

ENSAJO EN CÍTRICOS

# Sondas de humedad FDR como herramienta de apoyo en la programación del riego

En este trabajo se analiza la posibilidad de utilizar las sondas de humedad de tipo FDR como ayuda en la programación del riego. Para ello se comprueba su idoneidad en la detección del riego aplicado o las lluvias, su comportamiento cuando se aplican riegos deficitarios, la posibilidad de detectar pérdidas por percolación profunda, etc. Además, la buena relación entre las medidas de humedad en el suelo obtenidas con las sondas FDR y el estado hídrico de la planta, posibilita su utilización en el control del riego convencional y en tratamientos de Riego Deficitario Controlado.

**M. Gasque**

*Departamento de Física Aplicada. Universidad Politécnica de Valencia*

**B. Granero**

**P. Martí**

**J. V. Turégano**

*Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universidad Politécnica de Valencia*

**P. González-Altozano**

*Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universidad Politécnica de Valencia.*

[pqaltozano@aqf.upv.es](mailto:pqaltozano@aqf.upv.es)



FOTO 1. Sondas. Detalle de la instalación y sensores. Sistema de almacenamiento y control

El consumo de agua por la agricultura representa aproximadamente el 70% del total en el mundo. En España, los ciclos de sequía cada vez más acusados, y la creciente competencia con otros usos, hacen que el precio del agua suba constantemente y disminuya su disponibilidad. En una situación en la que los precios de los productos agrícolas dejan poco margen a la rentabilidad, adquiere cada vez más importancia el control de los costes de producción, y la utilización de alternativas que permitan reducir los mismos manteniendo, al mis-

mo tiempo, la producción y la calidad del producto final.

## RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO

Una de las opciones para mejorar la eficiencia en el uso del agua es la aplicación del Riego Deficitario Controlado (RDC), basado en reducir el aporte de agua en aquel momento en que el cultivo es menos sensible al déficit hídrico, y regando normalmente el resto del año. Este tipo de estrategias de riego ha sido comprobado con éxito en España en numerosos cultivos.

Concretamente, en cítricos se ha constatado que puede reducirse el agua de riego durante el verano, sin afectar a la producción ni a la calidad de la cosecha, siempre que el resto del año se riegue normalmente. De esta forma pueden conseguirse ahorros importantes de agua (en torno al 20%) precisamente en el periodo del año en que esta es más escasa (Gasque *et al.*, 2010; González-Altozano y Castel, 2003a, b).

Para la aplicación correcta del riego es conveniente hacer un seguimiento del estado hídrico del cultivo. En el caso del RDC es

todavía más necesario dado que no debe sobrepasarse un cierto nivel de estrés que repercutiría en la disminución de la producción o la calidad. El desarrollo de diferentes sensores y técnicas para monitorizar las condiciones climáticas, el estado hídrico de la planta o el contenido de humedad en el suelo, ha dado lugar a grandes avances en las técnicas de programación del riego. Se trata de controlar en la medida de lo posible las variables necesarias suelo-clima-planta para poder aportar al cultivo la cantidad de agua que requiera en el momento adecuado.

Entre las distintas posibilidades, las técnicas de medida en continuo del contenido de humedad en el suelo con sondas FDR (Frequency Domain Reflectometry, en inglés), han dado resultados satisfactorios (Mounzer *et al.*, 2008a, b).

## CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

En este trabajo se constata como las sondas de humedad tipo FDR detectan de manera satisfactoria las variaciones de humedad del suelo debidas al riego aplicado y a la precipitación. Además, en este caso, se comprueba que todas las sondas instaladas responden de forma similar ante el estado hídrico de los árboles. Para ello se ha llevado a cabo un ensayo en una parcela donde se dieron tres tratamientos de riego distintos (un tratamiento Control y dos tratamientos RDC). La aplicación de distintos tratamientos sirvió para demostrar que estas sondas funcionan adecuadamente en un amplio rango de condiciones de humedad.

El ensayo fue realizado en 2009 y 2010 en una parcela comercial perteneciente a la comunidad de regantes de Senyera (Valencia), gestionada por la empresa TECVASA.

Los árboles son cítricos de la variedad Navelina sobre Cleopatra regados por goteo. El suelo es franco-arenoso con gran cantidad de cantos rodados de procedencia aluvial, a partir de los 50 cm de profundidad.

La Dosis de riego (Dr) se deter-

**TABLA 1 / Ubicación, profundidad y orientación de cada una de las sondas instaladas**

| Tratamiento/sonda              | T1    | T2    | Control  |
|--------------------------------|-------|-------|----------|
| Profundidad Sensor 1 (cm)      | 10    | 10    | 10       |
| Profundidad Sensor 2 (cm)      | 30    | 30    | 30       |
| Profundidad Sensor 3 (cm)      | 50    | 50    | 50       |
| Profundidad Sensor 4 (cm)      | 70    | 80    | 60       |
| Orientación respecto del árbol | Norte | Norte | Noroeste |

minó semanalmente a partir de los datos climáticos. Se aplicaron tres tratamientos de riego, consistentes en un tratamiento Control (regado al 100% Dr en 2009 y al 80% Dr en 2010), y dos tratamientos deficitarios (T1 y T2), que se regaron durante el verano al 40 y al 60% respectivamente, de la dosis recibida por el Control, regándose igual que el Control el resto del año.

La evolución del contenido de humedad del suelo, se determi-

nó cada 30 minutos mediante sondas de humedad de tipo FDR. Se dispusieron tres sondas EnviroScan de Sentek Sensor Technologies, una en cada tratamiento, con 4 sensores cada una distribuidos a distintas profundidades (**Tabla 1**).

Las sondas se instalaron en la orientación norte respecto del árbol para evitar la influencia del sol, a unos 25 cm del gotero, en el interior de un tubo de PVC, en la parte externa de la calle (**Foto**



*Cabeza de la sonda de humedad recién instalada con cable de conexión a datalogger*

**1**). Los datos obtenidos a las diferentes profundidades se almacenan en un *datalogger*, y son transmitidos vía GPRS, a un servidor.

## RESULTADOS: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD

En los cítricos regados por goteo, el sistema radicular se desarrolla principalmente en los primeros 50 cm de profundidad, por lo que los tres primeros sensores de cada una de las sondas reflejan el contenido de agua en el suelo en la zona explorada por la mayor parte del sistema radicular. El 4º sensor de cada sonda, instalado a una mayor profundidad, se utiliza para evaluar las pérdidas de agua por percolación profunda, pero en este caso también resulta útil para comprobar la capacidad de los árboles de buscar la agua a mayor profundidad en caso de escasez.

En la **Figura 1** se muestra la evolución de la humedad en el suelo registrada por las sondas instaladas en cada tratamiento. En la parte superior de la figura se han incluido las precipitaciones y el riego semanal en el tratamiento Control. Las oscilaciones bruscas en las líneas de tendencia de las sondas, son debidas a la detección de variaciones de humedad tras un riego o un evento de lluvia. La **Figura 2**, muestra la evolución de la humedad en el suelo registrada por el sensor más profundo de cada una de las sondas.

En los tratamientos deficitarios (T1 y T2), se observó (**Figura 1**)

## LAS SONDAS FDR: USOS Y APLICACIONES

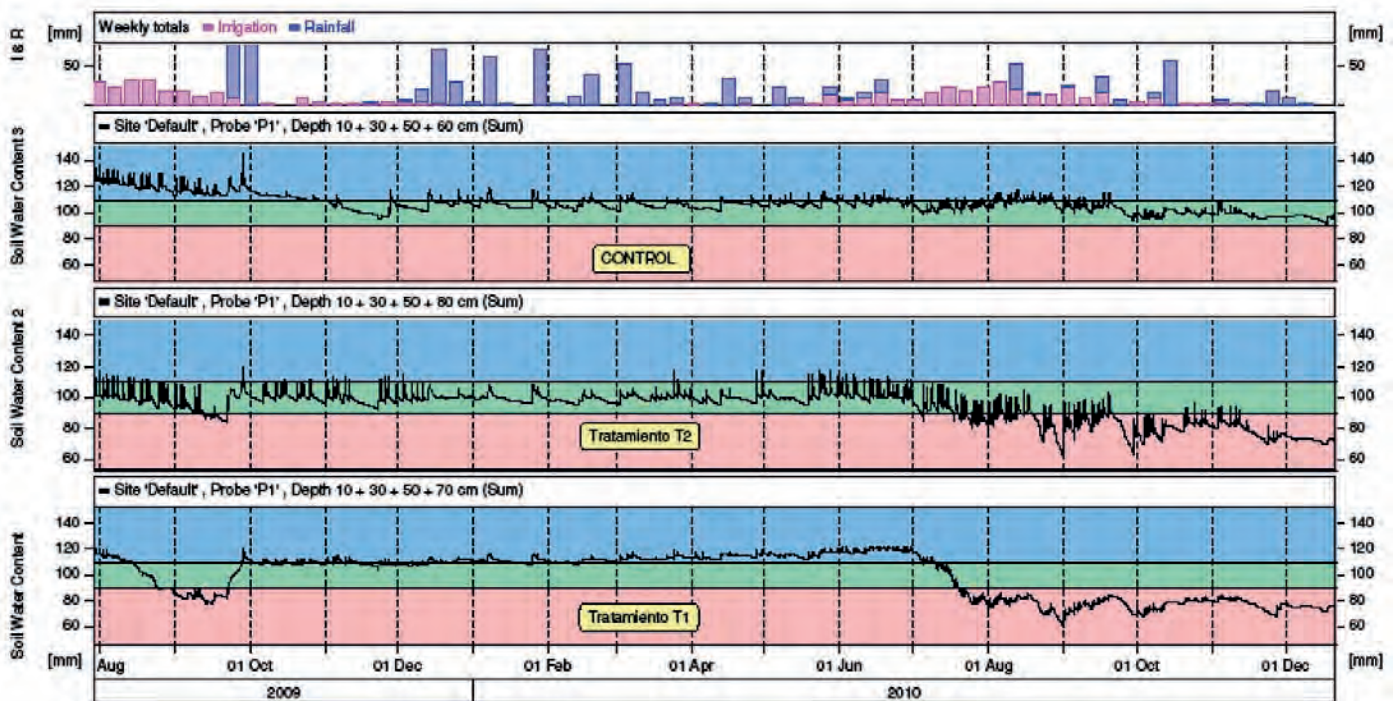
Estas sondas permiten tanto la medida de la humedad a diferentes profundidades, como el seguimiento de su evolución en el tiempo, y además detectan el efecto del riego y las precipitaciones.

Las sondas FDR son de tipo capacitivo: el contenido de agua se determina a partir de la medida de la capacitancia eléctrica del suelo, que

varía fundamentalmente en función de la humedad. Dado que, una vez instaladas no es necesario realizar sobre ellas ningún cambio o manipulación, es posible la obtención de un gran número de medidas sin afectar al perfil del suelo. Sin embargo, uno de sus inconvenientes es el escaso volumen de suelo al que vienen referidas las medidas, lo cual implica que pequeñas variaciones en el medio como la existencia de grietas o una cierta pedregosidad, pueden influir decisivamente en los valores obtenidos, siendo necesaria una cuidadosa instalación. No obstante, en suelos homogéneos franco-arenosos, las medidas suelen ser bastante uniformes. Además, con este dispositivo es posible detectar las pérdidas de agua por percolación profunda fuera de la zona donde se encuentra la mayor parte del sistema radicular.

Todas estas características hacen factible su utilización en la programación del riego por propietarios y gestores de comunidades de regantes.

FIGURA 1 / Evolución del contenido de humedad en el suelo (en 80 cm de profundidad), registrado por las sondas de cada tratamiento y la precipitación y riego en mm/semana (en el tratamiento control), en ese mismo periodo.



cómo los árboles extrajeron el agua del perfil del suelo conforme los periodos de reducción del riego avanzaban. Este efecto fue más evidente en el tratamiento más estresado (T1). También fue más acusado en la restricción del año 2010, dado que en este año la dosis de riego aplicada ( $D_r$ ) fue menor que en 2009.

Tras la restricción del año 2009, una vez se reanudó el riego a dosis normal (13 de septiembre), y coincidiendo con unas lluvias importantes (250 mm/semana aprox.), se observó una rápida recuperación de la humedad en el perfil del suelo en los tratamientos deficitarios, que se mantuvo en un nivel constante hasta Julio de 2010, momento en el que volvió a aplicarse restricción hídrica.

En la **Figura 1** también se puede observar que una vez concluido el periodo de déficit de 2010, la dosis de riego aplicada fue inferior a la programada lo cual impidió que se recuperara el nivel de humedad del suelo anterior al mismo.

Este riego inadecuado, conse-

cuencia de una práctica habitual de los agricultores de la zona, que riegan menos de lo necesario cuando llueve en otoño, di-

ficulta la aplicación de RDC en verano, que requiere tras el periodo de déficit un riego conforme a las necesidades del cultivo



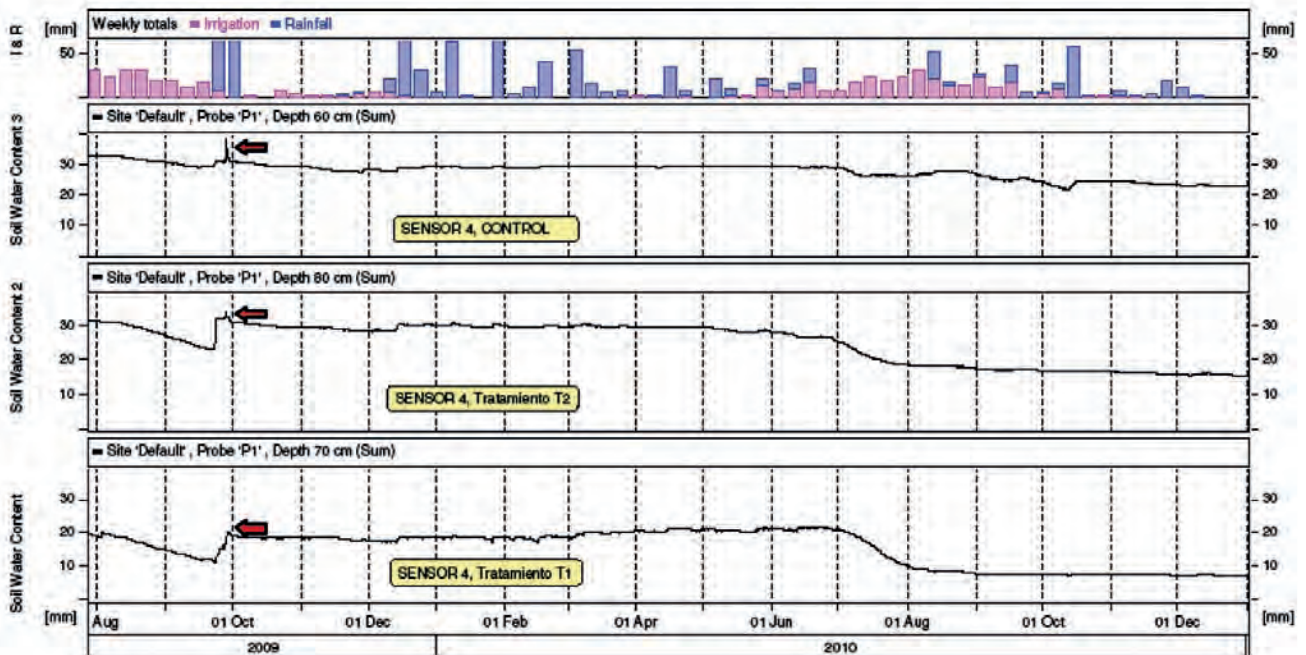
Esquema de la sonda instalada y equipo para la medida del potencial hídrico foliar

para no producir mermas en la producción ni en la calidad de la cosecha. Como consecuencia, todos los tratamientos recibieron menos agua de la que realmente requerían (**Figuras 1 y 2**), situación que se prolongó hasta el final de la campaña de 2010, tal como refleja el contenido de humedad en el suelo determinado por las sondas de humedad.

Esta incidencia repercutió en un menor tamaño y contenido de zumo del fruto (resultados no incluidos en este trabajo), lo cual muestra que el bajo contenido de agua detectado por las sondas FDR en el periodo septiembre-recolección es indicativo de una situación indeseable y constata la utilidad de estas sondas para prever situaciones de déficit que puedan repercutir negativamente en el cultivo. En 2009, la aplicación correcta del RDC en verano, y el riego adecuado en otoño, tal como corroboran los valores de humedad registrados por las sondas, no produjeron efectos negativos ni en la producción ni en la calidad de los frutos.

En los periodos de restricción

FIGURA 2 / Evolución del contenido de humedad en el suelo, registrado por el sensor más profundo de cada una de las sondas, y la precipitación y riego en mm/semana (en el tratamiento control). Las flechas señalan pérdidas por percolación profunda debido a unas precipitaciones de 250 mm/semana aproximadamente.



la pauta mostrada por el sensor más profundo (Figura 2) fue similar a la obtenida por el conjunto de sensores (Figura 1), mostrando una disminución rápida de la humedad a esa profundidad, tanto mayor cuanto mayor era la restricción y mucho más drástica en el periodo de déficit hídrico de

mm/semana aprox. en septiembre de 2009), donde sí se detectó una saturación del suelo que dio lugar a ciertas pérdidas, mayores en el tratamiento Control, seguido del tratamiento T2 (60%) y por último del tratamiento T1 (40%).

En la Figura 3 se muestra, para el conjunto de los 3

## // LAS SONDAS FDR PERMITEN CONOCER EL ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA Y REFLEJAN CORRECTAMENTE LAS PAUTAS DEBIDAS AL RIEGO Y A LAS LLUVIAS //

2010. Esta tendencia indica que cuando los árboles padecen déficit hídrico, tienden a buscar el agua a mayor profundidad.

En general (Figura 2), no se observaron pérdidas por percolación profunda, ya que el último sensor mostró una pauta plana en periodos de riego normal, salvo en circunstancias puntuales con lluvias importantes (250

tratamientos, la relación entre el contenido de humedad en el suelo (0-80 cm de profundidad) y el potencial hídrico en tallo ( $\psi^m$ ), parámetro que muestra el estrés hídrico de la planta. Como se observa en la gráfica, las tres sondas responden de forma similar lo cual facilita la toma de decisiones de riego. La humedad en el suelo mostrada por el 4º sensor es la

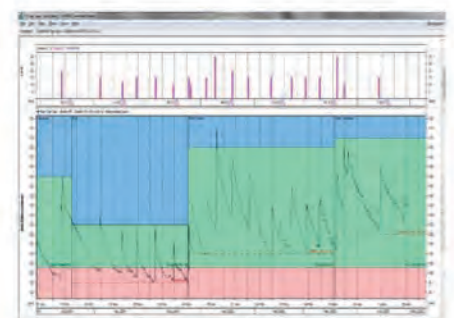


  
Sentek sensor technologies  
[www.sentek.com.au](http://www.sentek.com.au)

## Mejore la rentabilidad de su explotación

Ahorre energía, agua y fertilizantes con equipos de monitorización de la humedad volumétrica y la salinidad del suelo de Sentek Pty Ltd:

- EnviroSCAN,
- TriSCAN,
- Software Irrimax



Más Información:  
Puech & Asociados  
Tel.: +34 809 57 84 83  
[info@puechassociados.es](mailto:info@puechassociados.es)  
[www.puechassociados.es](http://www.puechassociados.es)

mejor relacionada con el estado hídrico de la planta, lo que muestra que en este caso (planta-suelo) hubiera sido suficiente con un sensor a esta profundidad en cada una de las sondas.

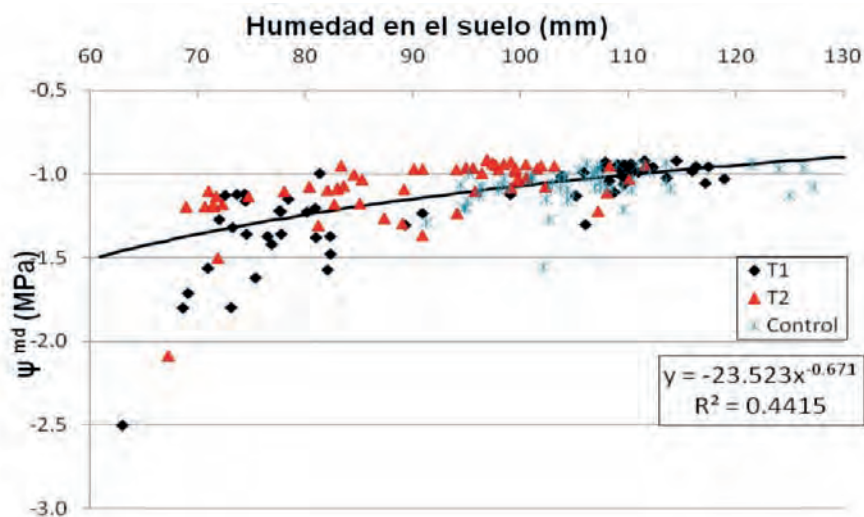
## CONCLUSIONES

En síntesis, las sondas FDR permiten conocer el estado hídrico de la planta y reflejan correctamente las pautas debidas al riego y a las lluvias. Es posible establecer límites de humedad en el suelo adaptados a las circunstancias particulares de cada caso (suelo, clima, planta) que permitan la utilización de las sondas FDR para una programación automática del riego.

Se podría decir que en este caso, para estos árboles en este suelo, el límite para evitar mermas en la producción durante el periodo de restricción se sitúa en torno a los 70 mm de agua en 80 cm de profundidad en verano. En otoño, al finalizar la restricción es importante elevar el nivel de humedad en el perfil del suelo hasta unos 100-110 mm de agua en 80 cm de profundidad para no dar lugar a efectos indeseables en la producción.

De todo lo anterior, se puede concluir que las sondas FDR,

**FIGURA 3 /** Relación entre el potencial hídrico en tallo,  $\psi^{md}$  (MPa) y la humedad en el suelo (0-80 cm de profundidad), en el conjunto de los 3 tratamientos.



pueden ser útiles como herramienta de apoyo en la programación del riego, ya que son un buen indicador del estado hídrico de la planta, son sensibles al estrés y permiten detectar posibles pérdidas por percolación profunda. Todas estas cualidades, hacen adecuada su utilización para la programación del riego.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un ensayo financiado por la

empresa Técnicas Valencianas del Agua S.A. (TECVASA), que ha obtenido una subvención de la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana para este fin (DOCV 5493, de 19 de abril de 2007, nº exp.: 2007TAHA-VAL00018).

## REFERENCIAS

Gasque M., Granero, B., Turegano, J.V., González-Altozano, P. (2010). Regulated deficit irrigation effects on yield, fruit

quality and vegetative growth of 'Navelina' citrus trees. *Span J. Agric Res* (2010) 8(S2), S40-S51.

González-Altozano, P.; Castel, J.R (2003a). Riego deficitario controlado en "Clementina de Nules". I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1(2): 81-92.

González-Altozano, P.; Castel, J.R (2003b). Riego deficitario controlado en "Clementina de Nules". II. Efectos sobre el crecimiento vegetativo. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1(2): 93-101.

Mounzer, O., Mendoza-Hernández, J.R., Abrisqueta-Villena, I., Tapia-vargas, L.M., Abrisqueta-García, J.M., Vera-Muñoz, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2008a. Soil water content measured by FDR probes and thresholds for drip irrigation management in peach trees. *Agricultura Técnica en México*, vol. 34 Núm. 3: 313-322.

Mounzer, O., Vera, J., Tapia, L.M., García-Orellana, Y., Conejero, W., Abrisqueta, I., Ruiz-Sánchez, M.C., Abrisqueta-García, J.M. 2008b. Irrigation scheduling of peach trees (*Prunus persica*, L.) by continuous measurement of soil water status. *Agrociencia*, Vol. 42 Núm. 8: 857-868.



Parcela en la que se realizó el ensayo