

# Recirculación de soluciones nutritivas

## I PARTE

### HUGO MACIA

Técnico de Investigación de la Sección de Hortofloricultura del SIMA de Derio, Centro Dependiente del Dpto. de Industria, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco



La recirculación de soluciones nutritivas (s.s.n.n. en adelante) en cultivos sin suelo (C.S.S. en adelante) se perfila como una técnica de obligada aplicación a medio plazo debido sobre todo a condicionantes medioambientales. El desarrollo de esta técnica plantea dos tipos de problemas: pro-

**Detalle del sistema de recogida de drenajes en cultivo de tomate (otoño 1995).**

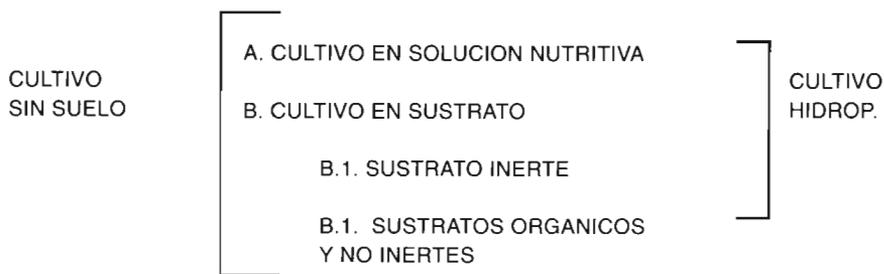
blemas de tipo de control de la nutrición y aspectos fitosanitarios. Estos últimos son los que a nuestro juicio pueden plantear mayores problemas.

En relación con este último apartado se ha desarrollado en colaboración con la empresa INKOA Sistemas, un proyecto para la puesta a punto de un sistema de desinfección de las s.s.n.n. de drenaje. La desinfección de las soluciones nutritivas del drenaje en los C.S.S. se puede lograr de diversas formas: radioterapia, ozonificación, tratamiento por calor, filtración amicrobica, etc. La empresa INKOA Sistemas, en colaboración con el SIMA de Derio, ha decidido potenciar el sistema de desinfección mediante radiación U.V. debido a su probado poder germicida (tanto a escala industrial como en el campo de la agricultura) y por su relativo menor coste frente a otros sistemas. En este sentido y observando la tecnología desarrollada a nivel nacional, no se han encontrado sistemas que aseguren un control efectivo de la desinfección de las soluciones de drenaje en los C.S.S. El proyecto pretende avanzar en este campo mediante la puesta a punto de un sistema de control que permita asegurar que el tratamiento de desinfección, en este caso mediante radiación U.V., sea eficaz, desarrollando un algoritmo de control específico para esta aplicación.

### Introducción

En España existen actualmente alrededor de 2.000 ha C.S.S. y con una proyección creciente de año en año. Esta técnica se halla extendida por diferentes áreas de la geografía nacional en mayor o menor medida

**Figura 1:**  
**Clasificación de los sistemas de cultivos sin suelo**



Fuente: *Soilless culture for horticultural crop production*. FAO 1990

(C.C.A.A. de Andalucía, Valencia, Cataluña, Canarias, País Vasco, Galicia, Navarra, Asturias), basada fundamentalmente en el cultivo en diferentes sustratos (lana roca, perlita, arena, fibra de coco, turba, etc.)

Desde 1986 se viene desarrollando en el S.I.M.A. de Derio la técnica de «cultivo sin suelo» para adaptarla a nuestros particulares agrosistemas. De los diversos sistemas de «cultivo sin suelo» desarrollados, se introdujo el del cultivo «en sustrato» con percolación, por su mayor simplicidad y menor coste de inversión inicial. Se hace preciso dar un porcentaje de drenaje para evitar la acumulación de sales en el sustrato (20-40% de drenaje dependiendo de las condiciones medioambientales, del cultivo y del sustrato). A su vez y por el mismo motivo se trabaja normalmente a «solución perdida», ya que la operación de recirculación es costosa y tecnológicamente más complicada. En la C.A.P.V. existe actualmente una superficie de alrededor de 10 ha de C.S.S. (sin tener en cuenta la superficie de planta en contenedor).

Los condicionantes medioambientales no obstante, están imponiendo el establecimiento de mayores controles sobre los vertidos agrícolas a los acuíferos. En concreto, existen directrices comunitarias que legislan en esta dirección. En concreto, la Directiva 91/676/CEE de 12 de diciembre, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación por nitratos de origen agrícola, impone a los Estados miembros la obligación de identificar las aguas que se hallen afectadas por la contaminación por nitratos de esas procedencias. De la misma forma, el Reglamento (CEE) 2078/92, del



**Prototipo de la unidad de desinfección por U.V. diseñada por la empresa INKOA Sistemas.**

Consejo, de 30 de junio, ha establecido las normas sobre los métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural. Por otro lado, a nivel estatal se publicó el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. En este Real Decreto, en el Artículo 3, punto 2.b) se establece el límite de concentraciones de nitratos en aguas subterráneas en 50 mg/l, para su consideración como aguas contaminadas.

Hoy día, la recirculación de las

soluciones de drenaje está siendo implantada en determinados países. Países con una exigente legislación en materia medioambiental, como Holanda, que tienen previsto recircular el 100% de las soluciones nutritivas empleadas en cultivos sin suelo antes del año 2.000. El resto de los países encaminan su legislación siguiendo las mismas directrices. Consecuentemente se considera obligado que los Centros de Investigación desarrollen líneas de trabajo específicas para la puesta a punto de la técnica de recirculación de soluciones nutritivas de drenaje en los C.S.S. Por otro lado, aparte de las

**La recirculación de las soluciones de drenaje está siendo implantada en determinados países con una exigente legislación en materia medioambiental, como Holanda, que tienen previsto recircular el 100% de las soluciones nutritivas empleadas en cultivos sin suelo antes del año 2.000**

ventajas que puede suponer el empleo de la recirculación de soluciones nutritivas (evitar impacto ambiental, ahorro de agua y fertilizantes) se contraponen una mayor complejidad técnica, a una mayor inversión en equipos (cubas de almacenamiento, sistemas de desinfección, etc.) y mayor dependencia técnica del agricultor, ya de por sí elevada en C.S.S.

En Francia, por ejemplo, la técnica se está poniendo a punto en los Centros de Investigación, pero en tanto que la legislación no obligue a realizar el reciclaje de las soluciones de drenaje no parece que la técnica vaya a aplicarse en explotaciones comerciales.

De los problemas derivados de la recirculación de soluciones nutritivas, el aspecto sanitario es el que más interrogantes plantea. Desde el punto de vista nutricional parece ser que a pesar de su mayor complejidad es perfectamente viable el reciclaje total o parcial de la solución nutritiva, sobre todo y como se ha comentado contando con aguas de buena calidad.



Depósitos de almacenamiento de solución de drenaje tratada por U.V.

### Planteamiento técnico del problema

La técnica de C.S.S. a «solución perdida» nos permite reponer continuamente la solución nutritiva que hemos calculado, a la vez que evitamos la acumulación de sales mediante lavado. Si analizamos la solución nutritiva del drenaje, podemos observar que posee normalmente una mayor C.E. y pH, fruto de las modificaciones que el sistema radicular de la planta ejerce en el medio. Sin embargo, la solución nutritiva puede verse modificada durante el cultivo en función de los resultados de los análisis del drenaje. Calculamos una nueva solución nutritiva de entrada para aproximarnos en la medida de lo posible a las concentraciones de absorción que toma la planta.

La recuperación integral de la solución nutritiva de drenaje (SND), se basa en añadir al porcentaje de solu-

ción nutritiva del drenaje (20-40%) solución nutritiva complementaria (SNC) para obtener la solución nutritiva resultante (SNR), de forma que:

$$\text{SNR} = \text{SND} + \text{SNC}$$

Habrà que vigilar la composición

**Aparte de las ventajas que puede suponer el empleo de la recirculación de soluciones nutritivas (evitar impacto ambiental, ahorro de agua y fertilizantes) se contraponen una mayor complejidad técnica, a una mayor inversión en equipos y mayor dependencia técnica del agricultor**

global de la solución nutritiva resultante en el sentido de que se parezca lo máximo posible a la solución de partida. Sin embargo pueden presentarse diversos problemas:

\* Modificación de las concentraciones relativas de los diversos iones que componen la solución nutritiva.

\* Aumento de las concentraciones de iones (Cl, Na, SO<sub>4</sub>) que no son tomados por las plantas (o en muy bajas concentraciones). Esto tiende a aumentar con aguas de elevada salinidad.

\* Desinfección de la solución nutritiva.

Existen diversas estrategias posibles en el aspecto de recirculación de las soluciones de drenaje en C.S.S.:

a) Reincorporación al cultivo (parcial o total)

- reparto uniforme a todo el cultivo

- reparto a un sector del cultivo

(riesgo compartido): vertido de una

parte del drenaje.

- vertido de una parte del drenaje  
 b) Reincorporación a otros cultivos (parcial o total): praderas, frutales, horticultura en suelo, etc.

De entre ellas se ha adoptado la que en principio resulta más adecuada por su concepción técnica, es decir, la recirculación total de la solución nutritiva con reparto uniforme a todo el cultivo.

Como ya se ha comentado, en el SIMA de Derio se iniciaron los trabajos de recirculación en 1.995. La primera toma de contacto con la técnica se llevó a cabo en 1.995 en un cultivo de tomate de otoño, reciclándose el 100 % de la solución nutritiva (Ver Informe técnico nº72.- Resultados de In-

vestigación 1995. Tomo II. Dpto. de Industria, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco). En 1.996 y con la metodología más desarrollada en base al anterior ensayo de tomate se propuso realizar la recirculación de soluciones nutritivas en cultivo de pimiento de Gernika. Los resultados de este trabajo se expondrán más adelante en la II parte del artículo.

En la C.A.P.V. existen en general aguas de buena calidad (baja concentración de sales < 0,8 mS/cm), lo que permite plantear con mayor viabilidad la técnica de la recuperación y reciclaje de la solución nutritiva. Podemos decir que la complejidad técnica de la recirculación a nivel nutritivo, es proporcional a la calidad del

agua empleada. De esta forma el agua de lluvia se considera como una fuente de suministro muy adecuada para su empleo en C.S.S. en particular y cuando se realiza recirculación en particular. La elevada pluviometría que se registra en el País Vasco (1.200 mm de media anual) y su reparto más o menos uniforme en el tiempo, permite plantear la recogida de aguas de lluvia de la cubierta de los invernaderos para su posterior empleo en cultivo sin suelo.

**Ensayo de recirculación de soluciones nutritivas en «pimiento de Gernika»**

**Materiales y métodos**

El ensayo se realizó en un invernadero de placa de 1.000 m<sup>2</sup>, ocupando el cultivo dos de las tres capillas del mismo (660 m<sup>2</sup>). A su vez, el ensayo que nos ocupa tenía una superfi-



Cultivo de pimiento de Gernika en N.F.T. en pleno desarrollo.

**De los problemas derivados de la recirculación de soluciones nutritivas, el aspecto sanitario es el que más interrogantes plantea. Desde el punto de vista nutricional, a pesar de su mayor complejidad, es viable el reciclaje total o parcial de la solución nutritiva, sobre todo contando con aguas de buena calidad**

cie de 215 m<sup>2</sup>, correspondiendo el resto de la superficie del invernadero a otros ensayos sobre el mismo cultivo. El semillero se realizó en la tercera nave del invernadero de placa, estando aislado del mismo por una lámina de plástico. La siembra se realizó en cama caliente a 25°C hasta el repicado, estableciéndose la temperatura mínima en el invernadero de semillero de 16°C.

Como material vegetal se utilizó semilla cv. Derio de pimiento de Gernika.

Se planteó un ensayo en bloques al azar con dos tratamientos: LR- testigo sin recirculación y LR+recirculación y desinfección, y cuatro repeticiones. El ensayo de recirculación se llevó a cabo sobre sustrato de lana de roca Expert de la firma Grodan. Las

tablas de cultivo poseían las siguiente dimensiones: 120x15x7,5 cm. Se colocaron dos filas de 14 sacos en los bordes derecho e izquierdo del ensayo. Cada una de las parcelas de ensayo constaba de 12 sacos, poseyendo cada fila un saco delante y otro detrás, a modo de colchón. Los tratamientos se colocaron en filas alternativamente. (Ver Figura 2: Esquema de la instalación de recirculación).

El dispositivo de recirculación se componía de los siguientes elementos:

- Programador de riego: gestionaba el disparo de riego desde los tanques de solución hija, mediante solarímetro.

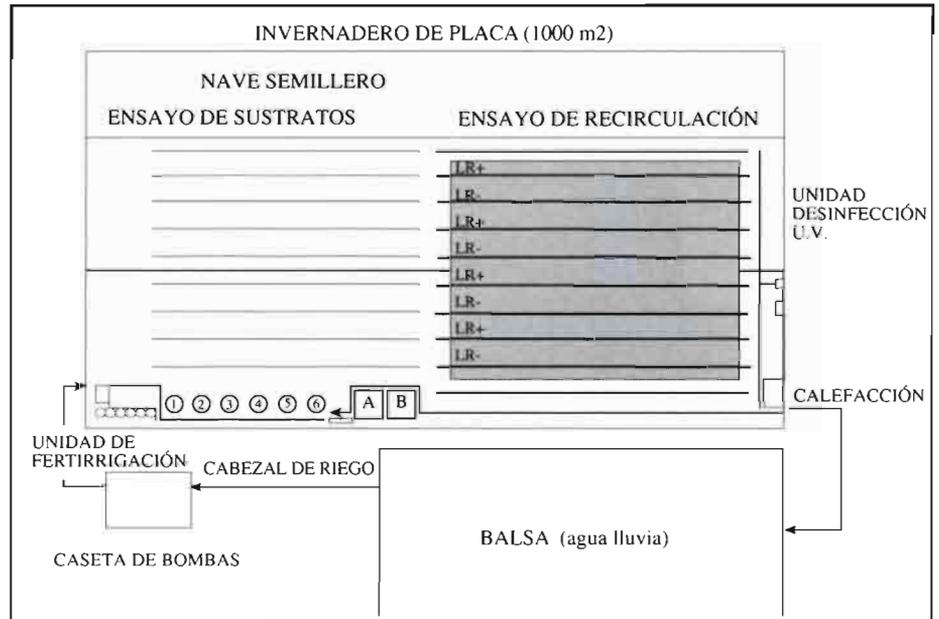
- Red de distribución: tubería de PE de 32 mm de  $\phi$  (en las primarias y de 16 mm  $\phi$  (en las de distribución). Estas últimas llevaban integrados goteros autocompensantes, antidrenantes de 2 l/h.

**La complejidad técnica de la recirculación a nivel nutritivo, es proporcional a la calidad del agua empleada. De esta forma el agua de lluvia se considera como una fuente de suministro muy adecuada para su empleo en cultivos y cuando se realiza recirculación en particular**

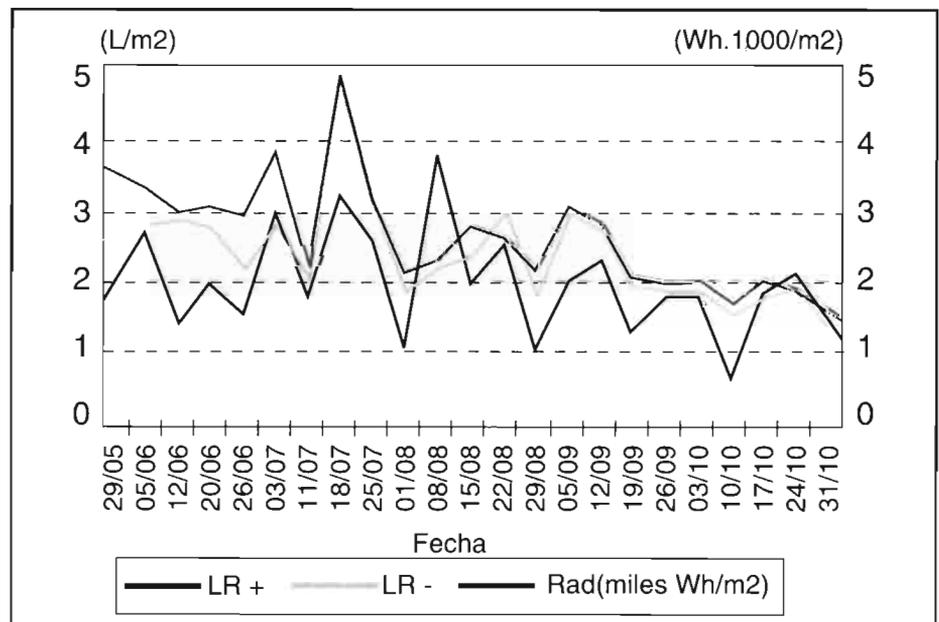
- Sistema de recogida de aguas y desinfección de la solución nutritiva: en el tratamiento de recirculación se dispuso un canalón para recogida de la solución de drenaje que se acumulaba en un depósito de 100 l. En este depósito se instaló una sonda de máxima y mínima, de forma que cuando la solución tocaba el máximo se activaba el motor de la unidad de desinfección mediante U.V. para proceder a la desinfección. El motor que trabajaba en aspiración impulsaba el agua hasta un sistema de dos depósitos de 1.000 l que eran llenados y analizados alternativamente.

- Recomposición de la solución nutritiva. Una vez analizada (de forma semanal) la solución recogida en cada depósito alternativamente, se mezclaba en un tanque de 1.000 l, incorpo-

**Figura 2:**  
**Esquema de la instalación de recirculación**



**Figura 3:**  
**Evolución del consumo efectivo de agua por el cultivo y la radiación acumulada en Wh/m<sup>2</sup>**



rándose un 30% de solución de drenaje con un 70% de agua más «solución madre de recirculación», de forma que se constituyese la solución hija lista para su aplicación al cultivo. Esta proporción varió en alguna ocasión en función de la respuesta del drenaje en cuanto a volumen y C.E. fundamentalmente, aunque básicamente se trabajó con la proporción antes mencionada del 30%.

#### Desarrollo del cultivo

La siembra tuvo lugar el 9 de febrero, el repicado se realizó el 26 de febrero y el transplante tuvo lugar el 27 de marzo. La densidad de plantación fue de 2,6 pl.m<sup>-2</sup>, disponiéndose 5 plantas por saco de 1,2 m y con una separación entre filas de 1,6 m de forma que entraban 5 filas por capilla del invernadero (8 m).

El pimiento se condujo en filas

PLÁSTICO  
**TRICAPA**

**3**

Más  
Más  
Más

**TÉRMICO  
LUMINOSO  
DURADERO**

*Tres veces mejor*

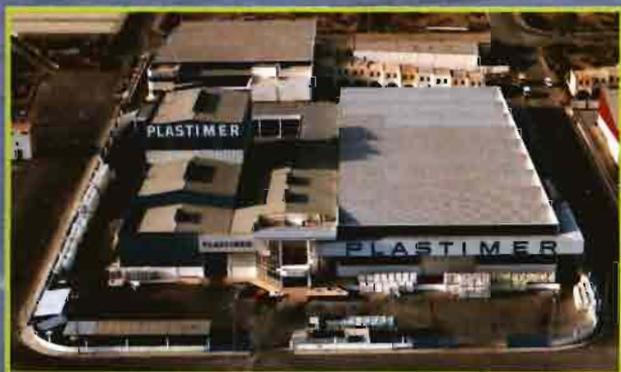
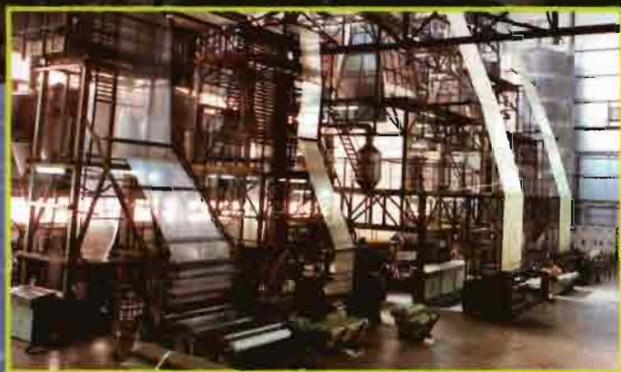
**¡Y más seguro!**

Tanto el Tricapa como nuestros plásticos térmicos y de larga duración, tienen la garantía certificada con póliza de seguros.



**PLASTIMER** S.A.

Polígono Industrial «La Redonda» - C.N. 340, Km. 86  
04710 SANTA MARIA DEL AGUILA - EL EJIDO (Almería)  
Tels.: (950) 58 10 50 / 58 10 54  
Fax: (950) 58 13 27 - Telex: 78946 PIGA-E





Sobre estas líneas, sistema de recogida de drenaje en tomate (otoño 1995). Al lado, vista del cultivo de pimiento de Gernika

Este valor fue variando en función del estado fenológico del cultivo y de los valores de C.E. del drenaje, aunque las variaciones no fueron excesivas (Ver Figura 3. Relación entre consumo de agua por el cultivo y radiación acumulada en Wh.m<sup>-2</sup>).

Respecto a la formulación de las soluciones nutritivas, en el tratamiento a solución perdida (LR-) se aplicaron las fórmulas desarrolladas para el «pimiento de Gernika» en el SIMA de Derio, tras varios años de experimentación con este cultivo. El tratamiento que incorporaba la recirculación del drenaje (LR+), era analizado semanalmente antes de incorporar su contenido de nuevo al cultivo. Mientras, se empleaba la solución de drenaje ya analizada de otro tanque con la solución. La solución hija o resultante (SNR) se preparaba a partir de un 30% de la solución de drenaje SND (medida con un contador), mientras que el resto lo constituía la solución nutritiva complementaria (SNC), en función de la respuesta de los análisis de drenaje y del estado de desarrollo del cultivo.

El ajuste del pH se realizaba de forma manual a partir del análisis de «agua resultante» (agua más solución de drenaje). Se empleó para este ajuste ácido nítrico y en ocasiones ácido sulfúrico.

En cuanto al manejo de pH y C.E. de las soluciones nutritivas, en semillero se inició con una C.E. de 1,5 mS/cm, iniciando la fase de repicado con esta misma C.E., hasta llegar a los 2,8

**Cuadro 1:**  
**Consumo de agua (m<sup>3</sup>) y elementos minerales (Kg) por ha**

tratº	N	PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	AGUA
LR +	654	398	879	250	85	255	3.165
LR -	1241	656	1431	750	184	726	4.080

individuales y era entutorado con cuerdas y con la ayuda de una malla, colocada poco antes del transplante del pimiento. En la tercera semana de agosto y debido a la elevada altura alcanzada por el cultivo (2,5-2,8 m) y los bajos precios registrados en el mercado, se realizó un despunte en la parte alta del cultivo y en los laterales más salientes (unos 50-60 cm), rebrotando posteriormente con fuerza

y dando un golpe de producción importante a finales de septiembre y con un pimiento de excelente calidad. El fin del cultivo tuvo lugar el 30 de octubre.

#### Manejo de la fertirrigación

La gestión del riego se realizó mediante solarímetro, aplicando el mismo valor de radiación acumulada en principio para ambos tratamientos.

mS/cm en gotero, dando al final una C.E. en taco de 4,0-4,5 mS/cm, con la que se llevó al transplante. Las tablas de lana de roca se llenaron con solución nutritiva de 2,6 mS/cm de C.E., al inicio del cultivo, procurando mantener una C.E. entre 3,5 y 4 mS/cm en drenaje en la fase de enraizamiento.

**El tratamiento con recirculación y desinfección (LR+) fue menos atacado por el ToMV que el tratamiento sin recirculación (LR-). La recirculación de la solución de drenaje es perfectamente viable desde el punto de vista nutricional en las explotaciones, sobre todo con de agua de buena calidad**

### Conclusiones 1ª fase del proyecto

A falta de la elaboración de resultados finales, se ha logrado reciclar prácticamente el cien por cien de la solución de drenaje. El tratamiento con recirculación y desinfección (LR+) ha resultado a nivel global del invernadero menos atacado por el ToMV que el tratamiento sin recirculación (LR-). Pensamos que la recirculación de la solución de drenaje es perfectamente viable desde el punto de vista nutricional en nuestras explotaciones, sobre todo partiendo de agua de buena calidad.

Desde el punto de vista fitosanitario habrá que profundizar para poner a punto el sistema de desinfección por U.V. No se descarta el empleo de otros sistemas. Como se ve en el Cuadro 1, se ha obtenido una importante reducción en el consumo de fertilizantes, siendo destacable por su impacto ambiental el caso del nitrógeno (50 % de ahorro) y de agua (22% ahorro) en el sistema con recirculación (LR+).

En el siguiente artículo analizaremos los resultados de producción y la metodología seguida para el cálculo de las soluciones nutritivas.

## Opinión

### Recirculación de soluciones nutritivas

La recirculación de las soluciones nutritivas de drenaje en cultivos sin suelo (C.S.S.) es, a mi modo de ver, uno de los retos más importantes al que nos enfrentaremos en los próximos años en relación con el desarrollo de esta técnica. La creciente presión de la legislación en materia medioambiental está haciendo cambiar las estrategias de manejo de los cultivos en agricultura en el sentido de limitar los daños al medio ambiente (contaminación de aguas por nitratos, etc.).

La legislación varía de un país a otro pero se va encaminando en la misma dirección. En Holanda, donde el desarrollo de los C.S.S. está muy avanzado, existe una normativa que obliga a reciclar la solución nutritiva de drenaje antes del año 2.000. En Francia, la técnica se está poniendo a punto en los centros de investigación y experimentación, pero todavía no se recomienda a los agricultores por la mayor complejidad técnica que supone. No obstante en la mayoría de los Centros de Investigación se está trabajando para solucionar los problemas que plantea esta técnica tanto desde el punto de vista nutricional como fitosanitario.

En cuanto a su viabilidad técnica hemos observado que desde el punto de vista nutricional la recirculación, aunque técnicamente más compleja, no presenta excesivos problemas siempre y cuando contemos con un agua de buena calidad. En este sentido y según mi experiencia, «la facilidad de recirculación desde el punto de vista nutricional, es proporcional a la calidad del agua empleada». El caballo de batalla se puede presentar en el aspecto fitosanitario no quedando muy clara la estrategia a seguir, pudiendo variar, como suele suceder dependiendo del «agrosistema» en que nos encontremos (condiciones de cultivo, clima, mercado, etc.). En nuestro caso, la desinfección mediante radioterapia con rayos U.V. ha dado buenos resultados en cuanto a control de ToMV, si bien no descartamos que existan otras vías, incluyendo la «no desinfección». En cualquier caso, siempre parece existir un cierto riesgo.

Hugo Macia es técnico de investigación de la Sección de Hortofloricultura del SIMA de Deriò, Centro dependiente del Dpto. de Industria, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. Desde su incorporación a este centro en 1.992 ha trabajado en el desarrollo de los C.S.S. y su adaptación a las condiciones en que se desarrolla esta técnica en la C.A.P.V. Una de las líneas de trabajo principales planteada por las Asociaciones de Productores locales (LORRA y GILBE) es «la puesta a punto de la tecnología para recirculación de las soluciones nutritivas» (en principio en pimiento y tomate). En 1.995 y mediante una beca del INIA, realizó una estancia de dos meses en el INRA de Avignon y de Alenya para conocer más a fondo esta técnica. Ese mismo año comenzaron los trabajos de recirculación, que continúan en 1.997 con el tercer ensayo, en este caso sobre «pimiento de Gernika» continuando el trabajo de 1.996. Previamente, en la campaña 1995-96, se realizó un ensayo de recirculación en tomate.

