



## Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego

Juan M. Enciso, Dana Porter and Xavier Périès\*



El monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero. El monitorear la humedad del suelo le puede ayudar a tomar mejores decisiones en la programación del riego, tales como el determinar la cantidad de agua a aplicar y cuándo aplicarla. También le puede ayudar a igualar los requerimientos de agua del cultivo con la cantidad aplicada con el riego; y así evitar pérdidas de agua excesivas por percolación profunda o por escurrimientos o bien evitar aplicar una cantidad insuficiente. El exceso de irrigación puede incrementar el consumo de energía y los costos de agua, aumentar el movimiento de fertilizantes por debajo de la zona radicular, producir erosión y transporte de suelo y partículas de químicos a los canales de drenaje. El riego insuficiente puede reducir la producción de las cosechas.

*Esta publicación* está dirigida a agricultores que desean entender mejor cómo programar el riego. En esta publicación se presentan algunos conceptos básicos sobre la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, se describen los sensores seleccionados para monitorear el agua del suelo (incluyendo sondas de capacitancia, bloques de yeso y tensiómetros), se enlistan las ventajas y desventajas de utilizar estos sensores y se presentan los conceptos básicos para la instalación de los mismos. El mejorar el manejo del agua en sus cultivos, le permitirá conservar agua y aumentar la rentabilidad en sus tierras agrícolas.

\*Profesor Asociado y Especialista en Ingeniería Agrícola en Weslaco, TX, Profesor Asociado y Especialista en Ingeniería Agrícola en Lubbock, TX, y Auxiliar en Extensión, respectivamente, Sistema Universitario Texas A&M.

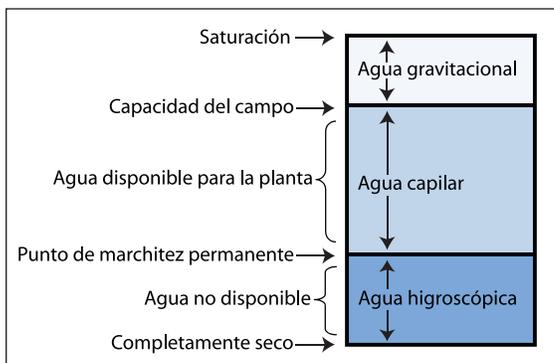
**Tabla 1. El contenido de humedad del suelo en pulgadas de agua por pie de suelo y en porcentaje.**

Textura del suelo	Capacidad de campo (1/3 bars)	Punto de marchitamiento permanente (15 bars)	Agua disponible para la planta
Arena	1.2 (10)*	0.5 (4)	0.7 (6)
Arena margosa	1.9 (16)	0.8 (7)	1.1 (9)
Marga arenosa	2.5 (21)	1.1 (9)	1.4 (12)
Marga	3.2 (27)	1.4 (12)	1.8 (15)
Marga limosa	3.6 (30)	1.8 (15)	1.8 (15)
Marga arcillo-arenosa	4.3 (36)	2.4 (20)	1.9 (16)
Arcilla arenosa	3.8 (32)	2.2 (18)	1.7 (14)
Marga arcillosa	3.5 (29)	2.2 (18)	1.3 (11)
Marga arcillo-limosa	3.4 (28)	1.8 (15)	1.6 (13)
Arcilla limosa	4.8 (40)	2.4 (20)	2.4 (20)
Arcilla	4.8 (40)	2.6 (22)	2.2 (18)

\*Los números en paréntesis representan el contenido volumétrico de humedad en porcentajes.  
Fuente: Hanson 2000.

## Conceptos básicos

La capacidad de almacenamiento del agua del suelo de acuerdo a su textura se presenta en la Tabla 1. Con el fin de facilitar el manejo eficiente del riego, se han definido unos parámetros que describen la capacidad de almacenamiento del agua del suelo. Estos parámetros se definen a continuación:



**Figura 1. Parámetros del contenido de agua en el suelo y tipos de agua en el suelo.**

**La capacidad de campo** es el contenido de agua en el suelo después de aplicar un riego pesado y cuando la velocidad del drenaje cambia de rápida a lenta. Este punto se logra cuando toda el agua gravitacional se ha drenado (Figura 1). La capacidad de campo se logra normalmente dos o tres días después del riego y se alcanza cuando la tensión del agua en el suelo es de aproximadamente 0.3 bars (30 centibars ó 3 m de columna de agua) en suelos arcillosos o de 0.1 bars en suelos de textura media.

**El punto de marchitez permanente** es el contenido de agua en el suelo al cual las plantas no se pueden recuperar y se marchitan aún cuando se les adiciona suficiente humedad.

Este parámetro puede variar de acuerdo a las especies de las plantas y al tipo de suelo, y ha sido determinado por experimentos en invernaderos. Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bars (de 102 a 204 m de tensión). Generalmente se utiliza un valor medio de 15 bars (153 m). *El agua higroscópica* es cuando el agua está retenida fuertemente por las partículas del suelo (por debajo del punto de marchitez permanente) y no puede ser extraída por las raíces de la planta.

**El agua disponible para la planta** es el contenido de agua retenido entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente. Generalmente, este parámetro se expresa en pulgadas de agua por pie de profundidad del suelo. Éste depende de factores tales como la textura del suelo, densidad aparente y estructura

del suelo. La Tabla 1 muestra los valores aproximados del agua disponible para la planta para suelos de diferentes tipos de textura. El agua del suelo contenida entre estos límites se mueve primordialmente por fuerzas capilares o matriciales. (Figura 1).

**Contenido gravimétrico de agua**, es una medida directa de la humedad del suelo, y es el método estándar para calibrar otras técnicas de determinación del agua en el suelo. La técnica de secado del suelo en el horno es probablemente la más utilizada de todos los métodos gravimétricos para medir el contenido de agua del suelo. Esta técnica consiste en tomar una muestra del suelo con una barrena. La muestra se coloca en un recipiente y se pesa; posteriormente se seca en un horno a 105°C hasta que se obtiene un peso constante (normalmente después de 24 horas), después se vuelve a pesar. El contenido gravimétrico de agua es la cantidad de agua en la muestra por porcentaje de peso seco del suelo y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido gravimétrico de agua (\%)} = \frac{\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco} \times 100}{\text{Peso de suelo seco}}$$

**La densidad aparente** es el peso del suelo seco por unidad de volumen de suelo. Esta propiedad está relacionada con la porosidad (espacio poroso) y la compactación; y se utiliza para calcular el contenido volumétrico de agua del contenido gravimétrico de agua. Generalmente este parámetro se expresa en gramos por centímetro cúbico de suelo, de acuerdo a:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de suelo seco}}{\text{Volumen de suelo}}$$

**El contenido volumétrico de agua del suelo** es comúnmente utilizado para expresar el contenido de agua en el suelo. Éste se obtiene al multiplicar la densidad aparente del suelo por el contenido gravimétrico de agua:

$$\text{Contenido volumétrico del agua (\%)} = (\text{Densidad aparente del suelo/densidad del agua}) \times \text{Contenido gravimétrico del agua (\%)}$$

El contenido volumétrico del agua (%) puede utilizarse para calcular la lámina de riego. Por ejemplo, si el contenido volumétrico de agua actual es del 20 por ciento y la capacidad de campo es de 30 por ciento y deseamos llevar los 2 pies superiores del suelo a capacidad de campo, la lámina de riego requerida para llevar el suelo a la capacidad de campo se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Lámina de riego} = (30-20)/100 \times 2 \text{ pies} = 0.1 \times 2 \text{ pie} = 0.1 \times 24 \text{ pulgadas} = 2.4 \text{ pulgadas}$$

Si deseamos saber qué cantidad de agua contiene un suelo (en lámina de agua) si su contenido de agua es de un 20 por ciento, está se puede calcular de acuerdo a:

$$\text{Lámina de agua} = 20\% \times 2 \text{ pies} = 20/100 \times 24 \text{ pulgadas} = 4.8 \text{ pulgadas}$$

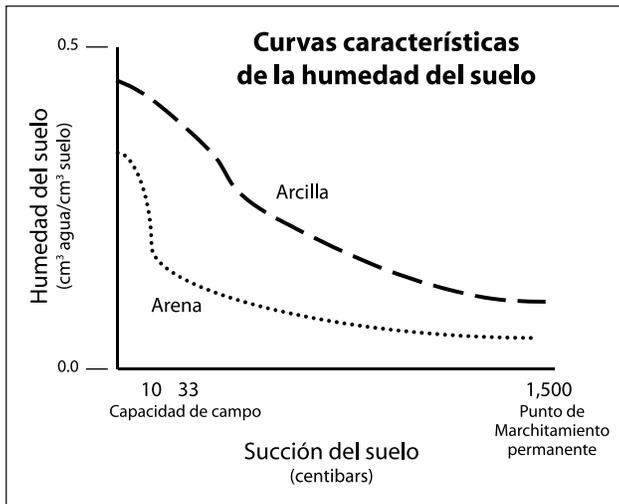


Figura 2. Curvas características de la humedad para suelos arenosos y arcillosos.

### Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

La curva característica de la humedad del suelo (Figura 2) describe la relación entre el contenido de agua en el suelo y la tensión a la cual el agua es retenida por el suelo. La relación no es lineal y varía con el tipo de suelo. En un suelo saturado la tensión está muy cerca de cero y a medida que el suelo se seca, la tensión (succión) se incrementa.

La textura del suelo tiene una gran influencia en la curva característica. Los suelos arenosos no retienen suficiente cantidad de agua disponible para la planta, éstos generalmente drenan más rápidamente y necesitan ser regados con más frecuencia que los suelos arcillosos (Cuadro 1). La *humedad disponible para la planta* es la diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo menos el contenido de agua al punto de marchitez permanente.

**Déficit permitido en el manejo del riego (DPM)** es el contenido de agua en el suelo al cual no se debe permitir bajar o llegar al punto de marchitez permanente para evitar el estrés de la planta por falta de agua, y por lo tanto, evitar la reducción en la producción. La diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el DPM debe ser la lamina de riego por aplicar. El contenido de agua que queda debajo de este límite es la cantidad de agua que queda en el suelo. El déficit permitido (DPM) dependerá de las especies de plantas y variará de acuerdo a las temporadas de cultivo. Generalmente, el déficit permitido se expresa en porcentajes. El nivel de déficit permitido recomendado para muchos cultivos de campo es de alrededor del 50 por ciento. Para cultivos sensibles a la sequía (incluyendo muchas verduras), el déficit permitido puede ser tan bajo como de un 25 por ciento. La Tabla 2 muestra el déficit permitido de manejo del riego para algunos cultivos seleccionados.

Otro criterio que se utiliza frecuentemente para determinar el momento oportuno para aplicar el riego es *la tensión de la humedad del suelo*. Este método es más utilizado para programar el riego en los sistemas por aspersión, microirrigación y goteo, los cuales permiten aplicar láminas pequeñas y muy precisas. La tensión de la humedad del suelo se puede medir con un sensor, tal como el sensor de Watermark® (sensor de matriz granular) o un tensiómetro. La tensión de la humedad del suelo a la que se aplica el riego variará dependiendo del tipo de suelo y a la profundidad que se coloque el sensor de humedad. La calibración y la experiencia que se tenga del sitio predeterminado optimizan la utilización de este método en la programación de la irrigación. Algunos valores para accionar el riego de acuerdo a valores de la tensión del agua en el suelo se sugieren en la Tabla 3.

**La profundidad de la raíz** determinará la cantidad de agua que la planta puede disponer del suelo. La Tabla 2 muestra las profundidades de raíz estimadas para algunos cultivos seleccionados. Las condiciones del suelo (por ejemplo, capas compactadas, nivel freático superficial, suelo seco) pueden limitar la profundidad de la raíz. En general las hortalizas tienen un sistema radicular relativamente

**Tabla 2. Déficit permitido de manejo del riego (DPM, %) y profundidades de las raíces (pies) para algunos cultivos.**

<b>Cultivo</b>	<b>Déficit permitido de manejo del riego (%)</b>	<b>Profundidad de la raíz (pies)</b>
<b>Cultivos de fibra</b>		
Algodón	65	3.3–5.6
<b>Cereales</b>		
Cebada y avena	55	3.3–4.5
Maíz	50–55	2.6–6.0
Sorgo	50–55	3.3–6.6
Arroz	20	1.6–3.3
<b>Legumbres</b>		
Frijoles	45	1.6–4.3
Soya	50	2.0–4.1
<b>Forrajes</b>		
Alfalfa	50–60	3.3–9.9
Bermuda	55–60	3.3–4.5
Pasto para pastizales	60	1.6–3.3
<b>Césped</b>		
Temporada fría	40	1.6–2.2
Temporada caliente	50	1.6–2.2
<b>Caña de azúcar</b>	65	4.0–6.5
<b>Árboles</b>		
Duraznos	50	3.3–6.6
<b>Cítricos</b>		
70% bajo sombra	50	4.0–5.0
50% bajo sombra	50	3.6–5.0
20% bajo sombra	50	2.6–3.6
<b>Árboles coníferos</b>	70	3.3–4.5
<b>Huerto de nogales</b>	50	5.6–8.0
<b>Verduras</b>		
Zanahorias	35	1.5–3.3
Melones y sandías	40–45	2.6–5.0
Lechuga	30	1.0–1.6
Cebollas	30	2.0–3.0
Papas	65	1.0–2.0
Pimientos dulces	30	1.6–3.2
Calabacines y pepinos	50	2.0–4.0

\*Nota: Las profundidades de la raíz pueden ser afectadas por el suelo y por otras condiciones. Con frecuencia, las profundidades efectivas de la zona de la raíz son más superficiales.

Fuente: Allen et al., 1996.

superficial y por lo tanto tienen menos capacidad para extraer el agua almacenada en el suelo. Los cultivos que tienen sistemas radiculares superficiales y menores niveles de déficit permitidos requieren de riegos más frecuentes.

## Medición del agua del suelo

Los métodos utilizados para medir el agua en el suelo se clasifican como *directos* e *indirectos*. El método directo se refiere al método gravimétrico en el cual se recolecta una muestra del suelo, se pesa, se seca en el horno y se pesa nuevamente

**Tabla 3. Tensiones de humedad recomendadas para algunos cultivos seleccionados.**

Cultivo	Tensión centibars
Alfalfa	80–150
Repollo	60–70
Melón	35–40
Zanahoria	55–65
Coliflor	60–70
Apio	20–30
Cítricos	50–70
Maíz (dulce)	50–80
Árbol decido	50–80
Granos	
Etapa de crecimiento vegetativo	40–50
Etapa de maduración	70–80
Lechuga	40–60
Cebolla	45–65
Papas	30–50
Tomate	60–150

Fuente: Hanson et al. 2000.



**Figura 3. Sensor Watermark® antes de su instalación.**



**Figura 4. Utilizando el medidor portátil del sensor Watermark®.**

para determinar el contenido de agua de la muestra. Para obtener el contenido volumétrico se multiplica por la densidad aparente. El método gravimétrico es el estándar contra el cual se calibran los métodos indirectos. Esta sección describe algunos métodos indirectos utilizados para medir la humedad del suelo.

### **Sensores granulares de la matriz y bloques de yeso**

Los bloques de yeso responden a los cambios de humedad del suelo de acuerdo a la profundidad en que éstos son colocados en el suelo al medir la resistencia eléctrica entre dos círculos de malla de alambre que están conectados por un material poroso.

### **Funcionamiento**

Aunque la resistencia eléctrica se mide en ohms, el medidor portátil convierte automáticamente la lectura a centibars. (1 bar = 100 centibars). La resistencia eléctrica aumenta a medida que se incrementa la succión del agua en el suelo, o a medida que disminuye la humedad del suelo. El sensor Watermark® (Figura 3) funciona similarmente al sensor de bloques de yeso, sin embargo difiere de éste porque es más duradero en el suelo y puede responder mejor a los cambios de humedad del mismo.

El medidor portátil del sensor Watermark® (Figura 4) mide la tensión de la humedad del suelo en un rango de 0 a 199 centibars. La tensión debe ser interpretada cuidadosamente de acuerdo a las propiedades del suelo. Por ejemplo una lectura de 10 cb puede corresponder a la capacidad de campo en suelos de textura gruesa (arena), mientras que 30 cb pueden corresponder a la capacidad de campo en suelos de textura más fina (limosos, arcillosos). Las lecturas altas en el medidor indican que el suelo se está secando. Por lo tanto una lectura de 75 cb puede corresponder a un déficit de 90 por ciento para suelos de textura gruesa, pero solamente de 30 por ciento para suelos de textura fina. Por esta razón es recomendable calibrar los sensores Watermark® a cada tipo específico de suelo. Estos sensores se ven afectados ligeramente por la temperatura y la salinidad. El sensor de la Figura 4 también puede ajustarse de acuerdo a la temperatura del suelo.

### **Instalación y lectura**

Para obtener una lectura mas precisa de la humedad de suelo, es importante instalar varias estaciones de sensores Watermark® por terreno, especialmente si el terreno tiene varios tipos de suelos. Una estación debe consistir en la instalación de varios sensores enterrados a diferentes profundidades, según el tipo de cultivo (a la profundidad efectiva de la raíz), con el fin de evaluar el movimiento y la extracción de la humedad a lo largo de la temporada del cultivo.

La colocación de los sensores variará ligeramente de acuerdo al método de riego. Además, los sensores deben de colocarse en un área representativa, tal como dentro de una hilera de plantas para cultivos que se siembran en hileras, o en la cama para cultivos hortícolas o bien en áreas mojadas bajo riego por goteo. La profundidad a la que se colocará el sensor también debe ser representativa de la zona efectiva de la raíz.

Los sensores deben instalarse mojados para mejorar la respuesta de los sensores al primer riego. Para colocarlos dentro del suelo y a una profundidad apropiada, se utiliza un broca de  $\frac{7}{8}$  de pulgada para perforar un hoyo en el suelo hasta la profundidad deseada. Se empuja el sensor con una varilla dentro del agujero, se agrega agua y tierra para rellenar el agujero, dejando accesible el alambre por encima del terreno. El uso de una bandera o una señal en cada sitio facilitará la localización de los sensores para lecturas posteriores.

En caso de que se remuevan los sensores, éstos pueden utilizarse nuevamente por muchas temporadas si se les presta el cuidado apropiado; por lo tanto, se deben de limpiar y secar bien antes de guardarlos. Sin embargo, los sensores deben revisarse antes de instalarlos nuevamente. La revisión consiste en colocarlos dentro de un recipiente con agua y asegurarse que los sensores sumergidos indiquen entre 0 y 5 cb. Si la lectura es mayor que 5 cb, se deben descartar.

La conexión del alambre de los sensores a un medidor digital Watermark® provee una lectura instantánea. Las lecturas frecuentes indican con cuánta rapidez la humedad del suelo se agota, y por lo tanto, indican cuándo es necesario el riego. Existen algunos aparatos para guardar datos, como el de la Figura 5, que permiten que se realice la lectura de los datos directamente y se registren continuamente. También permiten que los datos se descarguen a una computadora portátil.



Figura 5. Sensores Watermark® conectados a un sistema de registro de datos WatchDog® (de hasta 3 sensores).

La Figura 6 muestra el movimiento del contenido de agua en el suelo a diferentes profundidades (6, 18 y 30 pulgadas) en una huerta de naranjas. En esta huerta de riego por goteo, el riego se aplica cuando el sensor colocado a una profundidad de 18 pulgadas alcanza una lectura de aproximadamente 40 cb. Un riego con una lámina (indicada en la gráfica por un triángulo azul) de alrededor de 0.7 pulgadas satura el suelo. Observe que el suelo se seca primero en la parte superior de la zona de la raíz y luego en el área más profunda de la zona radicular.

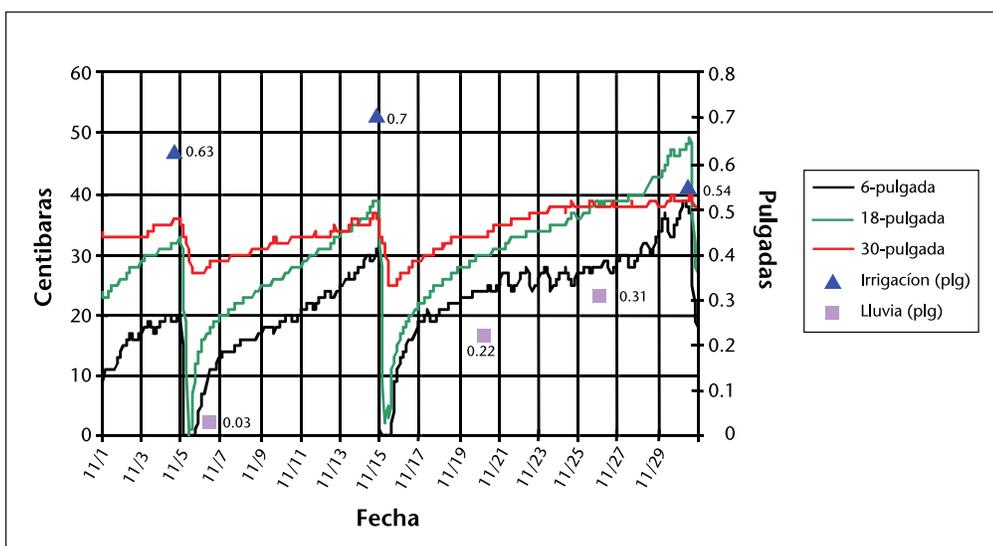


Figura 6. Lecturas del contenido de agua en el suelo realizadas con sensores Watermark®, lecturas de precipitación y laminas de riego en árboles de naranja bajo riego por goteo.

Los sensores sirven para dar seguimiento al riego e indican la tendencia de la humedad del suelo. La lluvia (indicada en el gráfico por los cuadros de color morado) permite que el regador retrase el riego.

### **Sensores que miden la constante dieléctrica del suelo**

Estos sensores miden los cambios en la *constante dieléctrica* del suelo con un capacitor que consta de dos placas de un material conductor que están separadas por una distancia corta (menos de  $\frac{3}{8}$  de pulgada). Se aplica un voltaje en un extremo de la placa y el material que está entre las dos placas almacena cierto voltaje. Un medidor lee el voltaje conducido entre las placas.

Cuando el material entre las placas es aire, el capacitor mide 1 (la constante dieléctrica del aire). La mayoría de los materiales del suelo, tales como la arena, arcilla y material orgánico poseen una constante dieléctrica de 2 a 4. El agua tiene la constante dieléctrica más alta, que es de 78. Por lo tanto, los contenidos más altos de agua en un sensor de capacitancia serían indicados por constantes dieléctricas con medidas más altas. Como consecuencia, al medir los cambios en una constante dieléctrica, el contenido de agua se mide indirectamente.



Figura 7. Sensor ECH<sub>2</sub>O® y medidor ECH<sub>2</sub>O® (medidor dieléctrico).

Algunos de los sensores disponibles basados en la capacitancia incluyen los sensores ECH<sub>2</sub>O® (Figura 7), EnviroSCAN® y Reflectómetro de Dominio de Tiempo (RDT). (Esta sección solamente describe los sensores ECH<sub>2</sub>O®.)

#### **Funcionamiento**

Estos sensores proporcionan las lecturas de los contenidos volumétricos de agua en el suelo a la profundidad a la que se colocan ( $m^3$  de agua/ $m^3$  de suelo). Típicamente la humedad del suelo oscila de 0 a 0.4  $m^3$  de agua por  $m^3$  de suelo. Estos sensores ya están precalibrados para usarse en una amplia gama de tipos de suelo. Sin embargo, para suelos con altos contenidos de arena (texturas gruesas) y suelos con altos contenidos de sal, la calibración estándar no será exacta. Por lo tanto, se deberán realizar algunas calibraciones. Un valor de 0 a 0.1  $m^3/m^3$  indica el rango de un suelo seco o cercas del punto de marchitamiento permanente y un valor de 0.3 a 0.4  $m^3/m^3$  representa el rango de humedad de un suelo de capacidad de campo a saturado.

Los sensores se conectan a un sistema de registro de datos (como el registrador HOBO® o a una estación climatológica) y con un cable en serie se descarga la información a una computadora personal. El registrador de datos HOBO® puede aceptar hasta cuatro sensores.

#### **Instalación y lectura**

Los sensores se deben colocar a diferentes profundidades en áreas representativas del terreno con el fin de dar seguimiento al movimiento del agua del suelo y a su agotamiento dentro de la zona radicular. Esto permitirá monitorear la humedad y determinar el uso del agua por el cultivo a través del tiempo.

Ya que los sensores miden el contenido de agua cerca de su superficie, es importante evitar las bolsas de aire y la compactación excesiva del suelo alrededor de los sensores para obtener lecturas más representativas del suelo natural.

Los sensores se deben separar a una distancia de al menos 3 pulgadas unos de otros o se deben separar de otras superficies metálicas. Se pueden colocar perpendicular o verticalmente a la superficie del suelo. Para colocar un sensor en instalaciones más profundas, se debe hacer un agujero previamente con una broca de 3 pulgadas. Luego se debe utilizar una barrena de la marca ECH<sub>2</sub>O® para insertar el sensor dentro del suelo a la profundidad deseada (Figura 8). Posteriormente, se debe cubrir el sensor colocando tierra alrededor del mismo, asegurándose que exista un buen contacto entre el suelo y el sensor. Los cables del sensor deben estar accesibles para poder ser conectados al sistema de registro de datos a través de sus receptáculos. Si se insertan los cables a través de un conducto podrán durar más tiempo ya que éste los puede proteger de posibles daños causados por animales, productos químicos y de los rayos ultravioletas.

Se necesita un programa de computo para bajar la información del registro de datos a la computadora personal (Figura 9). El registrador de datos se puede programar para realizar lecturas del sensor de humedad a diferentes intervalos de tiempo (ej. 1 lectura cada 2 ó 24 horas). Con este sistema es posible registrar la información del contenido de agua en el suelo durante toda la temporada del cultivo.

## Tensiómetro

El tensiómetro mide la tensión o la succión del agua del suelo. Este instrumento consiste de un tubo de plástico lleno de agua y herméticamente cerrado, equipado con un manómetro de vacío en la parte superior y una capsula de cerámica porosa en el extremo inferior (Figuras 10 y 11).

### Funcionamiento

El agua se mueve desde el tubo del tensiómetro a través de la capsula de cerámica hacia el suelo en respuesta a la succión del agua del suelo (cuando el agua se evapora del suelo o cuando la planta extrae agua del suelo). El agua también se puede mover desde el suelo al tensiómetro durante el riego. A medida que el tensiómetro pierde agua, se genera un vacío en el tubo y éste es registrado por el manómetro. La mayoría de los tensiómetros tienen un manómetro graduado de 0 a 100 (centibars, cb, o kilopascales, kPa). Una lectura de 0 indica un suelo saturado. Conforme el suelo se seca, la lectura en el medidor aumenta.

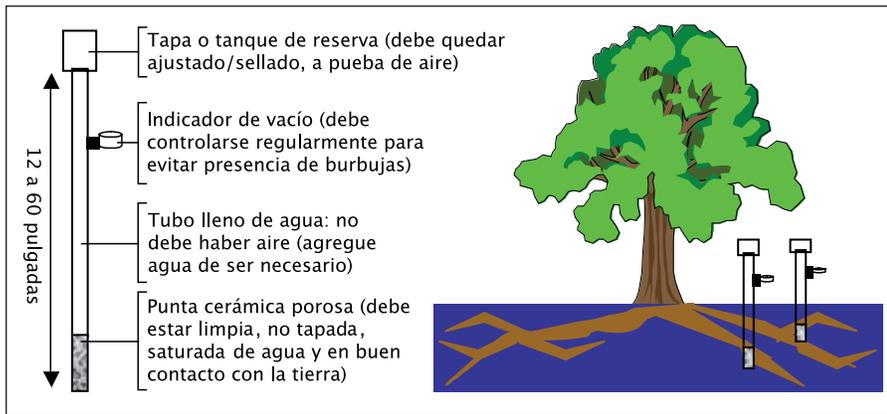
El límite funcional del tensiómetro es de aproximadamente 80 cb. Más allá de esta tensión, el aire entra a través de la capsula de cerámica y provoca la falla del instrumento. Por lo tanto, estos instrumentos son más prácticos en suelos arenosos y con cultivos sensibles a la sequía, ya que éstos tienen un rango de manejo de la humedad del suelo menos amplio. Durante el riego, el agua retorna al tensiómetro y la lectura del manómetro se aproxima a 0. Algunos tensiómetros están equipados con pequeñas reservas de agua para reemplazar esta agua y reducir el mantenimiento requerido.



*Figura 8. Uso de una herramienta especial para instalar sensores ECH<sub>2</sub>O®: una lámina de acero de la misma medida que el sensor se martilla hacia el suelo (arriba) antes de insertar y empujar el sensor con otra herramienta (abajo).*



*Figura 9. Bajando los datos del registrador de datos a una computadora personal.*



**Figura 10.** Diagrama de un tensiómetro y de una estación de dos tensiómetros instalados a diferentes profundidades del suelo.



**Figura 11.** Estación de tres tensiómetros instalados a diferentes profundidades del suelo.

### **Instalación y lectura**

Antes de instalar el tensiómetro, se debe mojar el instrumento en un recipiente con agua durante 2 ó 3 días. Luego se deben dar los siguientes pasos:

- Saturar el filtro de cerámica con agua para eliminar cualquier burbuja de aire.
- Llenar el tubo con agua destilada, coloreada y tratada con alguicida. Remover las burbujas de aire (del tubo y del manómetro de vacío) golpeando suavemente la parte superior del tensiómetro.
- Vaciar el aire del tubo del tensiómetro con una bomba manual de vacío hasta que el manómetro indique una lectura de 80-85.
- Sellar la tapa adecuadamente.
- Comprobar que la lectura que se obtiene en el manómetro cuando la punta del tensiómetro se sumerja en agua indique 0 centibars.
- Instalar el tensiómetro cuidando que la cápsula de cerámica esté a la profundidad de la zona de raíces del suelo. Se necesitan dos tensiómetros en cada sitio (Figura 10). Para cultivos con raíces superficiales tales como las hortalizas, se debe instalar un tensiómetro a 6 pulgadas y otro a 12 pulgadas de profundidad. Para cultivos con raíces más profundas, se debe instalar un tensiómetro a 12 pulgadas y otro a 24 o a 36 pulgadas.
- Usar una broca de  $\frac{7}{8}$  o que tenga el mismo diámetro que el tubo del tensiómetro para perforar un agujero a la profundidad deseada (menos la altura del extremo de la cerámica). Termine el agujero inicial con una sonda de diámetro más pequeño y empuje el tensiómetro para colocarlo en el lugar. La precisión de la lectura depende del buen contacto del dispositivo con el suelo.
- Tape bien el agujero y vierta agua alrededor del tensiómetro para mejorar su contacto con el suelo, acumule de 3 a 4 pulgadas de tierra alrededor del tubo. También se puede rellenar el agujero con lodo del mismo suelo, vertiéndolo dentro del agujero antes de colocar el tensiómetro.

## Sondas de neutrones

La sonda de dispersión de neutrones es una técnica de prueba eficaz para medir el contenido total de agua en el suelo por volumen. Este aparato estima la cantidad de agua en un volumen de suelo al calcular la cantidad de hidrógeno presente.

### Funcionamiento

Las sondas de neutrones consisten en una unidad hecha de una fuente de neutrones rápidas y de alta energía (fuente de radioactividad encapsulada) y de un detector. Esta sonda se introduce en un tubo de acceso de PVC o aluminio a la profundidad deseada con la ayuda de sujetadores unidos a un cable. Una unidad de control, la cual permanece en la superficie, se conecta al cable.

Los neutrones rápidos, emitidos de la fuente y que pasan a través del tubo de acceso dentro del suelo adyacente, pierden gradualmente su energía por medio de colisiones con otros núcleos atómicos. Los neutrones chocan con el hidrógeno del agua del suelo y pierden velocidad. Los neutrones lentos rebotan de nuevo a un detector, creando un impulso eléctrico que se registra automáticamente y proporciona un determinado número de neutrones por período de tiempo. Básicamente, este número de pulsos está relacionado linealmente con el contenido volumétrico total del agua en el suelo. Un registro más alto indica un mayor contenido de agua en el suelo. Mientras la relación sea lineal, el dispositivo se debe calibrar para cada tipo de suelo.

Para calibrar la sonda de neutrones, se necesita establecer un sitio seco y uno mojado para cada tipo de suelo. Se toman lecturas con la sonda de neutrones en estos dos sitios y también se toman medidas gravimétricas y de densidad aparente, después se traza una línea de calibración entre estos dos puntos. La calibración convierte las lecturas del medidor de neutrones a contenido volumétrico de agua. Aunque este método tiene gran aceptación por su precisión, el alto costo del equipo, los requerimientos de la licencia y sus altos requerimientos regulatorios limitan su uso para investigación y para áreas donde se requiere de un amplio muestreo.

## Ventajas y desventajas de los sensores seleccionados para medir la humedad del suelo

La Tabla 4 describe algunas de las ventajas y desventajas del método gravimétrico, los sensores Watermark<sup>®</sup>, los sensores ECH<sub>2</sub>O, los tensiómetros y el dispersor de neutrones.

## Conclusiones

Existen varios métodos para monitorear la humedad del suelo y programar el riego. Mientras cada método presenta sus ventajas y desventajas, su correcta instalación y calibración puede convertirlos en herramientas muy eficaces para manejar el riego. El monitorear la humedad del suelo involucra tener conocimientos básicos sobre el uso de agua del cultivo, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la profundidad y las características de la zona radicular y permite hacer un mejor manejo del riego. La optimización del riego implica aplicar el riego oportunamente y en cantidades adecuadas – pero no excesivas – para conservar agua y aumentar la rentabilidad.



Figura 12. Sonda de neutrones utilizada en un cultivo de naranjas.

**Tabla 4. Ventajas y desventajas de algunos sistemas para monitorear la humedad del suelo.**

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Gravimétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy preciso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destructivo.</li> <li>• Requiere de mano de obra.</li> <li>• Consume mucho tiempo.</li> </ul>
Sensores Watermark	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena precisión en suelos de textura media a fina debido a sus partículas de tamaño fino similares a la matriz granular del sensor.</li> <li>• Accesible (aproximadamente \$20 por sensor, \$250 por el medidor).</li> <li>• Manejo fácil (peso ligero, tamaño de bolsillo, instalación fácil y lectura directa).</li> <li>• Rango amplio de lecturas de la humedad del suelo (de 0 a 200cb, o kPa).</li> <li>• Útil durante varias temporadas con un cuidado apropiado.</li> <li>• Medidas continuas en la misma ubicación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuesta lenta a cambios en el contenido de agua en el suelo después de una lluvia o un riego.</li> <li>• Falta de precisión en suelos arenosos debido a sus partículas grandes.</li> <li>• Requiere de tiempo para determinar cuál lectura del sensor es la más apropiada para el riego.</li> <li>• Requiere de mano de obra intensa para recolectar la información regularmente (sin embargo, es posible conectar los sensores Watermark® a un registro de datos; por lo tanto, las lecturas se recopilan automáticamente y pueden ser descargadas mediante un programa a una computadora personal).</li> <li>• Requiere de calibración para utilizarse en cada tipo de suelo.</li> </ul>
Sensor de Capacitancia: Sensores ECH2O (Modelos EC-20, EC-10, y EC-5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de leer directamente el contenido volumétrico del agua en el suelo.</li> <li>• No requiere de mantenimiento especial.</li> <li>• Alta precisión cuando los sensores están instalados apropiadamente y tienen buen contacto con el suelo.</li> <li>• Amplio rango de operación (de 0 hasta suelo saturado).</li> <li>• Medidas continuas en el mismo sitio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnica de alto costo. Las sondas EC Ech2o tienen un costo de \$100 (de 1 a 10 unidades); sin embargo tienen un costo de \$70 cada una si se piden 11 unidades o más. Tiene un medidor portátil para tomar mediciones directas que cuesta \$300. Si se quiere recolectar la información con un registro de datos se requiere una computadora personal, el programa cuesta \$95 y el registrador de datos HOBO® tiene un costo de \$200 y permite la conexión de varios sensores.</li> </ul>
Tensiómetros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Lectura directa de la tensión del agua del suelo para programar el riego.</li> <li>• Medidas continuas en el mismo lugar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere chequeo periódico.</li> <li>• Opera solamente para succión de la humedad del suelo menores a 80 cb (no es útil para suelos más secos).</li> </ul>
Dispensor de neutrones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se considera uno de los métodos más exactos para medir el contenido de agua en el suelo cuando se calibra apropiadamente.</li> <li>• Tiene capacidad para medir el agua del suelo a diferentes profundidades, durante muchas veces en la temporada del cultivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede proporcionar una lectura precisa en las primeras 6 pulgadas de profundidad del suelo debido al escape de neutrones rápidos emitidos de la sonda de neutrones.</li> <li>• Técnica muy costosa (de \$3,000 a \$4,000) requiere de licencia especial, entrenamiento regular para el operador, manejo especial, procedimientos de embarque y almacenamiento.</li> <li>• Requiere de procesos de seguridad para la radiación, que son molestos.</li> <li>• Requiere calibración de las lecturas de la sonda de neutrones contra medidas gravimétricas mediante la selección de un sitio mojado y uno seco; para calibrarlo para diferentes tipos y profundidades del suelo</li> </ul>

\*Nota: Las profundidades de la raíz pueden ser afectadas por el suelo y por otras condiciones. Con frecuencia, las profundidades efectivas de la zona de la raíz son más superficiales.

Fuente: Allen et al., 1996.

## **Referencias**

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements [Evapotranspiración de los cultivos-Guía para calcular los requerimientos de agua para cultivos]. Documento 56 de la FAO Irrigación y Drenaje. Roma.

Hanson, B., Orloff S., P. Douglas. 2000. *California Agriculture [Agricultura Californiana]*, Volumen 54, No. 3:38-42.

## **Reconocimiento**

El material de esta publicación está basado en trabajos realizados por el Servicio Estatal Cooperativo de Investigación, Educación y Extensión, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, bajo el Acuerdo No. 2005-34461-15661 y Acuerdo No. 2005-45049-03209.

Producido por Comunicaciones Agrícolas, El Sistema Universitario Texas A&M

Se pueden encontrar publicaciones producidas por el servicio de Extensión en el Internet: <http://tcebookstore.org>

*Los programas educativos del Servicio de Extensión Agrícola de Texas están disponibles para todas las personas, sin distinción de raza, color, sexo, minusvalidez, religión, edad u origen nacional.*

---

Emitido en promoción del Trabajo de la Extensión Cooperativa en la Agricultura y la Economía del Hogar, Decreto del Congreso del 8 de mayo de 1914, según enmienda, y del 30 de junio de 1914, en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Edward G. Smith, Director, Extensión Cooperativa de Texas, el Sistema Universitario Texas A&M.

Nuevo