

en cultivos sin suelo (y II)

n la actualidad se cuenta con múltiples métodos para el control del riego, utilizando para ello sensores basados en distintos principios de accionamiento sobre una medida directa o indirecta del estado hídrico del medio de cultivo, de la planta o el microclima. El empleo de nuevas tecnologías de medida directa, precisas y de monitoreo en tiempo real para el control de la fertirrigación, es determinante para la mejor comprensión de este proceso.

ma radicular de las plantas. Al establecerse la absorción por el sistema radicular y a su vez existiendo la continuidad hídrica entre éste, el sustrato y el tejido sumergido en el depósito, baja el nivel de agua en este último. Cuando uno de los electrodos del sensor de nivel queda sin contacto, esto hace cerrar un circuito que envía la señal de activación al cabezal de riego. La gestión con este dispositivo es bastante em-

pírica, ya que carece de unidades de medida que permitan conocer cuantitativamente los reajustes que se realizan sobre los electrodos y no deja de ser un equipo que responde a una condición externa del agua distinta a la situación real del sustrato.

- **Porcentaje de drenaje:** El porcentaje de drenaje es un método de riego que generalmente se utiliza en combinación con

- **Sensor de nivel:** La denominada bandeja de demanda representa el dispositivo tecnológico de uso tradicional en el sureste español para el manejo del riego en el cultivo en sustrato, y ésta se basa en una estimación indirecta del estado hídrico del sustrato. Este dispositivo es un recipiente a modo de bandeja, sobre el cual se colocan un par de unidades de sustrato en donde crecerán las respectivas plantas representativas del dosel vegetal. Adosado lateralmente a este, se encuentra un pequeño depósito donde se recoge el volumen de riego drenado por el sustrato y en el que se ubican un par de electrodos en contacto con el mismo (Lorenzo, 1997). En el depósito se encuentra sumergida una lámina de tejido que mantiene el contacto entre el volumen drenado y el siste-

¹Sergio Hernández Alonso.

²Eduardo Jesús Fernández Rodríguez.

¹Becario de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI).

²Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.



En los invernaderos con mayor nivel tecnológico hay una importante presencia de los cultivos sin suelo.

otros métodos, como el de radiación o sensor de nivel, el cual sirve de referencia para evaluar y ajustar el desempeño de estos otros. El porcentaje de drenaje se calcula con relación al volumen de riego aplicado y es determinado por medio de la recogida continua del volumen que drena de una unidad de cultivo sobre la cual se conoce la cantidad de volumen regada. La existencia de este método de riego se fundamenta en la necesidad de comprobación del volumen de la fracción de lavado establecida en el cálculo de la dosis de riego. El manejo del riego basado en la consecución de un porcentaje de drenaje resulta en muchos casos un método de valoración subjetiva del estado hídrico del sustrato y que no siempre garantiza la correcta dotación del riego para la planta ni un eficiente lavado de las sales acumuladas en el sustrato.

El volumen de drenaje se puede cuantificar de forma manual o automatizada. La forma manual es un procedimiento normalmente utilizado para evaluar el funcionamiento de otros métodos de riego. La automatización de la frecuencia de riegos con relación al volumen de drenaje se lleva a cabo por medio de un sistema eléctrico sencillo que cuenta las veces que se vacía un recipiente de volumen conocido una vez que éste se ha llenado con el volumen de drenaje. Este dispositivo es controlado con la ayuda de un software, donde se pueden establecer los niveles de porcentaje de drenaje que se quieren obtener tras una serie de riegos. La condición de un porcentaje de drenaje se fija habitualmente como condición para ocasionar un lavado de las sales acumuladas, sin embargo, no permite evaluar su eficacia. El nivel de porcentaje a conseguir varía en función de la calidad del agua, del sustrato, de las condiciones climáticas y del estado fenológico de la planta, alcanzando éste un valor superior al 30% en la mayoría de las situaciones.



La determinación del potencial mátrico proporciona una medida fiable del estado hídrico del sustrato.

Potencial mátrico: La determinación del potencial mátrico en los sustratos con electrotensiómetros proporciona una medida cuantitativa, directa y fiable en tiempo real del estado hídrico del sustrato (Terés, 2000). La modificación de la consigna de tensión para la activación del riego con el fin de aumentar o disminuir la frecuencia de los mismos se realiza de manera sencilla a través de un programador propio del equipo que va conectado al cabezal de riego. La escala teórica de tensión para la disponibilidad de agua en el sustrato está comprendida generalmente entre 0 y 100 cca, como cita Marfá (1996). Algunos autores proponen que el manejo debe estar comprendido entre 0-30 cca y el punto de activación del riego en 15 cca (Raviv *et al.*, 1993). Sin embargo, de la experiencia desarrollada por Hernández *et al.* (2003) con tomate sobre lana de roca apuntan a que la tensión de

riego no debe exceder de 10 cca para evitar problemas inherentes a la acumulación de las sales en el sustrato.

- Potencial osmótico: El potencial osmótico es uno de los componentes principales del potencial hídrico de una solución y éste es dependiente directo de la concentración de las sales y moléculas orgánicas que se encuentran diluidas en ella. El potencial osmótico causado por los iones disueltos en un líquido se determina de manera indirecta a través de la medida de la conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica en la solución de drenaje es un parámetro utilizado frecuentemente como criterio de evaluación de la gestión de riego en sistemas de cultivo hidropónico, siendo ésta una práctica habitual llevada a cabo generalmente de forma manual con equipos portátiles, aunque también existen automatismos que incorporan sondas que registran de forma continua el valor de la conductividad en el volumen de drenaje. Para conocer el potencial

osmótico al que está sometido un cultivo es necesaria la medida directa de la conductividad eléctrica de la solución del sustrato, ya sea por medio de una succión de la solución del sustrato o por la medida in situ de la misma.

Actualmente existen equipos en fase experimental que acoplan una cápsula porosa y una célula de medida de la conductividad eléctrica que permite el muestreo en continuo de la solución del sustrato por medio de la aplicación de una succión con una columna de agua (Eymar *et al.*, 2000). Igualmente, en el ámbito comercial se han desarrollado sondas que permiten conocer de manera continua la conductividad eléctrica del sustrato, por medio de la determinación de la constante dieléctrica del medio a altas frecuencias (1.5 MHz). Estas sondas son fácilmente adaptables a los sistemas actuales de riego con la colocación de un procesador programable en el cual se pueda asignar el nivel umbral de acumulación de salinidad en dS/m permisible según el cultivo y una vez alcanzado éste dar la orden de aplicación de riego. Estas sondas deben ser instaladas junto con un sensor de humedad con el cual se pueda complementar la gestión del riego.

- Gravimétrico: Este método está basado en la medida de la pérdida de peso, cuantificándose por medio de una balanza la disminución del peso del conjunto sustrato-cultivo que soporta ésta y el cual es atribuido a la pérdida de vapor de agua por transpiración de las plantas. Esta magnitud de la variación de la pérdida de peso en gramos se debería corresponder con el nivel de volumen de agotamiento de agua calculado para el sustrato. El alcance del valor máximo establecido de pérdida de peso representa el punto para la activación del riego. Este método proporciona una medida directa bastante real de la situación hídrica del sustrato, aunque para una determinación precisa se deben hacer correcciones rutinarias de la diferencia en peso por la ganancia de biomasa

o pérdida de peso por cosecha y podas.

- Contenido relativo del volumen de agua: El empleo de equipos electrónicos basados en los cambios aparentes de las propiedades dieléctricas del medio permite conocer el contenido volumétrico del agua en relación con el volumen del sustrato muestreado (Hilhortst et al., 1992). Con esta tecnología se logra una medida directa, no destructiva y muy precisa para el manejo del riego en tiempo real. Recientemente se han desarrollado sondas tipo FDR de bajo coste que alcanzan una alta precisión y que permiten incluso hacer medidas en medios salinos y con temperaturas variables sin que la medida se vea afectada. El empleo de esta tecnología proporciona gran versatilidad en caso de necesitar cambiar rápidamente el sitio de medida por razones de deterioro de la representatividad del dosel vegetal. El conocimiento del porcentaje de humedad del punto de muestreo nos permite extrapolar esa condición al volumen del contenedor y conocer el valor absoluto de agua disponible para la planta en un momento dado.

- Radiación: La radiación solar es un parámetro de medida climática que se emplea para el manejo del riego y el cual utiliza como sensor un solarímetro. Para el inicio del riego se preestablece un valor de radiación acumulada en w/m^2 de manera experimental y sobre el cual se van haciendo ajustes continuos (incrementando o disminuyendo) de acuerdo a un criterio visual del estado hídrico de la planta o para conseguir con los sucesivos riegos una tasa de drenaje que el operario ha establecido adecuada. Este método también ha sido automatizado de forma que los valores de radiación y volumen de drenaje son almacenados en la memoria de un ordenador e integrados a través de un software

que, según las consignas establecidas, toma decisiones sobre la frecuencia del riego. La puesta en práctica de este método tiene cierto inconveniente por cuanto la radiación no es el único elemento climático condicionante del incremento de la demanda hídrica de un cultivo, desestimando las demandas hídricas de la atmósfera debidas al incremento de la temperatura de ésta por efecto del invernadero o de su calefacción, e inclusive debido al aumento de la transpiración de la planta por una baja humedad ambiental.

- Modelos matemáticos: Son métodos desarrollados mediante modelos que integran distintos parámetros climáticos y del cultivo, logrando pronosticar en corto tiempo las exigencias hídricas del sistema sustrato-planta (Medra-



no, 2000). Los parámetros comúnmente utilizados en las ecuaciones empíricas de estos modelos son la radiación solar, el déficit de presión de vapor, el índice de área foliar y la conductancia estomática. Los modelos climáticos desarrollados para la gestión del riego en cultivos hidropónicos han sido probados con bastante éxito por algunos investigadores bajo condiciones microclimáticas muy controladas. La adopción de estos modelos requiere hacer modificaciones según las condiciones particulares del microclima del invernadero, la especie y

el sistema de cultivo. A pesar de experiencias positivas desarrolladas con los modelos matemáticos, su utilización para la gestión del riego en cultivos sin suelo no deja de ser arriesgada debido a la poca inercia hídrica que tienen estos sistemas y a la alta velocidad de respuesta que exigen.

- Fisiológicos: Este método consiste en medir la velocidad del flujo de savia, considerándose este parámetro un buen indicador de la transpiración de la planta (Rivière et al., 1999). Para la determinación del flujo de savia se pueden emplear sensores de fijación externa donde el sensor simplemente se coloca abrazando al tallo o métodos invasivos

donde el sensor es insertado hasta el tejido vascular del tallo. Los sensores de fijación externa se basan en el balance de calor y éstos están compuestos por un par de termistores separados a una distancia conocida y en el medio de ambos una resistencia eléctrica como fuente de calor continuo. La diferencia de temperatura registrada entre las dos sondas a ambos lados de la fuente de calor permite conocer si existe flujo de savia y calcular el caudal de savia por la determinación de los flujos de calor (Kitano et al., 1989). Los sensores de fijación

interna miden la velocidad de desplazamiento de los impulsos que emite la fuente de calor. Para esta estimación se colocan distintos termistores separados a distancias conocidas de la fuente de calor y a la vez se va registrando el tiempo de detección de cada impulso. El flujo de savia alcanza los mayores valores a mediodía, cuando la radiación es máxima, y mínimos en la noche (Fernández, 2001). En la actualidad, este tipo de sensores es utilizado en estudios científicos para determinar las causas de estrés en las plantas, no estando por ahora desarrollado para llevar a cabo directamente la gestión del riego.

- Morfométricos: La utilización de este tipo de sensores nos permite medir en tiempo real oscilaciones muy pequeñas, del orden de las micras, en el volumen de órganos como el tallo o el fruto. El principio de funcionamiento del sensor está basado en la inducción que se genera por el desplazamiento lineal de una pequeña barra metálica por el interior de una bobina. Este desplazamiento ocurre por el empuje o contracción del órgano medido y el valor de la inducción tiene una correlación con la longitud desplazada. Para el caso del fruto el sensor va incorporado en una especie de pinza que permite sostenerse de éste, y para el tallo el sensor es fijado a través de una abrazadera. Las micro-variaciones detectadas en estos órganos tienen correspondencia con el estado hídrico de la planta, entendiéndose que las contracciones del tallo o fruto que ocurren durante el día posterior se reflejan con una drástica disminución del agua de reserva y cuando la transpiración decrece estas reservas se incrementan durante la noche (Rivière et al., 1999). Estos sensores son herramientas con las que no se gestiona directamente el riego, sino que nos permiten evaluar de manera cualitativa la frecuencia de aporte de agua (Lorenzo, 1997), permitiendo establecer relaciones entre la

tendencia diaria del crecimiento de estos órganos y la gestión del riego. La alta sensibilidad de estos equipos los hace muy vulnerables de cometer grandes errores cuando éstos son operados bajo condiciones de campo.

- **Térmicos:** Como su nombre indica, son métodos basados en la evaluación de la temperatura, la cual se mide a nivel foliar. Esta medida se realiza de manera puntual con la colocación en las hojas de la planta de pequeñas pinzas provistas de termopares o por la determinación a nivel general de la temperatura del dosel de una plantación por medio de la utilización de un termómetro de rayos infrarrojos. La medida de la temperatura se relaciona con una escala de estrés hídrico de la planta y sobre estos criterios se toma la decisión del aporte de riego.

- **Riegos fijos:** Es el método más empírico de los utilizados y, por lo tanto, menos ajustado a la realidad del estado hídrico del sistema sustrato-planta-atmósfera. El riego a horarios fijos o cíclicos no es más que el establecimiento subjetivo de los riegos basados en la experiencia sensorial del operario y los cuales se automatizan con la ayuda de un reloj horario programable. Sin embargo, a pesar de que este método es el científicamente menos riguroso, continuamente se recurre a él durante el período post-transplante hasta el momento en que el sistema radicular se encuentra suficientemente desarrollado. La programación de riegos fijos es frecuentemente utilizada junto con métodos de medida indirecta del estado hídrico del sustrato como es el caso de la bandeja de demanda. También los riegos fijos son establecidos normalmente para asegurar la dotación del fertirriego, cuando se duda del buen desempeño de ciertos sensores durante las horas críticas de mayor demanda hídrica del cultivo.

Bibliografía

Canovas, F. 1998. Gestión de riego en invernadero. Tecnología de Invernaderos. II Curso Superior de Especialización. FIAPA. Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Junta de Andalucía. Almería. pp 237-251

De Boodt, M. Verdonck, O. Cappaert, J. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae. 37. 2.054-2.062.

Eymar, E. Oki, L. R. Heinrich, J. 2000. Medida en continuo de la conductividad eléctrica de sustratos de cultivo mediante una sonda de succión modificada. Actas de Horticultura Nº 32.V Jornadas de Sustratos de la SECH. Almería. pp 85-93.

Fernández, M. D. 2001. Métodos de programación del riego. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. (Cajamar). pp 15-41.

Hernández, A. S. Fernández R, E.J. Fernández V. J. 2003. El uso del láptómetro como alternativa a la bandeja de demanda para el control del riego en sistemas de cultivo sin suelo. Innovaciones tecnológicas en cultivos de Invernaderos. E.D: Agrotécnicas. Madrid. pp 97-120

Hilhorst, M.A. Groenwold, J. de Groot, J.F. 1992. Water content measurements in soil and rockwool substrates: dielectric sensors for automatic in situ measurements. Acta Horticulturae. 304. pp 209-218.

Kitano, M Eguchi, H. 1989. Quantitative analysis of transpiration stream dynamics in an intact cucumber stem by a heat flux control method. Plant Physiology 89. pp 643-647.

Kramer, S. Bar-Yosef, B. Tzuberi, G. Krichman, G. Osherovitz, A. Kenig, A. Fernández R, E.J. 2003. Recirculación de agua y fertilizantes en un cultivo de rosas bajo invernadero. E.D: Agrotécnicas. Madrid. pp 137-144.

Lorenzo, P. 1997. Gestión de la fertirrigación en los sistemas de cultivo en sustrato. I Congreso Ibérico de Fertirrigación y II Nacional de Fertirrigación. Murcia. pp151-162.

Marfá, O. 1996. Sistema de microirrigación en horticultura intensiva. Hortoinformación. 78. pp 41-45.

Martínez, E. García, M. 1993. Cultivos sin Suelo: Hortalizas en clima mediterráneo ed: Horticultura S.L. Compendio de Horticultura 3. pp 73-84.

Medrano, E. 2000. Técnicas de gestión de riego en cultivos hortícolas en sustrato. Actas de Horticultura Nº 32.V Jornadas de Sustratos de la SECH. Almería. pp 35-49.

Raviv, M. Medina, S. Shamir, Y. Ner, B.Z. 1993. Very low medium moisture tension a feasible criterion for irrigation control of container-grown plants. Acta Hort. 342. pp 111-119.

Rivière, L.M. Chasseriaux, G. 1999. Different ways of monitoring the irrigation of container and pot plants. Acta Horticulturae 481. pp 353-360.

Terés, V. Artetxe, A. Beunza, A. Pereda, J. Majada, J. 2000. Utilización del láptómetro para el control de riego en sustratos de cultivo. Actas de Horticultura Nº 32.V Jornadas de Sustratos de la SECH. Almería. pp 69-84.



Horticur

Estimulan el desarrollo de las brotaciones
 Activan el cuajado
 Mejoran el engorde y la calidad del fruto
 Aumentan la resistencia a las enfermedades

Efecto antiestrés



LA SEGURIDAD DE APLICAR BUENOS PRODUCTOS



XEM ABONOS, S.L.

C/ Ibiza, 10
 Tel.: 96 289 21 27 - Fax.: 96 289 06 62
 46730 GRAO DE GANDIA (Valencia)
 ESPAÑA