc., de

forma que es muy difícil a nivel práctico universalizar un valor de radiación. El valor de radiación equivalente a un riego lo deberemos obtener experimentalmente y posteriormente, se deberá modificar ligeramente en función de las necesidades de cultivo.

La programación por radiación funciona bastante bien y es empleada por un gran número de cultivadores, en ocasiones va asociada a riegos a hora fija programados a primera hora de la mañana o para riegos nocturnos. Generalmente se establece un período del día en el que queremos regar por radiación e incluso existe la posibilidad de no poner a cero el contador para continuar acumulando radiación a la mañana siguiente.

Este tipo de programación presenta como inconveniente el no considerar los incrementos de evapotranspiración por el efecto del viento, en concreto por el efecto del viento seco del oeste "poniente", que se produce en la Comunidad Valenciana, debiendo en dichas condiciones efectuar correcciones por el mayor consumo de agua.

Los solarímetros pueden colocarse en el interior o al exterior del invernadero y es muy importante evitar posibles sombras y un mantenimiento periódico de limpieza.



31. Solarímetro para riego por radiación.

7•5•4 Riegos por demanda

En este caso la señal exterior al ordenador está conectada a una bandeja de demanda formada por dos electrodos, que se encuentran en contacto con el agua de drenaje, que el diseño de la bandeja mantiene como un agua de reserva.

Este agua de reserva está en contacto con una especie de tela o fieltro que se mantiene húmeda en todos sus puntos por capilaridad, el sistema radicular de la planta está en contacto con dicho fieltro, con lo cual el nivel de reserva está íntimamente relacionado con el consumo de agua por parte de la planta.

El nivel del agua de reserva se ajusta por un pequeño grifo en el rebosadero, uno de los electrodos se encuentra siempre en contacto con el agua de drenaje y el segundo se ajusta para que quede por encima del nivel del agua de drenaje en el momento en que se debería realizar un riego.

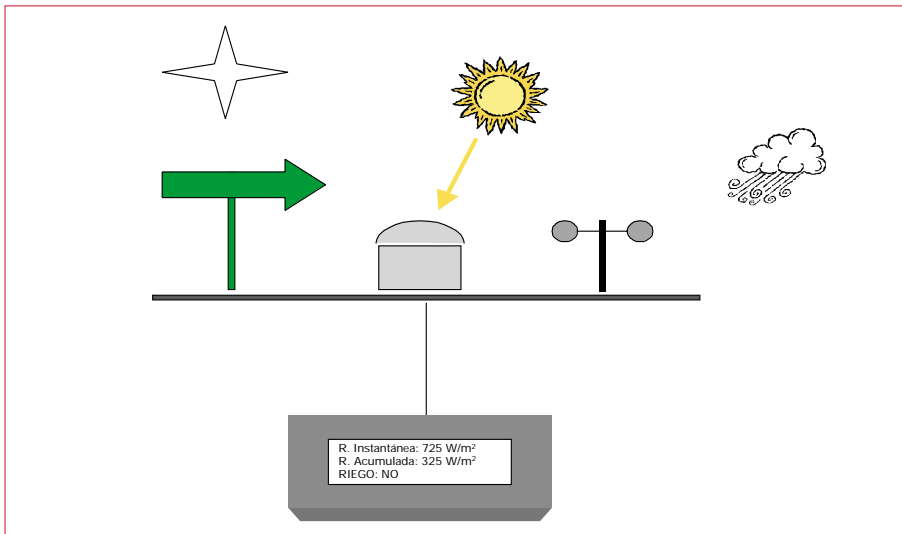


Figura 15. Estación meteorológica compuesta por: veleta, solarímetro y anemómetro.

Este sistema de riego es el más empleado por los agricultores, es el más exacto y presenta como principal inconveniente el del ajuste y que la totalidad del invernadero riega a partir de una muestra (bandeja de demanda), en la que en ocasiones se producen bajas o plantas desiguales.

En ocasiones se ha producido algún alga en ese agua de reserva, manteniéndose pegada al segundo electrodo y produciendo una lectura errónea sin activar los riegos correspondientes; por dicha razón es aconsejable realizar una programación de riegos cíclicos o por radiación paralela a la del riego por demanda, de forma que si debiéndose activar un riego por demanda no se efectuase, se activaría un riego por radiación o cíclico. Cuando se realiza esta programación que integra diferentes sistemas de riego, se programan unos lazos, de forma que si se produce el riego por demanda, tanto el cíclico como el de radiación ponen sus contadores a cero, y mientras el riego por demanda funcione correctamente, evita la conexión de los otros sistemas.

7•5•5 Riegos por medida de drenaje

Este sistema está empezando a aplicarse para el manejo de los cultivos sin suelo y está bastante relacionado con el anterior. En este caso el agua de drenaje de la bandeja va llenando unas cazolitas que permiten cuantificar el volumen de drenaje y por tanto, trabajar por medio de programación de porcentaje de drenaje.

7•5•6 Otros sistemas

A nivel experimental podemos encontrar sistemas de riego por balanza, que permiten ajustar la frecuencia en función de la disminución del peso de una bandeja con un grupo de plantas, con el inconveniente claro de tener que estar tarando el sistema constantemente, así como de su sensibilidad.

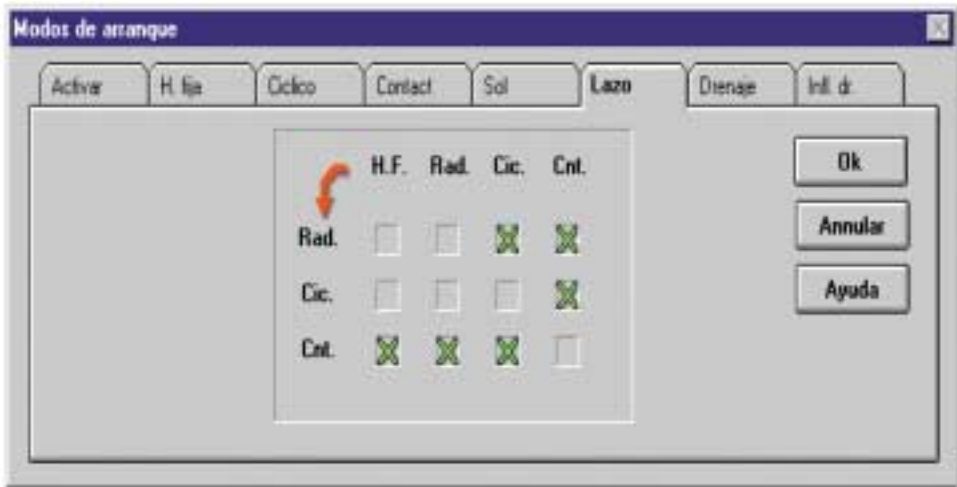


Figura 16. Lazos entre tipos de riego.

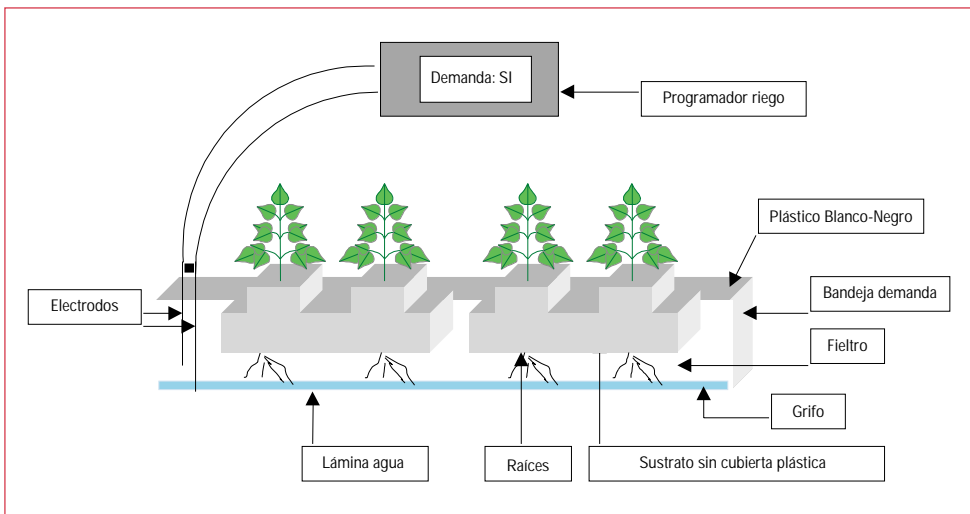


Figura 17. Esquema bandeja de demanda.

Evaporímetros y tensiómetros eléctricos de alta sensibilidad.

Hay que recordar que la aplicación de toda esta tecnología que facilita la gestión del riego en los sistemas de cultivo sin suelo, no nos exime de las mediciones de drenaje, control de CE y pH diarios y de los análisis de drenaje indicados anteriormente.



32. Bandeja de riego por demanda.

Grupo	Nombre	Estacion	Numero	Activo				
1	MELON LR	1	EST1	SI	SI		SI	
2	MELON FC	1	EST1	SI	SI		SI	
3	MELON PER	2	EST2	SI	SI	SI		SI
4	PIMIENTO1	2	EST2	SI	SI		SI	SI
5	PIMIENTO2	2	EST2	SI	SI		SI	SI
6	PIMIENTO3	2	EST2	SI	SI		SI	SI
7	TOMATE LR	1	EST1	SI	SI		SI	
8	TOMATE FC	1	EST1	SI	SI		SI	
9	TOMATE PER	1	EST1	SI	SI		SI	
10	FRESON	3	EST3	SI			SI	SI
11	ALFICDZ	2	EST2	SI	SI		SI	
12	SEMILLERO	1	EST1	SI	SI			
13	BERENJENA	1	EST1	SI	SI	SI	SI	
14	PEPINO	1	EST1	SI	SI		SI	SI
15	JUDIA	1	EST1	SI	SI		SI	SI
16	NGS	3	EST3	SI		SI		

Ec / pH	Valvulas	Arranque	General	Copiar	Salir	Ayuda

Figura 18. Programación de los tipos de riegos.

8 • FISIOPATÍAS MÁS IMPORTANTES EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO

Las fisiopatías más importantes son las debidas a desequilibrios nutricionales y dentro de éstos, los inducidos por factores ajenos a los propios elementos nutritivos. Aquí haremos mención a aquellas fisiopatías específicas de los cultivos sin suelo, o bien, a las que se manifiestan con mayor intensidad con estos sistemas. La falta de poder tampón y la baja capacidad de intercambio catiónico, hace necesario un manejo adecuado de la solución nutritiva en estos sistemas.

La temperatura, radiación y los niveles de humedad relativa ambiente en el interior del invernadero, suelen ser los factores que más condicionan la aparición de fisiopatías nutricionales. En los sistemas de cultivo sin suelo, la falta de inercia de los sustratos, hace que la raíz de la planta se caliente o enfríe con una mayor rapidez que en los sistemas convencionales, facilitando la aparición de fisiopatías.

8.1 “Blossom end Rot”

Podredumbre apical del tomate o pimiento. En los órganos afectados se produce una disminución en el contenido normal de calcio, debido a una mala traslocación del elemento, muy ligada al potencial transpiratorio.

La pueden provocar situaciones de aumento rápido de la temperatura, altos niveles de transpiración, estrés hídrico y térmico, elevada salinidad de la solución nutritiva, baja humedad durante la noche, crecimiento rápido del fruto, aumento de la relación Mg^{++}/Ca^{++} , períodos de baja luminosidad (en los que se puede producir una mala alimentación cálcica del fruto) seguidos de alta luminosidad, elevadas temperaturas y humedades relativas bajas, pueden inducir la aparición de la podredumbre apical.

Para reducir su incidencia es aconsejable utilizar variedades resistentes a dicha fisiopatía, aplicaciones foliares de calcio, manejo adecuado de la solución nutritiva, evitar cambios bruscos de las condiciones climáticas, sobre todo altas temperaturas y bajas humedades relativas, manejo adecua-



33. Pimiento afectado por podredumbre apical

do del riego, evitar salinización de la solución nutritiva en sustrato y potenciar el sistema radicular restringiendo los riegos durante los primeros meses de cultivo.

8•2 Vitrescencia del Melón

Afecta a la textura de la pulpa, pudiendo ir acompañada de degradación del sabor, dando un aspecto de sobremadurez del fruto. Las causas son similares a las que provocan la podredumbre apical, a las que cabría añadir temperaturas del sustrato inferiores a 15°C, asfixia radicular o fertilización desequilibrada.

En sistemas de cultivo sin suelo también presenta una mayor susceptibilidad, pudiéndose reducir su incidencia mediante el empleo de variedades larga vida, ajustar adecuadamente el punto de corte, manejo adecuado de la nutrición, evitar asfixia radicular, aplicación foliar de calcio y correcto manejo de las condiciones climáticas.



34. Melón afectado de vitrescencia



35. Melón afectado de cracking

8•3 Craking

El “craking” se puede producir en variedades de tomate sensibles, en condiciones de alta humedad relativa ambiental en el invernadero.

El “craking” se puede dar también en cultivos como el melón, sandía y pimiento, producido por cambios bruscos de la disponibilidad de agua por parte de las raíces de la planta, bien por un cambio brusco de condiciones de humedad en el sustrato, o por variaciones en el nivel de salinidad del sustrato.

En sistemas de cultivo sin suelo esta fisiopatía puede verse acentuada por las características del manejo del riego (frecuencia y dotación) y por la posible variación de los niveles de sales en el sistema radicular.

El correcto manejo de la nutrición y del riego evitará oscilaciones bruscas del nivel de humedad en el sustrato y de la conductividad eléctrica.

8•4 Carencias nutricionales

8•4•1 Deficiencia de fósforo

Las bajas temperaturas afectan a la asimilación por parte de la planta del fósforo, produciéndose carencias de fósforo en períodos de bajas temperaturas y en especial en estos cultivos sin suelo, por enfriamiento del sustrato.



36. Deficiencia de fósforo en una planta de tomate tras un período frío.



37. Síntomas de clorosis férrica en tomate

8•4•2 Clorosis férrica

Tal y como se ha indicado anteriormente, en los sistemas de cultivo sin suelo se pueden producir síntomas de deficiencia de hierro, con un aporte adecuado en cantidad manejando un pH de 5,5. Cuando se emplean sulfatos de hierro o quelatos poco estables, principalmente durante los primeros meses en cultivos como el tomate y el pimiento, podemos medir valores de pH de la solución nutritiva en la raíz de la planta de 8, bloqueando el hierro. Ello se debe a que en las primeras fases de cultivo se riega poco y a nivel de raíz se producen reacciones, pudiendo descompensarse las concentraciones de OH⁻ respecto a las de H⁺, haciendo subir el pH.

En estas situaciones se recomienda aportar un quelato de hierro en forma de complejo ED-DHA, hasta corregir el nivel de pH en el sustrato.

8•4•3 Otras carencias nutricionales

Relacionada con la anterior, en ocasiones se puede producir carencias de zinc y manganeso. Un exceso de un ión en la solución nutritiva puede provocar bloqueo de otros nutrientes. Por otra parte un exceso de algún elemento puede provocar también síntomas, afectar a la producción y producir fitotoxicidades.

8•5 Síntomas de exceso de sales

En los sistemas de cultivo sin suelo resulta relativamente fácil llegar a situaciones de exceso de salinidad en sustrato, principalmente cuando se manejan aguas salinas, aportes inadecuados de fertilizantes o una mala gestión de riegos.

Los excesos de sales provocan desequilibrios nutricionales en la planta, llegando a producir pérdidas en la producción. Como síntoma, aparecen desecaciones en los ápices de las hojas, reducción del crecimiento, frutos de menor tamaño, mayor susceptibilidad a determinadas enfermedades e incluso desecamiento de la planta.

Un correcto manejo de la nutrición, el riego, en especial de la gestión del drenaje y las medidas diarias de CE del extracto, deben ir encaminadas a evitar posibles desajustes por excesos de sales.

8•6 Pie de elefante

Esta alteración se produce en pimiento, consiste en una hipertrofia de la base del tallo en unión con la raíz, formando un disco o callo que cicatriza mal con posible entrada de enfermedades. Aparece con excesos de humedad por encharcamientos en la zona de inserción del tallo con la raíz.

Se puede evitar separando el gotero de la base del tallo y realizando repicado en la fase de semillero, enterrando el hipocotilo hasta los cotiledones, evitando la formación del callo en corona.



38. Pie de elefante en pimiento cultivado en lana de roca



39. Frutos partenocárpicos de pimiento. Módulo templado y frío

8•7 Frutos Partenocárpicos

En pimiento y sobre todo en variedades del tipo Lamuyo y California, esta fisiopatía es producida principalmente con cuajado de frutos bajo temperatura ambiente inferior a los 14°C, apareciendo frutos planos y sin semillas en su interior. En los sistemas de cultivos sin suelo la sensibilidad es mayor debido a temperaturas más bajas del sistema radicular, hipoxia y posibles podredumbres que induce niveles de citoquininas excesivas, inhibiendo la acción de las enzimas transportadoras, con acumulación de ácido indolacético en las flores, produciendo frutos partenocárpicos.

8•8 Quemadura del cuello de la planta

Un exceso de agua en el cuello de las plantas, sobre todo en melón, pimiento y tomate, junto con elevadas temperaturas, puede provocar una desecación del cuello llegando a morir la planta.

Se puede evitar con el empleo de tacos en la fase de semillero, dejando la zona del cuello a mayor altura que el sustrato.

Tras el trasplante y con riegos realizados en las horas centrales del día, en períodos calurosos, se pueden producir escaldados del cuello de la planta y quemadura de raíces por exceso de temperatura. Se aconseja adelantar los riegos y enterrar los laterales para evitar el sobrecalentamiento del agua de riego.

9 • PATOLOGÍAS ESPECÍFICAS MÁS FRECUENTES EN SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO

Con los sistemas de cultivo sin suelo se reducen los problemas de patógenos que atacan al cuello y a la raíz, al emplear sustratos inertes y contenedores correctamente desinfectados. El uso de aguas de riego infectadas, el empleo de material vegetal contaminado, la repetición de cultivos sobre un mismo sustrato y la contaminación por otras vías, hace que el sistema no esté exento de problemas patológicos. Dentro de esos posibles patógenos los hay específicos de los sistemas de cultivo sin suelo, que trataremos en este epígrafe.

Pythium spp. puede afectar a cultivos como el tomate, pimiento, pepino, sandía y melón. En la fase de semillero puede producir falta de germinación, muerte de plántulas, necrosis de la raíz y del hipocotilo y muerte de plantas adultas, siendo esta última afección específica de cultivos sin suelo. La contaminación se produce por agua de riego o sistemas en los que la solución nutritiva permanece estancada.



40. Planta de melón afectada de *Pythium*

Fusarium oxysporum f. sp. radicis lycopersici que afecta al tomate. Produce marchitamiento generalizado de toda la planta, a veces con amarilleamiento de las hojas viejas, detención del crecimiento, sistema radicular con podredumbres de color marrón, médula con podredumbre húmeda de color marrón, podredumbre de cuello que rodea la zona de unión de raíces y tallo. Existen variedades de tomate resistentes a esta enfermedad o bien se puede utilizar la técnica de injerto sobre un patrón resistente.

Rhizoctonia solani que afecta a tomate, melón, pepino, sandía y calabacín. Produce muerte de plántulas, necrosis en cuello y muerte de plantas jóvenes.

10 • DESINFECCIONES Y POSIBILIDAD DE EMPLEO DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO DISUELTOS EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

Una vez finalizado el primer cultivo desarrollado en sistema sin suelo, es conveniente efectuar una serie de prácticas encaminadas a evitar posibles problemas patológicos del siguiente cultivo y lavar de sales el sustrato, así como mantener las condiciones de humedad adecuadas para el correcto arraigue del cultivo.

Se propone una serie de pasos a seguir de forma ordenada, entre el arranque de un cultivo y el establecimiento del siguiente:

- a) Eliminar sacos o contenedores en los que se han producido problemas de hongos en raíz.
- b) Unos días antes de cortar el cultivo regar con agua de riego sin fertilizantes para lavar las sales, manteniendo niveles de drenaje altos.
- c) En los dos o tres últimos riegos, antes del arranque de las plantas, aplicar fungicida a dosis de desinfección por el agua de riego.
- d) Proceder a cortar la planta por el cuello enrasando al máximo para evitar posibles rebrotes.
- e) Quitar el gotero del sustrato. Proceder a la limpieza de la instalación de riego, con empleo de ácido a pH 3 y mantener la instalación llena durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo vaciar el agua de la tubería abriendo los finales del lateral.
- f) Si se quiere hacer una desinfección o limpieza de materia orgánica incrustada en la tubería, proceder a llenar la instalación con lejía o permanganato potásico, vaciar la tubería.
- g) Volver a colocar el gotero en el sustrato. Si se deja el invernadero sin cultivar durante un período largo, deberemos realizar algún riego para mantener el sustrato con una cierta humedad.

Dar riegos largos para lavar el producto desinfectante empleado.

- h) Unos días antes del siguiente trasplante llenar el sustrato con la solución nutritiva mediante la aportación de varios riegos con la CE y el pH adecuados.
- i) Proceder al trasplante y vigilar durante los primeros días, que la planta tiene la suficiente agua y que las nuevas raíces están en contacto con el sustrato.

En sistemas de cultivo sin suelo con lana de roca como sustrato, se puede proceder a la desinfección del sustrato con vapor de agua, manteniendo el mismo durante algo más de 10 minutos a una temperatura superior a 95°C.

Para realizar la desinfección con vapor de agua, habrá que dejar que las plantas agoten el agua del sustrato, para lo cual tras el lavado de sales, cortaremos el riego sin arrancar las plantas, dejaremos que se sequen y posteriormente se cortarán.

Se establece una base con palets de madera, se instala una parrilla por la que haremos salir el vapor de agua, se elimina la bolsa y se apila la lana de roca, con no más de 10 tablas colocadas una encima de la otra, con una disposición que permita la circulación del vapor de agua a lo largo de toda la pila. Una vez finalizada la desinfección se embolsará la lana de roca y se sellará el saco para poder saturarlo de solución nutritiva.

Esta práctica de desinfección con vapor de agua es laboriosa y generalmente se recurre a la adquisición de nuevo sustrato, antes que pretender darle mayor longevidad.



41 y 42. Desinfección de tablas de lana de roca con vapor de agua.

Para la desinfección de tablas entre cultivos, ha dado buen resultado el empleo de lejía incorporada en el agua de riego a razón de 300-400 l/ha. En los días siguientes daremos riegos largos para lavar bien el sustrato y que no queden restos en el momento de realizar la plantación.

En la tabla 13 se expone una lista de productos que pueden emplearse en sistemas de cultivo sin suelo, en aplicación directa al riego, con planta establecida y para la desinfección del sustrato entre cultivos.

Estos productos no están autorizados específicamente para cultivo hidropónico, sino que se ha probado su efectividad en cultivo en suelo y se han ido adaptando las dosis para cultivo hidropónico. Conviene tener precaución a la hora de su utilización, ya que concentraciones elevadas pueden provocar fitotoxicidades.

La incorporación del producto se realizará en el penúltimo ó en el último riego del día, de forma que nos aseguremos que llega de forma uniforme a todas las tablas y que drenemos lo mínimo posible, para evitar el lavado del producto con el agua de riego. El producto actuará en la tabla durante la noche.

11 • SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DEL DRENAJE

Uno de los principales problemas de los sistemas de cultivos sin suelo es el reciclado de los sustratos y el vertido de la solución nutritiva por el drenaje, dicho vertido supone entre un 20 hasta un 50% del aporte y en los sistemas abiertos o de solución perdida, son un medio de contaminación por nitratos y fosfatos principalmente.

En Europa Occidental, a partir de los años 80 crece la preocupación por los temas medioambientales y empiezan a tomarse medidas en los diseños de las políticas agrarias, con iniciativas que permitan reducir el impacto medioambiental. En países como Holanda existe una normativa que obliga a reutilizar los drenajes. Las nuevas normativas europeas van encaminadas a reducir el impacto medioambiental, con medidas como la de reutilizar los drenajes, reducir el uso de productos fitosanitarios y ahorro de energía.

La recirculación tiene como principal objetivo el de preservar el medio ambiente, sin perjudicar al rendimiento y calidad del cultivo.

La reutilización del drenaje supone un ahorro de agua que va desde 1.500 a 4.500 m³/ha año., economizar entre un 30 a un 60 % en fertilizantes, permite un mayor aprovechamiento de los productos fitosanitarios incorporados en el agua de riego y por tanto, una disminución de la contaminación ambiental.

Por contra la recirculación de la solución nutritiva incorporada al mismo sistema, presenta como principales inconvenientes el de la acumulación de iones, desequilibrios de los nutrientes, posible reducción de los rendimientos y puede servir de vehículo de transmisión de hongos adaptados a los medios acuáticos como pueden ser el *Pythium* y la *Phytophthora* o bacterias que se adaptan a los medios ácidos como *Agrobacterium tumefaciens*.

Las mayores dificultades para recircular drenajes las encontramos cuando partimos de aguas de riego con elevados niveles de sales, en general los problemas empiezan cuando manejamos aguas con una CE superior a 1 mS/cm.

Materia Activa	Nombre Comercial	Acción Frente	Dosis Hidropónico con planta establecida (L/ha)	Modo de acción	Plazo de Seguridad (días)	Cultivos Autorizados	Observaciones
Ciromazina 75%. WP.	Trigard	Liriomyza sp .	0.04-0.08	Sistémico	7 (alcachofa, apio, judía verde y lechuga) y 3 (resto)	alcachofa, cucurbitáceas, florales herbáceas, guisante verde, judía verde, lechuga, pimiento, tomate	Realizar 5 aplicaciones a estas dosis en días consecutivos. Efecto complementario sobre araña roja
Imidacloprid 20% p/v. SL.	Confidor	áfidos, aleurodídeos, cicádidos y otros insectos chupadores, microlepidópteros minadores y algunos dípteros	0.35	Sistémico	3	cucurbitáceas, judía verde, lechuga, pimiento, tomate	Realizar 2 aplicaciones a estas dosis en días consecutivos
Oxamilo 24% p/v. SL.	Vydate	Insecticida (Liriomyza sp . y pulgones), nematocida, acaricida	0.5-1	Sistémico	3	Berenjena, cucurbitáceas, pimiento, tomate, florales y ornamentales	Realizar 6 aplicaciones cada 3 días, a la dosis recomendada. Bajar el pH por debajo de 7
Bupirimate 25%. EC.	Nimrod	Oídio	0.6-0.75 (Cucurbitáceas) 0.75-1.0 (Solanáceas)	Sistémico	15	Cucurbitáceas y Solanáceas (pimiento y tomate)	Realizar 4 aplicaciones a estas dosis en días consecutivos
Etridiazol 48% p/v. EC.	Terrazole	Oomicetos (Pythium spp ., Phytophthora spp . y otros mildiús). Hongos del suelo (Fusarium spp ., Rhizoctonia spp ., etc.)	2.5	Contacto	30	Pepino, pimiento y tomate	Realizar 4 aplicaciones cada 7 días.
Flutolanil 50%. WP.	Moncut	Rhizoctonia solani	0.1-0.2	Sistémico	N.P.	Judía y pimiento	Realizar 2-3 aplicaciones cada 15 días
Himezazol 36% p/v. SL.	Tachigaren	Alomícetes spp ., Fusarium spp ., Pythium spp y otros hongos del suelo	0.25-0.5	Sistémico	N.P.	hortícolas	Realizar 2 aplicaciones cada 15 días
Metalaxil 25%. WP.	Agrifaxil, Cyclo, Ridomil	mildius y enfermedades de cuello y raíz	0.1	Sistémico	21	fresa, pimiento y tomate	Realizar 2 aplicaciones cada 15 días
Metil tiofanato 45% p/v. SC.	Pelt, Guimar, Kromet, Mietocin, Topsin	Aspergillus spp ., Botrytis cinerea, Colletotrichum spp ., Fusarium spp ., Penicillium spp ., Puccinia spp ., Rhizoctonia solani, Sclerotinia (ca. Monilia), Truncatena	0.5	Sistémico + Contacto	14	berenjena, calabacín, calabaza, cebolla, judía, grano, judía verde, lechuga, melón, pepino y tomate	Dosis para desinfección de tablas entre cultivos: 2 l/ha
Procloraz 45%. EA.	Octagon	Acremoniosis, fusariosis	0.5	Contacto	15	Melón, sandía y tomate	
Propamocarb 60.5% p/v. SL.	Previcur, Precur, Proplant	Phytophthora spp ., Pythium spp . y otros fitomicetos	1-3	Sistémico	21 (fresa), 3 (calabacín y pepino), 14 (resto)	berenjena, cucurbitáceas, fresa, florales, ornamentales, pepino, pimiento y tomate	
Quintoceno 24% + Eiridiazol 6% p/v. EC.	Terracor Super X	Fusarium spp ., Phytophthora spp . (excepto P. Cactorum), Pythium spp ., Rhizoctonia spp ., y otros hongos del suelo	1.6	Contacto	7	Tomate y pimiento	Realizar 3 aplicaciones cada 15 días
T.C.M.T.B 29%. EC.	Gardbus	Hongos de suelo (Fusarium , Rhizoctonia , Phythium , Phytophthora , etc)	0.15 (plantas pequeñas, más de 3 hojas verdaderas); 0.225 plantas adultas	Choque	0	Cucurbitáceas, florales, judía verde, ornamentales y solanáceas	Repetir el tratamiento 1 ó 2 veces con intervalo de 3 días. Dosis para desinfección de tablas al finalizar el cultivo: (100 ml/m sustrato). Plazo espera después desinfección de tablas: 3 días. Se puede inyectar continuamente a lo largo del ciclo del cultivo de forma preventiva a razón de 5ml/1000 l de solución nutritiva

Tabla 13. Productos que pueden emplearse en sistemas de cultivo sin suelo, en aplicación directa al riego.

11•1 Distintos Sistemas para tratar el Drenaje

Por una parte podemos encontrar sistemas de riego en los que se realiza esa recuperación del drenaje, por ser sistemas cerrados.



43. Sistema NFT en lechuga

11•1•1 Sistema NFT

Nutrient Film Technique: desarrollado por Cooper en los años 70 en Inglaterra, en el que se recircula la solución nutritiva de forma continua para conseguir la adecuada oxigenación del sistema radicular de la planta. El agua circula por unos canales poco profundos de plástico, que apoyados sobre el suelo y con una correcta pendiente, para evitar encharcamiento, permite el movimiento continuo del agua. Esos canales quedan cerrados por la parte superior con plásticos flexibles o rígidos e incluso con cubiertas móviles que permiten el desplazamiento a lo largo del invernadero de las plantas, permitiendo la mecanización de la recolección en cultivos como lechuga. El sistema está en retroceso, debido principalmente a problemas relacionados con la falta de oxigenación del sistema radicular, se ha impuesto el cultivo en sustrato.

11•1•2 Sistema NGS

Una modificación del NFT, que mejora la aireación del sistema radicular es el llamado NGS (New Growing System), en el que el movimiento del agua es continuo.

El sistema consiste en una especie de bolsa de polietileno flexible de color blanco exteriormente y que en su interior tiene varias capas de plástico transparente formando distintos estratos en los que crecen las raíces y por los que circula la solución nutritiva, al estar perforadas esas láminas plásticas.

En el sistema NGS la planta procedente de semillero se coloca en la parte superior en un taco en el que se introduce el gotero, el lateral de riego primero circula por el interior de la bolsa, calentando en invierno el sistema radicular. Cuando retorna por la hilera de cultivo es cuando se conectan los emisores. El sistema está suspendido a una cierta altura del nivel del suelo y perfectamente nivelado con una pendiente superior al 1%, para al final de la hilera recoger el drenaje y canalizarlo a un depósito de recepción. El depósito de recepción mantiene un nivel, de forma que cuando las plantas consumen solución nutritiva se pueda ir reponiendo el agua necesaria y ajustándose. El sistema está dotado de una caldera de calefacción y de un intercambiador de calor, para mantener el agua de riego a temperatura mínima de 20°C, cuando calentamos el sistema radicular mejoramos la asimilación de los nutrientes.

Con empleo de aguas de riego con niveles de CE superiores a 1 mS/cm, el manejo de la solución nutritiva se complica al producirse acumulación de sales Cl^- y Na^+ , que elevan progresivamente la CE del agua de retorno, debiendo vaciar por completo la solución del depósito de recepción, para reponer la solución nutritiva de forma periódica, en cuyo caso se pierde la ventaja de la recirculación del drenaje.

En experiencias realizadas en el campo de ensayos de la Cooperativa SURINVER en el Pilar de la Horadada, se han obtenido buenos resultados a partir de suministro de agua procedente de lluvia en cultivo de pimiento (Giménez y Valero 1998).



44. Sistema NGS



45. Cultivo en NGS

11•2 Otras posibilidades de utilización de los drenajes

- Depuración de los lixiviados.
- Utilización del drenaje como materia prima para la fabricación de soluciones nutritivas concentradas.

- Utilización de los drenajes para fertilizar cultivos colindantes al invernadero, jardinería o implantación de cultivo para producción de biomasa, etc.
- Reciclaje de los drenajes en el mismo cultivo.



46. Canalización del drenaje utilizando como sustrato sacos de lana de roca



47. Dispositivo formado por depósito enterrado de recogida de drenaje, sistema de bombeo y filtrado automático para aprovechamiento del drenaje en cultivo de hortalizas al aire libre. Fundación Caja Rural Valencia.

11.3 Recirculación del Drenaje

Este es uno de los sistemas más empleados en los países centro europeos, goza de las ventajas descritas de los sistemas de recirculación y como principal inconveniente tiene el de la transmisión de enfermedades, acumulación de sales y ajuste de la solución nutritiva.

La instalación debe permitir la canalización de la solución nutritiva, con una pendiente de suelo de un 5% para evitar encharcamientos, un depósito de recogida del drenaje con sensores de nivel de CE y pH, sistema de bombeo, mezcla a partir de válvulas de tres vías con una solución nutritiva fresca, sensores de CE y pH de la solución final y sistema de desinfección, tal y como se indica en la figura 19.

El empleo de aguas con altos niveles de sales, al igual que en el caso del sistema NFT, puede producir acumulación de iones que no emplea la planta en su nutrición, debiendo desechar en algún momento el agua de drenaje.

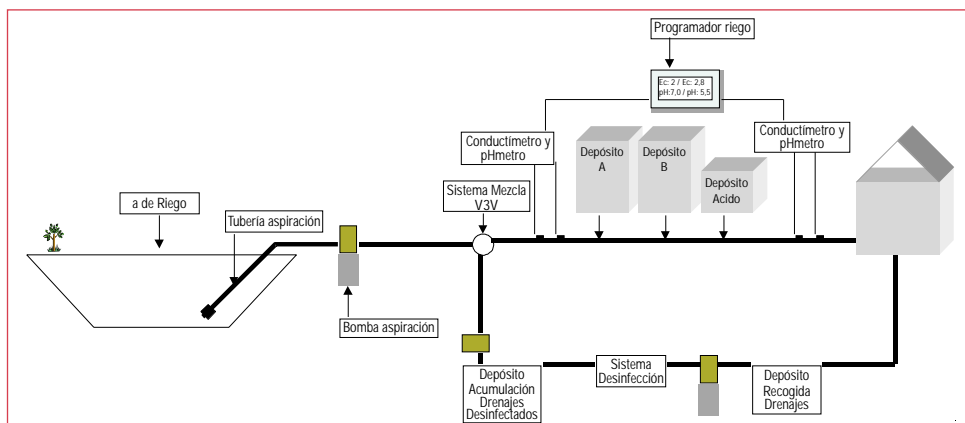


Figura 19. Esquema recirculación del drenaje.

Para evitar posibles problemas de infección por microorganismos, se puede realizar una desinfección del agua de drenaje, para lo cual existen diferentes sistemas que podemos instalar, como son:

Radiación UV: el agua se hace circular por una carcasa con luz incandescente, de cuarzo o de vapor de mercurio. La radiación UV afecta la estructura química del ADN de los microorganismos esterilizándolos. Es letal para la mayoría de los microorganismos, bacterias, esporas de hongos, virus, protozoos, huevos de nematodos y algas. Pierde eficacia con la turbidez del agua. La eficacia contra hongos y virus depende de la dosis, empleándose 100 mJ/cm² para control de hongos y 250 mJ/cm² para una completa desinfección.

El coste de instalación varía entre 4.200 y 7.200 €/ha. dependiendo del nivel de automatización del equipo (Montserrat, J. 2000).

La termodesinfección: que consiste en calentar el drenaje a 95 °C durante 30 segundos, haciendo pasar la solución por un intercambiador de calor. Presenta como principal inconveniente el alto coste de instalación y mantenimiento.

Ozonización: el ozono es un gran oxidante de la materia orgánica y permite la desinfección de aguas. El ozono se degrada con gran facilidad a un pH alto o con alto nivel de materia orgánica, es eficaz a un pH de 4 y con una filtración previa de materia orgánica. El sistema de desinfección presenta como inconvenientes su alto coste de instalación y que el ozono puede reaccionar con los quelatos de hierro y con el manganeso.

Cloración: por adición de hipoclorito sódico o cálcico. El ácido hipocloroso tiene un gran poder oxidante, que permite la desinfección. El empleo de gas licuado de cloro mejora la eficacia. Los costes de instalación oscilan entre 3.000 y 6.000 €, la experiencia de desinfección es escasa y los resultados son diversos (Montserrat, J., 2000).

Otros sistemas de desinfección químicos: la yodación por una mayor estabilidad del yodo frente al cloro y la desinfección con peróxido de hidrógeno activado, por su poder oxidante.

Entre los sistemas de desinfección biológicos podemos encontrar la desinfección por filtración

lenta en lecho de arena, en la que se hace pasar el lixiviado a través de distintas granulometrías de puzzolana, arena silíceo o tierras volcánicas, con buenos resultados en el control de *Phytophthora* y *Pythium*, con un coste de instalación razonable y bajo mantenimiento.

Una alternativa interesante a estas técnicas de desinfección consiste en la utilización de hongos antagonistas, como *Pythium oligandrum*, que reduce la actividad de los patógenos. Esta técnica está más adaptada a la utilización de sustratos orgánicos, que permiten una nutrición carbónica favorable para el desarrollo de los hongos (Le Quillec, S y Fabre, R., 2000).



48. Sistema de desinfección de drenajes con lámparas de radiación. UV.



49. Desinfección de drenaje por Termodesinfección



50. Desinfección con empleo de ozono.

12 • ALGUNOS ASPECTOS DEL MANEJO DEL SEMILLERO

La fase de semillero ha ganado protagonismo dentro del sector hortícola en los últimos años, quedando su manejo prácticamente en manos de empresas especializadas equipadas con maquinaria que permite siembras de precisión, cámaras de germinación, cámaras de forzado, calefacción, luz artificial, sistemas de riego automatizados y gestión integral de los viveros, que garantizan un aprovechamiento máximo de las semillas, sanidad y calidad de las plantas.

Uno de los aspectos más importantes del manejo de semilleros destinados a los cultivos sin suelo es el de la elección de material y dimensiones del cepellón. Entre los posibles materiales tenemos la lana de roca, la perlita, mezcla de perlita y vermiculita, turba y fibra de coco. Dicha elección queda sujeta al sistema de cultivo, pudiéndose emplear la lana de roca en

sistemas de cultivo en lana de roca y perlita, la perlita o mezcla de perlita con vermiculita en sistema de cultivo en perlita y arena, y la fibra de coco y turba para sistemas de cultivo en fibra de coco y turba. La compatibilidad del sustrato de semillero con el del cultivo en cuestión, es función del movimiento capilar del agua en los sustratos y la diferencia de potencial a que se halla sometido, trasladándose de áreas con bajo potencial a zonas en donde es más elevado.

La fibra de coco y la turba tienen mayor potencial que la lana de roca y la perlita, por esa razón cuando se trasplanta sobre fibra de coco una planta criada en un semillero en lana de roca, al poner en contacto los materiales, el agua se traslada de la lana de roca a la fibra de coco, dejando el taco sin agua y con peligro de que la planta durante los primeros días se deshidrate. En la situación contraria, en que cultivando sobre tablas de lana de roca se trasplante con cepellón de turba, el agua se desplazará durante el cultivo a la turba produciendo un exceso de humedad en el cuello de la planta, causando problemas de podredumbre de cuello.

Las posibles diferencias en el manejo de los semilleros para cultivos sin suelo, se dan únicamente en el manejo de la lana de roca o la perlita, siendo el primero el más utilizado, el manejo de turba es realizado igual que en los semilleros convencionales.

Cuando se trabaja con lana de roca y con perlita, que son materiales con muy baja capacidad de intercambio catiónico, manejaremos una solución nutritiva de proporciones similares a las del cultivo definitivo, aunque con una menor concentración de los iones. Dicha solución puede estar formada por:

ión	mmol/l.
NO_3^-	6-8
SO_4^-	1-2
H_2PO_4^-	1-1,5
K^+	6-8
Ca^{++}	2-3
Mg^{++}	1-2
NH_4^+	<1

Tabla 14. Solución nutritiva para lana de roca y perlita

Para el manejo de los semilleros en lana de roca, se puede hacer una siembra en bandeja de alvéolos sobre una mezcla de perlita y vermiculita, para cuando la planta se encuentre desarrollando las primeras hojas verdaderas proceder al repicado en los bloques de lana de roca. La siembra también se puede realizar de forma automática sobre bandejas con tacos (tapones) de lana de roca y posterior repicado al bloque.



51. Bandejas con bloques de lana de roca preparada para la siembra automática.

El repicado permite seleccionar las plantas consiguiendo una mayor homogeneidad y en el caso del cultivo de pimiento, permite el enterrado del hipocotilo hasta los cotiledones para evitar "el pie de elefante". Los tacos y bloques de lana de roca son para un solo uso.

En el mercado existen tacos de distintas dimensiones aunque el más común es de 4,4 x 4,4 cm. que está adaptado a las sembradoras automáticas.

Las dimensiones del bloque son de 7,5 x 7,5 x 6,5 cm. es de los más utilizados en nuestros semilleros, en el mismo se puede hacer la siembra directa o el repicado, puede venir agujereado o no y con un agujero central o bien con dos agujeros para criar dos plantas en cada bloque. Podemos encontrar bloques más pequeños o incluso de mayores dimensiones para conseguir plantas de mayor tamaño.

Antes de sembrar o repicar se deben saturar los bloques o tacos con una solución nutritiva diluida y posteriormente, mantendremos el nivel de humedad correcto del material.

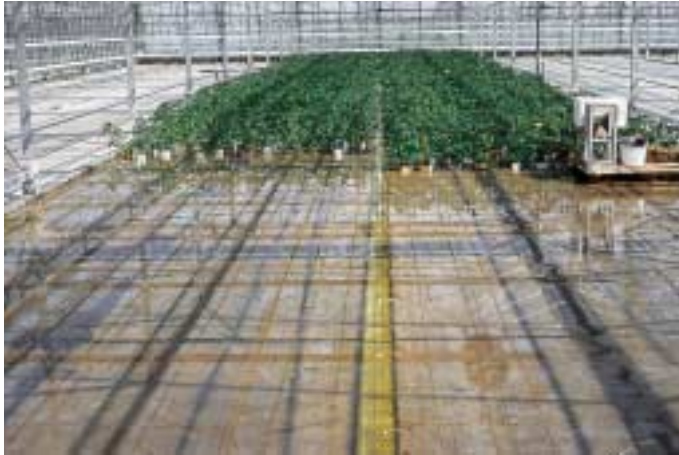


52. Repicado sobre taco de plantas de tomate que inicialmente se han mantenido en bandeja con una mezcla de perlita y vermiculita.

Los bloques se colocan sobre una superficie que permita un buen drenaje, evitando cualquier tipo de encharcamiento. El riego generalmente se realiza con trenes de riego con boquillas de salida planas, por la que suministramos la solución nutritiva formulada. El riego por inundación puede ser conveniente en aquellos casos en los que se pretenda hacer una planta de semillero con un gran tamaño y la vegetación impida el correcto mojado del sustrato en riego por aspersión o manguera.



53. Semillero sobre bandejas que permiten un correcto drenaje y el transporte de la planta tras el apilado.



54. Semillero de plantas de tomate de gran tamaño con sistema de riego por subirrigación.

El mantenimiento del riego debe garantizar un correcto nivel de humedad del sustrato. La solución nutritiva podrá ir incrementando progresivamente la CE, hasta valores de cultivo en la última semana de crianza.



55. Planta asomando las raíces en su punto para ser trasplantadas.



56. Planta de gran tamaño preparada con un tutor.

La planta estará en condiciones de ser trasplantada cuando las primeras raíces asomen por debajo del bloque. Cuando la planta salga del semillero es muy interesante saturar los bloques para mantener el nivel de humedad o bien cuando llegue a la explotación y antes del trasplante dar un buen riego con solución nutritiva.

13 • ALGUNOS RESULTADOS DE EXPERIENCIAS EN SISTEMAS DE CULTIVOS SIN SUELO

Dentro del Convenio de Hortalizas establecido entre la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana, las Cooperativas Agrarias de la Comunidad Valenciana y Fundación Caja Rural Valencia, en el que participan el IVIA y la Universidad Politécnica de Valencia, se inician en 1992 las primeras experiencias con los sistemas de cultivo sin suelo, con inversiones que se han venido realizando en el Campo de Ensayos de la Cooperativa SURINVER en el Pilar de la Horadada, en el Campo de Ensayos de la Cooperativa San Isidro de Benicarló y en el Centro de Formación de Fundación Caja Rural Valencia.

Inicialmente las inversiones han ido destinadas a dotar a dichas explotaciones de cabezales automáticos que permiten la gestión de los sistemas de cultivos sin suelo, con máquinas que manejan numerosos sectores de riego, permiten el control automático del pH y la CE de las soluciones nutritivas, ordenadores de control de clima en los invernaderos, radiómetros, bandejas de riego por demanda y mejoras que se han venido produciendo durante los últimos años, que han permitido realizar un gran número de trabajos en diferentes cultivos hortícolas, de los cuales expondremos aquellos resultados de mayor interés y que puedan aportar una información interesante a la gestión de estos nuevos sistemas de cultivo sin suelo.

13•1 Experiencias de más interés en Cultivo de tomate desarrolladas en el campo de experiencias de surinver. (Pilar de la Horadada)

En el campo de experiencias de la Cooperativa SURINVER durante la campaña 1992-93, se realizó una experiencia con cultivo de tomate co. **Daniela**, sobre cultivo en lana de roca de segundo año, con tablas de 100 x 10 x 10 cm., en las que se había cultivado anteriormente tomate. Se disponen 4 plantas/tabla y se compara la respuesta productiva del cultivo sobre tablas desinfectadas con vapor de agua, desinfección con Metam Sodio a razón de 0,1 l/m², tabla sin desinfectar y tabla de nueva adquisición.

La solución nutritiva empleada para tomate fue:

MMol/l								
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	CE
13,00	1,75	3,61	0,50	7,00	4,50	2,26	5,50	3,00

Tratamiento	Rendimiento (kg./m ²)	Peso medio (kg)
Sin desinfección	19,4	0,120
Desinfección con Vapam	23,4	0,125
Desinfección vapor de agua	24,7	0,132
Tabla nueva	22,3	0,123

Tabla 15. Comparación distintos sistemas de desinfección de tablas de lana de roca para cultivo de tomate.

La experiencia se realiza en un invernadero multitúnel dotado de sistema de calefacción con agua caliente con un trasplante efectuado el 9 de septiembre de 1992 y cuyo cultivo se mantiene hasta julio de 1993.

Los resultados productivos obtenidos:

El peor resultado productivo se obtiene en la parcela testigo, correspondiente a la tabla de 2º año sin desinfectar.

Una experiencia de similares características se desarrolló durante la misma campaña con el co. **Atol** de pimiento, sin diferencias destacables entre los distintos sistemas de desinfección.

En la siguiente campaña se pone a punto la técnica del interplanting en tomate:

En el mismo invernadero, con el co. **Daniela**, se compara el manejo del cultivo manteniendo la planta con sistema de entutorado con ganchos que permiten ir bajándola, frente al interplanting. El trasplante en ambos casos se realiza el 1 de septiembre de 1993, con una densidad de 2,2 plantas/m². En la parcela de interplanting se descopa la planta a mediados de enero y se procede al trasplante de la nueva planta. El cultivo finaliza en el mes de agosto de 1994.

Se obtiene un mayor rendimiento de producto comercial con el sistema de interplanting (27,92 kg/m²), frente al sistema que mantiene la planta durante todo el ciclo (25,56 kg/m²). En las figuras 20 y 21 se puede ver la evolución de la producción y los calibres en cada cultivo.

Como se observa, la menor producción se debe a un mayor porcentaje de producto de destrío, ocasionado por "blossom end rot" en el cultivo de **Daniela** de ciclo completo con la misma planta.

En la siguiente campaña se repite la experiencia del interplanting, empleando en el segundo trasplante una planta de tomate procedente de semillero con un gran desarrollo, con el primer ramillete cuajado y el segundo en flor. El co. con la que se trabaja es también **Daniela** y se mantiene el cultivo con ciclo completo.

El período de recolección se inicia en noviembre y finaliza a principios de agosto. En interplanting se obtiene 34,81 kg./m² de producto comercial, frente a 19,74 kg./m² de la plantación en la que se mantiene la misma planta, el mejor calibre también se obtiene con el interplanting.

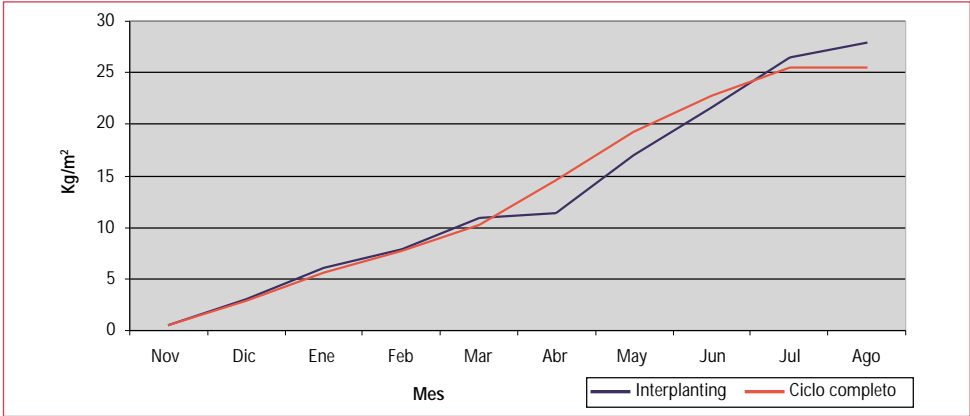


Figura 20. Evolución del rendimiento de tomate: interplanting - ciclo completo. Campaña 93/94.

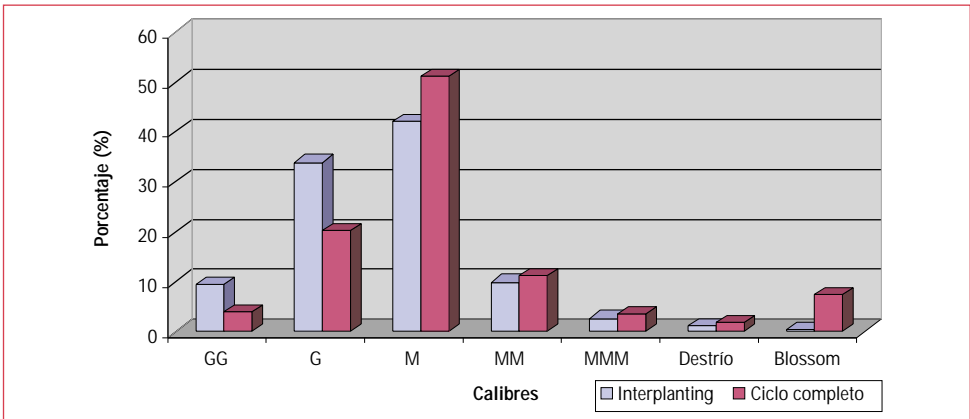


Figura 21. Porcentaje de calibres de tomate: interplanting - ciclo completo. Campaña 93/94

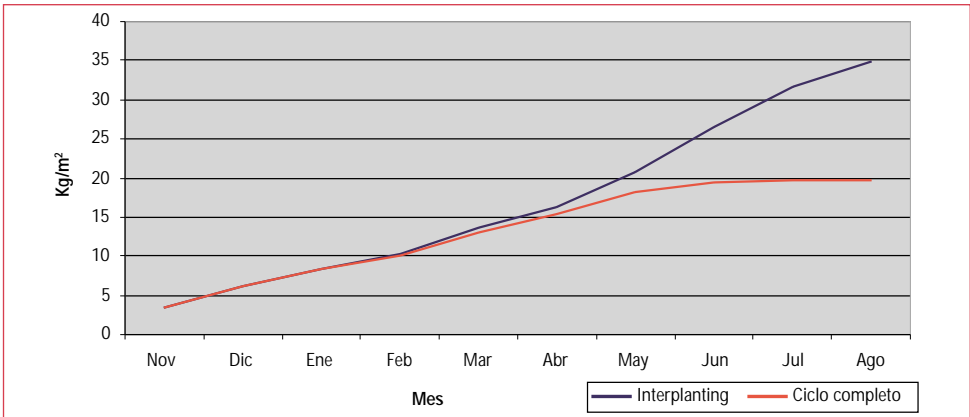


Figura 22. Evolución del rendimiento de tomate: interplanting - ciclo completo. Campaña 94/95.

13·2 Experiencias de más interés realizadas en tomate en el Centro de Formación de Fundación Caja Rural Valencia (Paiporta)

En una experiencia realizada en 1996, con trasplante el 18 de enero y final de cultivo el 3 de septiembre, se comparan tres condiciones de temperatura mínima: 10°C con incremento progresivo de 4°C a primera hora de la mañana, 10°C sin incremento y 16 °C, en un invernadero de vidrio, con sistema de cultivo sin suelo con sustrato lana de roca. En la experiencia los mejores resultados productivos se obtienen con la línea 0151 con 29,7 kg./m² de producto comercial, en el invernadero con temperatura mínima más alta.

La solución nutritiva empleada para tomate fue:

mMol/l								
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	CE
13,75	1,50	3,75	1,00	8,00	4,25	2,00	5,50	2,30

	Variedad	Rendimiento(kg./m ²)	Destruí(%)
MODULO CALIDO	Durinta	26,8	9,9
	0151	29,7	9,5
MODULO TEMPLADO	Durinta	22,9	13,0
	0151	22,3	11,1
MODULO FRIO	Durinta	20,7	15,8
	0151	21,9	10,5

Tabla 16. Respuesta de dos variedades de tomate a distintas temperaturas.

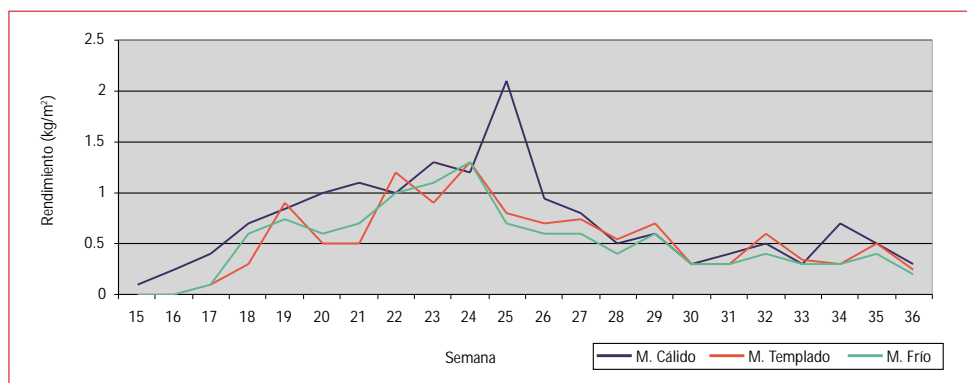


Figura 23. Rendimientos semanales en tomate (var. 0151). Respuesta a distintas temperaturas.

En 1995 se inicia una experiencia de manejo y estudio de nuevas variedades de tomate en ramillete, cultivado en invernadero multitúnel con cubierta de plástico y sustrato en lana de roca, trabajando tanto en ciclo otoñal como en ciclo primaveral. En 1996 desarrollamos una experiencia de variedades bajo la técnica del interplanting, con un primer trasplante efectuado el 28 de agosto, inicio de recolección el 31 de octubre y finalización de esta plantación el 18 de abril de 1997. La planta del interplanting es trasplantada el 19 de febrero, iniciando la recolección el 5 de mayo y finalizando el cultivo el 20 de agosto de 1997.

La mejor productividad se consigue con el co. **Durinta** con un rendimiento comercial total de 34,8 kg/m². En el siguiente cuadro se puede ver la producción total, la correspondiente a fruto recolectado como ramillete y el peso medio de los frutos, de aquellas variedades que fueron ensayadas en los dos ciclos.

VARIEDAD	Ramillete (kg./m ²)	Total (kg./m ²)	Fruto Suelto (kg./m ²)	nº Frutos por ramillete	Peso Medio Fruto Suelto (kg)
Durinta	26,35	34,82	8,49	4,5	0,116
Daniela	21,73	31,50	9,75	3,9	0,136
Magda	18,92	27,87	8,95	3,5	0,135
PEX -1832	22,17	27,54	5,37	4,4	0,103
Tanaki	19,57	26,11	6,53	4,6	0,102
Premio	19,53	25,80	6,27	4,8	0,110
Cronos	17,55	26,89	9,35	3,7	0,129

Tabla 17. Producción de tomate en ramillete 1996/97. Ensayo de variedades con interplanting.

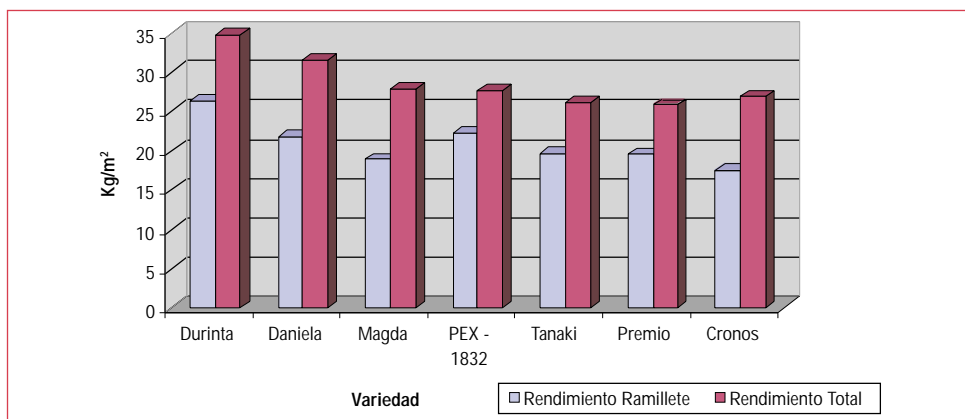


Figura 24. Producción de tomate en ramillete 1996/97

En la campaña siguiente se mantiene la experiencia de variedades de tomate en ramillete con el sistema de interplanting, llegando a conseguir un rendimiento de producto comercial en el co. **Durinta** de 40,2 kg/m².

En el siguiente cuadro se observa la producción de ramillete, la total (fruto suelto + producción en ramillete) y el porcentaje de desvío. En la siguiente figura podemos ver la producción comercial de las dos plantaciones.

VARIEDAD	Ciclo Otoñal			Ciclo Primavera			Ciclo Otoñal + Primavera	
	Ramillete (kg./m ²)	Total (kg./m ²)	% Destrío	Ramillete (kg./m ²)	Total (kg./m ²)	% Destrío	Ramillete (kg./m ²)	Total (kg./m ²)
Katar	3,89	9,40	24,77	10,19	17,70	19,27	14,08	27,10
Daniela	1,68	9,45	27,21	7,89	18,13	23,93	9,57	27,58
Durinta	4,32	14,08	26,54	13,74	26,15	16,11	18,06	40,23

Tabla 18. Producción de tomate en ramillete con interplanting. Ciclo otoñal y primavera 1997/98.

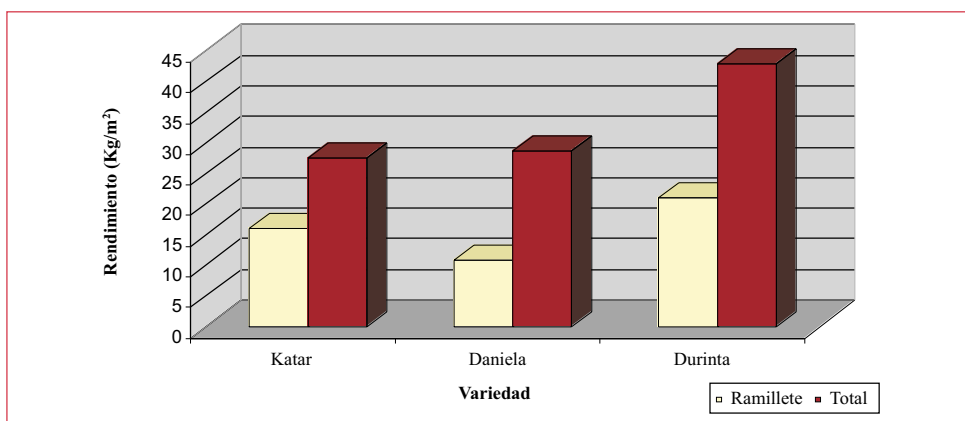


Figura 25. Producción de tomate en ramillete y total 1997/98.



57. Interplanting en cultivo de tomate con variedades para recolección en ramillete. Fundación Caja Rural Valencia.

En la primavera de 1999, en un invernadero multitúnel con cubierta de plástico, se compara el comportamiento productivo de 3 cos. de tomate en ramillete (**Durinta, Katar y Premio**) cultivadas sobre tres sustratos, perlita, lana de roca y fibra de coco.

En lana de roca se emplea un saco de 15 l., disponiendo 4 plantas/saco y con un volumen total de sustrato de 90 m³/ha, la fibra de coco en un saco de 20 l con 4 plantas/saco con un volumen total de 125 m³/ha y saco de perlita B-12 en saco de 40 l con 6 plantas/saco con empleo de 165 m³/ha.

La plantación se realiza el 12 de enero de 1999, la recolección se inicia el 15 de abril y la experiencia finaliza el 2 de agosto. Consideramos como producción precoz, el producto cosechado hasta el 1 de junio.

La solución nutritiva es la misma para cada sustrato, aunque el manejo de riego es independiente.

En las siguientes tablas, podemos ver la producción precoz, la producción final y el consumo de solución nutritiva en cada sustrato.

Sustrato	Ramillete(kg./m ²)	Total(kg./m ²)	Peso Medio(kg.)	Destrio(kg./m ²)
Lana de Roca	8,01	8,94	0,092	0,75
Perlita	7,36	8,17	0,092	0,71
Fibra de Coco	7,03	7,98	0,088	0,76
Nivel significación	N.S	N.S	N.S	N.S

Tabla 19. Producción precoz de tomate en ramillete por sustratos.

Sustrato	Ramillete(kg./m ²)	Total(kg./m ²)	Peso Medio(kg.)	Destrio(kg./m ²)
Lana de Roca	14,30 A	17,21 A	0,092	2,04 B
Perlita	13,76 AB	17,14 A	0,093	1,82 B
Fibra de Coco	11,92 B	14,54 B	0,089	2,76 A
Nivel significación	99%	99%	N.S	99%

Tabla 20. Producción final de tomate en ramillete por sustratos.

Sustrato	m ³ /ha	m ³ /ha netos medio	% drenaje medio
Lana de Roca	8690,1	5543,7	36,2
Perlita	8342,3	5696,0	31,7
Fibra de Coco	7745,1	4884,2	36,9

Tabla 21. Consumo de agua por sustratos, en cultivo de tomate en ramillete.

En la producción precoz no se detectan diferencias de productividad, en la producción final la menor producción se obtiene con el saco de fibra de coco, que es el sustrato en donde se aprecia un menor consumo de agua.

Sustrato	Kg producto/m ³ solución nutritiva
Lana de Roca	19,80
Perlita	20,55
Fibra de Coco	18,77

Tabla 22. Eficiencia de la solución nutritiva

Con este resultado no podemos decir que la fibra de coco sea peor material, sino que el tipo de contenedor del sustrato (saco) no es el adecuado para el manejo de la fibra de coco, puesto que impide una correcta aireación del sistema radicular.

En el mismo ciclo, aunque bajo un invernadero con cubierta de vidrio, se realiza una experiencia con tres cos. de tomate (**Bond, Bodar y tomate valenciano**), con sacos de lana de roca de 15 l. y con contenedores de poliestireno de 27 l., rellenos de fibra de coco, colocando 4 plantas/contenedor o saco.

La plantación se realiza el 5 de enero de 1999, la recolección se inicia el 22 de marzo, la experiencia finaliza el 9 de septiembre. A efectos de producción precoz consideramos las recolecciones efectuadas hasta el 28 de mayo.

En las siguientes tablas aparecen los resultados de producción precoz por sustratos, la total y la producción final de las variedades ensayadas.

Sustrato	Rendimiento (kg./m ²)	Peso Medio (kg)	Destrío (kg./m ²)
Lana de Roca	11,89	0,203	0,85
Fibra de Coco	12,13	0,202	0,80
Nivel significación	N.S	N.S	N.S

Tabla 23. Producción precoz de tomate por sustratos.

Sustrato	Rendimiento (kg./m ²)	Peso Medio (kg)	Destrío (kg./m ²)
Lana de Roca	22,88 B	0,187	3,75 b
Fibra de Coco	25,51 A	0,188	4,85 a
Nivel significación	99%	N.S	95%

Tabla 24. Producción final de tomate por sustratos.

Variedad	Rendimiento (kg./m ²)	Peso Medio (kg)	Destrío (kg./m ²)
Bodar	29,57 A	0,188 a	4,38
Bond	28,24 A	0,197 a	4,43
Valenciano	14,78 B	0,177 b	4,09
Nivel significación	99%	95%	N.S

Tabla 25. Comparativa de cos. de tomate tipo beef resistentes a TSWV y tomate valenciano.

Como se puede ver no se aprecian diferencias entre fibra de coco y lana de roca en la producción precoz, en producción final ha resultado más productivo el tomate cultivado sobre fibra de coco. No se aprecian diferencias entre los cos. **Bond** y **Bodar** (ambas resistentes al virus del bronceado del tomate, TSWV) y la productividad del **tomate valenciano** (autóctono) ha sido bastante buena.



58. Experiencia de tomate con diferentes sustratos.

A la vista de los resultados, podemos ver que el cultivo de tomate, con distintas variedades, calendarios de producción, sustratos, calidades de agua, con cultivo bajo invernadero, ha funcionado muy bien, siendo de los cultivos que mejor se adapta a este sistema de producción, manteniendo durante todos los años de trabajo y en distintas localidades niveles de productividad muy buenos.

13.3 Experiencias de más interés en Cultivo de Pimiento desarrolladas en el Campo de experiencias de surinver

Sobre cultivo de pimiento co. **Atol** y **Spartacus** en lana de roca, se realizan diferentes tratamientos para conocer la respuesta ante los problemas de años anteriores de "Blossom end rot" en sistema de cultivo sin suelo, comparando la aplicación de un antitranspirante, aplicación de calcio foliar y riegos nocturnos con una solución enriquecida con óxido de calcio a razón de 1mmol/l.

La solución nutritiva empleada para pimiento fue:

mMol/l							pH	CE
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
12,00	1,50	3,61	1,00	5,5	5,00	2,26	5,50	2,70

Aunque con pocas diferencias, los mejores resultados se obtienen con la aplicación de anti-transpirante y calcio foliar.

Durante la primavera de 1996 se realiza una experiencia con el co. **Atol** sobre sustrato en fibra de coco, comparando una solución estándar con una solución enriquecida con Ca⁺⁺, obteniendo menor porcentaje de podredumbre apical con los tratamientos enriquecidos con Ca⁺⁺ respecto al testigo.

En esa misma campaña se realiza una experiencia de cos. de pimiento tipo Lamuyo sobre fibra de coco en contenedor de 30 l, en donde se aprecian diferencias claras entre cos. ante la fisiopatía "necrosis apical".

Durante la primavera de 1997 también se realiza una experiencia sobre cos. de pimiento tipo Lamuyo y tipo California, para conocer su comportamiento en sistema de cultivo sin suelo ante la necrosis apical. Se pudo ver que los cos. de pimiento tipo California se comportan como menos sensible a necrosis apical que las de tipo Lamuyo y dentro de los tipo California los cos. amarillos que se ensayaron se comportaron como más productivos y menos sensibles a la necrosis apical que las rojas (Florian P.y Roca.D. 1998)

El 15 de diciembre de 1997 se realiza una experiencia con el sistema NGS, empleando dos cos. de pimiento tipo California (**Habana** y **Orlando**), inicialmente se utilizó agua del trasvase Tajo Segura y tras problemas de acumulación de iones se procedió a regar con agua de lluvia desde el mes de abril, obteniendo una buena respuesta como puede verse en los resultados de la siguiente tabla. (Giménez y Valero, 1998)

Variedad	Rendimiento(kg/m ²)	Rendimiento(kg/planta)
Orlando	13,94	5,57
Habana	14,74	5,89

Tabla 26. Producción pimiento tipo California. NGS.

El principal problema del cultivo en ciclo primaveral en pimiento con sistema de cultivo sin suelo, es el de la necrosis apical. La selección de variedades, manejo adecuado de las condiciones climáticas, manejo del riego, de la nutrición, empleo de aguas de buena calidad y el tipo de sustrato hace viable su cultivo en estas condiciones, con buenos niveles productivos y de calidad de producto.

13·4 Cultivo de berenjena en el centro de Formación de Fundación Caja Rural Valencia

Se realiza un trasplante de berenjena co. **Diva** el 15 de diciembre de 1993, en un invernadero de vidrio, con sistema de calefacción por agua caliente, finalizando el cultivo durante la primera semana de agosto de 1994.

La solución nutritiva empleada para berenjena fue:

mMol/l								
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	CE
15,50	1,50	1,50	1,00	6,75	3,25	2,50	5,50	2,1



59. Cultivo de pimiento en sistema NGS. Campo de Ensayos de SURINVER

El rendimiento comercial final obtenido es de 20,44 kg/m², con un peso medio de 325 g. En las siguientes figuras se puede ver la evolución del ritmo de recolección y del peso medio de los frutos.

El 20 de diciembre de 1994 se desarrolla una experiencia de variedades de berenjena del tipo intermedia de piel negra, en un invernadero de vidrio con sistema de calefacción por agua caliente, sustrato lana de roca, con densidad de 2,3 plantas/m² con poda a 2 tallos.

La recolección se inicia el 23 de febrero de 1995 y finaliza el 2 de agosto, los rendimientos obtenidos fueron muy buenos, con una buena calidad de producto, tal como se puede ver en la siguiente tabla.

La cantidad de solución nutritiva utilizada en el cultivo fue de 12.287 m³/ha y la consumida por la planta de 8.546 m³/ha.

En general el cultivo de berenjena funciona muy bien en sistemas de cultivo sin suelo incluso con aguas de mediana calidad.

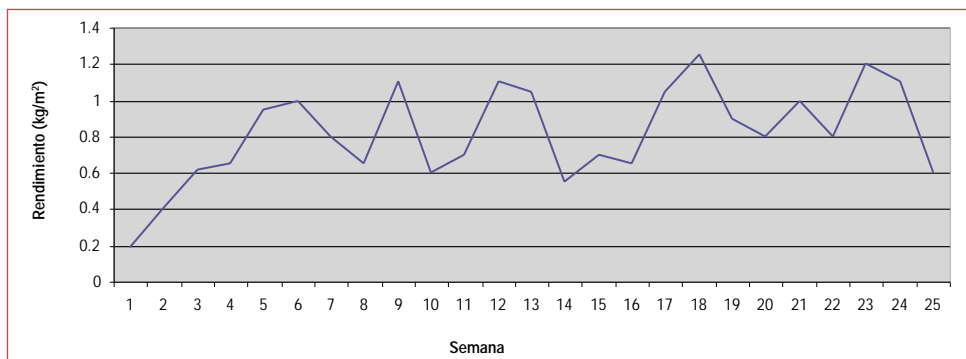


Figura 26. Evolución semanal del rendimiento en berenjena.

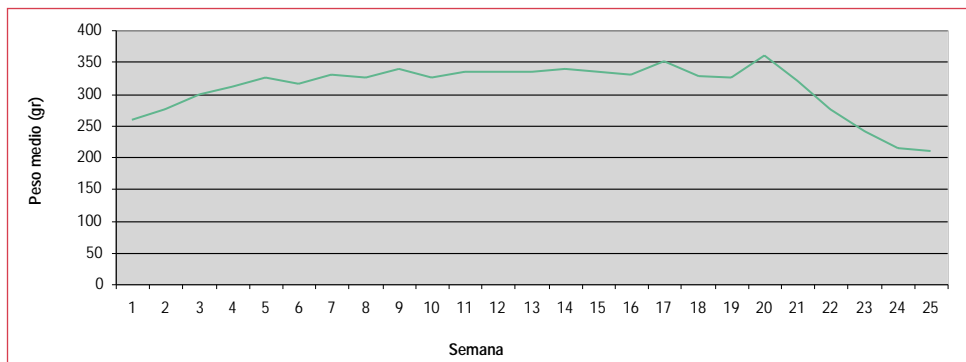


Figura 27. Evolución semanal del peso medio en berenjena.

Variedad	Rendimiento(kg/m ²)	Peso Medio (kg)
Cava	21,93 A	0,304 A
Diva	21,11 AB	0,299 A
Adria	20,30 AB	0,277 B
Paula	17,92 BC	0,273 B
Rima	16,58 C	0,273 B
XPH-14077	9,80 D	0,252 C

Tabla 27. Resultados productivos de variedades de berenjena tipo intermedia.



60. Cultivo de berenjena en lana de roca.

13•5 Cultivo de melón, Experiencias en el Centro de Formación de Fundación Caja Rural Valencia

En 1993 se realiza una experiencia bajo un invernadero multitúnel con cubierta de plástico y dotado de calefacción por agua caliente, en la que se estudia sobre melón, 4 ciclos de cultivo distintos y el efecto de la repetición sobre un mismo saco de lana de roca.

La solución nutritiva empleada para melón fue:

mMol/l								
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	CE
16,25	1,50	1,50	1,0	7,50	4,75	1,25	5,50	2,2

En la siguiente tabla aparecen algunos resultados de interés en los distintos ciclos ensayados:

Tipo de melón	Fecha Trasplante	Período de Recolección	Peso Medio Fruto (kg.)	Rendimiento Comercial (kg/m ²)	Consumo Agua (m ³ /ha)
Piel de sapo Daimiel	31-08-93	del 4-11 al 2-12	1,91	4,18	3.035
Piel de sapo Daimiel	21-9-93	del 7-12 al 13-12	1,26	1,25	1.960
Galia. Galor	27-01-94	del 15-3 al 15-5	0,94	4,61	1.780
Galia. Solarnoon	18-05-94	23-6 al 8-8	1,77	6,98	----

Tabla 28. 4 ciclos de cultivo en melón. Datos productivos y consumo de agua. Campaña 93/94.

En la siguiente campaña se desarrolla un calendario similar en el mismo invernadero y del cual también aparecen en la tabla los resultados más interesantes:

Tipo de melón	Fecha Trasplante	Período de Recolección	Peso Medio Fruto (kg.)	Rendimiento Comercial (kg/m ²)	Consumo Agua (m ³ /ha)
Piel de sapo. Toledo	30-8-94	del 4-11 al 29-11	2,45	3,70	1.972
Piel de sapo. Toledo	21-12-94	del 21-3 al 5-5	0,88	4,01	1.972
Piel de sapo. Toledo	10-5-95	del 2 al 15-7	2,24	4,86	3.102

Tabla 29. 4 ciclos de cultivo en melón. Datos productivos y consumo de agua. Campaña 94/95.

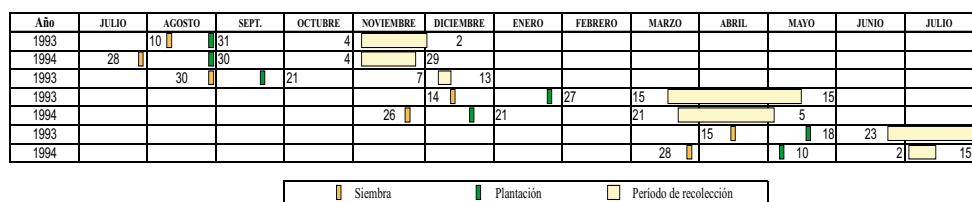


Figura 28. Calendario de producción de melón.

Uno de los problemas con los que nos encontramos en las plantaciones comentadas fue el de la aparición de vitrescencia, por esa razón nos planteamos experiencias para conocer la respuesta de variedades de melón tipo Cantaloup larga vida, frente esta fisiopatía.

La experiencia se desarrolla sobre sustrato en lana de roca, en un invernadero de vidrio dotado de sistema de calefacción por agua caliente. La experiencia se realiza en ciclo otoñal y en ciclo primaveral.

En el ciclo otoñal trasplantamos el 16 de agosto de 1996, iniciamos las recolecciones el 15 de octubre y finalizaron el 27 de noviembre. En el mismo invernadero volvemos a trasplantar una ex-

perencia el 17 de enero de 1997, se inicia la recolección el 22 de abril y finalizamos el 11 de julio.

En las siguientes tablas aparecen los resultados de la experiencia en ambos ciclos y la incidencia de vitrescencia en cada una de las variedades ensayadas.

Variedad	Rendimiento (kg./m ²)	P. Medio (kg)	Piezas/planta	% Destrío
ENSAYO DE VARIEDADES				
Clipper	3,421 A	0,855 A	1,7	0,03
Tooper	3,192 AB	0,942 A	1,5	0,65
4811	2,934 ABC	0,898 A	1,5	1,07
Sirio	2,719 BC	0,652 B	1,8	0,57
Tornado	2,485 C	0,811 A	1,3	0,54
VARIEDADES GENERALES				
Sirio	3,385	0,712	2,1	0,34
Clipper	3,665	1,036	1,5	0,23

Tabla 30. Resultados numéricos de melón. Ciclo otoñal.

Variedad	Rendimiento (kg./m ²)	P. Medio (kg)	Piezas/planta	% Destrío
Clipper (Nunhems)	6,345 A	0,652 AB	4,2	7,6 B
Tooper (Nunhems)	6,046 A	0,697 A	3,8	11,9 B
4811 (Nunhems)	5,570 A	0,598 B	4,0	9,0 B
Tornado (Tézier)	4,923 AB	0,697 A	3,1	19,2 AB
Sirio (Tézier)	3,753 B	0,511 C	3,2	29,3 A
VARIEDADES GENERALES				
Tooper	6,902	0,708	4,2	11,7
Tornado	4,814	0,794	2,6	17,1
GLOBAL INVERNADERO				
Global	6,26	0,726	3,4	13,8

Tabla 32. Resultados numéricos de melón. Ciclo primaveral.

El cultivo de melón en sistemas de cultivo sin suelo, puede ser algo problemático en ciclos en los que se pueden producir oscilaciones fuertes de temperatura nocturna y diurna, con humedades relativas muy altas, en las que se acentúan fisiopatías como la vitescencia. La elección de variedades, ciclo productivo, manejo del riego y solución nutritiva, son muy importantes en el cultivo de melón.



61. Cultivo de melón

Var.	Resist. Oídio	Floración	Intumescencia	Escriturado	Forma Fruto	Color piel	Color pulpa	Vitrescencia	Hueco	° Brix	Sabor	M. Vida
Sirio	NO	Normal	Muy poca	Medio	Redondo	Vetas claras	Salmón	no	si	15	Bueno	La mejor
Clipper	NO	Abundante	Bastante	Medio	Redondo	Vetas oscuras	Salmón	si	no	13	Normal	
4811	SI	Abundante	Bastante	Medio	Redondo	Vetas oscuras	Salmón	si	algo	15	Bueno	Aceptable
Toper	NO	Abundante	Mucha	Ninguno	Medio	Vetas claras	Salmón claro	algo	no	11	Malo	
Tornado	NO	Normal	Poca	Poco	Medio	Vetas claras	Salmón	no	algo	14	Bueno	

Tabla 31. Cuadro de valoración de melón. Ciclo otoñal.

Var.	Resist. Oídio	Floración	Intumescencia	Escriturado	Forma Fruto	Color piel	Color pulpa	Vitrescencia	Hueco	° Brix	Sabor	M. Vida
Sirio	No	Abundante	No	No	Redondo	Vetas oscuras		Poca	Algo	14	Bueno	Buen comport. a Tª ambiente
Clipper	No	Normal	No	Bajo	Redondo		Claro	Poca	No	13	Normal	Muy buen comport. en cámara
4811	Algo	Normal	No	Bajo	Redondo			Poca	No	15	Bueno	
Toper	No	Insuficiente	Algo	Bajo	Medio		Claro	No	No	14	Bueno	Buen comport. en cámara
Tornado	No	Insuficiente	No	Bajo	Medio			Algo	No	15	Bueno	Buen comport. a Tª ambiente

Tabla 33. Cuadro de valoración de melón. Ciclo primaveral.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, M.; NOGUERA, P.; NOGUERA, V.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; PAREDES, C.; 1997. "Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo". Actas de Horticultura 19. I Congreso Ibérico y III Nacional de Fertirrigación. SECH.

ABAD, M.; 1994-95. "Sustratos para el cultivo sin suelo: inventario y características". Curso especial de técnicas en Horticultura. Universidad Politécnica de Valencia.

ABAD, M.; 1997. "Sustratos: propiedades y manejo de materiales orgánicos, minerales y sintéticos inertes y activos". Hidroponía. Una esperanza para Latinoamérica. Curso Taller Internacional de Hidroponía, Lima-Perú, 25-29 Marzo 1996. Ed. Alfredo Rodríguez Delfín.

ALARCÓN, A.; 1998. "Acidificación de soluciones nutritivas en fertirrigación". Horticultura. 129.

ALARCÓN, A.; 1998. "Concepto de pH e importancia en fertirrigación". Horticultura. 132.

ALARCÓN, A.; 1998. "Modificación de la conductividad eléctrica en fertirrigación". Horticultura. 130.

ANSORENA, J.; 1994. "Sustratos. Propiedades y caracterización". Ed. Mundi-Prensa.

BAIXAULI, C.; "Cultivo de la berenjena en invernadero: ensayo experimental de variedades". Comunitat Valenciana Agraria. 10.

BAIXAULI, C.; 1995. "Melón en hidropónico". Cultivo del melón. Fundación Caja Rural Valencia.

BAIXAULI, C.; MAROTO, J.V.; MIGUEL, A.; TORRES, J.M^a.; LÓPEZ GALARZA, S.; 1997. "Cultivares de melón". Horticultura. 119.

BAIXAULI, C.; MAROTO, J.V.; TORRES, J.M^a.; MIGUEL, A.; LÓPEZ GALARZA, S.; 1997. "Comportamiento productivo de diversos cvs bajo invernadero en ciclo otoñal tardío". Agrícola Vergel.

BAIXAULI, C.; GARCÍA, M^a.J.; AGUILAR, J.M.; LÓPEZ-GALARZA, S.; MAROTO, J.V.; MIGUEL, A.; 1998. "Ensayo de variedades de tomate en ramillete, cultivo en invernadero". Actas de Horticultura VI. Jornadas del grupo de Horticultura. Almería.

BENOIT, F.; 1995. "Vegetable growing in Belgium". Cronica Horticulturae. Vol 35.

BRUN, R.; 1998. "Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol: une nécessité et pourquoi pas un atout". PHM Revue Horticole. 396.

CABALLERO, P.; DE MIGUEL, M.D.; IRANZO, B.; 1997. "El cultivo en sustrato frente al cultivo en suelo natural en los invernaderos: una primera evaluación económica". Acta II Congreso Iberoamericano. S.E.C.H.

CADAHÍA, C.; 1998. "Cultivos hortícolas y ornamentales". Fertirrigación. Ed. Mundi-Prensa.

CÁNOVAS, F.; DÍAZ, J.R.; 1993. "Cultivo sin suelo. Curso superior de especialización". Ed. Instituto de Estudios Almerienses, FIAPA.

CEBOLLA, V.; 1995. "El bromuro de metilo, estado actual y alternativas". Comunitat Valenciana Agraria 3.

CUADRADO, J.; 2000. "Sustratos para hidroponía en semilleros". 2. Ed. Asehor.

CUNILL, C.; 1990. "Cultivo sin suelo. Situación actual de las técnicas de cultivo sin suelo en invernaderos españoles". Ed Horticultura.

DEL CASTILLO, J.A.; SANZ, J.; URIBARRI, A.; SÁDABA, S.; 1997. "Abonos para fertirrigación en invernaderos". Agrícola Vergel.

ELLIS, C. Y SWANEY, M.W.; 1967. "Cultivo hidropónico de las plantas". Ed. Interciencia.

FALAVIGNA, A.; QUATTRINI, E.; POTINO, G.L.; CASAROTTI, D.; 1998. "Piante innestate di melanzana allevate con WFT". Colture protette 8.

FLORIAN, P.; 1997. "Los cultivos hidropónicos en España", "El sistema de cultivo de lana de roca y perlita". Hidroponía. Una esperanza para Latinoamérica. Curso Taller Internacional de Hidroponía, Lima-Perú, 25-29 Marzo 1996. Ed. Alfredo Rodríguez Delfín.

FLORIAN, P.; 1998. "Sustratos: propiedades, ventajas y desventajas". Hidroponía comercial. Una buena opción en agronegocios. Conferencia Internacional 6-8 Agosto 1998. Lima-Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Centro de Investigación de hidroponía y nutrición mineral. Hydroponic Society of America. Ed. Alfredo Rodríguez Delfín.

GARCÍA LOZANO, M.; URRESTARAZU, M.; 1999. "Recirculación de la disolución nutritiva en las conducciones de los invernaderos de la Europa del Sur". Ed. Caja Rural de Granada.

JEANNEQUIN, B; FABRE, R.; 1995. "Techniques for the recycling or the reduction of waste nutrient solution in soil-less cultivation". Plasticulture. 107.

JIMÉNEZ, J.; VALERO, L.M.; 1998. "Pimiento California en cultivo hidropónico con recirculación sistema NGS". Memoria de actividades 1998. Resultados de Ensayos Hortícolas. CAPA. Generalitat Valenciana. Fundación Caja Rural Valencia.

LESANT, C.; COÏC, Y.; 1983. "Cultures hydroponiques". Ed. La Maison Rustique.

LUCAS, A.; 1999. "Patologías y fisiopatías específicas y más frecuentes en los cultivos sin suelo. 1ª parte". Agrícola Vergel.

LUCAS, A.; 1999. "Patologías y fisiopatías específicas y más frecuentes en los cultivos sin suelo. 2ª parte". Agrícola Vergel.

LUCAS, A.; 1999. "Patologías y fisiopatías específicas y más frecuentes en los cultivos sin suelo. 3ª parte". Agrícola Vergel.

LUCAS, A.; 1999. "Patologías y fisiopatías específicas y más frecuentes en los cultivos sin suelo. 4ª parte". Agrícola Vergel.

MADRID, R.; ROMOJARO, F.; MOLINA, E.; SÁNCHEZ, F.I.; ALARCÓN, A.; 1997. "La vitescencia del melón". Agrícola vergel.

MARFÁ, O.; 2000. "Recirculación en cultivos sin suelo". Ed. Horticultura.

MAROTO, J.V.; MIGUEL, A.; BAIXAULI, C.; 2000. "La lechuga y la escarola". Fundación Caja Rural Valencia y Ed. Mundi-Prensa.

- MAROTO, J.V.; 1998. "Historia de la agronomía". Ed. Mundi-Prensa.
- MAROTO, J.V.; 2000 "Elementos de Horticultura General". Ed. Mundi-Prensa.
- MAROTO, J.V.; 1997. "Etiología y descripción de las principales fisiopatías de la horticultura mediterránea". Ediciones y promociones L.M.L, S.L.
- MAROTO, J.V.; 1995. "Horticultura Herbácea Especial". Ed. Mundi-Prensa.
- MARTÍNEZ E Y GARCÍA LOZANO, M.; 1993. "Hortalizas en clima mediterráneo". Cultivos sin suelo. Compendios Horticultura 3. Ediciones de Horticultura, S.L.
- MARTÍNEZ, E., GARCÍA, M.; 1993 "La alternativa: el cómo y el porqué". Horticultura. 84.
- MAUROMICALE, G.; SORTINO, O.; DONZELLA, G.; ASSANZA, M.; 1996. "Comportamento agronomico e qualità del pomodoro su substrato inerte". Colture Protette 7/8.
- MIGUEL, A.; MAROTO, J.V.; 1996. " El injerto herbáceo en la sandía (*Citrullus lannatus*) como alternativa a la desinfección química del suelo". Invest. Agraria, serie Prod. Prot. Veg., 11(2).
- MIGUEL, A.; 1997. "Injerto de Hortalizas".CAPA. Generalitat Valenciana.
- MORRIE, J.; GRAHAM, M.E.D.; DUBÉ, R.A.; GOSSELIN, A.; 1994. "Improvements in Automatic Irrigation of peat-grown greenhouse tomatoes". Hort technology. April/june.
- NOGUERA, P.; NOGUERA, V.; ABAD, M.; PUCHADES, R.; MAQUEIRA, A.; 1999 "Variación de la presentación de las propiedades físicas y químicas de residuos de fibra de coco comercializados como sustratos o componentes de sustratos de cultivo en el estado español". Actas de Horticultura 26. VIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Murcia.
- PASCUAL, B.; 1996. "Riegos de gravedad y a presión". Universidad Politécnica de Valencia.
- PÉREZ, Y.; 1998. "Cultivo sin suelo de melón tipo Cantaloup en calendario otoñal". Trabajo fin de Carrera, EUITA.
- PONCET, C.; ANTONINI, C.; BETTACHINI, A.; BONNET, G.; DRAPIER, J.M.; HÉRICHER, D.; JULIEN, P.; 1998. "Recyclage des eaux de drainage en culture hors-sol: prise en compte du risque pathologique". PHM Revue Horticole, 396.
- PUUSTJÄRVI, V.; 1994. "La turba y su manejo en horticultura". Comercial Projar S.A y Ed. Horticultura S.L.
- RESH, H.M.; 1992. "Cultivos hidropónicos". Ed. Mundi-Prensa.
- RINCÓN, L.; 1993. "Equipamiento de la fertirrigación". Ed. Hortofruticultura 9.
- RODRÍGUEZ, L.; GARCÍA, J.L.; BENAVENTE, R.M.; OLIVEIRA, C.E.; MUÑOZ, M.; 1999. "Fertirrigación de invernaderos". Vida Rural.
- SANTOS, B.; "Caracterización de picón". Notas. Agencia de Extensión Agraria de Fasnía (Tenerife).
- SANZ, E.; ANSORENA, J.; 1995. "Reconocer el sustrato. Método de campo para análisis rápido de sustratos". Horticultura. 102.

SONNEVELD, C.; 1989. "A method for calculating the composition of nutrient solutions for soilless cultures". Series: Voedingso oplossingen glastuinbouw 10. Third translated edition.

TORREÑO, A.; 1988. "Normas para el mantenimiento de las instalaciones de riego localizado". Agricultura y Cooperación.

URRESTARAZU, M.; 1997. "Manual de cultivo sin suelo". Ed. Universidad de Almería. Servicio de publicaciones.

VARIOS.; 1993. "Memoria de actividades 1993. Convenio mejora de la competitividad del sector hortícola en la Comunidad Valenciana". Generalitat Valenciana. Caja Rural Valencia. Federación de Cooperativas Valencianas. Anecoop.

VARIOS.; 1994. "Memoria de actividades 1994. Convenio mejora de la competitividad del sector hortícola en la Comunidad Valenciana". Generalitat Valenciana. Caja Rural Valencia. Federación de Cooperativas Valencianas. Anecoop.

VARIOS.; 1995. "Memoria de actividades 1995. Convenio para la mejora de la competitividad del sector hortícola en la Comunidad Valenciana". Generalitat Valenciana. Caja Rural Valencia. Federación de Cooperativas Valencianas. Anecoop.

VARIOS.; 1996. "Memoria de actividades 1996. Resultados de ensayos hortícolas". CAPA. Generalitat Valenciana. Fundación Caja Rural Valencia.

VARIOS.; 1997. "Memoria de actividades 1997. Resultados de ensayos hortícolas". CAPA. Generalitat Valenciana. Fundación Caja Rural Valencia.

VARIOS.; 1998. "Memoria de actividades 1998. Resultados de ensayos hortícolas". CAPA. Generalitat Valenciana. Fundación Caja Rural Valencia.

VARIOS.; 1999. "Memoria de actividades 1999. Resultados de ensayos hortícolas". CAPA. Generalitat Valenciana. Fundación Caja Rural Valencia.

VARIOS.; 1993. "Fertirrigación de cultivos hortícolas en invernadero". Hoja divulgadora 15/92. Ed. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.

VILARNAU, A.; GONZÁLEZ, J.; 1999. "Planteles, semilleros, viveros". Compendios Horticultura 13. Ediciones de Horticultura, S.L.

Sèrie Divulgació Tècnica n° 53

Cultivo sin Suelo de Hortalizas

Aspectos Prácticos y Esperiencias

Conselleria d'Agricultura, Peixca i Alimentació

2 0 0 2

Se autoriza la reproducción íntegra de esta publicación,
mencionando su origen.

ISBN 84-482-3145-7



9 788448 231453