

EL RIEGO DE LOS CULTIVOS HORTÍCOLAS

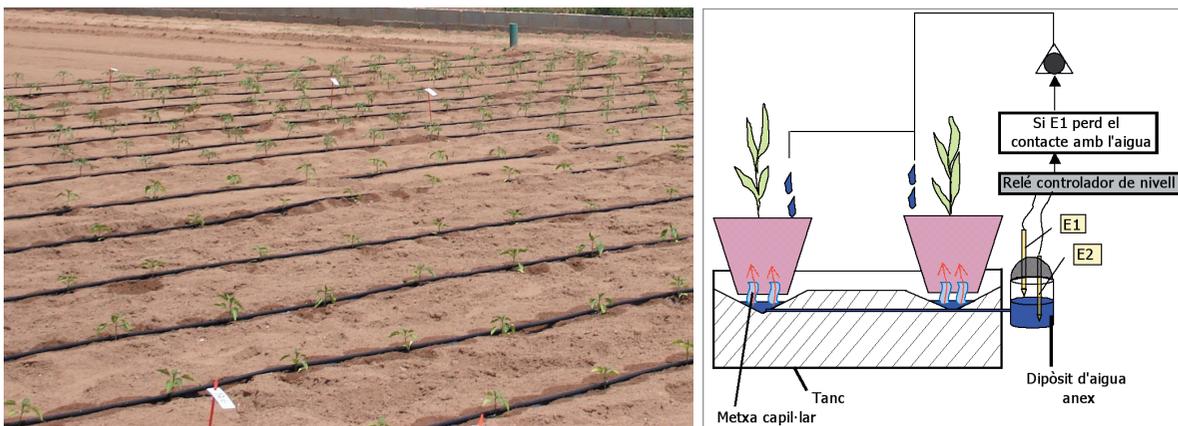


Figura 1. Detalle de un cultivo de pimiento al aire libre con cinta de riego localizado

01 Introducción

El riego de los cultivos hortícolas ha evolucionado de una manera notable en los últimos 40 años, fundamentalmente por la mejora de los equipamientos (inyectores, autómatas de riego, goteos) y de las técnicas de cultivo (invernaderos, cultivos sin suelo). Este hecho ha permitido incrementar la producción y la eficacia en el uso del agua y fertilizantes (Kläring, 2001). En la actualidad, los sistemas de riego predominantes en la mayoría de cultivos hortícolas son los localizados (micro aspersión y goteo) o por aspersión; se descarta el riego por gravedad o inundación, excepto en algunos cultivos al aire libre.

En el caso de los cultivos bajo invernadero, la utilización mayoritaria de sistemas de riego de alta frecuencia (micro aspersión y goteo) ha permitido generalizar la técnica de fertirrigación, que consiste en suministrar los fertilizantes disueltos en agua en forma de solución nutritiva. Este sistema proporciona con mucha más precisión el agua y los nutrientes necesarios para el buen desarrollo de los cultivos, hecho que no incrementa la producción.

La posibilidad de control y optimización de las condiciones climáticas de los invernaderos (reducción de la radiación y confinamiento de la humedad) y la utilización generalizada de los sistemas de riego por goteo han permitido reducir considerablemente el consumo de agua e incrementar la eficacia en el uso del agua de riego (Tabla 1) respecto a los cultivos al exterior. Este

hecho todavía es más importante en los cultivos sin suelo, que permiten recoger el drenaje (lixiviados) y volverlo a utilizar en la elaboración de la solución nutritiva (Marfà, 2000).

A pesar de todo, la programación de riego de los cultivos hortícolas, es decir, la determinación de qué cantidad de agua y en qué momento (cuando) se debe regar continúa siendo uno de los grandes retos de la horticultura actual, situación que se complica si consideramos la diversidad de especies y sistemas productivos que prevé.

02 Programación de riego en cultivos hortícolas comestibles al aire libre

La programación de riego en cultivos hortícolas al aire libre se basa en la metodología propuesta por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1975) para determinar las necesidades hídricas de un cultivo (ET_c). Este método, utilizado a lo largo de los últimos 30 años, ha provocado, en ciertos casos, resultados no satisfactorios que la propia FAO corrigió con la publicación el año 1998 de unas nuevas recomendaciones de cálculo que actualmente son la referencia mundial para determinar las necesidades de riego de los cultivos (Allen y col., 1998).

El cálculo se basa en la evaluación de los requerimientos del cultivo en función de la evapotranspiración de referencia (ET_0), que se puede calcular a partir de los datos climáticos de las estaciones meteorológicas y representa la

evapotranspiración de una cubierta de césped de 4 a 10 cm de altura. El coeficiente de cultivo K_c es un parámetro que corrige el valor de ET_0 a cada condición específica del cultivo (especie, marco de plantación, estado de desarrollo, etc.). Las necesidades de riego serán, pues:

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

La aplicación de esta metodología requiere una experimentación local que permita confirmar los valores de K_c y la validación de los servicios de asesoramiento de riego. La determinación de las necesidades de riego dependerá, además, de otros parámetros como la calidad del agua de riego, la textura y profundidad del suelo, el régimen de lluvias, los sistemas de riego, etc.

Para utilizar el método y determinar las necesidades de riego de diferentes cultivos al aire libre se puede consultar el dossier técnico núm. 4: Gestión eficiente del agua de riego (I), donde se explican los parámetros a considerar y se presenta la herramienta de riego de RuralCat, que posibilita la determinación semanal de las necesidades de agua de varios cultivos hortícolas en función de la fecha de trasplante, de los datos de la estación meteorológica más próxima y del sistema de riego empleado.

Los resultados deben ser validados por el técnico local o por el servicio de asesoramiento de riego, pero son una aproximación muy precisa a las necesidades reales de los diferentes cultivos.

03 Innovaciones y perspectivas de los sistemas de microirrigación para la horticultura intensiva

Los sistemas de microirrigación (microaspersión, goteo) son los más utilizados en horticultura intensiva. En los años 80 y primeros de los 90 se adelantó mucho en cuanto a la “maquinaria” para la irrigación y los equipamientos para la fertirrigación (goteros, inyectoros, equipos para el tratamiento del agua,...) (Ballas, 1991). Actualmente, la innovación se dirige al desarrollo de modelos para la toma de decisiones referidas a la irrigación y de programas informáticos para la gestión automática del riego; también, al desarrollo y aplicación de sensores que permitan medir a tiempo real la humedad del medio de cultivo (sustrato), el estado de hidratación de las plantas cultivadas o su consumo de agua (Marfà, 1996; Marfà, 2000). En el ámbito que nos ocupa, las innovaciones actuales se orientan a:

- Mejorar la capacidad de los sistemas de microirrigación para lograr resultados productivos más ventajosos y compatibles con un uso más eficiente del agua y los fertilizantes.
- Permitir la automatización y la toma de decisiones objetivas de irrigación, es decir que no dependan de la mayor o menor destreza o intuición del usuario.
- Aumentar la fiabilidad de los sistemas de microirrigación; hace falta tener en cuenta que el usuario final, aun cuando es competente en su oficio, no es necesariamente experto en el manejo de sistemas informáticos o sensores.

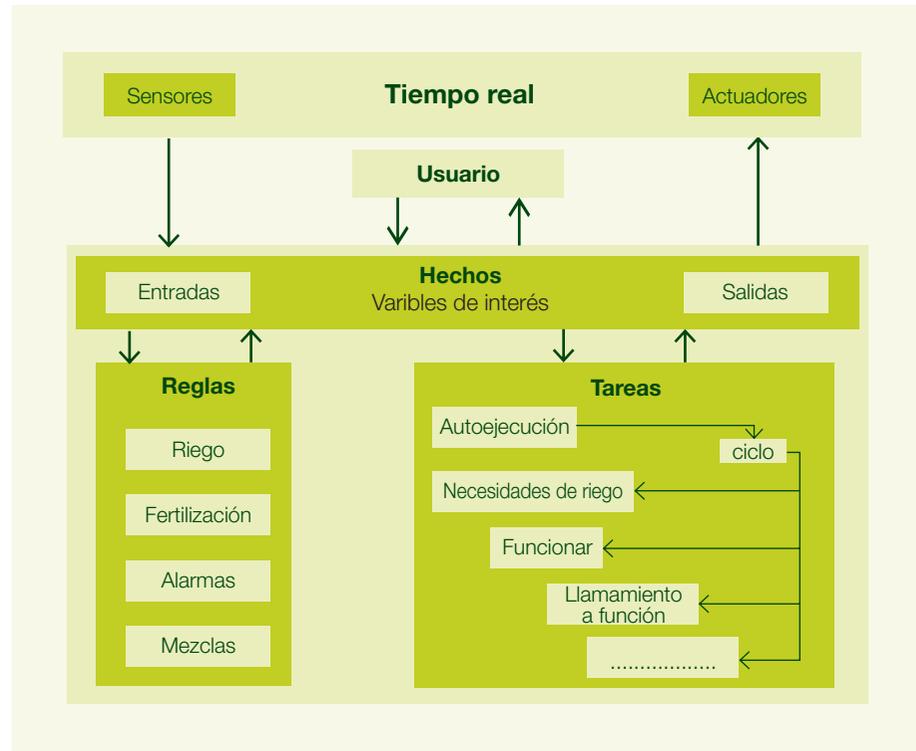
Los modelos para la toma de decisiones y los sensores antes mencionados se deben poder integrar en sistemas expertos que funcionen a tiempo real (SETR)

¿En qué consiste un SETR? La figura 2 muestra el funcionamiento genérico. El caso más sencillo,

Tabla 1. Uso de agua de riego por tonelada de fruto producido (m³ Tm⁻¹) para los cultivos de judía, melón, tomate y pimiento bajo invernadero y al aire libre. Font: Pérez-Parra 2003.2003.

Cultivo	Exterior	Invernadero
Judía	162	66
Melón	83	44
Tomate	60	27
Pimiento	300	74

Figura 2. Configuración básica de un sistema experto a tiempo real para la gestión de la microirrigación.



que la mayoría de autómatas de irrigación son capaces de hacer, podría ser el siguiente:

- 1) Un sensor medirá un parámetro relacionado con el estado de humedad del sustrato, con el estado de hidratación de una planta o bien la radiación solar que llega a las plantas.
- 2) Un dispositivo para la adquisición de datos graba la información del sensor y la transfiere a un programador.
- 3) Mediante una regla, el ordenador toma una decisión en lo referente a la activación del riego. Como por ejemplo el siguiente: Si la radiación solar acumulada sobre las plantas supera un valor establecido por el usuario, se activa el proceso del riego.
- 4) Se ejecutan las tareas fijadas previamente; por ejemplo, se pone en marcha la bomba, se abre una electroválvula, se aplica una determinada dosis de agua a las plantas (figura 3), etc.

Una etapa más adelantada de prestaciones es cuando hay varios sensores en juego, iguales o distintos entre sí, y entonces interviene una fórmula que se define previamente y que se ha probado que es adecuada para una determinada aplicación. La incorporación de las medidas de los sensores a la fórmula permite establecer una regla de actuación, como se ha explicado antes, o bien permite calcular el consumo de agua del cultivo (evapotranspiración real) a una escala de tiempo horaria o menor. Hoy en día, tenemos

al alcance programadores de irrigación que realizan las funciones de comunicación con el usuario, la gestión de las estaciones de bombeo y de fertirrigación, el control y la vigilancia del sistema (alarmas, averías...), la regulación del pH o de la salinidad, puesto que se dispone de los elementos informáticos y electrónicos para configurar un SETR.

Pero, a menudo las carencias consisten en no disponer de conocimientos específicos que permitan integrar eficazmente sensores o modelos a un SETR, como por ejemplo:

- Significación, representatividad y fiabilidad de diferentes sensores ya desarrollados.
- Comprobación de la validez de las fórmulas para la integración de los diferentes sensores.
- Puesta a punto de los modelos de cálculo del consumo de agua del cultivo (evapotranspiración).
- Determinación de los coeficientes correctores del consumo de agua máximo, que dependen de cada cultivo, de su estado de desarrollo y de las condiciones agroclimáticas específicas.
- Como se debe utilizar la información provista por los sensores para la correcta gestión de la fertirrigación.
- Desarrollo de los programas informáticos que hace falta utilizar en un SETR para una aplicación determinada.

Actualmente ¿qué **sensores** miden parámetros relacionados con la humedad del sustrato? Pues, por ejemplo con respecto al grado de **humedad del medio de cultivo**, ya sea el suelo natural o un sustrato, tenemos al alcance entre otras los siguientes sensores:

- **Tensiómetros:** que miden la fuerza con que el agua es retenida por el sustrato o el suelo. (figura 4c)
- Sensores tipos TDR o FDR, que miden el contenido del agua en un volumen determinado de suelo o de sustrato.

¿Qué aparatos de medida tenemos al alcance relativos a **parámetros ambientales** que determinan el consumo de agua por parte de las plantas? Pues, por ejemplo, podemos medir a tiempo real:

- La radiación solar que incide encima el cultivo.
- La humedad relativa o déficit de presión de vapor, la temperatura y la velocidad del viento.

Podemos también medir el **consumo de agua de la planta** o del conjunto medio de cultivo - planta, ya sea por métodos indirectos, a partir de modelos matemáticos de estimación de la evapotranspiración del cultivo, o bien mediante métodos directos, empleando básculas que registran continuamente la variación de peso de unidades de cultivo, mediante lisímetros o **bandejas a la demanda**.

Llegados a este punto, nos podemos preguntar qué grado de aplicabilidad tienen en la irrigación de la horticultura intensiva todos o cada uno de los



Figura 3. Detalle de un autómata de riego con las electroválvulas y los inyectores tipos venturi para la elaboración de la solución nutritiva.

sensores y métodos disponibles. Un ejemplo, fruto de un desarrollo original del IRTA, puede ayudarnos a aclarar la pregunta antes planteada.

04 Ejemplos de innovaciones para una gestión más eficiente del agua y los fertilizantes en los viveros de plantas ornamentales cultivadas en contenedores al aire libre

La cuestión a resolver es la siguiente: Suponemos que, en un vivero de nuestra casa, tenemos un cultivo en contenedor de plantas ornamentales y contamos, como es relativamente común, con un buen automatismo para la fertirrigación. ¿Que podemos hacer para que la activación del riego sea objetiva y automatizada y, por lo tanto, no dependa de la estimación subjetiva del viverista?

Se dispone, como antes se ha comentado, de aparatos como los tensiómetros para medir el estado de humedad de los medios de cultivo. El mercado pone a nuestro alcance radiómetros para medir la cantidad de energía solar que llega al cultivo y el consumo de agua de los cultivos. Por el contrario, no se dispone de bandejas a la demanda adaptadas al cultivo de plantas en contenedor, que nos permitirían establecer automáticamente el momento de inicio del riego.

Pero, antes de emplear tensiómetros, en el caso de los cultivos en contenedor, hace falta resolver ciertas cuestiones, como por ejemplo:

- ¿Cómo debe ser el tensiómetro para la mencionada aplicación? Si se trata de interactuar con un autómata de irrigación, entonces se necesita un tensiómetro que emita una señal eléctrica, es decir, es necesario un electro tensiómetro. Si conviene que el aparato emita una señal continua y precisa para poder actuar en tiempo real, será necesario un transductor de presión en la génesis de la señal. Si hace falta medir con rapidez contenidos de humedad próximos a la saturación -como es el caso cuando se trabaja con sustratos- será necesario que el tensiómetro disponga de una porcelana con un elevado grado de permeabilidad (figura 4b).
- ¿Qué grado de representatividad tiene un tensiómetro respecto del conjunto de contenedores el riego de los cuales debe gestionar? ¿Dónde debemos situar el tensiómetro para que sea representativo del bulbo húmedo del contenedor? ¿Qué grado de robustez hace falta que tenga el tensiómetro y como se debe fijar al contenedor? (figura 4a).



Figura 4a. Colocación de un electro tensiómetro en el contenedor



Figura 4b. Electrotensiómetro para cultivo en contenedor.

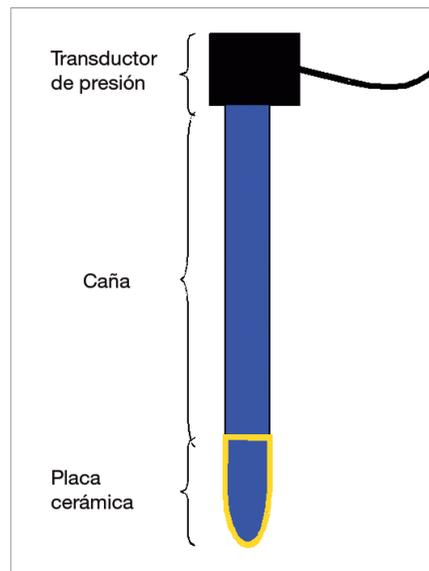


Figura 4c. Partes de un electrotensiómetro.

Para los cultivos sin suelo de hortalizas o de especies para la producción de flor cortada hay bandejas a la demanda o electrolisímetros que permiten establecer un nivel de humedad del sustrato, a partir del que se establece una consigna para la activación del riego. Además, con el mismo aparato podríamos medir la cantidad de agua excedentaria tras cada riego y de esta manera ajustar mejor la dosis de agua que hace falta aplicar en cada momento durante el cultivo. Pero este instrumento no se ha aplicado para los cultivos de plantas en contenedor consecuentemente ha sido necesario adaptarlo, para esta aplicación. Como las bandejas a la demanda contienen una unidad de cultivo que incluye varias plantas, su utilización mejora el grado de representatividad de la humedad del sustrato de un conjunto de plantas cultivadas respecto a la que tiene un tensiómetro.

La tarea de desarrollo llevada a cabo por IRTA (Cáceres y col., 2004) ha comprendido las etapas siguientes:

- Elección del electrotensiómetro más adecuado para la aplicación objeto de estudio. Establecimiento de la interface adecuada entre el tensiómetro y el automático. Diseño de un sistema de fijación del tensiómetro a los contenedores. Establecimiento de la colocación más adecuada del tensiómetro dentro del contenedor. Evaluación del funcionamiento (figura 4a).
- Evaluación del funcionamiento conjunto de un radiómetro global y un electrotensiómetro para la activación automática de la fertirrigación de plantas en contenedor.
- Diseño, construcción y evaluación de una bandeja a la demanda adaptada a cultivos de plantas en contenedores.
- Evaluación del funcionamiento de la bandeja a la demanda diseñada para la activación automática de la fertirrigación de plantas en contenedor (figura 5a).

¿Qué clase de sistema experto funcionando a tiempo real (SETR) se ha diseñado para el conjunto radiómetro-tensiómetro y como funciona para la aplicación específica del cultivo en contenedor de plantas ornamentales, en viveros al aire libre? Pues, funciona de la siguiente forma:

- El radiómetro global mide a tiempo real la energía solar que recibe el cultivo y la integra.
- El electrotensiómetro emite de forma continua una señal eléctrica de la magnitud que representa el estado de hidratación del sustrato. Un elemento para la adquisición de datos recoge la información del electrotensiómetro y la incorpora al automático.



Figura 5a. Bandeja a la demanda para cultivos en contenedor de especies ornamentales de exterior.

- Mediante la regla siguiente: Si la radiación acumulada supera un valor umbral establecido se solicita un riego. Si el grado de hidratación del sustrato es inferior a un valor umbral establecido el automático toma la decisión de activar el riego. Pero si el grado de hidratación del sustrato es superior o igual al valor establecido el riego no se activa.
- Acto seguido, se establecen las tareas preestablecidas que son ejecutadas por el sistema: por ejemplo, se pone en marcha la bomba, se abre una electroválvula, se aplica una determinada dosis de agua a las plantas, etc

¿Qué clase de SETR se ha diseñado cuando se utiliza la bandeja a la demanda desarrollada? En este caso, el sistema operativo es más sencillo:

- Uno de los dos electrodos de la bandeja a la demanda es el que puede o no estar sumergido en agua (figura 5b).
- Si deja de estar sumergido se emite una señal eléctrica y si no, no se emite ninguna señal
- Mediante la sencilla regla: si el nivel de agua de la bandeja es inferior al nivel del electrodo se activa el riego. De lo contrario, no se activa
- Acto seguido, como en el caso anterior, se establecen las tareas preestablecidas que son ejecutadas por el sistema.

He aquí dos ejemplos prácticos fruto del trabajo de R+D llevado a cabo en el IRTA. Se trata de desarrollos para las necesidades de nuestros viveros de plantas ornamentales cultivadas en contenedores al aire libre. Estos sistemas, de bajo coste son, lo suficientemente robustos y de moderada exigencia de mantenimiento, pueden contribuir a un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes en las explotaciones para las cuales han sido desarrollados. ¿Qué hace falta ahora? Básicamente, realizar la evaluación a escala de vivero y proceder a la difusión de las innovaciones desarrolladas.



LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CULTIVOS HORTÍCOLAS AL AIRE LIBRE SE BASA EN LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR LA FAO (DOORENBOS Y PRUIT, 1975) PARA DETERMINAR LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE UN CULTIVO (ET_c)

05 Bibliografía

ALLEN L.G, PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. (1998). Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, 300 pp.

BALLAS, S. (1991) Dossier: "L'irrigation en horticulture". Ed. CNIH-Chambourcy. França.

CÁCERES, R., CASADESÚS, J., MARFÀ, O. 2004. Riego automático en ornamentales de exterior. Horticultura 180: 14-18.

DOORENBOS J. PRUIT W.O. (1975) Guideline for predictin crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, 179 pp.
a- KLÁRING, H.P. (2001) Strategies to control water and nutrient supplies to greenhouse crops. A review. Agronomie 21: 311-321.

MARFÀ, O. (1996) Sistemas de microirrigación en horticultura intensiva. Hortoinformación, 78: 41-45.

MARFÀ, O. (2000) La recirculación en los cultivos sin suelo. En: Recirculación en cultivos sin suelo. Ed. de Horticultura. Col. Compendios de horticultura, 14. Cap 2, pp. 21-27. Reus, Catalunya.

PEREZ PARRA, J. (2003) Evolución y mejora de la tecnología en Invernaderos de bajo consumo energético del sudeste español. XXX Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. FIMA Zaragoza.

06 Autores y colaboradores



Marfà Pagès, Oriol
Departamento de Tecnología Hortícola
IRTA Centro de Cabriils
oriol.marfa@irta.es



Casadesús Brugués, Jaume
jaume.casadesus@irta.es

Colaboradores:
Cáceres Reyes, Rafaela
Muñoz Odina, Pere