



Los cultivos hidropónicos en sustrato han alcanzado un desarrollo notable en los últimos años como alternativa a los cultivos en suelo dentro de invernadero.

Métodos de control de riego en cultivos en sustrato

MARISA GALLARDO

*Dpto. de Producción Vegetal.
Universidad de Almería
mgallard@ual.es*

En España, estos cultivos se extienden fundamentalmente en la zona del sureste (provincias de Almería y Murcia) produciéndose principalmente cultivos hortícolas en invernaderos de reciente construcción y de mayor nivel tecnológico que los cultivos en suelo, que disponen de sofisticados programadores de riego que permiten

Bandeja de drenaje (izquierda); el sensor denominado "laptómetro" (derecha).

aportar el agua y los nutrientes de forma automatizada.

Debido al pequeño volumen ocupado por el sistema radicular y a las propiedades físicas de los sustratos que retienen el agua a muy baja tensión, el manejo del riego en cultivos sobre sustrato (CS) requiere un control mucho más preciso que en cultivos en

suelo. Además, el manejo del riego en sustrato es más complejo ya que lleva asociado de forma simultánea, el manejo de las sales y de la nutrición del cultivo y al mismo tiempo ha de asegurar niveles de oxígeno adecuados en el sustrato que permitan la respiración radicular. Los sustratos de origen mineral (por ej. lana de



roca o perlita), frecuentes en cultivos hortícolas, suelen ser inertes desde el punto de vista químico. Debido al pequeño volumen de sustrato y su baja capacidad tampón para nutrientes, los riegos han de ser aplicados en pequeños volúmenes y con alta frecuencia siendo común la aplicación de riegos excedentarios de lavado de sales. A pesar de su alta porosidad, pueden presentarse en sustratos deficiencias de O_2 que restringen la respiración radicular y ocasionan estrés a la planta.

El método de control del riego a adoptar depende de las posibilidades del cabezal de riego y en concreto del controlador. Los controladores pueden ser un simple programador que permite fijar dosis y frecuencia de riego o bien recibir una señal desde un sensor de apertura o cierre de válvula. Los controladores más sofisticados son capaces de recibir información a tiempo real de distintos tipos de sensores, y mediante un ordenador y software, elaborar la información recibida y generar la toma de decisión de puesta en marcha del riego.

Las técnicas de control del riego permiten determinar la do-

sis de riego a aplicar (duración de cada riego) y la frecuencia de riego más adecuada para cada combinación cultivo-sustrato-clima. A menudo, en CS se aplican dosis de riego fijas. Las necesidades hídricas del cultivo, variables en función del clima y de su estadio de desarrollo, se suelen ajustar variando la frecuencia de riego. En la fase inicial del cultivo se utilizan frecuencias fijas.

El volumen de agua aportada en cada riego deberá compensar la absorción de agua por la planta en el periodo transcurrido entre dos riegos y dependerá de la capacidad de retención de agua del sustrato y de las necesidades de lavado de sales que a su vez de-

Debido al pequeño volumen ocupado por el sistema radicular y a las propiedades físicas de los sustratos que retienen el agua a muy baja tensión, el manejo del riego en CS requiere un control mucho más preciso que en cultivos en suelo

En CS comerciales del sureste español está bastante extendido el sistema de riego controlado por sensores de nivel, también conocido como bandeja de demanda. Consiste en colocar varias unidades de sustrato (centro) en una bandeja, con un depósito que la recorre longitudinalmente, donde se recoge el volumen de riego drenado por el sustrato (derecha) y en el que se colocan un par de electrodos en contacto con el drenaje (primer plano). Dentro del depósito se encuentra un tejido absorbente que se extiende en el fondo de la bandeja, cuya función es mantener en contacto el drenaje y el sistema radicular.

penden de la calidad del agua de riego. Como punto partida, el volumen de riego se puede calcular como el correspondiente a un 5-10% del agua disponible más la fracción de lavado, que normalmente se ajusta a partir del volumen de drenaje medido diariamente o tras cada riego. La mayor parte de métodos de control del riego que se presentan a continuación suelen emplearse para determinar la frecuencia de riego.

Los programas de riego fijos

Este tipo de control de riego es el que menos responde a las necesidades hídricas del cultivo. Se basa en la aplicación de riegos a intervalos fijos determinados según la experiencia del agricultor. La automatización se consigue mediante un simple reloj horario programable. Este método es que el se usa durante el periodo de post-transplante hasta que el cultivo está establecido y se pueda utilizar alguno de los otros métodos.

A veces, la programación de riegos fijos se utiliza en combinación con otros métodos (por ej. la bandeja de demanda) durante periodos críticos en los que el agricultor duda sobre la eficacia del método o en las últimas horas del día en los que a menudo se desactivan los sistemas de control automático para conseguir un menor contenido de humedad en el sustrato durante la noche.

Métodos basados en el control del volumen de drenaje

Este método sirve para comprobar que se está aplicando la fracción de lavado deseable incluida en el cálculo de la dosis de riego. Normalmente se suele emplear en combinación con otros métodos como el de radiación, la bandeja de demanda o tensiómetros y sirve para calibrarlos o evaluar su comportamiento. El método consiste en colocar una o dos unidades de cultivo en una bandeja cuyo drenaje es recogido en un contenedor durante periodos de 24 horas y medido su volumen.

También se recoge y mide el volumen de agua aplicada desde un gotero en el mismo periodo y a partir de ambos se determina el porcentaje de drenaje. Además del volumen, se mide la conductividad eléctrica (CE) de la solución de riego y de drenaje para comprobar si el riego de lavado fue efectivo en mantener la CE de la solución a niveles adecuados. El volumen de drenaje se puede medir de forma manual o automática siendo posible automatizar el riego estableciendo unas consignas de porcentaje de drenaje deseable.

Métodos basados en la medida del estado hídrico del sustrato

En CS comerciales del sureste español está bastante extendido el sistema de riego mediante sensores de nivel también conocido como bandeja de demanda. El sistema consiste en colocar varias unidades de sustrato (normalmente dos sacos o tablas) en una bandeja. Adosada lateralmente a ésta se encuentra un pequeño depósito que la recorre longitudinalmente donde se recoge el volumen de riego drenado por el sustrato y en el que se colocan un par de electrodos en contacto con el drenaje.

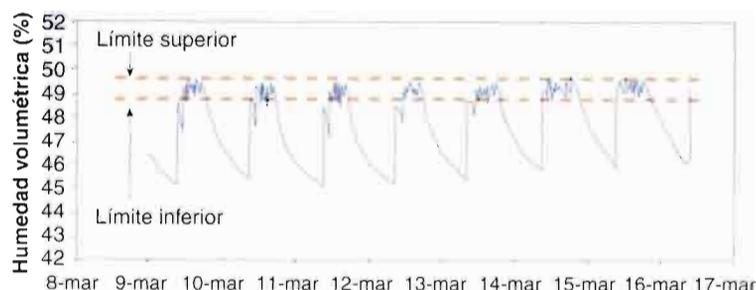
Dentro del depósito se encuentra sumergido un tejido absorbente que se extiende en el fondo de la bandeja cuya función es mantener en contacto el drenaje y el sistema radicular. A medida que la planta va absorbiendo agua, lo hace de la solución del depósito, a través del tejido absorbente y de este modo desciende el nivel de agua del depósito.

Este descenso es detectado por un electrodo que por medio de una sonda de nivel, emite una señal eléctrica que activa automáticamente el riego. El nivel del sensor que pone en marcha el riego se ajusta periódicamente en función del drenaje deseado, el cual a su vez se mide mediante un sistema de control de drenaje.

Mediante este método se determina la frecuencia del riego mientras que su duración suele ser

Figura 1:

Evolución a lo largo del tiempo de la humedad volumétrica para un sustrato



Se señalan los límites superior e inferior de humedad deseables.

fija (predeterminada en el controlador), aunque también se puede dar la orden de finalización del riego mediante un segundo electrodo. Se pueden establecer unos tiempos mínimos de espera entre riegos demandados. Normalmente durante el día se establecen periodos de activación de la bandeja de demanda, y periodos en los que aunque el nivel del depósito esté por debajo del electrodo no se permite el riego con el fin de favorecer la oxigenación de las raíces.

Este método requiere que las plantas situadas en la bandeja sean representativas del cultivo y que éste sea homogéneo. Se recomienda instalar una bandeja de demanda cada 5000 m², siendo cuatro el número máximo de bandejas que los equipos de riego pueden controlar. Una complicación asociada es cuando por pro-

blemas patológicos se pierde alguna planta de la bandeja. Aunque la bandeja de demanda es un sistema útil y práctico, no permite un control del riego totalmente perfecto. En los periodos del día de máxima demanda de agua se consigue un drenaje menor que en los de menor demanda.

Sensores de medida de potencial mátrico o humedad volumétrica

Este método se basa en la instalación de un sensor en el sustrato, en las proximidades del sistema radicular, que mide de forma directa o indirecta el estado hídrico del sustrato. La pequeña escala temporal con que se aplican los riegos, obliga a utilizar casi exclusivamente sensores de medidas continuas del estado hídrico del suelo, que permiten automatizar el riego.

Para que las lecturas sean fiables es crítico que haya un buen contacto sensor-sustrato. Los sensores pueden medir el potencial mátrico del sustrato o la humedad volumétrica.

Para automatizar el riego con sensores es necesario definir previamente el rango de humedad deseable el cual dependerá del sustrato, época del año y especie. La máxima humedad (o potencial mátrico) permitida se denomina límite superior y coincide con la capacidad de contenedor. La mínima humedad o potencial permitida se denomina límite inferior y

■ **Los programas de riego fijos se basan en la aplicación de los mismos a intervalos fijos determinados según la experiencia del agricultor. La automatización se consigue mediante un simple reloj horario programable. Este método es que el se usa durante el periodo de post-transplante hasta que el cultivo está establecido y se pueda utilizar alguno de los otros métodos**

corresponde con el valor de humedad a partir de cual la planta sufre estrés hídrico.

En la Figura 1 se presenta un ejemplo de límites de humedad para un sustrato. El sensor se conecta al programador de riego y cuando la humedad del sustrato decrece hasta el límite inferior, el sistema de riego se pone en marcha de forma automática. Aunque normalmente en invernaderos comerciales se riega con volúmenes fijos, es posible usar los sensores para determinar la duración del riego. El programador de riego suele incluir rutinas como la máxima y mínima duración de riego permitida, y el máximo o mínimo periodo de tiempo entre riegos.

Los sensores se deben colocar en el sustrato en una zona representativa del sistema radicular (por ej. a 10 cm de la planta). Para determinar la profundidad de instalación del sensor hay que tener en cuenta que existe un gra-

diente de humedad en altura. Por ello los valores absolutos y los límites deseables dependerán de la profundidad de instalación. Lo ideal es que el sensor en lugar de ser puntual, permita lecturas de humedad integradas de toda la altura del contenedor.

Debido al pequeño volumen de medida es recomendable instalar varios sensores para asegurar que las medidas son representati-

vas del cultivo. Los sensores se instalan cerca de plantas sanas y en zonas representativas alejadas de los bordes. Si el invernadero tiene una orientación este-oeste, es recomendable situar un sensor en la parte norte y otro en la sur para caracterizar las diferencias debidas a la distribución de la radiación.

Se pueden usar dos tipos de sensores, los tensiómetros y los sensores de humedad volumétrica adaptados para sustratos. Los tensiómetros para CS son adaptaciones de los de suelo para medir en un rango muy estrecho de potencial (0-10 kPa) con respuestas muy rápidas y permiten registros continuos del potencial mátrico.

Hay tensiómetros como el "laptómetro" que permiten medir en una escala de sensibilidad de cca (10 cca=1 kPa) que se recomiendan para sustratos como lana de roca donde el agua disponible se encuentra en el rango de 0-3

El método de bandeja a demanda requiere que las plantas situadas en la bandeja sean representativas del cultivo y que éste sea homogéneo. Se recomienda instalar una bandeja de demanda cada 5000 m², siendo cuatro el número máximo de bandejas que los equipos de riego pueden controlar



Condiciones ideales para el crecimiento

Nuestro objetivo es crear y mantener las condiciones perfectas para el crecimiento y el desarrollo de cualquier producto dentro de un invernadero. El concepto Munters está formado por los paneles evaporativos CELdek®, la gama de ventiladores de Euroemme®, los sistemas Munters de distribución de agua, sistemas de control climático, calefactores y otros accesorios como persianas y filtros de luz que ayudan a crear un clima ideal y controlado.



Ventiladores Euroemme®



Paneles evaporativos CELdek®



Calefactores



Sistemas de control climático CLIMATEline®

Munters Spain S.A.

Europa Empresarial, Ed. Londres C/ Playa de Liencres Nº 2 28290 Las Matas - Madrid
 Tfno.: 91 640 09 02 Fax.: 91 640 11 32
 Email.: marketing@munters.es
 www.munters.es www.munters.com





Recogida de drenaje y detalle de sensores de nivel (derecha).



kPa. Las lecturas de los tensiómetros no están afectadas por la salinidad porque los solutos pueden entrar sin restricciones en la cápsula porosa. Para su correcto funcionamiento los tensiómetros requieren un mantenimiento periódico, lo cual consume tiempo del agricultor o técnico.

Debido a su rápida respuesta a cambios de humedad, con los tensiómetros es posible tanto dar la orden de apertura de válvulas como de cierre. Aunque los valores umbrales de potencial que ponen en marcha o detienen de forma automática el riego dependen del sustrato, época del año y objetivos perseguidos con el riego, se han propuesto límites inferiores y superiores de tensión de 5 y 1 kPa adecuados para distintos sustratos. Sin embargo en algunos sustratos susceptibles a la saturación este límite superior no es el ideal y en otros sustratos, el límite inferior de 5 kPa puede limitante; por ejemplo en lana de roca se recomienda utilizar un límite inferior de 1.5 kPa.

La mayor parte de los sensores que miden humedad volumétrica del suelo o sustrato lo hacen de forma indirecta midiendo la constante dieléctrica del medio. Los sensores de constante dieléctrica que más se han usado en CS son los de capacitancia y en concreto los que han tenido aplicaciones comerciales son el Theta Probe[®] y Wet-Sensor (Delta-Devices, UK), y el sensor Grodan WCM-control (Grodan, Dinamarca). El Theta Probe[®] (Delta-Devices, UK) se ha utilizado como herramienta de diagnóstico para caracterizar la dinámica del

agua en el sustrato en combinación con sensores de medida del estado hídrico de la planta y climáticos en fitomomitores; sin embargo no se ha empleado para automatizar el riego. El sensor Grodan WCM-control, desarrollado específicamente para lana de roca, permite medir el contenido volumétrico de agua, la CE y la temperatura del sustrato de forma manual o continua y se puede usar para automatizar el riego.

Estos sensores tienen varillas cortas (<10 cm) y se insertan directamente en el sustrato. El uso de sensores de humedad volumétrica para el control del riego requiere la determinación de los límites superior e inferior de humedad que varían con el tipo y edad del sustrato, el cultivo y su estado de desarrollo y el clima. Por ejemplo con la sonda de Grodan, se recomienda un límite inferior de humedad volumétrica para pe-

pino en ciclo de primavera del 60%. En las condiciones de Almería se recomiendan valores umbrales de 40-50% para pimiento en ciclo de invierno y de 70-80% para melón en ciclo de primavera.

Métodos de control del riego basados en parámetros climáticos

Método de radiación. En este método el riego se controla a partir de medidas de radiación solar tomadas con un piranómetro en el exterior del invernadero. Cuando se alcanza un cierto valor de radiación acumulada que previamente habrá sido indicado el programador comienza el riego y el contador se pone a cero para iniciar un nuevo ciclo.

Este método presenta inconvenientes ya que la radiación no es el único parámetro climático determinante de la evapotranspiración del cultivo; otros parámetros climáticos como el déficit de presión de vapor (DPV) pueden tener importancia. Además no se tiene en cuenta el estado de desarrollo del cultivo. Cuando se usa este método se suelen producir desajustes en el riego a lo largo del día. Debido a sus limitaciones se utiliza en combinación con el de la medida del volumen de drenaje, denominándose método de bandeja activa que se describe a continuación. En el método combinado el umbral de radiación acumulada para la activación del riego se va corrigiendo a lo largo del día en función del porcentaje de lixiviación obtenido en cada riego.

Bandeja activa. La bandeja activa es un dispositivo que mide automáticamente el volumen de drenaje aplicado en cada riego. Esta bandeja es similar a la de demanda descrita anteriormente. Se fabrica de fibra de vidrio y contiene dos unidades de cultivo. En uno de sus extremos tiene un pequeño recipiente donde se recoge el drenaje de los dos sacos de cultivo.

Cuando el recipiente está lleno es detectado por un controlador de nivel que envía una señal

■ Para automatizar el riego con sensores es necesario definir previamente el rango de humedad deseable, el cual dependerá del sustrato, época del año y especie. La máxima humedad permitida se denomina límite superior y coincide con la capacidad de contenedor. La mínima humedad permitida se denomina límite inferior y corresponde con el valor de humedad a partir de cual la planta sufre estrés hídrico

eléctrica al programador de riego, el cual toma la lectura de ese volumen. Simultáneamente el recipiente se desagua por medio de una electroválvula situada en su fondo. El controlador calcula el porcentaje de drenaje sobre la base del volumen de drenaje medido y el agua aportada.

El sistema utiliza también un sensor de radiación que mide la radiación global acumulada y la utiliza según se describe en el método de radiación, ajustándose el valor de radiación acumulada programada mediante la lectura del drenaje. En el control de riego se establecen dos consignas, el porcentaje de drenaje deseado y la radiación acumulada a la que se desea activar el riego.

El equipo comprueba en cada riego si el drenaje ha sido el deseado y en caso contrario modifica el valor mínimo de radiación para adelantar o retrasar el próximo riego. Este sistema es el más usado en invernaderos comerciales en Holanda (*Stanghellini*, común, personal). Un inconveniente que presenta es que los ajustes se hacen a posteriori.

Modelos de ET. Para optimizar la producción de los cultivos, el contenido de agua en el medio radicular debe ser suficiente para que la planta pueda mantener tasas de transpiración máximas en un ambiente dado. Los modelos matemáticos que predicen el consumo hídrico de las plantas y su aplicación para el control del riego en CS se han desarrollado considerablemente en los últimos años con aplicaciones comerciales en invernaderos de alta tecnología.

En el caso de CS se requieren modelos que estimen la evapotranspiración del cultivo (ET) con una alta precisión y a corto plazo (escala horaria). Para automatizar el riego, los modelos se integran en los ordenadores de riego y las tasas de ET se suman en el tiempo para estimar la cantidad total de agua perdida desde el último riego. Cuando cierta cantidad de agua ha sido consumida, el riego se aplica de forma automáti-



ca, aplicándose la ET consumida más un porcentaje de lixiviación.

Las fórmulas de ET más adecuadas para calcular tasas instantáneas de ET por su mayor precisión son las basadas en el modelo de Penman-Monteith. Estas fórmulas son muy complejas y requieren medidas de i) parámetros climáticos como radiación y déficit de presión de vapor, ii) parámetros de cultivo como el índice de área foliar (IAF) y iii) valores de conductancia foliar y aerodinámica. Desde un punto de vista práctico es difícil determinar los parámetros de planta. Además los modelos han de ser validados para cada especie y condiciones de cultivo. Hay modelos que han sido aplicados y validados en diversos cultivos como tomate, pepino, rosa y plantas ornamentales en CS.

Los sensores de humedad volumétrica la miden indirectamente, estableciendo la constante dieléctrica del medio, como la WCM-Control, del fabricante danés Grodan.

Control del riego mediante medida del estado hídrico de la planta

La mayor parte de los métodos basados en medidas en planta están todavía en fase de investigación y no han sido empleados a nivel comercial para el control del riego. Entre estos métodos podemos citar la medida de la temperatura de la planta, el flujo de savia y las variaciones del diámetro del tallo. En general, la aplicación más clara de estos sensores en CS es la de ser instrumentos de diagnóstico que permiten evaluar de forma retrospectiva la bondad de la prácticas de riego aplicadas previamente.

El método de la balanza lisímetro no ha tenido aplicaciones comerciales y se ha usado fundamentalmente en investigación para calibrar modelos de ET. Consiste en situar una o varias unidades de cultivo sobre una balanza de alta precisión; la balanza registra de forma continua la pérdida de peso del conjunto cultivo-sustrato lo que es equivalente a la transpiración.

Cuando la pérdida de peso alcance un cierto valor se pone en marcha el equipo de riego. Para una determinación precisa, se deben hacer correcciones rutinarias de la diferencia en peso debida al incremento en la biomasa de la planta o pérdida de peso por podas y cosecha. Además hay que considerar las variaciones en el peso del sustrato debido a los aportes de riego y drenajes que interfieren con las medidas de pérdida de peso debidas a transpiración.

La mayor parte de los sensores que miden humedad volumétrica del suelo o sustrato lo hacen de forma indirecta midiendo la constante dieléctrica del medio. Los sensores de constante dieléctrica que más se han usado en CS son los de capacitancia

Para saber más...

- Teres, V., Macía, H.: *Cuándo, cuánto y cómo regar.* In: *Revista Horticultura* 174, enero 2004, pp.36-41.
- Marfá, O. (coordinador): *Recirculación sin suelo.* Ediciones de Horticultura, Reus, 2000 (178 pp.)