

Medición de la humedad del suelo por reflectometría en el dominio temporal (TDR). Aplicación en irrigación

Héctor E. Quiñones Pedroza
Pierre Ruelle
Ildiko Nemeth

Cemagref, Francia

El conocimiento de la variación de la humedad del suelo es esencial para determinar la evapotranspiración real de los cultivos. Esta última, a su vez, permite conocer las cantidades necesarias de agua de riego. Los lisímetros, los tensiómetros y el aspersor de neutrones han sido ampliamente usados para la medición precisa de la humedad del suelo con propósitos de calibración de modelos de programación del riego o para su utilización directa en el cálculo de volúmenes de riego. A pesar de la importancia de tales mediciones, su uso es muy limitado debido a que estos métodos afrontan serios problemas (elevados costos de los lisímetros y del aspersor de neutrones, así como su severa reglamentación y el rango de validez limitado de los tensiómetros, etcétera) que dificultan su generalización; además, las mediciones de tales métodos generalmente son puntuales y discontinuas. La reflectometría en el dominio temporal (TDR) se presenta como una alternativa viable a tales métodos por su precisión y por la continuidad de las mediciones. En el presente trabajo se presenta la evaluación de la humedad del suelo por el método neutrónico y TDR en un cultivo de maíz irrigado por gravedad en surcos cerrados. Los resultados muestran que si bien las determinaciones absolutas de la humedad presentan diferencias en los perfiles de 30 a 90 cm, las variaciones de la humedad son similares en todos los casos y responden de manera consecuente a los aportes de agua y a la evapotranspiración. Se pone de manifiesto la limitación del aspersor de neutrones por la discontinuidad de las mediciones, en contraste con la continuidad de la TDR, que permite el análisis detallado de los fenómenos de infiltración y evapotranspiración a escalas instantáneas de tiempo.

Palabras clave: humedad del suelo, TDR, evapotranspiración, irrigación.

Introducción

La aplicación precisa y oportuna de la cantidad necesaria de agua de riego para un adecuado desarrollo de los cultivos, basada en principios científicos, adquiere mayor importancia a medida que la disponibilidad del agua es más limitada y onerosa, y que las demandas prioritarias de uso doméstico aumentan. Por otro lado, las presiones sociales de conservar el equilibrio ambiental inducen también a utilizar de manera eficiente el agua de riego; en el pasado inmediato, el uso poco eficiente del agua de riego ha provocado graves problemas de contaminación y degradación de la calidad de los mantos freáticos y de las corrientes superficiales, que son alimentadas con los efluentes y excedentes de las zonas de riego.

Para el manejo de los sistemas de riego es esencial conocer los requerimientos hídricos de los cultivos, los

cuales son variables en el tiempo y dependen de las condiciones ambientales y del estado de desarrollo de las plantas. Sin una adecuada programación de los aportes de agua en las cantidades correctas y en el momento oportuno, el agua de riego se utiliza de manera ineficiente. Por ello, conocer las necesidades de agua de los cultivos nos proporciona las bases y los elementos esenciales para la operación de los sistemas de riego.

La determinación de las necesidades hídricas de los cultivos, o evapotranspiración, se efectúa de manera directa a partir de mediciones en la variación de la humedad del suelo o de manera indirecta mediante estimación de las demandas de los cultivos en función de su estado de desarrollo y de las condiciones climáticas. Para la estimación se emplean fundamentalmente modelos de funcionamiento del complejo sistema clima-suelo-plantas, que no obstante deben ser valida-

dos con mediciones directas, es decir, la medición del estado hídrico del suelo es ineludible, independientemente del procedimiento empleado para la evaluación de las necesidades de agua de los cultivos.

Durante muchos años, la utilización de los lisímetros había sido el único método para aproximarse con precisión, de manera directa, al consumo de agua por las plantas, pero su empleo es muy oneroso y delicado (Allen y Fisher, 1990; Itier, 1994).

Una alternativa al uso de los lisímetros es la técnica del balance de masas, la cual ha afrontado siempre los problemas de la dificultad logística para la evaluación de los términos, así como la incertidumbre intrínseca a la gran variabilidad temporal y espacial de cada uno de los términos.

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

donde ΔS es la variación del contenido de humedad en el suelo, P es la precipitación, I es la irrigación, D es el drenaje y R es el escurrimiento.

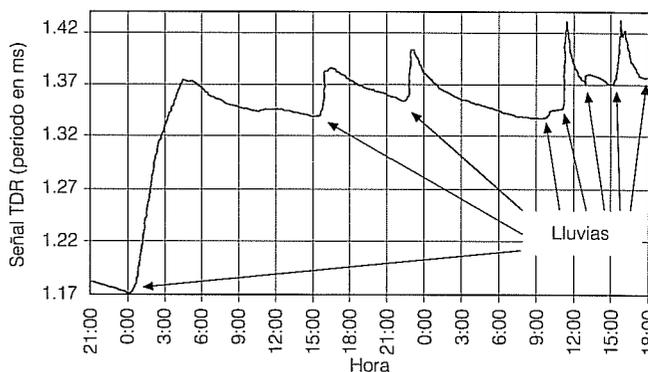
Para intervalos de tiempo cortos y en condiciones adecuadas de riego (humedad del suelo inferior a la capacidad de campo, en donde, de manera hipotética, no existiría ni drenaje ni escurrimiento) se puede considerar que la variación del contenido de humedad del suelo es igual que la evapotranspiración, esto es, se cumple:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -et \quad (2)$$

$$ET = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} - I - P \quad (3)$$

Para la determinación del contenido de humedad del suelo, un método ampliamente utilizado en la actualidad es la técnica destructiva del método gravimétrico, consistente en la extracción y secado de una muestra de suelo en una estufa; esta técnica, por su naturaleza, es poco práctica para el seguimiento preciso de la evolución de la humedad. Hoy día, dos métodos no destructivos han tenido una gran aceptación en el medio científico y se utilizan ampliamente para determinar la humedad del suelo; se trata de métodos basados en la atenuación de las radiaciones ionizantes por el suelo y de las propiedades dieléctricas del agua y del suelo. Los primeros, entre los que se encuentra el aspersor de neutrones y que es el más utilizado desde que fue propuesto por Van Bavel y Stirk (1967), son sometidos actualmente a limitaciones re-

Ilustración 1. Sensibilidad de la señal TDR a las variaciones de humedad del suelo. La gráfica corresponde a un sensor insertado a una profundidad de 10 cm, con una recepción cada segundo durante dos días (2,800 puntos), en los cuales ocurrieron ocho eventos pluviosos de duración e intensidades diferentes.



glamentarias cada vez más severas. Los segundos han tenido una gran difusión desde que fueron propuestos por Topp *et al.* (1980). La dificultad de adaptar los sensores (debido a sus dimensiones) para la evaluación continua del estado hídrico del suelo es su limitante fundamental.

El rápido desarrollo de la tecnología de la reflectometría en el dominio temporal y su aplicación en hidrología han permitido desarrollar procedimientos alentadores para la medición de la humedad del suelo de manera continua, gracias a la respuesta inmediata de la TDR a las variaciones de humedad causadas por las precipitaciones, riegos, evaporación y extracción continua del agua por la planta (ilustración 1).

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación de la dinámica de humedad del suelo mediante TDR y su comparación con la técnica de atenuación de la radiación ionizante (aspersor de neutrones).

Materiales y métodos

El sitio

La estación experimental se sitúa en el predio de Lavalette, al norte de Montpellier, Francia (43°40'N, 3°50'E, altitud de 30 m), sobre el río Lez. Los suelos son de origen aluvial y muy profundos de tipo limo-areno-arcillosos con 20.5% de arcilla, 25.9% de limos finos, 22.8% de arenas muy finas, 25.9% de arenas finas, y 4.9% de arenas gruesas.

El objetivo fundamental del experimento fue recolectar la información necesaria para realizar los balances hídrico y de nitrógeno en un cultivo de maíz rega-

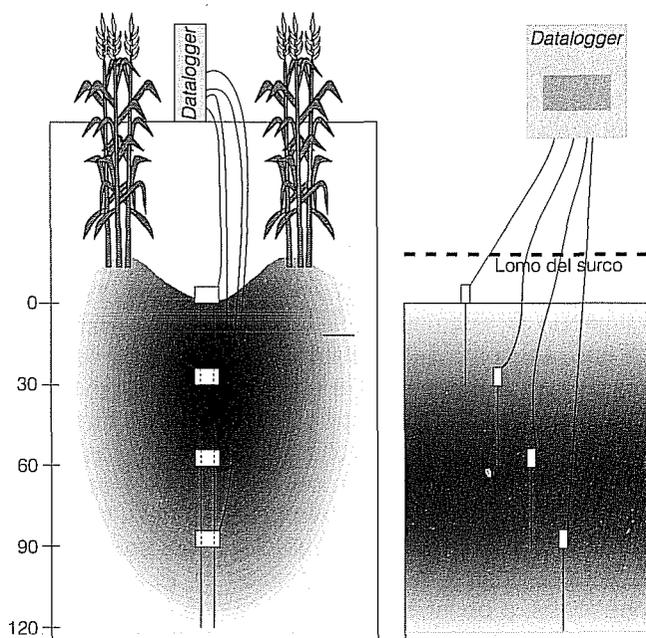
do por gravedad. Se utilizó la variedad de maíz llamada Samsara. Se sembró el 26 de mayo de 1999. Los resultados de la experimentación contribuirían a conocer las consecuencias del riego por gravedad sobre el rendimiento del cultivo y sobre los flujos de nitrógeno.

El riego se aplicó mediante tuberías de compuertas y en surcos cerrados espaciados a 80 cm. El control de la humedad se realizó con un aspersor de neutrones, por lo que se instalaron tubos de aluminio de acceso a la sonda del aspersor de neutrones. Las mediciones de humedad se realizaron cada 10 cm hasta una profundidad de 2.70 m, dos veces por semana y de preferencia los días previos y posteriores a cada riego. Los sensores TDR se colocaron dos metros aguas arriba de los tubos de aluminio, sobre el fondo del surco (ilustración 2).

Los sensores, el procesador de señales y la programación

Se utilizó un procesador de señales (*datalogger* en inglés) de tipo *Campbell Scientific CR10X* (la mención de marcas industriales en este documento es a título descriptivo y no implican compromiso por parte de los autores o del Cemagref), alimentado por corriente continua CD entre 9 y 16 V, de 18 entradas analógicas y dos contadores de impulsos, el cual tiene capacidad de adaptación de multiplexers, con un límite máximo

Ilustración 2. Esquema de implantación de los sensores en el campo.



de conexión de 512 sensores TDR CS615 simultáneamente (Campbell Scientific Inc., 1999).

Para el presente trabajo se conectaron cuatro sensores. El procesador se programó para interrogar los sensores cada 60 segundos y registrar una media aritmética cada hora.

El contenido de humedad del suelo en cada perfil se obtuvo mediante la ecuación (Quiñones y Ruelle, 2001):

$$\theta = -0.5963 + 0.09412T - 0.1877 T^2 \quad (4)$$

A fin de resaltar los márgenes de error en la determinación de la humedad del suelo empleando ecuaciones de calibración generales, se evaluó también la ecuación propuesta por el fabricante de los sensores (Campbell Scientific Inc., 1999):

$$\theta = -0.187 + 0.037T + 0.335 T^2 \quad (5)$$

donde θ , tanto en la ecuación 4 como en la ecuación 5, es el contenido de humedad volumétrico y τ es el periodo en milisegundos.

Mediciones neutrónicas

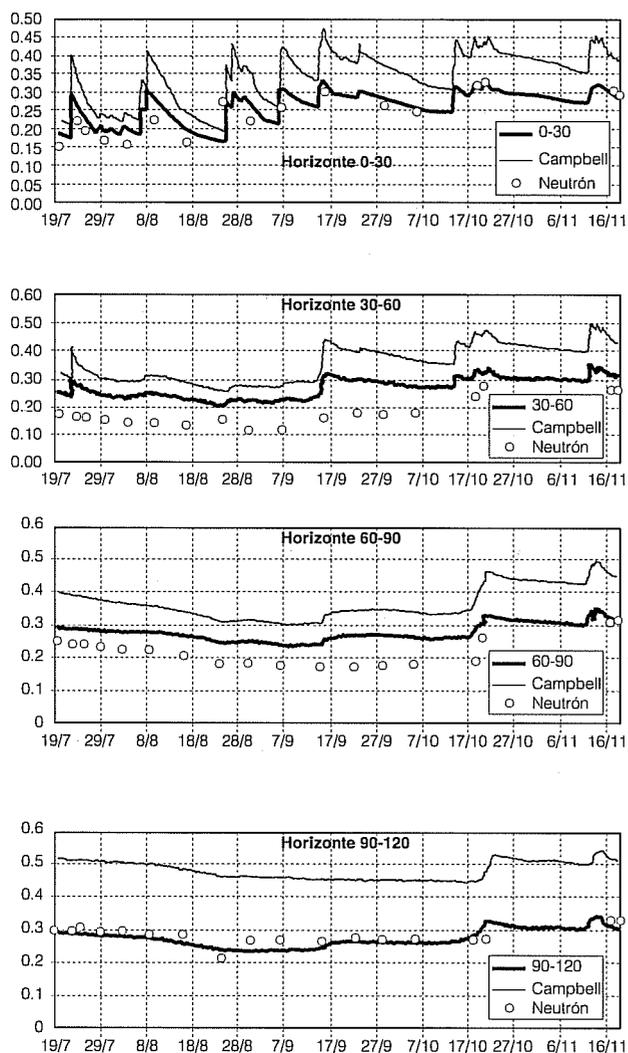
Para la medición de la humedad por atenuación de rayos ionizantes se utilizó un aspersor de neutrones (*Solo 25 Nardeux*, Francia) mediante el cual se efectuaban lecturas cada 10 cm al interior de un tubo metálico implantado a una distancia de dos metros de los sensores TDR.

Resultados

Comparación de mediciones TDR y neutrónicas

La ilustración 3 muestra la evolución de la humedad del suelo medida con el aspersor de neutrones y por TDR. Para este último procedimiento se emplearon las dos ecuaciones de calibración señaladas anteriormente: ecuaciones 4 y 5 (Quiñones y Ruelle, 2001; Campbell Scientific Inc., 1999). En contraste con las mediciones neutrónicas, ampliamente utilizadas en este mismo suelo y con resultados validados por gravimetría, la diferencia observada pone de manifiesto la importancia de las calibraciones particulares de la TDR para las condiciones de utilización. Aunque ambas curvas reflejan bien la dinámica de la humedad, la diferencia en los contenidos totales de humedad son considerables (y no realistas en el caso de la ecuación general, con humedades superiores a 50 por ciento).

Ilustración 3. Evolución del contenido de humedad del suelo θ (mediciones TDR calibrado *in situ*, TDR con calibración general y neutrónicas) para los perfiles de 0 a 30, de 30 a 60, de 60 a 90 y de 90 a 120 cm durante el periodo de desarrollo del maíz.



En relación con las diferencias entre las humedades obtenidas por el aspersor de neutrones y por TDR calibrada *in situ*, se observa una correlación muy estrecha en los valores absolutos para los horizontes superficial (de 0 a 30) y el de mayor profundidad (de 90 a 120). Para los otros horizontes (de 30 a 60 y de 60 a 90), la correlación es menos estrecha, pero sistemática, respecto a los valores de humedad; sin embargo, la respuesta de ambos métodos a las aportaciones de humedad y desecación, así como de la evolución, son similares.

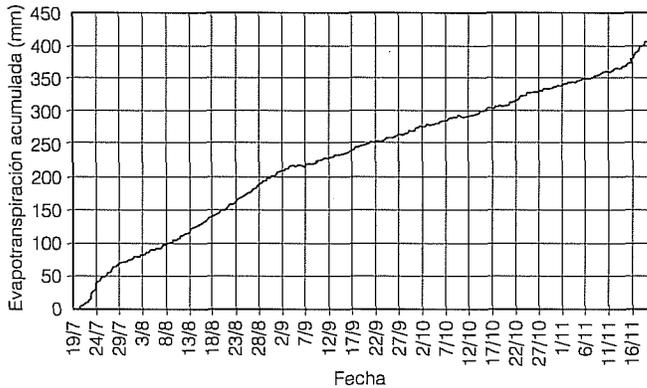
La diferencia en cuanto a los valores absolutos de humedad pueden explicarse por el efecto intrínseco de la naturaleza de cada procedimiento: a) La TDR de-

termina con precisión la humedad media del suelo contenida en el cilindro de longitud igual a la longitud de las varillas de guía de onda y de radio aproximado a la distancia entre las dos varillas (0.000965 m^3); los sensores se colocaron en el fondo del surco, en donde por la geometría misma del surco, la humedad se concentra en esa zona, lo que no sucede en las proximidades de las raíces del maíz, que son el factor más importante de la desecación del suelo. Es de suponer que para cualquier instante existe un gradiente de humedad perpendicular al eje del surco, a partir del eje de la raíz o del tallo. En otras palabras, aun en ausencia de surcos, la zona menos húmeda se encontraría en la zona media entre dos hileras de maíz (que es el caso de la posición de los sensores). El efecto de la geometría del surco se adiciona al efecto de distribución de las raíces. b) En relación con el aspersor de neutrones, las lecturas obtenidas corresponden a una esfera de radio de aproximadamente 50 cm (3.2 cm para la TDR, ilustración 7); el volumen cubierto es de 0.06545 m^3 (0.000965 m^3 para la TDR), lo que significa que el aspersor de neutrones cubre un volumen 68 veces mayor que la TDR y que sólo 1/40 (la correspondiente al centro del surco) de ese volumen tiene una humedad equivalente a la evaluada por TDR; el resto del volumen corresponde a la parte de mayor extracción radicular próxima al eje del tallo.

Evolución de la humedad del suelo por TDR

Aunque los sensores (colocados cada 30 cm en el sentido vertical, ilustración 2, impuesta por la configuración de los mismos) integran la humedad del suelo en términos medios, los resultados de la ilustración 3 muestran diferencias claras de desecamiento y humectación del suelo para cada perfil. Los datos reflejan de manera aceptable la dinámica de las múltiples secuencias de infiltración y desecamiento. En términos medios, las variaciones de la humedad en los 60 cm superficiales siguen el mismo comportamiento que las mediciones lisimétricas, de forma similar a las reportadas por Evett *et al.* (1993) y Mastroianni *et al.* (1998), incluyendo la respuesta a la infiltración y al desecado diurno, así como a la redistribución de las humedades nocturnas. A diferencia de otros métodos de medición que alteran el medio circundante y de difícil manipulación (el aspersor de neutrones, por ejemplo), los sensores TDR conectados al procesador de señales permiten medir con precisión las variaciones de la humedad del suelo durante el día a cualquier intervalo de tiempo deseado, desde 1/64 s (ilustración 1). El aspersor de neutrones, a pesar de tener una buena calibración, es muy impreciso para estimaciones diarias debido a la

Ilustración 4. Evapotranspiración del maíz durante el periodo de desarrollo. El intervalo de cálculo es de una hora.

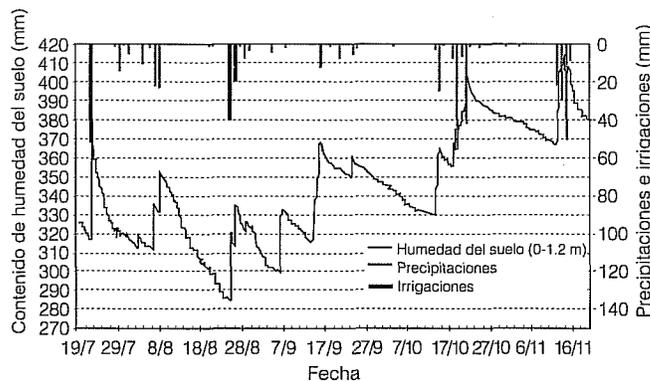


poca sensibilidad a las pequeñas variaciones observadas. En caso de presentarse lluvia o riego es imposible hacer medidas en campo antes de 24 horas, tiempo en el que ocurre la mayor parte de la percolación y redistribución de la humedad.

Determinación de la evapotranspiración

Para determinar el volumen total de agua en el suelo se integraron los volúmenes parciales correspondientes a cada perfil (desde la superficie hasta los 120 cm) y se procedió a obtener la gráfica de la ilustración 5. Las variaciones del volumen total del suelo (hasta los 120 cm) se expresan en mm, unidad compatible con la utilizada convencionalmente para medir la evapotranspiración, que se determina a partir de la ecuación 3 como la suma total de las variaciones de la humedad del suelo en ausencia de aportes. Este cálculo permite la determinación precisa de las cantidades de riego en

Ilustración 5. Evolución del contenido de humedad del suelo durante el periodo de crecimiento del maíz.



tiempo real. Así, en la ilustración 6 se presenta en detalle el comportamiento de la humedad del suelo (i.e. un acercamiento en la escala del tiempo de la ilustración 4), que una gráfica del tipo tradicional (diario, semanal o mensual) no permite observar, como por ejemplo la clara correlación entre la variación de la humedad horaria y la evolución de la radiación solar global, factor relevante en la evapotranspiración potencial.

El análisis detallado de este tipo de gráficas pone en relieve varios aspectos:

- a) La posibilidad de la determinación fina de las relaciones entre la evapotranspiración real y la evapotranspiración potencial (Penman, 1948), llamado factor K_c .
- b) La observación del proceso evapotranspirativo y la influencia de los factores que lo determinan, como la radiación solar (ilustración 6).
- c) La redistribución de la humedad del suelo a partir de la supresión de la transpiración desde el ocaso hasta seis horas después (ilustración 6).

Variación del contenido de humedad del suelo en periodos cortos

La medición de la evapotranspiración a intervalos inferiores a una hora raramente son reportados en la literatura por la dificultad de validar los resultados con mediciones de humedad del suelo (Allen *et al.*, 1994a; Allen *et al.*, 1994b).

El control de la humedad del suelo con sensores TDR conectados a procesadores automatizados (*data-*

Ilustración 6. Evolución de la humedad del suelo durante tres días soleados (22, 23 y 24 de septiembre de 1999). La evapotranspiración potencial calculada por el método de Penman (1948) corresponde a 4.8, 4.7 y 3.8 mm, respectivamente.

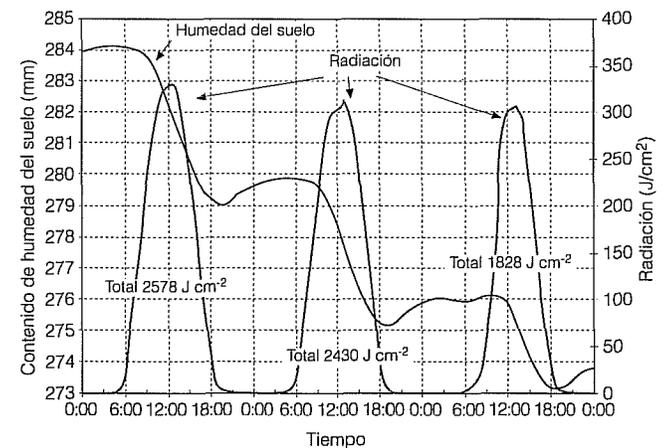
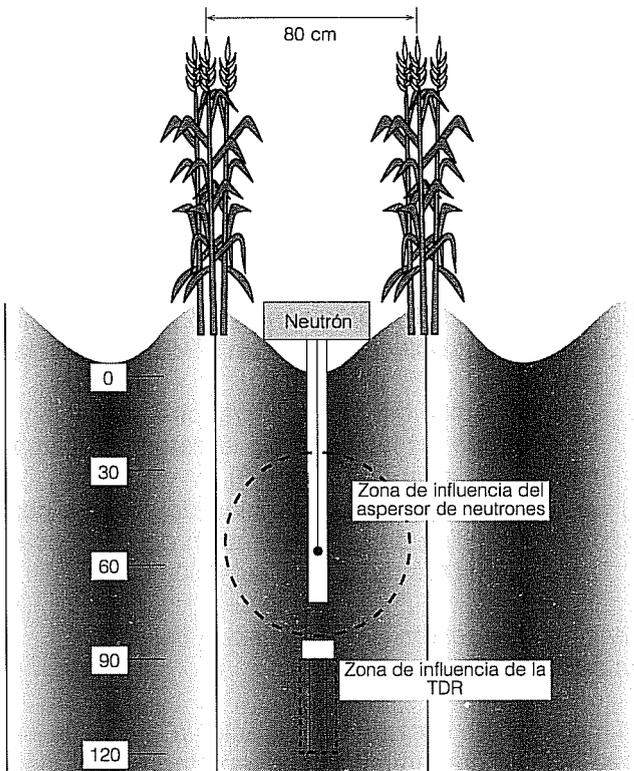


Ilustración 7. Esquema comparativo de las zonas de influencia del aspersor de neutrones y de la TDR.

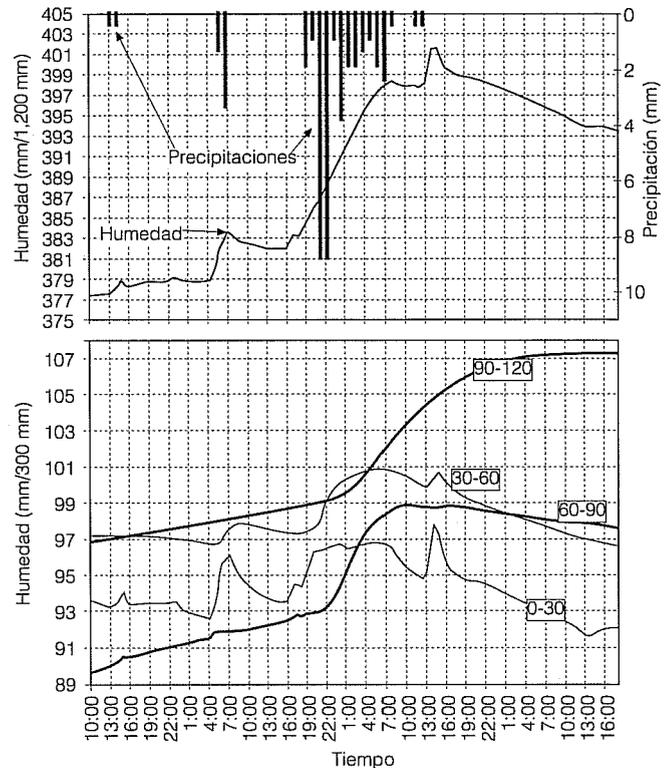


loggers) permite obtener la información a la escala temporal deseada, sin menoscabo de su fiabilidad ni el incremento en los costos. La mayor limitante sería la capacidad de memoria disponible (300 Kb para el experimento presentado con cuatro sensores interrogados cada minuto y reportados cada hora, durante todo el periodo de desarrollo del cultivo. Con la información comprimida se reduce a 70 Kb). Los instrumentos de cálculo actuales poseen, en promedio, capacidades de memoria de 10,000,000 Kb (10 Gb). Los discos de 3.25" tienen una capacidad de 1.4 Mb, por lo que el problema de memoria está resuelto.

La ilustración 5, simple en apariencia, contiene un total de 2,830 puntos, lo que significa que puede analizarse en detalle cualquier periodo del desarrollo del cultivo de especial interés. Por otra parte y a manera de ejemplo se presenta la ilustración 6, a través de la cual se puede observar el efecto de la radiación global sobre la variación de la humedad.

La ilustración 8 permite hacer un análisis detallado del efecto de las lluvias de baja intensidad (lluvias del 20 y 21 de agosto entre las 16:00 y las 10:00 horas) sobre la velocidad de infiltración del suelo y las variaciones de humedad de cada perfil, en contraposición con

Ilustración 8. Efecto de un periodo lluvioso (19, 20, 21 y 22 de agosto de 1999) sobre el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades. Total de precipitaciones: 44 milímetros.



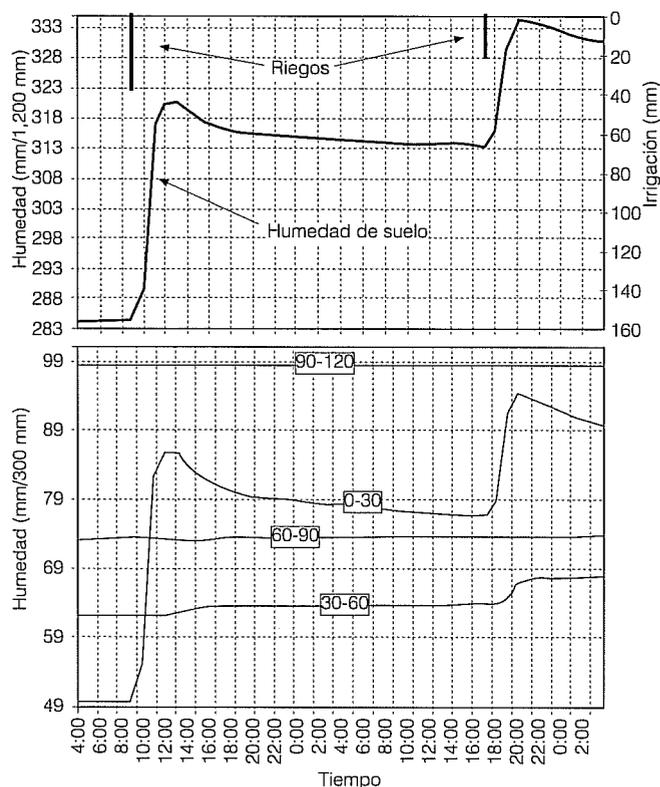
el efecto de la humectación mediante irrigación (ilustración 9).

En los riegos solamente se humecta la capa arable del suelo. El riego del 25 de agosto de 1999 se dividió en aplicaciones de dos días para aumentar la eficiencia. La parte aplicada el 25 de agosto humectó solamente la zona arable (de 0 a 30 cm) y ligeramente la capa de 30 a 60 cm, mientras que el riego del 26 de agosto humectó de forma más sensible la capa de 30 a 60 centímetros.

Conclusiones

La determinación precisa de la evapotranspiración a escalas de tiempo inferiores a una hora mediante las técnicas de medición de la humedad del suelo por TDR presentan un potencial atractivo. Las humedades medidas por los métodos neutrónicos, ampliamente utilizados y aceptados, y por TDR son prácticamente iguales para los horizontes superficial y profundos, y se observan diferencias sensibles para las profundidades de 30 a 60 y de 60 a 90 cm. Sin embargo, en la determinación de la evapotranspiración, la humedad

Ilustración 9. Efecto de la aplicación del riego sobre el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades.



del suelo pierde relevancia, puesto que es la variación de la humedad y no la humedad misma la variable de integración (ecuación 2).

A partir de los resultados, se presume que la sustitución de la técnica neutrónica por la TDR no sólo es posible, sino que además se puede automatizar con las ventajas inherentes en la cobertura espacial y temporal de las mediciones.

Este trabajo presenta los elementos fundamentales para correlacionar mediciones directas de la variación de la humedad del suelo con otras variables.

Las variables ambientales (velocidad del viento, temperatura, radiación, humedad relativa) y de tipo fisiológico han sido utilizadas desde hace muchos años para estimar la evapotranspiración (Penman, 1948) mediante balances energéticos a escalas mensuales y diarias (Allen *et al.*, 1994a), pero gracias a tecnologías recientes, sólo hasta ahora es posible confrontarlas a mediciones directas y simultáneas de la humedad del suelo, a escalas temporales deseadas, inclusive inferiores a un segundo.

Además, y en complemento de otros trabajos (Evet *et al.*, 1993), se proporcionan los elementos de base para las mediciones a la escala espacial deseada mediante el uso de los procesadores de señales (*dataloggers*) y conectores múltiples (*multiplexers*).

Recibido: 08/06/2000

Aprobado: 30/01/2001

Referencias

- Allen, R.G. y D.K. Fisher, "Low-Cost Electronic Weighting Ly-simeters", *Transactions of the ASAE*, vol. 33, núm. 6, 1990, pp. 1823-1833.
- Allen, R.G., M. Smith, A. Perrier y L.S. Pereira, "An Update for the Definition of Reference Evapotranspiration", *ICID Bulletin*, vol. 43, núm. 2, 1994a, pp. 1-34.
- Allen, R.G., M. Smith, A. Perrier y L.S. Pereira, "An Update for the Calculation of Reference Evapotranspiration", *ICID Bulletin*, vol. 43, núm. 2, 1994b, pp. 35-92.
- Campbell Scientific Inc., "CS615 Water Content Reflectometer", *User Guide*, 1999.
- Evet, S.R., T.A. Howell, J.L. Steiner y J.L. Cresap, "Evapotranspiration by Soil Water Balance Using TDR and Neutron Scattering", 1993, pp. 914-921, en Allen, R.G. y C.M.U. Neale (editores), "Management of Irrigation and Drainage Systems, Integrated Perspectives", Am. Soc. Civil Engr., *Proceedings of the National Conference on Irrigation and Drainage Engineering*, Nueva York.
- Itier, B., "Measurement and Estimation of Evapotranspiration", *Sustainability of Irrigated Agriculture*, NATO Workshop, Kluwer, NATO ASI Series, Vimeiro, Portugal, marzo de 1994, pp. 1-25.
- Mastrorilli, M., N. Katerji, G. Rana y N.B. Ben, "Daily Actual Evapotranspiration Measured with TDR Technique in Mediterranean Conditions", *Agric. for. Meteorol.*, vol. 90, 1998, pp. 81-89.
- Penman, H.L., "Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass", *Proc. Roy. Soc. London*, A193, 1948, pp. 120-146.
- Quiñones, P.H. y P. Ruelle, "Operative Calibration Methodology of a TDR Sensor for Soil Moisture Monitoring under Irrigated Crops", *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, vol. 2, núm. 1, 2001, pp. 31-45.
- Topp G., C., J.L. Davis y A.P. Annan, "Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines", *Water Resour. Res.*, vol. 16, núm. 3, 1980, pp. 574-582.
- Van Bavel, C.H.M. y G.B. Stirk, "Soil Water Measurement with and Am-Be Neutron 241 Source and an Application to Evaporimetry", *J. Hydrology*, vol. 5, 1967, pp. 40-46.

Abstract

Quiñones Pedroza, H.E., P. Ruelle & I. Nemeth, "Soil Moisture Measurement through Time Domain Reflectometry (TDR). Irrigation Application", *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*, vol. XVII, num. 1, pages 5-12, January-March, 2002.

Knowledge of how moisture varies in the soil is essential to determine the actual rate of evapotranspiration in crops and, thus, the amount of water necessary for irrigation. Lisimeters, tensiometers and the neutron probe have been widely used for precise measurement of soil moisture in order to calibrate models of irrigation scheduling or to calculate volumes of irrigation water. Despite the usefulness of such measurements, these methods have limited use because of problems like high cost of lisimeters and neutron probes as well as their strict regulation, limited range of validity of tensiometers. Moreover, the measurements obtained from these methods generally describe noncontinuous points in time. Time Domain Reflectometry (TDR) is a viable alternative to such methods because of its precision and the continuity of its measurements. This study evaluates soil moisture, using the neutron and TDR methods in maize crop irrigated by gravity in closed furrows. The results show that even though the absolute determinations of moisture are different in the 30-90 cm profiles, moisture variations were similar in all cases and respond consequently to the additions of water and to evapotranspiration. Neutron probe drawback becomes evident on its non-continuous measurements contrasting with the continuous measurements of TDR, which allows a detailed analysis of the infiltration and evapotranspiration phenomena at instantaneous time scales.

Key words: soil moisture, Time Domain Reflectometry, evapotranspiration, irrigation.

Dirección institucional de los autores:

Héctor E. Quiñones Pedroza
Pierre Ruelle
Ildiko Nemeth

361 J. F. Breton
34033 Montpellier, Cedex 1
Francia.
Correo electrónico: quinones@altern.org