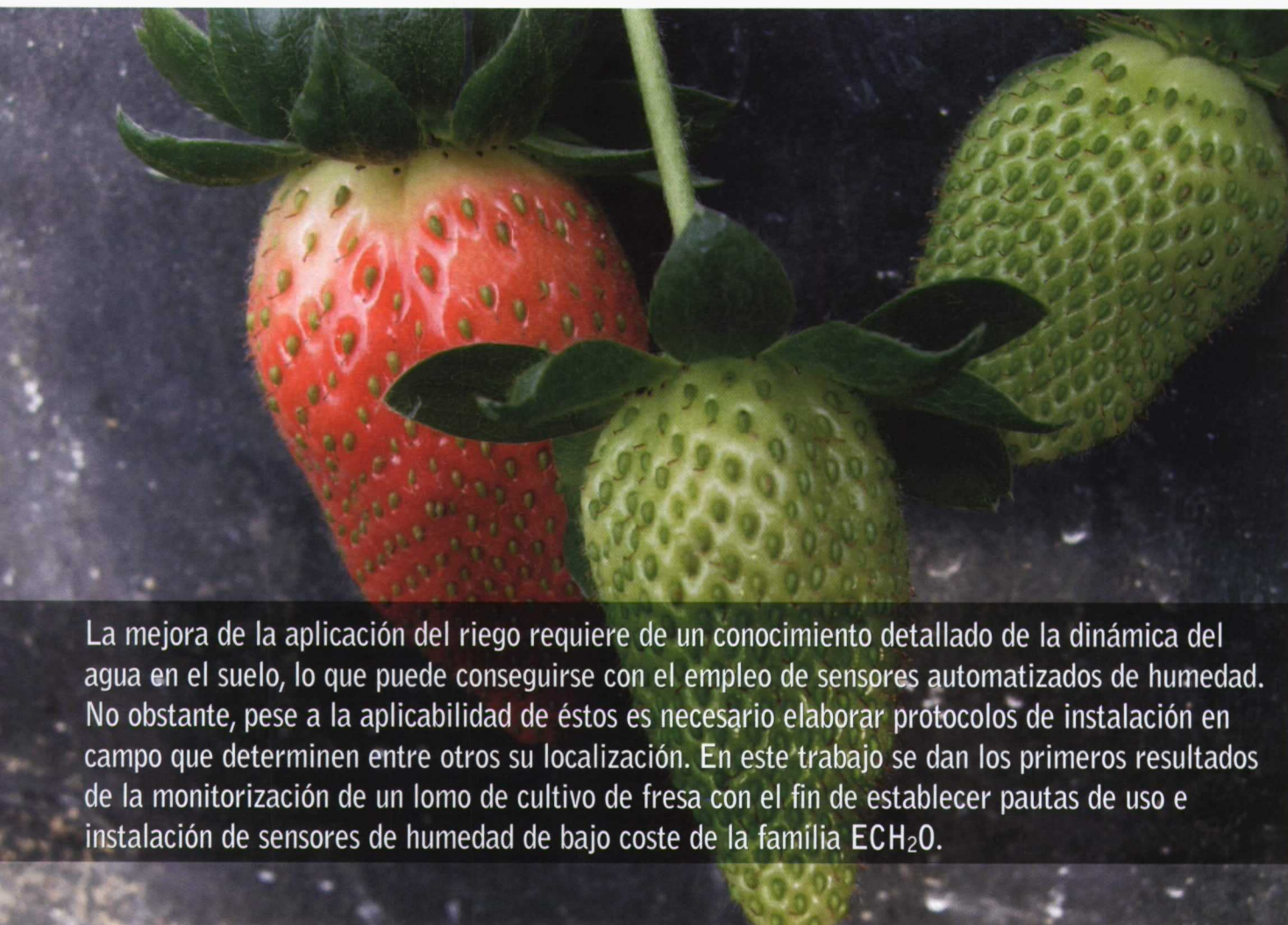


El objetivo de este trabajo es conocer el lugar idóneo para la colocación del sensor en el lomo

Empleo de sensores de humedad para caracterizar la dinámica de flujo de agua de riego en fresa



La mejora de la aplicación del riego requiere de un conocimiento detallado de la dinámica del agua en el suelo, lo que puede conseguirse con el empleo de sensores automatizados de humedad. No obstante, pese a la aplicabilidad de éstos es necesario elaborar protocolos de instalación en campo que determinen entre otros su localización. En este trabajo se dan los primeros resultados de la monitorización de un lomo de cultivo de fresa con el fin de establecer pautas de uso e instalación de sensores de humedad de bajo coste de la familia ECH₂O.

A. J. Espejo¹, K. Vanderlinden¹, J. M. Infante² y J. L. Muriel¹

⁽¹⁾ IFAPA, Centro Las Torres-Tomejil. Alcalá del Río (Sevilla).

⁽²⁾ Techno Marketing Consulting. Parque Empresarial Nuevo Torneo. Sevilla.

La agricultura de regadío es una fuente de riqueza importante para Andalucía tanto social como económicamente al representar el 26% de la superficie agraria andaluza, el 62% de la tasa de empleo agrícola y suponer el 56% del valor de la producción agraria. El cultivo de fresa es la terce-

ra hortaliza en importancia económica en la región andaluza, y Andalucía es el mayor productor de la Unión Europea y a nivel mundial. El enclave del cultivo en torno al Parque Nacional de Doñana y la situación actual de tendencias de precios de la fresa a la baja hacen necesario realizar una buena gestión del riego

para evitar la contaminación y sobreexplotación de los acuíferos así como reducir los gastos asociados a aportes de agua más allá de los necesarios, medidas que se contemplan en la futura pero cercana aplicación de las Directivas Marco de Suelo y Aguas.

El empleo de sensores que miden la humedad el suelo es una técnica emergente con numerosas aplicaciones agroambientales como el apoyo a la programación del riego. De éstos, los sensores electromagnéticos como los de la familia ECH₂O se caracterizan por su bajo coste, funcionan bien en diferentes ambientes y son relativamente fáciles de usar. No obstante es necesario elaborar protocolos de instalación en campo que potencien su uso de manera eficiente y práctica para el agricultor, y se responda a cuestiones como cuántos sensores emplear, o dónde se deben instalar en la parcela.

El objetivo principal de este trabajo ha sido evaluar las fuentes de variabilidad espacio temporal de la humedad del suelo como base para elaborar protocolos de instalación de sensores de humedad en campo potenciando su desarrollo en este sector.

Material y métodos

Características de la parcela y diseño experimental

El estudio se realizó durante 2008 en una parcela comercial de fresa situada en Palos de la Frontera (Huelva), con coordenadas 37° 11'14" N, 6° 52'41" W. La **foto 1** representa las condiciones del cultivo en las cuales se realizó el ensayo, entre las que son más relevantes las siguientes:

- El sistema de cultivo es alomado-acolchado bajo plástico tipo túnel con seis lomos en cada túnel.
- Las dimensiones del lomo son de 65 cm de anchura en su base y 50 cm en la cresta, y la altura de 30 cm.
- La separación entre plántulas es 24 cm, disponiéndose dos filas sobre el mismo lomo y la densidad es de 60.000 plantas/ha (**foto 2**).
- El sistema de riego, empleado también para la fertirrigación, es por goteo con sistema de cinta perforada con una línea portagoteros en cada lomo inserta bajo el acolchado, y separados los emisores longitudinalmente cada 20 cm.

El suelo es de textura arenosa (90% de arena, 7% de limo y 3% de arcilla), y la densidad aparente del lomo es de 1,60 g cm⁻³ au-



Foto 1. Vista del túnel de fresa. Trabajadores levantando plásticos manualmente para favorecer la ventilación.

Los resultados han puesto de manifiesto

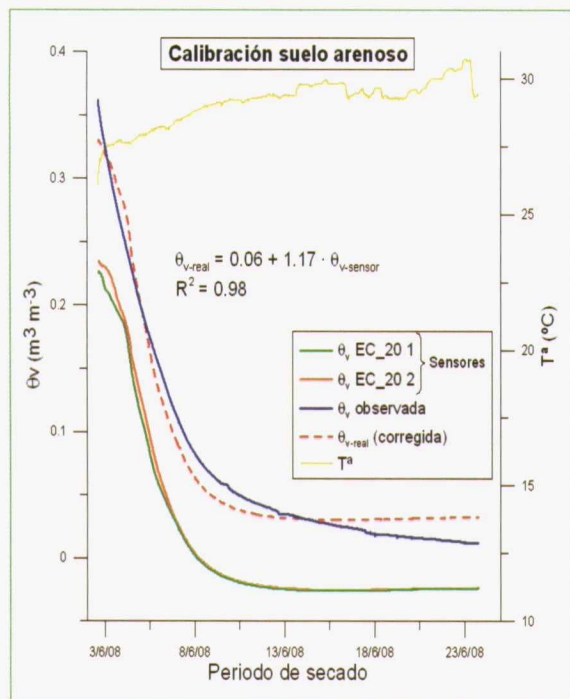
que dicha instrumentación permite evaluar eficazmente las fluctuaciones de la humedad y se indica la localización más apropiada



Foto 2. Sistema de plantación de la fresa con dos hileras por lomo.

FIGURA 1.

Curva de desecación del experimento con suelo arenoso.



La humedad registrada por los sensores es la que proporciona el sensor con la calibración del fabricante y la humedad de la estufa es la real observada con la pesada de las básculas. θ_{v-real} es la medición del sensor corregida con la ecuación propuesta.

mentando en la base del mismo. La curva de retención de agua característica del suelo muestra que el valor de capacidad de campo es $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para un valor de tensión de 33 kPa.

En estas condiciones en el lomo central del túnel se ha instalado una malla de 38 sensores de la familia ECH₂O modelo EC-20 (Decagon Devices, Inc. 2006) para medir la humedad del lomo (fotos 3 y 4), dos pluviómetros automatizados modelos ECRN para monitorizar el riego (foto 5), y una estación climatológica que mide la humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento (foto 6). Los sensores EC-20 se han conectado a un registrador de datos modelo Campbell CR1000 y los sensores EC-20 y los pluviómetros se han conectado a un datalogger modelo Decagon EM50, registrando datos cada 5 minutos en ambos casos, y en el caso de la estación almacenando datos horarios.

Los sensores se han instalado en dos secciones transversales al lomo. En una de ellas los sensores justo debajo del gotero (sección I), y en la otra entre dos goteros (sección II).

Ensayo de calibración de los sensores

Los sensores usados han sido calibrados en laboratorio con una muestra de suelo tomada previamente en campo con la finalidad de comparar la medida que éstos proporcionan con la humedad real del suelo. El ensayo de calibración consta de un cilindro de PVC con suelo donde verticalmente se insertan dos sensores y de un sistema de pesada automatizado (foto 7). El cilindro se satura de agua y se deja secar libremente en un estufa a 30°C, almacenándose por un lado los datos medidos por el sensor y la humedad real obtenida por pesada, la que es convertida a volumetría puesto que se conoce la geometría del cilindro.

Los datos observados y medidos son contrastados corrigiendo así la medida del sensor. Se recuerda que las mediciones de los sensores en campo que se presentan en el apartado de resultados son tras ser calibrados previamente.

Análisis de los datos

El objetivo principal ha sido conocer la zona idónea para la colocación del sensor. Se ha analizado la estabilidad temporal de la humedad en los puntos monitorizados siguiendo la metodología descrita por Vachaud *et al.* (1985) que pone de manifiesto que observando de manera rutinaria la humedad en distintas situaciones en el tiempo (Pachepsky *et al.*, 2005; Guber *et al.*, 2008), las series temporales de la humedad son muy similares a la serie media de la zona de estudio, lo que permite conocer los puntos más secos y más húmedos de la red monitorizada.

Con este sistema es posible disminuir el aporte de agua atendiendo a la capacidad de retención del suelo



Foto 3. Inserción del sensor EC-20 en el suelo. Foto 4. Red de medida para evaluar la humedad del lomo.



Foto 6. Detalle de instalación de minipluviómetros modelo ECRN para la monitorización automatizada del riego. Foto 6. Conjunto de instrumentación usada y ubicación en la parcela.

Resultados y discusión

Resultados de la calibración del sensor para suelo arenoso

La **figura 1** muestra los resultados del desecado del cilindro. Se representa la evolución

de la humedad volumétrica observada mediante pesada con la báscula y la registrada por los sensores empleando la ecuación del fabricante. Se observa que los sensores con la calibración de fábrica subestimaron la humedad real observada por gravimetría, no obs-

tante la curva de desecado de los sensores y de las pesadas tienen evoluciones similares.

La curva de desecado registrada con la pesada de la báscula (observada por gravimetría, que es la humedad real) se inicia en un porcentaje de humedad de 0,36 m³ m⁻³

Programas informáticos para la fruticultura



REMITIR A :
ISAGRI - C/ESPINOSA, 8 - 410
46008 VALENCIA
tlfno: 902 170 570. fax: 902 170 569.
E-mail : isagri@isagri.es
Internet : www.isagri.es

- Deseo recibir información sobre las soluciones ISAGRI de :
- Fruticultura
 - Otros :

Empresa :

Nombre :

Dirección :

C.P :

Localidad :

Tfno :

Móvil :

Visítenos en Sant Miquel del 25 al 29 de septiembre

- > Costes de producción por parcela, cultivo, pie
- > Trazabilidad, Producción Integrada, EurepGAP
- > Control de almacén: compras, consumos, stocks
- > GPS: medición de fincas y trabajo con cartografía
- > Contabilidad y facturación
- > Agri-Pocket: recogida y consulta de datos in situ

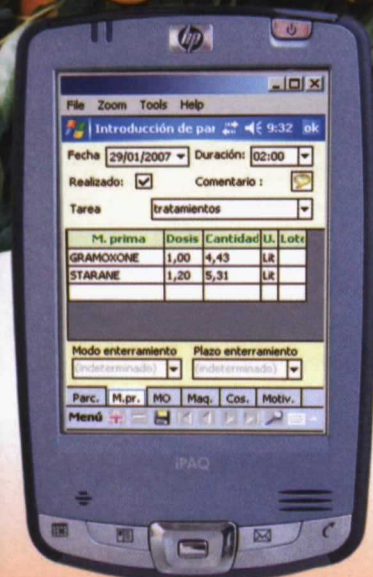
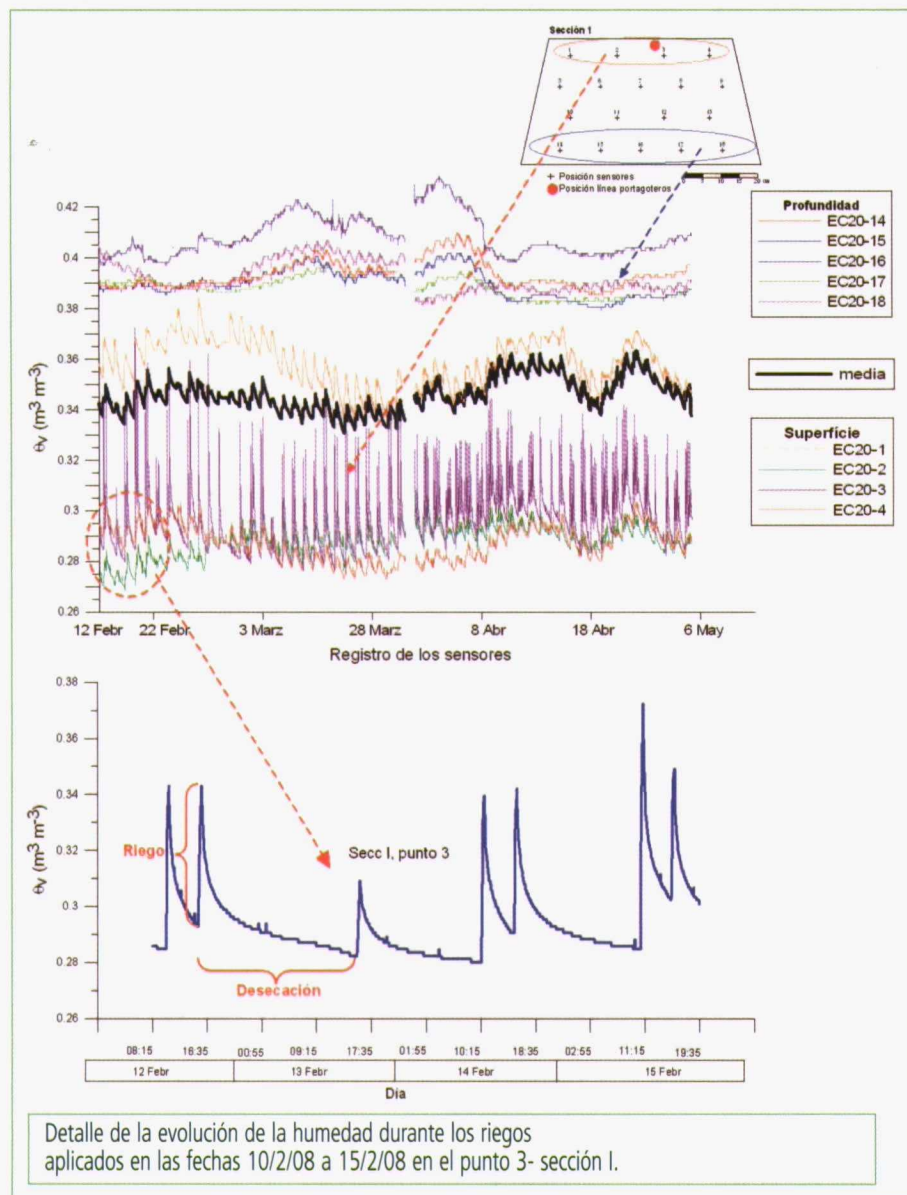


FIGURA 2.

Evolución de la humedad medida con los sensores instalados en la cota más profunda y más superficial del lomo (sección I). Fecha: 12/2/08 – 6/5/08.



momento en el que el suelo está completamente saturado, y desciende hasta que éste se seca completamente ($0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Inicialmente con la ecuación de calibración propuesta por el fabricante los dos sensores EC-20 muestran un comportamiento similar, con un rango de valores medios máximos y mínimos que oscila entre $0,23$ y $-0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. En la evolución del desecado tanto en el caso de los sensores como en la pesada de la báscula se distinguen dos tramos diferenciados donde inicialmente la humedad desciende muy rápidamente y otro segundo en que el

proceso es muy lento, estando el suelo prácticamente seco y la curva es asintótica al eje de ordenadas. Este límite se sitúa en $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para el caso de la humedad observada con la pesada (humedad real) y $-0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para el caso de la humedad medida por los sensores. A raíz de los resultados encontrados se pone de manifiesto que es necesario realizar una calibración específica para nuestro suelo si queremos conocer con exactitud el valor de la humedad. El ajuste realizado ($\theta_{v\text{-real}}$ corregida) para corregir la ecuación del fabricante tiene un valor de $R^2 = 0,98$.

Análisis exploratorio de los datos

El objetivo en este punto es el de conocer cómo evoluciona la humedad en el lomo.

Los datos registrados indican que la parte baja del lomo se encuentra saturada durante el periodo monitorizado, y en esta zona hay un cambio importante en las propiedades físicas del suelo, como es el caso de la densidad y textura, que influyen directamente en la velocidad de infiltración del agua en el mismo disminuyendo en profundidad. Véase en la **figura 2.a** la evolución de la humedad medida por los sensores instalados en la base del lomo y en la cota más superficial, así como el valor medio espacial de todo el lomo en las fechas 12/2/08 a 6/5/08. Se observa que en profundidad apenas hay variaciones en el contenido de humedad, permaneciendo constante en torno a valores de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, y siempre se está muy por encima de los valores medios espaciales registrados por los sensores en el lomo. Sin embargo en superficie la humedad generalmente es inferior a la media excepto en determinados puntos como el 1, y se aprecia como hay una gran variación. Los sensores determinaron con precisión los riegos, sí bien el sensor que hay debajo del gotero en su caso o debajo de la línea de goteros fue el que más oscilaciones tuvo (ej. posición 3, **figura 2.b**). Estos resultados son de la sección I, en la que el conjunto de sensores se dispusieron debajo del gotero, encontrándose resultados coincidentes en la sección II (sensores instalados en la vertical entre dos goteros), aunque los valores humedad son cuantitativamente mayores.

En este periodo el riego acumulado ha sido de 80 l/gotero , y recordamos que la separación entre goteros es de 20 cm , por lo que la cantidad aplicada por metro lineal de goteros ha sido de 390 l/m .

Persistencia de patrones espaciales con variaciones estables de humedad en el tiempo

La **figura 3** representa un mapa de distribución espacial de la humedad media del lomo en el periodo 11/2/08 a 6/5/08 en las dos secciones. Los patrones encontrados tuvieron una humedad media de $0,35$ y $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para las secciones I y II, y los valores mínimos y máximos han sido de $0,29 - 0,41$ y $0,30 - 0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para ambas secciones respectivamente, de lo que se deduce que la humedad depende de la situación bajo el gotero o entre dos goteros, y es mayor en el se-

gundo caso. La variación media respecto al valor medio de humedad en las dos secciones en cada medida ha sido de 0,04 y 0,05 $m^3 m^{-3}$ (valor de s , desviación típica). Existe un patrón espacial estable temporalmente, de lo que se deduce que se puede determinar la humedad en cualquier posición del lomo a partir de cualquiera de los puntos monitorizados.

En base a la estrategia de riego a emplear, los dos aspectos más importantes para decidir la colocación del sensor serán la localización que representa la humedad media del lomo y/o aquél que represente además mayor variación, que representará la situación más seca antes de regar.

Para determinar los valores que representaron la humedad media del lomo así como los de mayor variación se ha analizado la estabilidad temporal de la humedad empleando los datos registrados por la instrumentación en el periodo 11/2/08 a 6/5/08, y nos indica que los puntos 10 y 13 representan la media de la humedad del lomo para el caso de la sección I y los puntos 12 y 13 la media de la humedad del lomo para el caso de la sección II. En la **figura 3** se señala la posición de estos puntos en ambas secciones.

Por otro lado, se observa que en la sección I los puntos 10 y 13 son los que presentan más variación de humedad, y además como indicamos anteriormente representan la humedad media del lomo. Por otro lado, en la sección II hay una mayor variabilidad, y los puntos 12 y 17 son los que presentaron mayores valores.

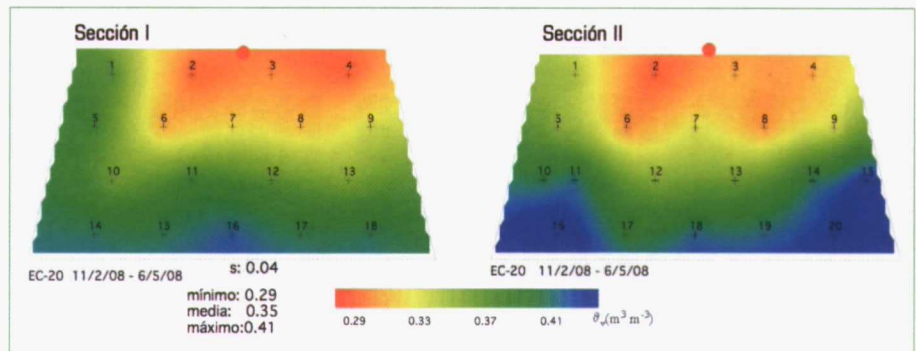
Como ya indicaron Thompson *et al.* (2009) el empleo de sensores puede ser una buena estrategia para mejorar la programación del riego por ser de lectura sencilla, precisa y de fácil inserción en el suelo.



Foto 7. Cilindro de PVC diseñado con suelo para calibrar los sensores en laboratorio.

FIGURA 3.

Mapa de distribución espacial de la humedad media del lomo en el periodo 11/2/08 a 6/5/08. Sección I (izquierda) y Sección II (derecha).



Se resaltan los puntos que representan la humedad media representativa del lomo.

Conclusiones y recomendaciones

De los resultados obtenidos en este estudio se concluye que:

1. Es importante conocer el valor de humedad del suelo, si bien es más importante conocer su fluctuación en el tiempo y la distribución dentro del lomo.

2. Los sensores de humedad empleados son más sencillos de usar que otro tipo de instrumentación como por ejemplo el empleo de tensiómetros, y permiten evaluar eficazmente la dinámica del agua en el suelo. Son robustos y miden de manera continua en el tiempo automatizadamente. Por otro lado facilitan la toma de decisiones al regante y su empleo no le supone un trabajo extra. Si bien se necesitan calibraciones específicas que corrijan la humedad que proporcionan inicialmente de fábrica si se quiere conocer el valor exacto de la humedad.

3. La posición del sensor en el lomo depende tanto de la cota en el lomo como la situación respecto al gotero. Considerando como cota cero la base del lomo, la humedad media del lomo se representa a cota de 12,4 cm, y la posición depende del lugar de inserción bajo el gotero o entre dos goteros. En el caso de insertarse bajo dos goteros de forma transversal al lomo se recomienda insertarlo en la zona central del lomo y en el caso de insertarse bajo un solo gotero insertarlo a 11 cm del borde del lomo considerando la cota de 12,4 cm respectivamente en ambos casos. En cuanto al número de puntos necesarios para conocer la humedad de lomo con representatividad se puede estimar en dos en ambos casos.

4. Desde el punto de vista de la física del suelo al considerar la retención de agua por el mismo es posible disminuir la dosis de riego, no obstante ha de compatibilizarse con otras aplicaciones como el abonado del cultivo. ●

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen al propietario de la parcela donde se han realizado los trabajos de campo (Manuel Domínguez "Finca Hortofresh"), así como a los compañeros del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil por el trabajo realizado (Jorge García, Esther Rodríguez y Manuel Morón), y a la Corporación Tecnológica de Andalucía con la financiación del proyecto n° 06090P4A, también subvencionado por el IFAPA a través de FIC08-39.

BIBLIOGRAFÍA

Decagon Devices, Inc. 2006. ECH20 Soil Moisture Sensor. Operator's Manual, for models EC-20, EC-10 y EC-5. Versión 5.

Guber, A.K., Gish, T.J.; Pachepsky, Y.A.; Van Genuchten, M.T.; Daughtry, C.S.T.; Nicholson, T.J. y Cady, R.E. 2008. Temporal stability in soil water content patterns across agricultural fields. *Catena* 73, 125-133.

Pachepsky, Y.A., Guber, A.K., y Jacques, D. 2005. Temporal persistence in vertical distributions of soil moisture contents. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 347-352.

Vachaud, G.; Passerat de Silans, A.; Balabanis P. y Vauclin, M. 1985. Reduction of soil water spatial sampling density using scaled semi-Temporal persistence of spatially measured soil water probability variograms and simulated annealing. *Geoderma* 110:265-289. density function. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:822-828.

Thompson, R.B.; Gallardo, M.; Valdez, L.C. y Fernández, M.D. 2006. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agr. Water Management*. 88: 147-158.