

COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE HUMEDAD DEL SUELO CON DIFERENTES SENSORES CON FINES DE PROGRAMACIÓN DEL RIEGO LOCALIZADO EN FRUTALES

O. Mounzer¹, M.C. Ruiz-Sánchez^{1,2}, I. Abrisqueta¹, L.M. Tapia³, J. Vera^{1,2}, J.M. Abrisqueta^{1,2}

¹ Dpto. Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC) Apartado 164, 30100 Espinardo, Murcia (Spain).

² Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS)

³ Dpto. Uso y Manejo de Agua. INIFAP. Av. Latinoamericana 1101 CP 60080 Uruapan, México

RESUMEN. En una plantación de melocotonero en riego localizado localizada en la finca experimental del CEBAS-CSIC, en Murcia, se realiza un ensayo de infiltración y redistribución de agua de riego en lisímetros de drenaje. El objeto de este trabajo es comparar las lecturas de humedad del suelo realizadas en continuo con sondas de capacitancia y sonda de neutrones, frente al balance hídrico del lisímetro, en función de la distancia al emisor y de las dimensiones del volumen de suelo humectado. Los resultados obtenidos indican que diferencias en las variaciones de humedad del suelo por los distintos sensores vienen dadas por el distinto volumen de suelo explorado en cada caso y señalan la importancia de la ubicación de los sensores de medida de humedad en el suelo con fines de programación del riego.

ABSTRACT. In a drip-irrigated peach tree plantation located in the experimental station of CEBAS-CSIC in Murcia an experiment in the infiltration and redistribution of water was conducted in drainage lysimeters. The main objective of the work was to compare the soil water measurements by capacitance probes and by neutron probe against water balance of lysimeter, as a function of distance from the emitter and the size of the soil volume wetted. The results indicated that differences in soil water content are mediated by the differences in the soil volume explored by the sensor, indicating that the location of the sensors is vital, when they are used for irrigation scheduling purposes.

1.- Introducción

Los procedimientos de programación del riego se basan en estimas de la evapotranspiración de los cultivos (Allen et al., 1998), en base a medidas del estado hídrico de las plantas (Goldhamer y Fereres, 2001) o bien en medidas de la humedad del suelo (Hanson et al., 2000). En relación a estos últimos, en el mercado se ofrecen diversos sensores que permiten monitorizar en continuo el estado hídrico del suelo y que facilitan la toma de decisiones en tiempo real para la programación de los riegos con precisión (Starr y Paltineanu, 1998).

Previamente a la determinación de los umbrales de humedad del suelo que permitan mantener a la planta en

condiciones de productividad óptima, resulta crítica la ubicación de estos sensores, la cual debe realizarse teniendo en cuenta la distribución y densidad de raíces. Este hecho además se complica en riego localizado, donde la humedad varía tridimensionalmente. En estas condiciones la calidad de los datos registrados y la decisión que generan depende por un lado de las dimensiones del volumen mojado por el gotero y por otro del volumen de suelo en el que se evalúa la humedad. El primero es muy variable debido a su dependencia del caudal del emisor (Brandt et al., 1971; Bresler, 1978), de las características del suelo en cuestión y de la existencia o no de raíces absorbentes (Phene et al., 1991; Coelho y Or, 1996, 1999) mientras que el segundo es variable según el tipo de sensor y según el contenido actual de humedad en el suelo (Mounzer, 2005).

El objetivo del trabajo fue comparar las variaciones del contenido de humedad en el suelo registradas con sonda de neutrones y sondas de capacitancia con las medidas de balance hídrico realizadas en lisímetros de drenaje.

2.- Material y métodos

El trabajo se ha realizado en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2006 en una parcela de la finca experimental del CEBAS-CSIC, en Santomera, Murcia (38° 06' 31.2" N; 1° 02' 13.7" W, y una altura media sobre el nivel del mar de 152 m). El material vegetal utilizado es melocotonero (*Prunus persica* L. Batsch) cv. Flordastar, injertados sobre patrón híbrido de melocotonero x almendro GF-677, de 4 años de edad, a una marco de plantación de 5 x 5 m, en un suelo, tipo Lithic Xeric Haploxeroll, pedregoso, poco profundo, de textura franco arcillosa (arena: 25%, limo: 35, arcilla: 30%) y una densidad aparente media de 1.4 g cm⁻³. El riego fue por goteo, con un único lateral por hilera de árboles con 4 goteros por árbol de 2 l h⁻¹. La parcela cuenta con 4 lisímetros de drenaje (5 x 5 x 1.5 m) que se equiparon con tubos de acceso para sonda de neutrones, sondas de TDR y sondas capacitivas tipo FDR "Frequency Domain Reflectometry". En cada lisímetro, que dispone de un árbol, se instalaron 3 tubos de acceso para cada tipo de sondas, de forma simétrica al emisor a 20, 60 y 100 cm perpendicular a la línea portagoteros (Fig. 1).

Las variaciones del contenido volumétrico de agua en el suelo se registraron en continuo con las sondas de

capacitancia, tipo C-probe (www.Agrilink-Int.com) y cada 2-3 días con la sonda de neutrones (Troxler, mod. 4300). Las medidas se realizaron cada 10 cm en un perfil de 80 cm de profundidad. Dado los errores de medida en superficie con la sonda de neutrones, la humedad en los primeros 10 cm se determinó con la técnica de reflectometría en el dominio del tiempo (Time Domain Reflectometry, TDR), usando un equipo Tektronix, modelo 1502B. La conversión de los valores brutos de cada sensor en contenido volumétrico de agua en el suelo se realizó mediante las ecuaciones de calibración determinadas por gravimetría con muestras inalteradas del suelo estudiado.

La duración y la cantidad de agua aportada se registraron con un pluviómetro de pulsos situado debajo del gotero y conectados a un equipo de adquisición de datos automático. Igualmente se controló el drenaje a la salida de cada lisímetro.

Los datos climáticos se registraron a partir de una estación meteorológica automática situada en la finca experimental.

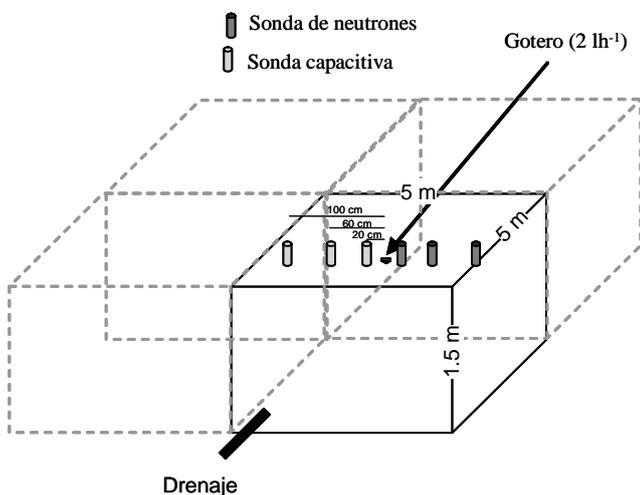


Fig. 1. Diagrama del diseño experimental

Balance hídrico. Las variaciones del contenido volumétrico de agua en el suelo fueron calculados en base al balance de agua en el suelo mediante la expresión:

$$\Delta S = LI + R - ET - D \quad (1)$$

donde ΔS es la variación de humedad en el suelo, LI es la lluvia, R es el riego, ET es la evapotranspiración y D es el drenaje. Las condiciones del ensayo han permitido descartar las pérdidas por escorrentía.

3.- Resultados y discusión

Desde el 30 de octubre hasta el 27 de noviembre de 2006 se aplicaron 411 mm de agua en cada lisímetro. El estado de senescencia en los árboles y las condiciones climáticas otoñales generaron una baja demanda evapotranspirativa ($E_{To} \approx 2 \text{ mm d}^{-1}$).

3.1. Descripción del perfil

La Fig. 2 muestra los aportes de riego, las lluvias acacidas durante el periodo del ensayo y la evolución de los niveles de humedad registrados con los sensores de capacitancia a distintas profundidades, en la sonda situada a 20 cm del gotero. Se puede observar cómo el sensor ubicado a 10 cm de profundidad, responde inmediatamente a la aplicación del riego y conforme avanza el tiempo el frente de humectación va alcanzando a los sensores siguientes que empiezan a registrar el incremento del contenido de agua. El 30 de octubre, con el inicio del riego comenzó el avance vertical del frente húmedo que tardó 1.25, 2.25, 3.5, 4.0 y 20.25 horas en ser detectado sucesivamente por los sensores ubicados a 10, 20, 30, 50 y 80 cm de profundidad. La detección del avance del frente húmedo en tiempo real es una de las ventajas de las medidas en continuo del estado hídrico del suelo, que permiten estos sensores. Con esta información se puede determinar el tiempo de riego necesario para humectar un perfil a una profundidad determinada, evitando pérdidas por drenaje y el lavado de fertilizantes.

Por otro lado, las humedades registradas con sonda de neutrones coincidieron con lo esperado de la aplicación de agua en continuo. Es decir, después de iniciar el riego, mostraron un incremento progresivo del contenido de agua en el suelo hasta un valor máximo próximo a saturación que se mantuvo casi estable hasta el cese del riego. Sin embargo, la evolución de los niveles de humedad registrados con sensores de capacitancia y TDR (datos a 10 cm de profundidad, Fig. 2) mostraron un patrón distinto. Después de haber detectado el frente húmedo cada sensor marcó un incremento progresivo de la humedad hasta un valor máximo y a partir del cual tiende a disminuir paulatinamente hasta valores estables, a pesar de que el caudal del gotero sea estable (Fig. 2).

Este comportamiento podría ser debido al reducido volumen de suelo explorado por los sensores de capacitancia, de forma que detectan el frente húmedo en una zona con un fuerte gradiente hidráulico, que provoca un aumento brusco de la humedad que posteriormente se estabiliza. Durante la aplicación de agua desde el emisor, el agua gravitacional dentro del volumen mojado se infiltra fácilmente hacia el frente húmedo donde la conductividad hidráulica no saturada es superior a la del exterior del mismo, lo que resulta que el contenido de humedad en el frente húmedo sea superior al resto del volumen mojado por el gotero.

A mayor profundidad, menor es la componente vertical del flujo de agua lo que reduce la velocidad del avance del frente húmedo. De esta forma se observa que el sensor más profundo es el que más tiempo tardó en marcar un valor de humedad constante durante el riego, debido a que la distancia entre los puntos en los que se establece el flujo es mayor (Fig. 2).

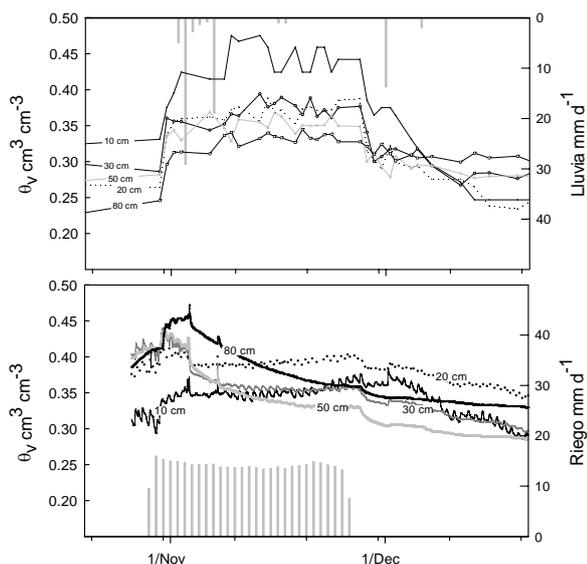


Fig.2. Evolución del contenido volumétrico de agua en el suelo medido a distintas profundidades con sonda de neutrones (arriba) y sonda capacitiva (abajo). Las barras verticales representan la lluvia acaecida y los riegos aportados durante el periodo del ensayo.

3.2. Evolución de la humedad en el suelo.

La Fig. 3 muestra la evolución en el tiempo de los niveles medios de humedad en el perfil hasta 80 cm, en las sondas situadas a 20, 60 y 100 cm. del emisor medidos con sonda de neutrones (SN) y sondas de capacitancia (SC). En primer lugar, la discrepancia entre los valores medidos con las dos sondas durante los primeros días del ensayo se ha descrito con detalles en el párrafo anterior. En segundo lugar, se observa que esta diferencia no es constante en el tiempo ni en el espacio. A 20 cm. del emisor los altos valores de humedad registrados con la sonda de capacitancia durante la primera semana se igualaron con los valores registrados con la sonda de neutrones durante las tres semanas siguientes (6-27 de noviembre) hasta el cese del riego cuando volvieron a marcar valores distintos. A 60 cm. del emisor se observa un patrón similar a lo anterior pero con unas diferencias más importantes entre los valores de las dos sondas y si observamos los valores a 100 cm. del emisor podemos observar que las diferencias son mayores.

Estas diferencias, variables en el tiempo y en el espacio, entre las dos sondas se deben al volumen de suelo explorado por cada sensor. La sonda de neutrones explora una esfera con un radio $R = 15\theta_v^{-1/3}$, lo que corresponde, en este suelo, a un radio mínimo de 19 cm. a saturación y máximo de 28 cm. en el punto de marchitez. La sonda de capacitancia explora un radio vertical de 5 cm. y un radio horizontal que varía entre 3 cm. a saturación y 15 cm. en suelo seco (Mounzer, 2005). Estas diferencias en el volumen de suelo explorado hacen que la sonda capacitiva sea más sensible al gradiente de humedad dentro del

volumen de suelo mojado mientras que la sonda de neutrones promedia el gradiente. Así observamos que después de una semana de riego y a 20 cm. del gotero las dos sondas llegaron a marcar lo mismo debido a que la distribución de humedad en el suelo llegó a ser homogénea.

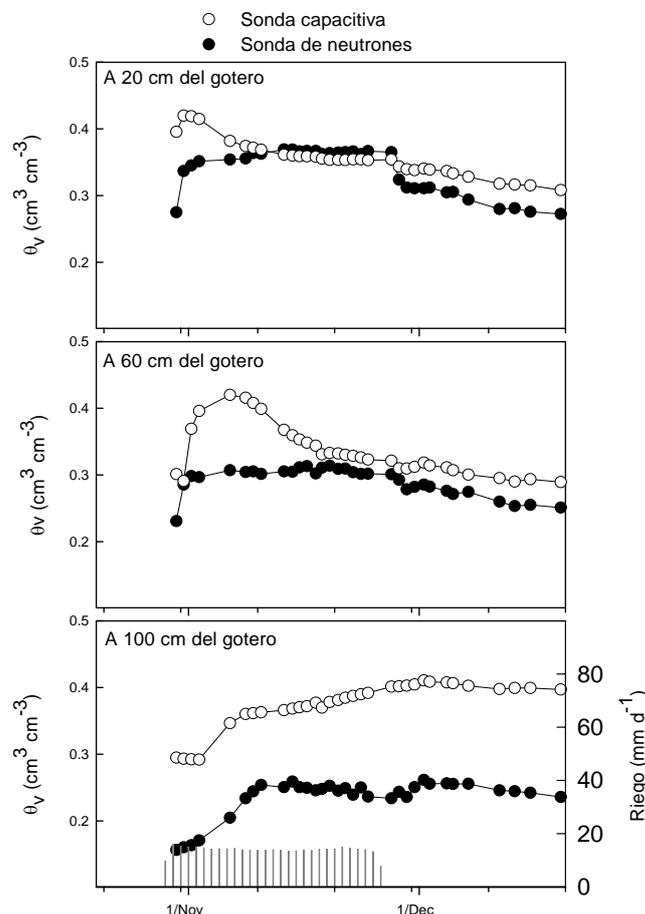


Fig.3. Evolución del contenido volumétrico de agua en el suelo (θ_v) medido con sonda de neutrones y sonda capacitiva a distintas distancia del gotero. Cada punto es el promedio de θ_v en el perfil de suelo de 0-80 cm. Las barras verticales representan los riegos aportados durante el periodo del ensayo.

3.3. Balance hídrico medido vs. estimaciones de SN y SC.

Los registros continuos de las entradas (Riego + Lluvia) y de las salidas (Drenaje + ET) fueron empleados para determinar las variaciones del contenido de humedad en el suelo mediante el cálculo del balance hídrico. Por otra parte, los datos obtenidos con sondas capacitivas y sondas de neutrones se ponderaron según su posición relativa al gotero para estimar las variaciones de humedad globales representativas de todo el marco. La Fig. 4 representa la evolución del contenido de humedad en el suelo determinada por los tres métodos antes descritos.

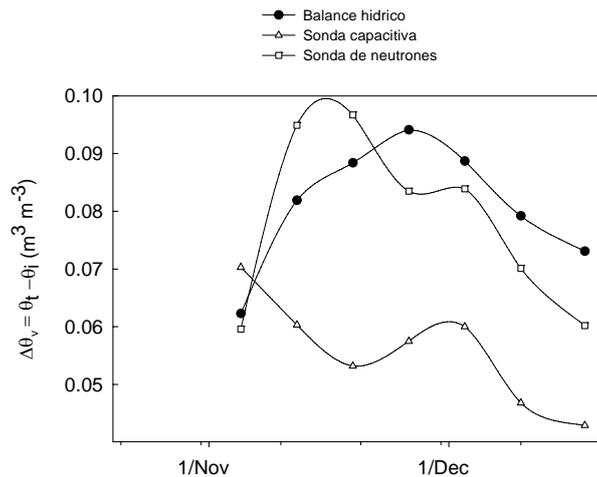


Fig.4. Evolución de los variaciones de humedad $\Delta\theta$, mediante los cálculos de balance hídrico (Entradas – Salidas) frente a los estimados con sonda de neutrones y sonda capacitativa.

4.- Conclusiones

Las sondas estudiadas (de capacitancia y de neutrones) registraron valores similares de humedad del suelo en situaciones de gradiente hidráulico nulo. Las diferencias encontradas entre ambos equipos de medida se registraron bajo condiciones de humedad no homogéneas, lo cual sucede a 60 cm y fundamentalmente a 100 cm del emisor, y pueden ser explicadas por el diferente radio de acción y por lo tanto volumen de suelo explorado en cada caso.

Agradecimiento: Este trabajo ha sido financiado con fondos del proyecto AGL2006-12914-C02-01 y del proyecto AEI/14212/06. Nuestro agradecimiento a la valiosa colaboración de Dña. M. García y Dña S. Álvarez.

Bibliografía

Allen, R.G., Pereira, R.S., Raes, D., y Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements*. Paper 56, FAO, Roma.

Brandt, A., Bresler, E., Diner, N., Ben-Asher, I., Heller, J., y Goldberg, D., 1971. Infiltration from a trickle source. I. Mathematical models. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35,675-682.

Bresler, E., 1978. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. *Irrig. Sci.*, 1, 3-17.

Coelho E.F., y Or., D., 1996. A parametric model for two-dimensional water uptake by corn roots under drip irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60, 1039-1049.

Coelho, E.F., y Or., D., 1999. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. *Plant Soil*, 206, 123-136.

Goldhamer, D.A. y Fereres, E., 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.*, 20, 115-125.

Hanson, R.B., Orloff, S., y Peters, D., 2000. Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. *Calif. Agric.*, 54, 38-42.

Mounzer, O.A., 2005. *Riego localizado de precisión en frutales de hueso: Prunus armeniaca L. y Prunus persica (L.) Batsch*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena.

Phene, C.J., Davis, K.R., Hutchmaker, R.B., Bar-Yosef, B., Meek, D.W. y Misaki, J., 1991. Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrig. Sci.*, 12, 135-140.

Starr, J.L. y Paltineanu, I.C., 1998. Soil water dynamics using multisensor capacitance probes in nontraffic interrows of corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 114-122.