



Primeros estadios del cultivo de tomate cv. Rambo sobre perlita. Véase la bandeja de riego por demanda situada en el centro de la plantación.



Cultivo hidropónico

Cultivo sin suelo con recirculado de lixiviados

Las empresas Novedades Agrícolas y Nutricontrol colaboran con el curso sobre cultivo hidropónico enmarcado en el Programa de Formación Socio-Laboral «Integra-Joven»

Antonio L. Alarcón Vera
Esther Madrid Pina

Asociación Columbares
e-mail: Columbares@distrito.com

Dentro de la Iniciativa Comunitaria de Empleo y Recursos Humanos Youthstart, se desarrolla el Programa de Formación Socio-Laboral para el empleo de jóvenes menores de 20 años «Integra-Joven». En este Programa se enmarca el Proyecto transnacional Vitalia, cofinanciado por el Fondo Social Europeo y el Ayuntamiento de Murcia, en el que figura la Asociación Columbares como entidad promotora y que cuenta además con los proyectos europeos asociados de Vitoria-Gasteiz (España) y Shipley College de Bradford-Leeds (Reino Unido).

La Asociación Columbares tiene actualmente firmados dos Convenios de Colaboración con sendas empresas líderes en las tecnologías del cultivo hortícola: Novedades Agrícolas, S. A. (riego y automatización de sistemas) y Nutricontrol S. L. (electrónica y automática agrícola).

El carácter multidisciplinar de la temática tratada durante el desarrollo del curso amplía el abanico de conocimientos y posibilidades del alumno, ya que el modelo de cultivo hidropónico con desalación del agua de entrada y recirculación de los lixiviados que se plantea, involucra una serie de conocimientos tales como instalación, montaje y mantenimiento de invernaderos, redes de riego y la infraestructura necesaria; química y nutrición de los cultivos; manejo de fertilizantes y cálculo de soluciones

nutritivas; manejo y cultivo en diferentes sustratos; realización de semilleros y desarrollo de prácticas culturales necesarias en cultivo en invernadero; conocimiento y tratamiento de plagas y enfermedades; manejo y programación de equipos automatizados de fertirrigación y de control climático; control y manejo de equipo de desalación mediante ósmosis inversa, etc.

El curso tiene como objetivo prioritario la formación de jóvenes con edades comprendidas entre 16 y 20 años en la especialidad de cultivo hidropónico, con el fin de capacitarles profesional y socialmente, para que puedan enfrentarse con éxito al mercado laboral

Justificación del modelo planteado

La tendencia tecnológica en la agricultura intensiva española actual, va encaminada hacia el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos por parte de la planta, así como a mantener una nutrición mineral ajustada y acorde con cada estado fenológico del cultivo y unas condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del mismo, con el objetivo de aproximarnos lo más posible al máximo rendimiento potencial del cultivar empleado. En consecuencia nos encontramos en la actualidad con dos grandes vías de avance técnico y tecnológico:

1. Gran expansión de la electrónica y la informática aplicadas a la agricultura (equipos automáticos de fertirrigación, controladores climáticos, sondas y medidores de múltiples parámetros de control, etc.).

2. Creación o adaptación de técnicas de cultivo que permitan el mejor aprovechamiento de los

recursos y la mejora de producción y calidad de las cosechas, como es el caso de la hidroponía en España.

El cultivo sin suelo o hidroponía permite mantener una nutrición hídrica y mineral ajustada a las necesidades de la planta en cada momento de su desarrollo. Aún así, es preciso mantener un porcentaje de lixiviación o drenaje (20-40 % respecto a la solución nutritiva entrante) para evitar una excesiva concentración salina (total o específica de algún determinado ión) en el entorno radicular que se traduciría en pérdidas de rendimientos en los cultivos.

2. Permiten la recogida de drenajes sin grandes inversiones infraestructurales y su posterior reutilización mediante un adecuado tratamiento.

En España, la práctica totalidad de las parcelas con cultivo hidropónico están bajo invernadero y son, hoy en día, sistemas abiertos a solución perdida. Cada día se impone con más fuerza la necesidad de reutilización de estas aguas de drenaje, por motivos tales como:

1. La escasez de recursos hídricos en las principales zonas de cultivo hortícola que obliga al máximo aprovechamiento de los mismos.

obligan a la reutilización de drenajes y que en años próximos estarán vigentes en nuestro país.

La recirculación total de los lixiviados exige partir de agua de riego de alta calidad, exenta o con mínimas cantidades de elementos que puedan resultar fitotóxicos tales como sodio, cloruros o boro. Si partimos de agua con presencia apreciable de iones fitotóxicos o con nutrientes en cantidad superior a la necesitada por la planta, nos encontraremos con una elevación progresiva en la concentración de los mismos con cada una de las etapas de recirculación de la solución nutritiva, con lo que nos



En la foto vertical, desaladora empleada para la obtención de agua de partida libre de iones necesaria para un reciclado total de los lixiviados. Arriba, detalle del ensayo de tomate cv. Rambo sobre perlita. Véase el cubre-suelo de polipropileno de color blanco.

El actual desarrollo de los cultivos hidropónicos se verá reforzado en un futuro inmediato por el agotamiento, la salinización y la contaminación por patógenos de los suelos y por la inminente prohibición del uso de bromuro de metilo como desinfectante de los mismos. Los lixiviados bajo técnicas hidropónicas presentan dos claras ventajas respecto a los correspondientes del cultivo en suelo:

1. Generan cuantitativa y cualitativamente un menor impacto ambiental ya que, llevados adecuadamente, se efectúa un más estricto ajuste del riego y la fertilización de las plantas.

2. La posibilidad de tener un sistema cerrado de fertilizantes donde son aprovechados al máximo los abonos empleados.

3. La posibilidad, de igual forma, de mantener un sistema cerrado de productos de quimi-gación (fungicidas, insecticidas, desinfectantes, ácidos húmicos o cualquier producto corrector o mejorante apto para ser utilizado en fertirrigación).

4. Evitar el problema medioambiental de contaminación de acuíferos, debida sobre todo a la acumulación de nitratos, fosfatos y plaguicidas.

5. Las normativas europeas, que en países como Holanda ya

será imposible mantener unas óptimas condiciones de nutrición durante la totalidad del ciclo de cultivo, ello conduce a la necesidad de un control y tratamiento de las aguas de partida a utilizar mediante el empleo de desaladoras, si pretendemos una recirculación total de los drenajes.

Material y métodos

Se dispone de un terreno y de una estructura cedidas por el Ayuntamiento de Murcia, los cuales son rehabilitados por los alumnos que posteriormente proceden al cierre de los cuatro módulos que forman la estructura mediante láminas de policarbo-



A la izquierda, desarrollo radicular del pimiento en fibra de coco, vista de la parte del sustrato situada en el fondo del contenedor. Sobre estas líneas, vista panorámica del invernadero con los tres ensayos de cultivo.

nato de 4 mm de grosor y cubierta de plástico de polietileno de 800 galgas en 3 capas. La superficie del terreno cubierto asciende a 1500 m², aproximadamente.

El terreno es nivelado y cubierto con cubre-suelo de polipropileno blanco para evitar la proliferación de malas hierbas; se opta por este color para mantener una mayor iluminación durante el período otoño-invierno. La superficie se divide en 3 sectores A, B y C. Se instala una máquina desaladora Osmaqua, con capacidad para producir 200 l/h de agua libre de sales y un equipo automático de fertirrigación Xilema NP 70 que prepara las distintas soluciones nutritivas por homogeneización en una cuba de mezcla del agua de suministro y los fertilizantes inyectados por efecto venturi procedentes de 4 tanques de soluciones madre más uno adicional de ácido nítrico para ajustar el pH. El equipo posee dos sondas de lectura de conductividad eléctrica (CE) (una de agua de entrada o suministro que permite la posibilidad de fertirrigar por incremento de CE y otra de la solución nutritiva ya lista para ser distribuida a los distintos sectores de cultivo) y otra sonda para controlar el pH de la solución nutritiva. Estos parámetros y la composición de dicha solución son previamente

calculados y se programan los distintos porcentajes de inyección de fertilizantes en el ordenador de riego, el programa informático va autocorrigiendo las aperturas de las diferentes electroválvulas para mantener

***La tendencia
en agricultura intensiva
va encaminada hacia el
máximo aprovechamiento
de los recursos hídricos,
así como a mantener
una nutrición mineral
ajustada y acorde
con cada estado fenológico
del cultivo***

uniformes los valores programados de pH y CE. En los ensayos descritos posteriormente, los riegos se efectúan bien programándolos de forma horaria o bien por activación de sensores dispuestos en el cultivo, en nuestro caso, mediante bandejas de lixiviación instaladas en los distintos sectores de cultivo. Además, el programa recoge una serie de datos referentes al riego (nº de riegos, pH y C.E. máxima, mínima y

medias de cada uno de los riegos, volúmenes de los riegos, alarmas de protección del buen funcionamiento del equipo, etc.) que permite llevar un perfecto control de lo que en cada instante sucede en la fertirrigación de los distintos sectores de cultivo. Un controlador climático Mithra Clima de NTC, gobierna el clima del interior del invernadero según la introducción de los valores de referencia siguientes, con una radiación solar externa superior a 90 W/m² se produce la apertura de ventanas (cenitales en los dos módulos centrales y laterales en los dos restantes), siempre y cuando la velocidad del viento no exceda de 5 m/s, para prevenir daños en la estructura con la ventilación abierta. Cuando la temperatura baja de 10°C se activa la calefacción, consistente en la distribución del aire caliente producido por un generador de gas-oil, mediante una manga de plástico de 50 cm (que recorre toda la longitud del invernadero). La activación de la calefacción se limita por la humedad relativa, cuando ésta es inferior al 40% no se calefacta para no contribuir a reseca aún más el ambiente, aunque este hecho es inusual y no se presentó ninguna vez durante la realización de los ensayos.

El sistema de recogida y

reutilización de drenajes funciona de la forma siguiente, la totalidad de los sustratos empleados se coloca sobre unas canales situadas transversalmente al eje longitudinal del invernadero, y con una leve pendiente que permite la recogida de los lixiviados procedentes de los diferentes sustratos de cultivo sobre unas canalizaciones que recorren longitudinalmente el invernadero y que desembocan en una pequeña fosa donde una bomba sumergible equipada con un controlador de nivel, la va vaciando conforme alcanza el nivel prefijado y depositando los drenajes en un tanque de 2.250 l de capacidad situado fuera del invernadero. Paralelamente, el agua de suministro disponible ($CE = 1.2 \text{ mS/cm}$) es desalada mediante una membrana de ósmosis inversa de enrollamiento en espiral que trabaja a 7 Kg/m^2 de presión y con un 85% de recobro. El agua desalada es almacenada en un tanque de 2.250 l de capacidad situado junto al de recogida de drenajes.

Dos bombas conectadas a cada uno de los depósitos de almacenaje de drenajes y agua desalada, proporcionan el agua de suministro al equipo de fertirrigación para la elaboración de las soluciones nutritivas programadas, que posteriormente son dis-



Equipo automático de fertirrigación empleado

tribuidas a los diferentes sectores de cultivo a través de piquetas de goteo de 3 l/h de descarga dispuestas a razón de una cada dos plantas en los tres ensayos llevados a cabo. La solución de drenaje, previamente a su paso al tanque de mezcla del equipo automático de fertirrigación, pasa por un filtro de arena para su limpieza. La proporción agua desalada/drenaje recirculado se regula mediante sendas llaves que regulan el caudal a la salida de cada una de las bombas. Se hace coincidir la cantidad de drenaje recogida con el caudal recirculado por la bomba que aspira de su depósito, con el fin de que nunca se desborde ni se quede el tanque

totalmente vacío.

Con este sistema se pretende que la totalidad de los drenajes de los cultivos, que contienen exclusivamente elementos que son esenciales para las plantas, se reutilicen mediante su recirculación aportando los nutrientes consumidos por la plantación, mediante la adición de los fertilizantes correspondientes para restablecer la solución nutritiva adecuada para cada cultivo en cada estado fenológico del mismo, y restableciendo, mediante aporte de agua pura (agua desalada), el consumo hídrico del sistema. Así, mantenemos un sistema cerrado de fertilizantes y agua (con la excepción de la salmuera procedente de la desaladora, que también es aprovecha-

Mira como una alternativa en la producción de flores, tanto de cara a la exportación, como en el mercado Mira como una alternativa en la producción de flores, tanto de cara a la exportación, como en el mercado

Cuadro 1:
Disolución nutritiva inicial empleada en el ensayo del tomate

Ión	Fertilizante empleado	Concentración
Nitrato (NO_3^-)	Nitrato cálcico Nitrato potásico Acido nítrico	14 mM
Amonio (NH_4^+)	Nitrato cálcico	0.6 mM
Fosfato (H_2PO_4^-)	Fosfato monopotásico	1.5 mM
Potasio (K^+)	Nitrato potásico Fosfato monopotásico Sulfato potásico	7mM
Calcio (Ca^{+2})	Nitrato cálcico	4 mM
Magnesio (Mg^{+2})	Sulfato de magnesio	2 mM
Sulfatos (SO_4^{-2})	Sulfato de magnesio Sulfato potásico	2.2 mM
Microelementos	Complejo conteniendo Fe 7.5%, Mn 3.5%, Zn 0.7%, Cu 0.28%, B 0.65% Mo 0.3%	0.025 g/l

da) con lo que preservamos al exterior de cualquier tipo de contaminación debida a efluentes de procedencia agrícola.

Ensayos realizados

Tomate

En el sector A se colocan transversalmente 27 canales de PVC semicirculares de 10.5 m de longitud y con una separación entre líneas de 2 m. Sobre cada una de estas canales se disponen 7 sacos de perlita de 120 cm de longitud y 25 cm \varnothing . Se transplantan en cada saco 6 plantas de tomate cv. Rambo, siendo el total de plantas en el ensayo 1134 a una densidad de 2.3 plantas/m^2 .

El cultivo se transplantó el 3-11-96, y se dio por finalizado el 21-06-97, la producción final alcanzada fue de 19.3 Kg/m^2 .

La disolución nutritiva inicial presenta una CE de 2.2 mS/cm, un pH de 5.5 y su composición queda expresada en el cuadro 1.

El aporte de las necesidades de fósforo se cubren con fosfato monopotásico. El hecho de no usar ácido fosfórico (H_3PO_4), que es lo usual, obedece a las peculiaridades de nuestro agua de suministro.

La solución nutritiva inicial es cambiada al poco de iniciarse el cultivo a otra con una relación N/K más baja para endurecer las plantas que se mostraban demasiado tiernas y frágiles. A partir de este momento los cambios en la solución de nutrientes se efectuaron de acuerdo con los análisis químicos realizados cada 15-

Mira como una alternativa en la producción de flores, tanto de cara a la exportación, como en el mercado Mira como una alternativa en la producción de flores, tanto de cara a la exportación, como en el mercado

20 días de las soluciones nutritivas y de drenaje.

El régimen de riegos del cultivo se inicia tras el trasplante con 2 riegos de 6 minutos a las 12 y a las 14 h. Cuando las plantas alcanzan suficiente volumen de raíces entra en funcionamiento una bandeja de riego por demanda, cuyos electrodos se regulan para alcanzar un drenaje en torno al 25-30%, durante prácticamente todo el resto del ciclo de cultivo. En los días de máxima demanda hídrica, con radiaciones externas superiores a 600 W/m² y temperaturas máximas en el interior del invernadero superiores a 40°C, llegan a darse más de 20 riegos de 6 minutos de duración.

La variedad cultivada produce frutos de excelente calidad. El cultivo se desarrolló de mane-

ra adecuada, no mostrando ningún problema de carácter nutricional y mostrando una gran producción tratándose del cultivar seleccionado. Sus únicos problemas lo constituyeron algunas afecciones fúngicas, pequeños focos de alternaria, botritis y posteriormente oídio.

Melón

En el sector B se dispusieron 12 canales de chapa de hierro cincado de 1.5 mm de espesor y unas dimensiones de 14 m de longitud, 40 cm de ancho y 10 cm de altura. Estas canales se cubren con un plástico para evitar posibles contaminaciones por cinc en la solución recirculada y se rellenan con arlita (esferas de arcilla expandida de 3-5 mm Ø como sustrato de cultivo. Las canales mantienen una mínima pendiente para posibilitar la evacuación de los drenajes a una canalización que los conduce a la fosa de donde son bombeados al depósito de drenajes.

En las canales rellenas con arlita se transplanta el 08-04-97 un taco de lana de roca con 2 plantas de melón tipo Galia cv. Radical cada 50 cm. El cultivo se da por finalizado el 21-07-97. El total de plantas fue de 672, a una densidad de 2 plantas/m². A cada planta de melón le corresponde un volumen de sustrato de 10 l de arlita. Una de las 12 filas se pone con sustrato de fibra de coco en 14 contenedores (como

los descritos posteriormente para el cultivo del pimiento) con 4 plantas por contenedor. La fila puesta sobre fibra de coco se entutora a un solo tallo y se poda, mientras que el resto de la plantación (sobre arlita) se deja rastrero y no se somete a poda alguna.

La producción final alcanzada fue de 12.7 Kg/m² en la fila entutorada (56 plantas) y de 8.3 Kg/m² en el resto. Las diferencias de producción son debidas a los diferentes cuidados culturales más que al sustrato, ya que la plantación llevada a cabo sin entutorar sobre arlita mantuvo una vigorosidad muy buena para ser un sustrato con el que no se tenía experiencia de manejo.

La solución nutritiva de partida muestra una CE de 1.9 mS/cm, un pH de 5.5 y la composición de nutrientes reflejada en el cuadro 2.

De la misma manera que en el tomate, la solución nutritiva se va ajustando en función de los valores obtenidos en los análisis de las soluciones nutritivas y de drenaje, que contrastándolos entre sí nos permiten conocer la demanda de consumo de los diferentes nutrientes en cada una de las etapas fenológicas del cultivo.

La arlita se muestra como un sustrato de escasa capacidad de retención hídrica, con lo que el régimen de riegos debe ajustarse de una manera un tanto es-

Cuadro 2:
Disolución nutritiva inicial empleada en el ensayo del melón

Ión	Fertilizante empleado	Concentración
Nitrato (NO_3^-)	Nitrato cálcico Nitrato potásico Acido nítrico	13 mM
Amonio (NH_4^+)	Nitrato cálcico	0.6 mM
Fosfato ($H_2PO_4^-$)	Fosfato monopotásico	1.5 mM
Potasio (K^+)	Nitrato potásico Fosfato monopotásico	6 mM
Calcio (Ca^{+2})	Nitrato cálcico	4 mM
Magnesio (Mg^{+2})	Sulfato de magnesio	2 mM
Sulfatos (SO_4^{-2})	Sulfato de magnesio	2 mM
Microelementos	Complejo conteniendo Fe 7.5%, Mn 3.5%, Zn 0.7%, Cu 0.28%, B 0.65% Mo 0.3%	0.025 g/l

pecial. Efectivamente, a los pocos segundos de activarse un riego, comienza a drenarse solución desde el sustrato; el sistema planteado, desde un punto de vista técnico-agronómico, se comporta prácticamente como un NFT. Por esta razón se dan riegos de muy corta duración (2 minutos), distribuidos en modo horario, con mayor número en las horas del día de mayor demanda hídrica, y modificando el total de riegos diarios para obtener unos porcentajes de drenaje en torno al 40-50%. Los últimos días de plantación, que coinciden con los de mayor demanda de agua por parte del cultivo, se llegaron a dar más de 70 riegos diarios.

El cultivo, controlado hídrica y nutritivamente de la forma anteriormente descrita, mostró un óptimo desarrollo vegetativo y productivo, con lo que podemos afirmar que el melón, dado su sistema radicular que se extiende fácilmente por el fondo de las canales, se adapta perfectamente al sustrato y sistema descritos.

Pimiento

En el sector C, se colocan transversalmente al eje del invernadero 15 canales idénticas a las descritas para el melón.

Sobre cada una de las canales se sitúan 14 contenedores de poliestireno de forma troncopiramidal, con unas dimensiones de 30x30 cm en la base y 40x40 cm en la boca superior, siendo la altura del mismo de 30 cm. Estos contenedores se rellenan con fibra de coco (que previamente es humedecida y descompactada) disponiendo cada contenedor de un volumen de sustrato de aproximadamente 30 l.

En cada contenedor de fibra de coco se transplantan el 24-03-97, 4 plantas de pimiento tipo California de los cvs. Cuzco (maduración en rojo) y Castelo (maduración en amarillo). El cultivo se levanta el 21-07-97, el total de plantas fueron 840 a una densidad de 2.1 plantas/m².

Una de las 15 canales se rellena con arlita de un modo análogo al del ensayo de melón, y se transplantan en ella 56 plantas para estudiar la adaptabilidad del



Ensayo del pimiento sobre fibra de coco. Nótese la fila sobre arlita con una sensible diferencia en su desarrollo vegetativo.

pimiento a la arlita como sustrato y al sistema de cultivo anteriormente descrito para el melón Galia. La plantación de pimiento se entutora lateralmente y no se someten a poda alguna.

La producción total alcanzada en fibra de coco fue de 6.5 Kg/m², pero esta cifra carece de

***El cultivo sin suelo
o hidroponía permite
mantener una nutrición
hídrica y mineral ajustada
a las necesidades
de la planta en cada
momento de su desarrollo***

validez práctica ya que un severo ataque del virus TSWV mermó sensiblemente la producción final del ensayo. En la fila dispuesta sobre arlita la producción fue insignificante, las plantas mostraron un escaso desarrollo vegetativo, probablemente debido a la inadaptabilidad del sistema radicular del pimiento al tipo y altura del sustrato ensayado.

La solución nutritiva inicial que se pretende para el pimiento presenta una CE de 2.0 mS/cm, un pH de 5.5.

Igualmente esta solución va ajustándose en función de la demanda de cada nutriente en las distintas etapas fenológicas del

ensayo, que se preveen según los análisis químicos realizados a lo largo del ciclo de cultivo.

El régimen de riegos para el pimiento en fibra de coco se inicia con 2 riegos diarios de 7 min. de duración. Cuando las plantas adquieren suficiente porte entra en funcionamiento una bandeja de riego por demanda sobre la que se sitúan 3 contenedores y que activa el riego en función de la evapotranspiración que en cada momento sufra el cultivo, y cuyos electrodos se ajustan para la obtención de un drenaje del 30-35%. En los días de máxima demanda hídrica se llegaron a dar 18 riegos de 7 minutos.

El cultivo mostró una excelente adaptación a la fibra de coco como sustrato, presentando elevada producción y calidad, hasta la aparición del TSWV, que rápidamente se transmitió (quizá a través del recirculado) a la mayoría de las plantas del ensayo, afectando en gran medida al rendimiento final del cultivo.

Puede señalarse también que, cuando las plantas alcanzan su desarrollo vegetativo completo, parece ser excesivo el número de 4 plantas por contenedor, siendo más aconsejable poner 2-3 plantas, siempre que no se efectúe poda del cultivo.

Agradecimientos

La Asociación Columbares como entidad que promueve e imparte el Curso Youthstart de Cultivo Hidropónico, agradece a las empresas Novedades Agrícolas, S. A. y Nutricontrol, S. L., la colaboración prestada a nivel de asesoramiento, instalación de equipos, calendarios de prácticas para los alumnos, etc.; que ha contribuido al éxito del curso y a la consecución de los objetivos pretendidos, a la vez que sientan la base, mediante la firma de sendos Convenios, para la colaboración en próximos cursos.

También agradecer al Ayuntamiento de Murcia la cesión de los terrenos y el apoyo prestado para la realización del curso.