

**El Laptómetro es una herramienta para el control de riego que proporciona información para evaluar la disponibilidad del agua considerando los factores que inciden en ella**

## Cuándo, cuánto y cómo regar

VALENTÍN TERÉS TERÉS  
HUGO MACÍA OLIVER

vteres@laption.com  
hmacia@euskalnet.net



Para obtener un control de riego eficaz hasta ahora se consideraba suficiente dar respuesta adecuada a ¿cuándo y cuánto regar?. Pero la intensificación progresiva de cultivos requiere una mayor precisión, hasta llegar a ser necesario establecer una estrategia -¿cómo regar?- que permita determinar cuándo y cuánto regar.

La planta aprovecha el paso del agua del suelo o sustrato a la atmósfera para generar el flujo de agua necesario para sus funciones vitales. El riego suministra el agua necesaria para mantener este ciclo al nivel adecuado.

Para establecer una estrategia de riego eficaz es necesario conocer cómo funciona el sustrato, qué factores inciden en la disponibilidad de agua, qué papel juega la conductividad hidráulica, cómo se mueve el agua dentro del sustrato, y qué consecuencias tiene esto para el control de riego. Los sensores utilizados hasta ahora no proporcionan esta información, o al menos no con la sufi-

**El instrumento de control de riego denominado "Laptómetro" instalado.**

ciente fiabilidad para obtener conclusiones aplicables al control de riego. La información proporcionada por el Laptómetro, un sensor desarrollado específicamente para el control de riego en sustratos, viene a cubrir este hueco. Informa sobre el funcionamiento hídrico del sustrato, cuantifica su nivel de aprovechamiento y capacidad de control sobre disponibilidad de agua. Evalúa la eficacia de estrategias de riego y aumenta la capacidad de control sobre la disponibilidad de agua.

### Modelo de funcionamiento

La diferencia de potencial hídrico entre suelo y atmósfera es

aprovechado por la planta para generar el flujo de agua necesario para su funcionamiento. Este flujo está gobernado por el potencial hídrico decreciente entre suelo, planta y atmósfera, y puede ser regulado por la planta según sus necesidades.

La función del suelo o sustrato es proporcionar y reponer el agua necesaria para mantener activo este flujo. El control del riego sobre el cultivo viene dada por su capacidad de controlar esta disponibilidad de agua. En este proceso se trata de conseguir la máxima capacidad de control sobre la disponibilidad de agua, y no necesariamente sobre el agua. Para conseguirlo es necesario determinar la frecuencia de los riegos y la cantidad de agua a aportar en cada uno de ellos.

**Los sensores desarrollados para el control de riego en sustratos, ofrecen datos sobre el funcionamiento hídrico de los mismos, evalúan la eficacia de estrategias de riego y aumentan la capacidad de control sobre la disponibilidad de agua**

### ¿Cuándo y cuánto regar?

La respuesta a estas preguntas permite un mayor margen de maniobra o exige mayor precisión. Cuanto más intensivo sea un cultivo menor es el margen de maniobra y mayor la precisión que se exige.

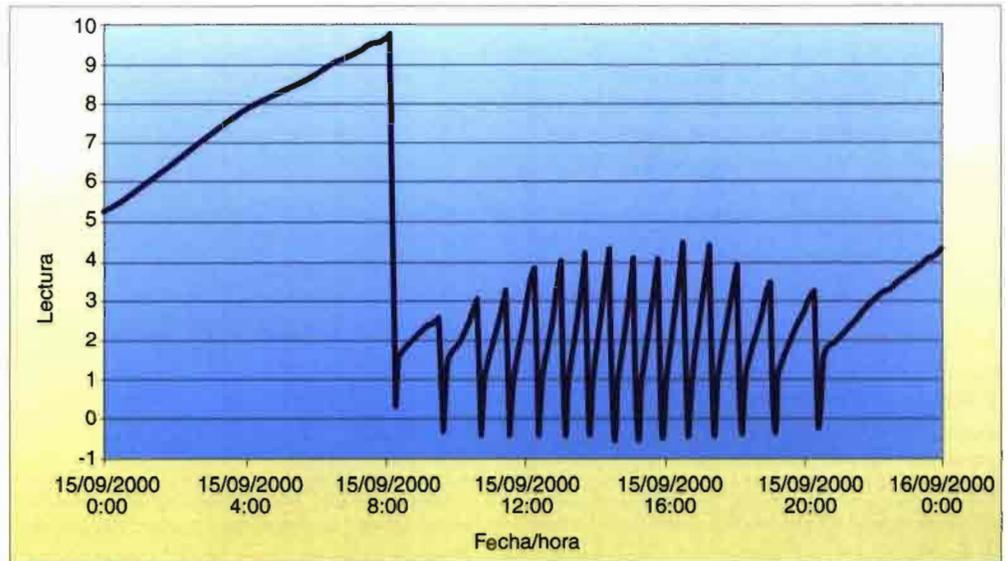
Se han desarrollado métodos para responder a estas cuestiones y sensores para conocer la situación real del flujo del agua y automatizar el riego. Estos métodos y sensores intervienen en distintas partes del flujo de agua. Unos se basan en mediciones al final del flujo y evalúan la demanda evaporativa de la atmósfera; otros en mediciones al inicio del flujo y evalúan la disponibilidad de agua.

**Demanda evaporativa**

Los primeros métodos empleados para control de riego en cultivos intensivos se basaron en mediciones sobre la demanda evaporativa de la atmósfera al final del flujo de agua. Medían variables como radiación, humedad y temperatura del aire, dirección y velocidad del viento y derivan de forma más o menos remota, del manejo del riego en cultivo en suelo. Pero la reducción de la capacidad tampón del sustrato obliga a trabajar en una escala de tiempo distinta (minutos en lugar de días). La medida de las variables climáticas y modelos empleados se deben adaptar a esta escala.

**Gráfica 1:**

**Evolución de la tensión de humedad en cultivo de tomate en lana de roca con riego controlado por bandeja de demanda.**



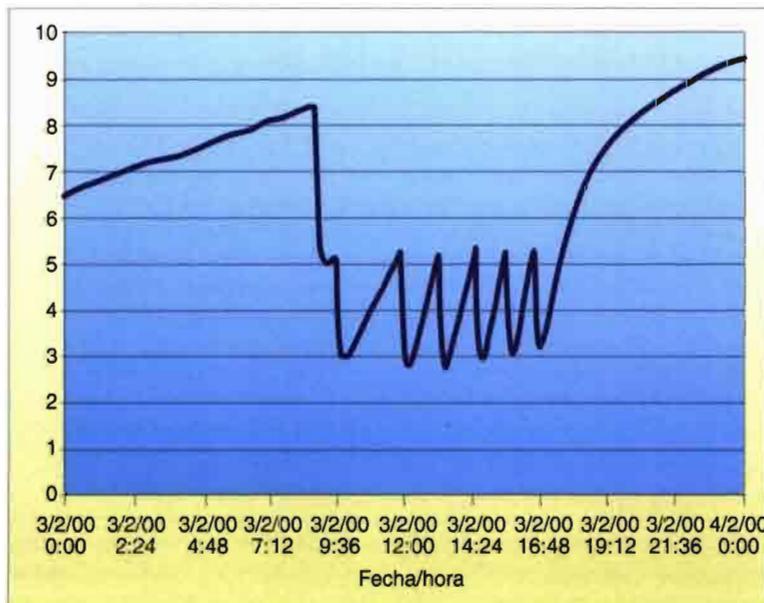
Los métodos más simples para evaluar la demanda evaporativa de la atmósfera consideran sólo la radiación solar. Esto es válido siempre que el resto de variables atmosféricas siga un patrón determinado que se pueda introducir en el modelo como constante de ajuste.

Pero si se presentan variaciones importantes de temperatura y humedad ambiente, o la velocidad y dirección del viento varían de forma aleatoria, los métodos basados sólo en la radiación pierden eficacia, y es necesario recurrir a modelos más complejos, con entrada de nuevas variables, como humedad y temperatura ambiente.

Para que esta demanda evaporativa constituya un medio eficaz de control de riego, debe ser un fiel indicador de la variable controlada por el riego, es decir, de la evolución de la disponibilidad de agua en sustrato. Si no es así es necesario controlar el riego en base a mediciones sobre la disponibilidad de agua en el sustrato.

**Gráfica 2:**

**Evolución de tensiones de humedad en cultivo de tomate en perlita cuando la conductividad hidráulica actúa como factor limitante.**



**Balance de agua en el sustrato**

Los métodos basados en el balance de agua en sustrato estiman la cantidad de agua contenida y asumen implícitamente que cantidad y disponibilidad están relacionadas directamente entre sí. Esto se cumple siempre que la conductividad hidráulica del sustrato no sea limitante para el movimiento de agua.

Los métodos anteriores exigen que cantidad y disponibilidad de agua estén relacionadas entre sí. Los datos obtenidos en campo

sobre la evolución de la tensión de humedad ponen manifiesto que es habitual que esta relación directa entre cantidad y disponibilidad de agua no se cumpla. Esto limita la eficacia de esos métodos y explica comportamientos "anómalos" del agua en el sustrato.

Ante esto se hace necesario buscar alternativas que informen sobre cantidad de agua en sustrato y disponibilidad para la planta. Para ello es necesario conocer cómo funciona un sustrato, qué factores inciden en la disponibilidad de agua, qué papel juega la conductividad hidráulica, cómo se mueve el agua por el sustrato y qué consecuencias tiene para el control de riego. La disponibilidad de esta información y el seguimiento de la evolución del estado hídrico del sustrato son bases para establecer una estrategia de riego adecuada.

**Cómo funciona el sustrato**

El agua aportada al sustrato por el sistema de riego se distribuye por los poros. La cantidad de agua que se desplaza de un punto a otro es directamente proporcional a la diferencia de potencial hídrico y a la conductividad hidráulica del medio.

**¿Que factores inciden en la disponibilidad de agua?**

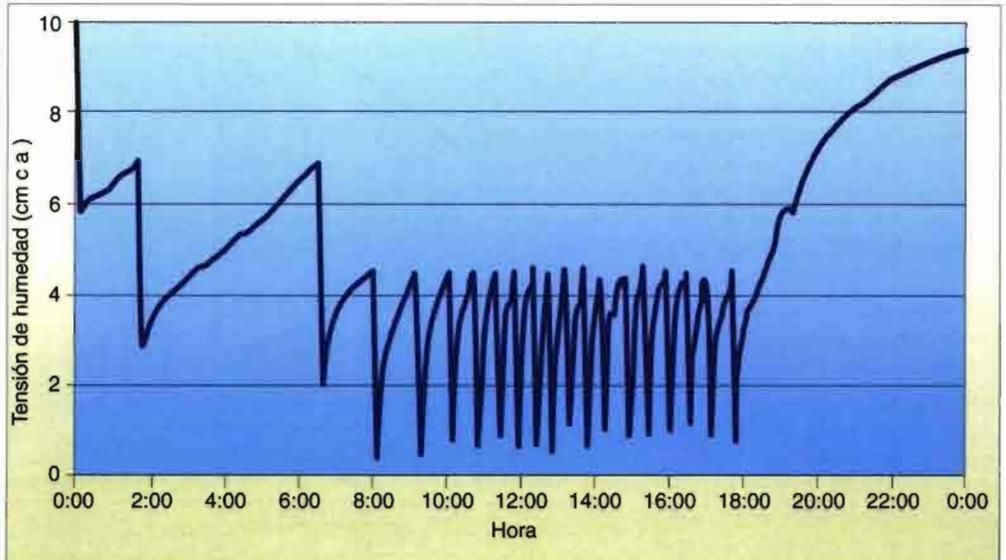
Los métodos de control basados en balance hídrico del sustrato se basan en la hipótesis de que la cantidad de agua en un sustrato está estrechamente relacionada con su disponibilidad. Cuando esta premisa se cumple, cantidad y disponibilidad están relacionadas por la curva de retención de agua característica de cada sustrato.

Para que esto sea cierto, el agua absorbida por las raíces debe ser repuesta inmediatamente por el agua contenida en poros más alejados. Es decir, la conductividad hidráulica del sustrato no debe ser factor limitante para el transporte de agua a escala de raíces.

Los datos obtenidos en campo con Laptómetro ponen de manifiesto que es habitual que esta condición no se cumpla. La variable que marca la disponibilidad

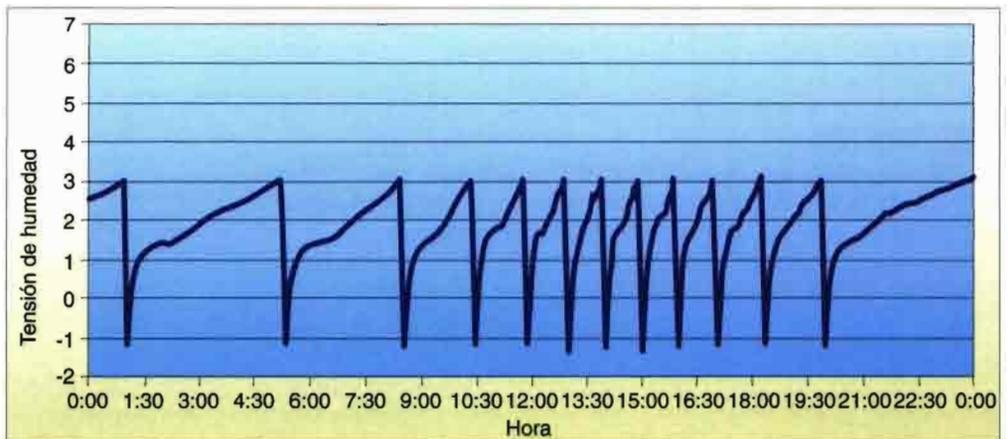
**Gráfica 3:**

**Cultivo de tomate en fibra de coco. Corrección de canales preferenciales por aplicación de riegos nocturnos con una consigna más elevada que durante el día.**



**Gráfica 4:**

**Cultivo de tomate en fibra de coco. Corrección de canales preferenciales por aplicación de riegos nocturnos con un único valor de consigna durante las 24 horas del día.**



de agua no es tanto la fuerza con la que el agua está retenida en la matriz porosa como la conductividad hidráulica. La validez de la tensión de humedad como variable de control de riego es debida a su relación con la conductividad hidráulica, más que por la medida de la fuerza de planta para extraerla de la matriz porosa.

Esto limita la eficacia de estos métodos y explica algunos comportamientos del agua en el sustrato. El Laptómetro proporciona la

información necesaria para evaluar adecuadamente la disponibilidad del agua considerando todos los factores que inciden en ella.

**Conductividad hidráulica**

La conductividad hidráulica del sustrato incide en la distribución del agua de riego y en la disponibilidad de agua para la planta. Si el valor de la conductividad no es limitante, la consecuencia a escala de saco de cultivo es que el agua de riego se distribuye por

todo el sustrato. En raíces absorbentes, el agua absorbida por las raíces cercanas es repuesta inmediatamente por otras más lejanas.

Cuando la conductividad hidráulica tiene un valor suficientemente bajo, a escala de saco de cultivo, actúa como factor limitante para la distribución del agua en sentido horizontal y predomina el flujo vertical favorecido por el diámetro de los poros y la acción de la gravedad. El agua desciende rápidamente formando canales preferenciales y no tiene acceso a todo el sustrato. A escala de raíces absorbentes, el agua absorbida no puede ser reemplazada por otra raíz más alejada, afectando negativamente a la disponibilidad.

Habitualmente, se considera que la conductividad hidráulica del sustrato no es limitante. Pero los datos proporcionados por el Laptómetro en situaciones reales de campo muestran que ésta interviene habitualmente como factor limitante para el movimiento del agua.

Esto se explica si se tiene en cuenta que la conductividad hidráulica está fuertemente condicionada por el contenido de humedad del sustrato. Estos gradientes son muy superiores a los de suelos de cultivo.

### Movimiento del agua en el sustrato

Estos fuertes descensos del contenido hídrico conllevan descensos muy rápidos de la conductividad hidráulica que condiciona el movimiento del agua en el sustrato. En la Figura 1 se representa el movimiento del agua en sustrato cuando la conductividad hidráulica no es limitante. El agua aportada por el riego se distribuye primero horizontalmente, y después verticalmente, ocupando todo el volumen de sustrato. Esto produce un efecto de barrido de agua que es evacuada por el drenaje.

En la Figura 2 se representa el comportamiento hídrico cuando la conductividad hidráulica resulta limitante. El agua se mueve en sentido vertical alcanzando rápidamente el fondo. Entonces, una parte se redistribuye por capilaridad

y otra va directamente al drenaje, creándose un frente capilar oscilante, que avanza durante el riego y retrocede entre riegos.

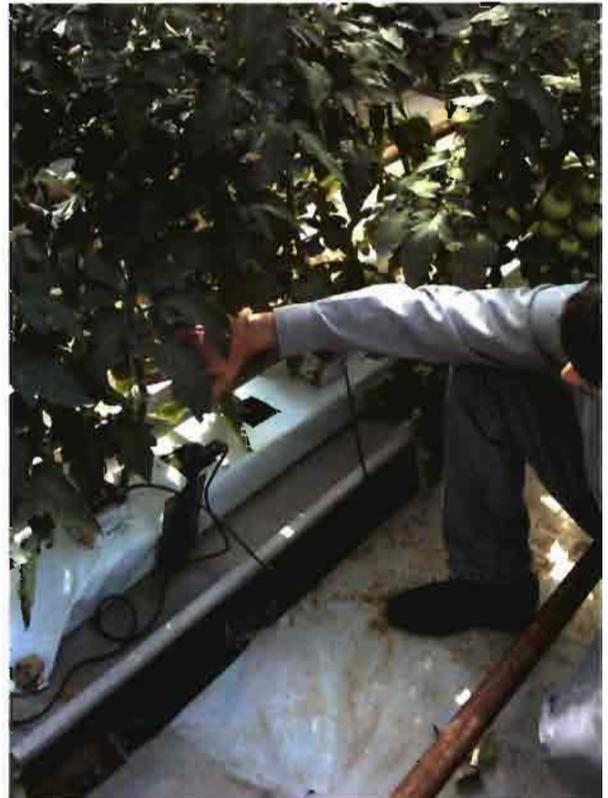
En la práctica se produce una situación intermedia. Para mostrar estos efectos hemos tomado un paño de algodón y preparado agua con tinta que hemos aplicado con un macarrón de plástico de pequeño diámetro, simulando un riego por goteo. En la Figura 3 se muestra el resultado obtenido aplicando el riego cuando el paño tiene un elevado contenido de humedad.

Representa un riego en sustrato en el que la conductividad hidráulica no resulta limitante. El bulbo húmedo obtenido es muy ancho, el borde inferior del paño está blanco, lo que indica que el agua de riego aún no ha llegado a la parte inferior; el drenaje hasta ese momento corresponde al agua previamente contenida en el sustrato desplazada por el agua de riego.

En la Figura 4 se muestra el resultado obtenido aplicando riego cuando el mismo paño está muy seco. Representa un riego cuando la conductividad hidráulica sí resulta limitante. El bulbo húmedo es considerablemente más estrecho. Cuando se aporta una cantidad de agua inferior al caso anterior, el agua ya ha llegado a la parte inferior – obsérvese el color tintado en el borde inferior-, ya ha habido drenaje de agua tintada –agua de riego-, y se ha iniciado el ascenso capilar.

### Consecuencias aplicables al control de riego

El que la conductividad hidráulica resulte o no limitante pa-



ra el movimiento del agua en sustrato tiene consecuencias importantes en la disponibilidad de agua y en la distribución del agua de riego en el sustrato a tener en cuenta para el control de riego, ya que aporta claves para interpretar los comportamientos observados.

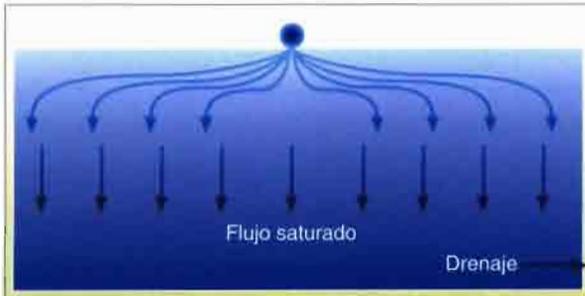
Si la conductividad hidráulica no es limitante, no se producen canales preferenciales, el sustrato se satura y, si se añade agua en exceso, se produce el drenaje. El agua accede a todo el sustrato, por lo que la reserva es máxima. Se produce una renovación del agua contenida en los poros por el barrido producido por el agua de riego. Como consecuencia se produce un lavado efectivo del agua, el drenaje es un buen indicador del lavado de sales obtenido, y de que el sustrato ha alcanzado su máxima capacidad de retención de agua.

Si la conductividad hidráulica es limitante, se producen canales preferenciales por los que el agua alcanza casi inmediatamente el fondo del sustrato. Quedan zonas de sustrato a las que no puede acceder, disminuyendo el volumen de reserva. El flujo vertical provo-

- **Los métodos basados en el balance de agua en el sustrato estiman la cantidad de agua contenida y asumen implícitamente que cantidad y disponibilidad están relacionadas directamente entre sí. Esta condición se cumple siempre que la conductividad hidráulica del sustrato no sea limitante para el movimiento de agua**

**Figura 1:**

**Movimiento de agua en el sustrato cuando la conductividad hidráulica NO es limitante.**



**Figura 3:**

**Distribución del agua en un paño de algodón "regado" con un elevado contenido de humedad.**



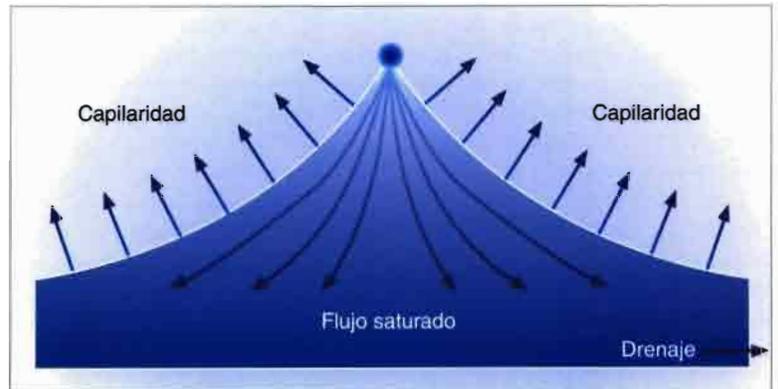
**Figura 4:**

**Distribución del agua en un paño de algodón "regado" cuando el paño está muy seco.**



**Figura 2:**

**Movimiento de agua en el sustrato cuando la conductividad hidráulica SI es limitante.**



ca la salida directa del agua de riego, con lo que no produce un lavado efectivo y el drenaje no indica necesariamente que el lavado del sustrato haya sido efectivo ni que se haya alcanzado la máxima capacidad de retención de agua.

Los resultados del Laptómetro informan sobre el funcionamiento del sustrato y permiten cuantificar la proximidad a uno u otro extremo. Para ello nos apoyamos en un índice que compara la cantidad real aportada con la hipotéticamente necesaria para el cambio de tensiones registrado. Los valores disponibles son escasos, pero se observa que este índice registra una bajada muy pronunciada para valores relativamente bajos de tensión.

Un valor bajo de este índice está relacionado con la formación de canales preferenciales y reduce el control que podemos ejercer sobre la disponibilidad del agua para la planta. Cuando esto ocurre es necesario aplicar estrategias de riego que permitan recuperar el control.

**Qué aporta el Laptómetro**

El Laptómetro proporciona una medida en tiempo real de la tensión de humedad, con un margen de error adecuado. La evolución de esta variable a lo largo del tiempo proporciona información detallada sobre cantidad y disponibilidad de agua, así como de su evolución a lo largo del tiempo.

La lectura directa proporciona una eficaz herramienta para la automatización del riego que se

puede iniciar en el instante en que se alcanza el valor consigna. El registro continuado del valor leído informa sobre la evolución de la tensión de humedad, de la cual se deduce cómo está funcionando el sustrato, hasta qué punto la conductividad hidráulica está interviniendo como factor limitante, qué porcentaje de sustrato está siendo utilizado de forma efectiva, si el control que tenemos sobre el funcionamiento del sustrato está por encima de mínimos admisibles siendo entonces necesario diseñar estrategias que permitan aumentar ese control y si las estrategias diseñadas para recuperarlo están siendo eficaces o no.

Su eficacia se basa en la fiabilidad de las mediciones obtenidas. La escala de medida del Laptómetro adecuada a los sustratos de cultivo, el calibrado individualizado de cada sensor, el diseño que asegura el contacto sustrato cápsula y la calidad de materiales empleados que garantizan una rápida respuesta, garantizan la fiabilidad necesaria en las mediciones obtenidas para que la información sea útil para el control de riego.

Como ejemplo se exponen casos reales de control de riego en campo. En el primer caso se pone de manifiesto el desfase entre lecturas de la bandeja de demanda y disponibilidad de agua para la planta, desfase que es mayor cuanto mayor es la demanda de agua.

En la Gráfica 1 se presentan la evolución de la tensión de hu-

medad en un cultivo de tomate en lana de roca con riego controlado por bandeja de demanda. El Lap-tómetro se colocó como testigo en una tabla de cultivo fuera de la bandeja de demanda. El aumento de tensión de humedad indica un descenso de cantidad y disponibilidad de agua. El valor máximo de tensión se alcanza en el inicio del primer riego tras la interrupción nocturna del riego. A partir de entonces, la bandeja de demanda da la orden de inicio de riego, cuando la cantidad y disponibilidad de agua alcanzan un mínimo fijado.

Se observa que los valores de tensión de humedad en el momento de iniciar el riego aumentan progresivamente por la mañana y disminuyen conforme avanza la tarde. El valor de tensión cuando la bandeja pide el primer riego es de unos 2.5 cm. Cuando pide el siguiente es de 3 cm y aumenta hasta sobrepasar los 4 cm entre las 13 y 18 h. Este aumento de tensión de humedad

indica una disminución de la cantidad de agua y de disponibilidad, en las horas centrales del día. Hay, por tanto, un desfase entre las lecturas de la bandeja de demanda y la disponibilidad de agua.

El segundo caso (Gráfica 2) corresponde a la evolución de la tensión de humedad en un saco de perlita que indica que la baja conductividad hidráulica ha provocado la formación de canales

preferenciales que favorecen el flujo vertical del agua. El sustrato no llega su máxima capacidad de retención de agua pero se produce un porcentaje importante de drenaje. Hay diferencias importantes entre sustratos respecto a la facilidad para formar estos canales, pero en condiciones reales de cultivo es habitual encontrar este tipo de funcionamiento en todos los sustratos para cultivo hidropónico.

El tercer caso corresponde a un cultivo en fibra de coco con canales preferenciales claramente formados. La aplicación de riegos nocturnos con una consigna de riego más elevada que durante el día corrige sólo en parte el problema. Los valores de tensión mínimos no llegan a cero. En este caso se consiguió un resultado satisfactorio cuando se usó un único valor consigna durante las 24 h del día (Gráfica 4).

**■ Para establecer una estrategia de riego eficaz es necesario conocer cómo funciona el sustrato, qué factores inciden en la disponibilidad de agua, qué papel juega la conductividad hidráulica, cómo se mueve el agua en el sustrato, y qué consecuencias tiene para el control de riego**



**INVERNADEROS**

**Banquetas de Cultivo**  
**Pantallas Térmicas**  
**Calefacción**  
**Complementos**

Camino Xamussa, s/n  
 12530 BURRIANA  
 Castellón - España  
 Tel.: (34) 964 514 851  
 Fax: (34) 964 515 068  
 ininsa@ininsa.es  
 www.ininsa.es

**ININSA**  
 INVERNADEROS  
 E INGENIERIA, S.A.