

# Riego digitalizado. Sensores de humedad de suelo

Rosa M. Rodríguez González. Ingeniero Agrónomo, directora de Efi-Riego. Consultoría Agrícola





**FIGURA 1.** Imagen de un registrador de datos (datalogger) y un pluviómetro instalado en uno de los demostradores utilizados en el proyecto EFFIREM. En la página anterior, un sensor de humedad de suelo, en el momento de su instalación, antes de taparlo para devolver el terreno a su estado inicial.

Conocer CUÁNTO, CUÁNDO y CÓMO regar es una necesidad de todo profesional relacionado con el riego. Actualmente las nuevas tecnologías nos aportan herramientas que nos permiten dar respuesta a estas cuestiones.

La disponibilidad de secuencias temporales de imágenes de satélite permite responder a la pregunta de CUÁNTO regar. Es posible conocer el índice de vegetación de cada pixel (10x10 m) de la parcela. Como éste está linealmente relacionado con el coeficiente de cultivo (Kc), se puede aplicar la metodología FAO 56 (Allen et al., 1998) para el cálculo de necesidades hídricas de cualquier cultivo, pero con información real, periódica y en detalle sobre la evolución de la cubierta vegetal de cada unidad de riego.

La digitalización del riego mediante sensores de humedad de suelo de tipo capacitivo permite dar respuesta a las otras dos preguntas: CUÁNDO y CÓMO regar, de forma que se aproveche al máximo el agua utilizada y aporta una herramienta para demostrar el uso sostenible realizado. A lo largo de este artículo se ex-

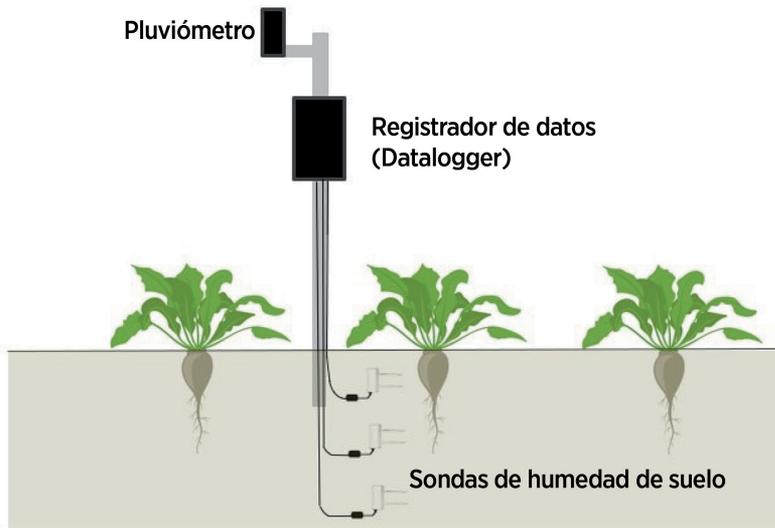
plica en qué consiste esta tecnología y la forma en que la consultoría agrícola, Efi-Riego, la utiliza en sus asesoramientos desde 2013. Esta metodología se ha utilizado dentro del proyecto EFFIREM, cuyo objetivo es la reducción del consumo de agua en agricultura y el uso eficiente de la energía.

## MONITORIZACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO

En el marco del proyecto EFFIREM se han instalado equipos de monitorización de la humedad del suelo para registrar en continuo la evolución del agua disponible para la planta (ADP) en tres parcelas de los demostradores. Cada equipo de monitorización (Figura 2) ha estado formado por un registrador de datos con comunicación vía GPRS, un pluviómetro y tres sondas de humedad de suelo de tipo capacitivo instaladas a tres profundidades (15, 30 y 40 cm). Las sondas instaladas a 15 y 30 cm de profundidad registran la zona de mayor actividad radicular y la situada a 40 cm de profundidad se utiliza para intentar que los riegos no eleven la humedad hasta ese nivel. Aunque muchos cultivos en teoría son capaces de extraer agua de 40 cm de profundidad, en la práctica se observa que, en la mayoría de los casos, no lo hacen, bien por encontrarse en óptimas condiciones de riego, o bien porque las características del suelo les dificulta mucho su extracción.

Esto permite programar el riego de manera que el agua humedezca la zona radicular, sin alcanzar zonas más profundas, lo que va a permitir ahorrar agua, ahorrar en costes energéticos asociados al riego y evitar la contaminación por lixiviados. En resumen, se trata de aportar el agua necesaria para que ésta profundice sólo hasta donde más se necesita, evitando excesos.

Para obtener la información adecuada para el manejo del riego, es importante la elección de la ubicación de los sensores. Se debe elegir un punto representativo, es decir, cuyas características sean las que predominen en el sector de riego. Para hacer esta elección, hay que basar-



**FIGURA 2.** Esquema de un punto de control de humedad del suelo, formado por 3 sondas de humedad de suelo, un registrador de datos que envía la información vía GPRS y un pluviómetro para detectar los aportes de agua (riego o lluvia). Los dos sensores más superficiales aportan información de la zona de mayor actividad radicular. El tercer sensor, colocado a mayor profundidad, mide el contenido de humedad fuera de la zona de mayor influencia de las raíces.

**TABLA 1.** Valores representativos de las propiedades físicas del suelo según texturas (Schwab, 1996).

se principalmente en el conocimiento de la parcela del propio agricultor, en la observación visual, y de forma más precisa, esta decisión se puede apoyar en tecnologías como las imágenes de satélite, obteniendo un mapa de zonas de la parcela.

A la hora de realizar la instalación en campo, hay que conseguir que los sensores estén en íntimo contacto con el suelo, evitando que queden bolsas de aire y que entren en contacto con piedras, tratando de alterar lo menos posible el terreno.

Tras realizar la instalación de los sensores, el manejo del riego se debe realizar de la forma habitual. Generalmente, después de uno o dos riegos, se pueden establecer los valores de referencia necesarios para determinar el porcentaje de agua disponible para la planta en cada momento.

### METODOLOGÍA

Las sondas de humedad de tipo capacitivo estiman la humedad a través de una propiedad física, denominada permitividad compuesta del suelo ( $\epsilon$ ), que engloba las tres fases de éste (agua, aire y sólidos). Debido a que el valor de la permitividad del agua (80) es muy superior a la del aire (1) y a la de los sólidos (2-5), pequeñas variaciones de la humedad provocan cambios importantes en el valor de esta propiedad, lo que permite estimar el contenido volumétrico de agua en el suelo. En concreto, las sondas TERSO10 (utilizadas en los demostradores) utilizan un campo electromagnético para medir la permitividad compuesta del medio circundante. El sensor suministra una onda oscilante de 70 MHz a las agujas del sensor, que se cargan según el dieléctrico del material que las rodea. El tiempo de carga es proporcional al dieléctrico y al contenido de humedad del suelo. Posteriormente, el valor bruto obtenido se convierte en contenido volumétrico de agua (CVA) mediante una ecuación de calibración.

El contenido volumétrico de agua (CVA) se expresa como la relación entre el volumen de agua y el volumen total del suelo ( $\text{cm}^3$  de agua/ $\text{cm}^3$  de suelo). Existen diversos trabajos que aportan valores representativos de las propiedades físicas del suelo según su textura, como el mostrado en la Tabla 1, donde se observa que un determinado valor de contenido volumétrico de agua (p.e.  $0,21 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) puede referirse a un suelo a capacidad de campo si su textura es fran-

TEXTURA	POROSIDAD (%)	DENSIDAD APARENTE (G/CM <sup>3</sup> )	CAPACIDAD DE CAMPO (CM <sup>3</sup> /CM <sup>3</sup> )	PUNTO DE MARCHITEZ (CM <sup>3</sup> /CM <sup>3</sup> )
Arenosa	32-42	1,65	0,15	0,08
Franco-arenosa	40-47	1,50	0,21	0,12
Franca	43-49	1,40	0,31	0,17
Franco-arcillosa	47-51	1,35	0,36	0,18
Limo-arcillosa	49-53	1,30	0,40	0,20
Arcillosa	51-55	1,25	0,44	0,21

co-arenosa o un suelo en punto de marchitez, si es de textura arcillosa. Por este motivo, dado que se han colocado sondas a tres profundidades, y que normalmente existe variación de la textura y otras propiedades de los suelos a las distintas profundidades, se transforman los valores de contenido volumétrico de agua a valores de agua disponible para la planta (ADP). Para ello, se observa la evolución del contenido volumétrico de agua con los primeros riegos, se establece para cada profundidad el valor de contenido volumétrico de agua a capacidad de campo, y por combinación de datos bibliográficos y observación se estima también el contenido volumétrico de agua en punto de marchitez, para finalmente, estimar el porcentaje de ADP que contiene el suelo en cada momento, y para cada profundidad, según la Ec. 1.

$$\% ADP = \frac{\theta - \theta_{PM}}{\theta_{CC} - \theta_{PM}} \cdot 100$$

Donde,

$\theta$ , es el contenido volumétrico de agua del suelo en un momento determinado ( $m^3/m^3$ ).

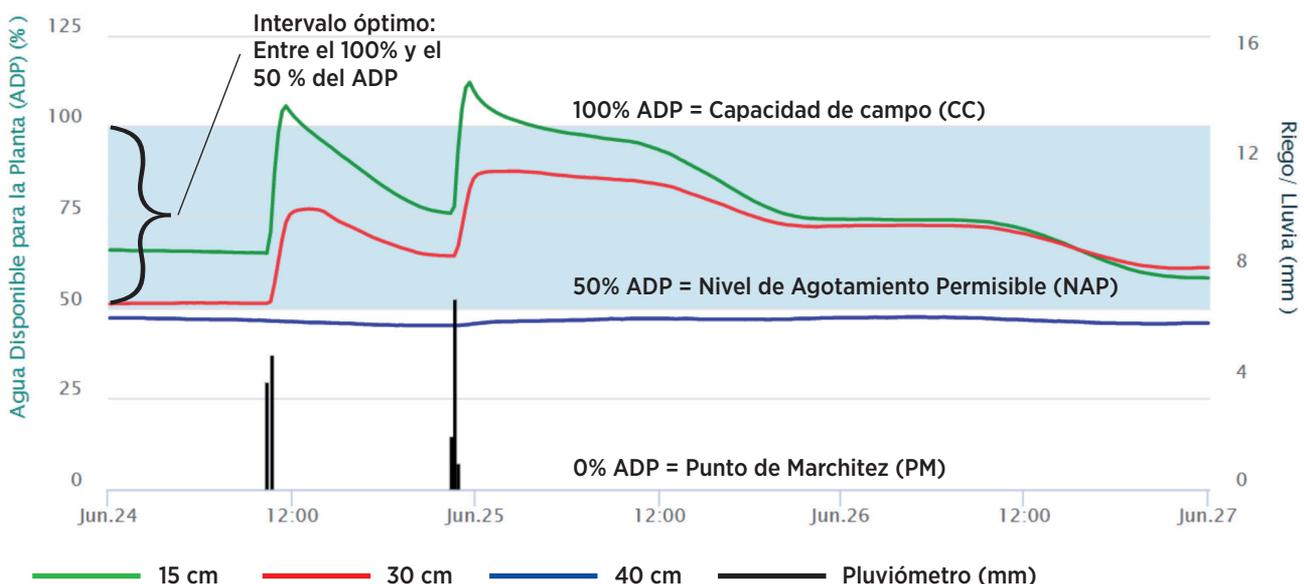
$\theta_{PM}$ , es el contenido volumétrico de agua del suelo en el punto de marchitez ( $m^3/m^3$ ).

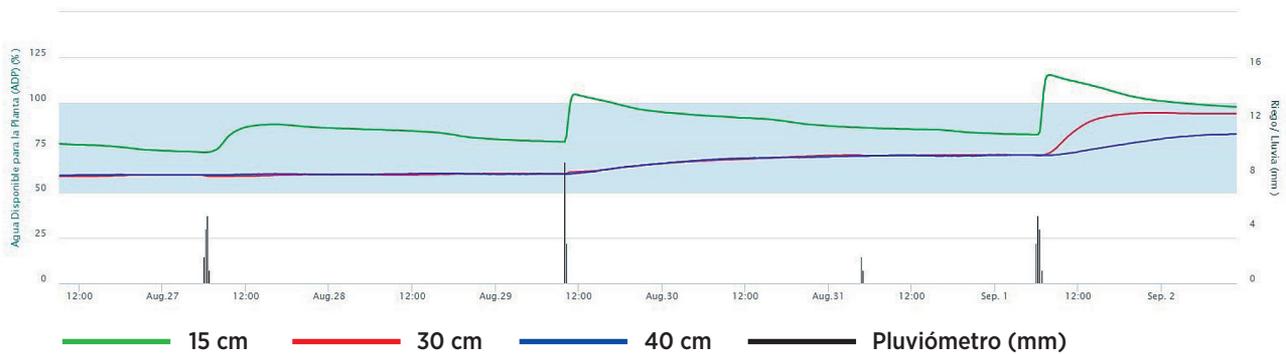
$\theta_{CC}$ , es el contenido volumétrico de agua del suelo a capacidad de campo ( $m^3/m^3$ ).

Dado que el Punto de Marchitez es el contenido de humedad al que la planta ya no es capaz de extraer más agua, mucho antes de alcanzar este punto, la planta ya está sufriendo estrés hídrico. Por ello, para que el cultivo se desarrolle en las condiciones óptimas, se establece un Nivel de Agotamiento Permisible (NAP), que corresponderá al porcentaje de ADP que se permitirá que se agote del suelo, en este caso, el 50% del ADP. El nivel de humedad comprendido entre el NAP y capacidad de campo es el intervalo óptimo de humedad del suelo (Figura 3).

La gráfica de la Figura 4 se ha enviado el día 2 de septiembre de 2022 al agricultor de uno de los demostradores. Cada agricultor recibe a diario una gráfica similar, que abarca un periodo de 7 días. Como la información se recibe a diario, en realidad cada día el agricultor se va a fijar principalmente en la parte derecha de la gráfica, donde aparece la información de los datos registrados en las últimas 24 horas. Esto permite conocer a diario (incluso varias veces al día si así se quisiera) el nivel de agua disponible para la planta (ADP) que presenta el suelo, así como el efecto producido por cada aporte de agua realizado, de forma que se puedan tomar decisiones sobre la idoneidad de mantener la dosis de riego, aumentarla o reducirla, así como el momento más adecuado para dar el siguiente riego.

**FIGURA 3.** Gráfica de agua disponible para la planta (ADP)

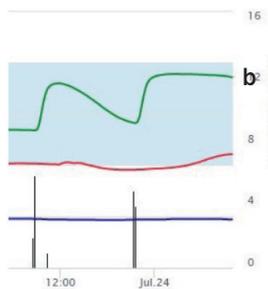
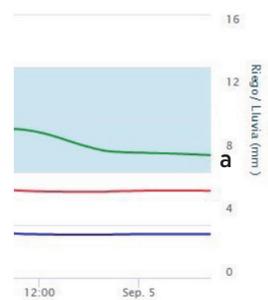




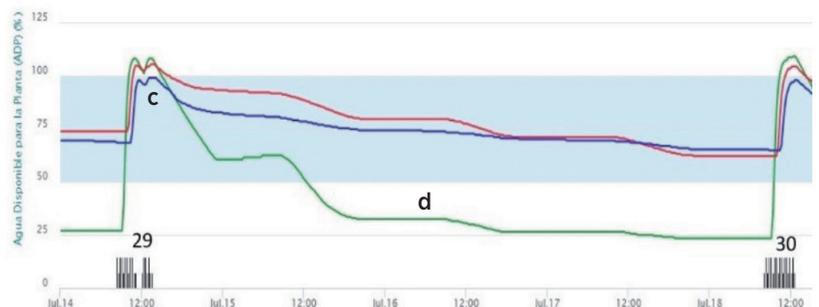
**FIGURA 4.** Gráfica de seguimiento de la evolución del suelo del día 2 de septiembre enviada al agricultor de uno de los demostradores. En la gráfica se muestra la aportación de 3 riegos que elevan la humedad a 15 cm de profundidad sin apenas elevar la humedad del suelo a 40 cm, de forma que en esta semana no se produjeron pérdidas por percolación.

A continuación, se indican algunos de los efectos que pueden ser detectados con los sensores de humedad de suelo y la acciones que se pueden tomar al respecto (figura 5):

- a. Si la línea que representa el sensor de 15 cm de profundidad (línea verde) se acerca a la zona inferior marcada como intervalo óptimo (50% del ADP) es necesario REGAR.
- b. Si la línea que representa el sensor de 15 cm de profundidad (línea verde) está próxima a la zona superior marcada como intervalo óptimo (100% del ADP) no se debe REGAR.
- c. Si los riegos hacen aumentar la línea que representa al sensor de 40 cm de profundidad (línea azul) conviene reducir la duración de los riegos (es decir, reducir la dosis aportada en un riego).
- d. Si entre dos riegos consecutivos, el ADP a 15 cm baja del intervalo óptimo, convendría disminuir el intervalo entre riegos.



**FIGURA 5.** Algunas decisiones que se pueden adoptar a partir de la información aportada por los sensores de humedad de suelo: a) REGAR, b) NO REGAR, c) Reducir la dosis de riego, d) Disminuir el intervalo entre riegos.



**REFERENCIAS**

Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. In Irrigation and Drainage Paper No. 56 (FAO, Issue 56). FAO.

Schwab, G.O., Fangmeier D.D. y Elliot, WJ., 1996. Soil and Water Management Systems. New York: John Wiley & Sons.



**Unión Europea**  
Fondo Europeo Agrícola  
de Desarrollo Rural  
*Europa invierte en las zonas rurales*



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, PESCA  
Y ALIMENTACIÓN



**PNDR**  
Programa Nacional  
de Desarrollo Rural  
2014-2020

## EFFIREM

Reducción del coste energético del riego en remolacha  
mediante eficiencia energética y reducción del  
consumo de agua

### Actuación cofinanciada por la Unión Europea



**Unión Europea**  
Fondo Europeo Agrícola  
de Desarrollo Rural

*Europa invierte en las zonas rurales*

#### INVERSIÓN:

Coste total . . . . .	585.366,20 €
Ayuda . . . . .	540.166,20 €
Cofinanciación UE . . . . .	80 %