

# MÉTODOS PARA MEDIR LA HUMEDAD DEL SUELO PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO ¿CUÁNDO?

Edward C. Martin

## Introducción

El manejo apropiado del riego requiere la evaluación de parte del agricultor de sus necesidades de riego en base a medidas de varios parámetros físicos del suelo. Algunos productores utilizan equipo sofisticado mientras que otros se basan en métodos empíricos o en el sentido común. Cualquiera que sea el método usado, cada uno tiene sus propios méritos y limitaciones.

El agricultor generalmente se hace dos preguntas al desarrollar una estrategia para el manejo del riego: “¿Cuándo regar?” y “¿Cuánta agua aplicar?”. Este boletín responde a la pregunta CUÁNDO.

## Técnicas para medir la humedad del suelo

Un método que se usa comúnmente para determinar cuándo regar es monitorear la disminución de agua en el suelo. Cuando una planta crece, utiliza el agua del suelo alrededor de su zona de raíces. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego o el cultivo comienza a estresarse por falta de agua. Si no se aplica agua, la planta continuará haciendo uso de la poca humedad que queda hasta que finalmente utilice toda el agua disponible en el suelo y muera de sed.

Cuando el perfil del suelo está lleno de agua y alcanza lo que se llama *capacidad de campo* (CC), se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible o a aproximadamente 0.1 bares de tensión. La tensión es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua: a mayor retención de humedad, más alta es la tensión. En el punto de capacidad de campo, cuando existe una tensión de solo 0.1 bar, el agua no es retenida fuertemente por las partículas del suelo y es fácil para las plantas extraer el agua. A medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta. La figura 1 muestra tres curvas típicas para suelos arenosos, arcillosos y francos. Como lo muestra la figura 1, las plantas

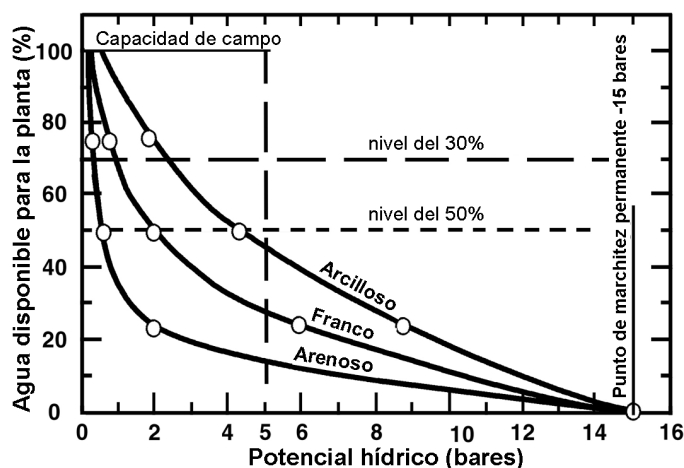


Figura 1. Diagrama con curvas características del contenido de humedad y tensión para suelos arenosos, arcillosos y francos. Tomada del Manual de Ingeniería Nacional (EU), 210-VI.

utilizan el agua del suelo hasta que el nivel de humedad alcanza el *punto de marchitamiento permanente* (PMP). Una vez que el suelo se seca hasta llegar al PMP, las plantas ya no pueden seguir extrayendo agua del suelo y mueren de sed. Aunque por debajo del PMP todavía hay un poco de humedad, esta agua está retenida tan fuertemente por las partículas del suelo que las raíces de la planta no pueden extraerla. Dependiendo del tipo de planta y del tipo de suelo, el PMP ocurre a diferentes niveles de humedad. Algunas plantas que se han adaptado a condiciones áridas, pueden sobrevivir con muy poca humedad en el suelo. En la mayoría de los cultivos agronómicos, el PMP se presenta cuando la tensión en el suelo es de 15 bares. Esto significa que el suelo está reteniendo el agua en sus poros con tanta fuerza que para que las plantas puedan utilizar esta agua, deben crear una fuerza de succión mayor a 15 bares de tensión. Esto no es posible para la mayoría de los cultivos comerciales; y a 15 bares de tensión, la mayoría de las plantas comienza a morir. El *agua disponible para la planta* (ADP) es la diferencia en contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente.

La programación del riego se fija de acuerdo a un porcentaje de abatimiento del ADP. A este nivel de reducción se le conoce como *Déficit Permitido en el Manejo del Riego* (DPM). La mayoría de las investigaciones en riego recomiendan regar los cultivos en surcos tales como algodón, o maíz y sorgo de grano, cuando el DPM se acerca al 50%. Para los cultivos de hortalizas, el DPM comúnmente se establece al 40% o menos, debido a su mayor sensibilidad al estrés hídrico. Estas cantidades o déficits aseguran que el estrés hídrico no sea tan severo que pueda causar una pérdida considerable de la cosecha. Para poder planear un punto apropiado de riego, necesita hacerse un monitoreo cuidadoso del ADP durante toda la temporada. Los siguientes métodos se pueden utilizar para determinar el contenido de humedad del suelo.

## El Método del Tacto

La determinación de la humedad del suelo por medio del tacto ha sido utilizada por muchos años por investigadores y agricultores por igual. Al apretar la tierra entre el pulgar y el dedo índice o al exprimir la tierra en la palma de la mano, se puede obtener una estimación bastante aproximada de la humedad en el suelo. Toma un poco de tiempo y algo de experiencia lograr esto, pero es un método comprobado. La tabla 1 nos muestra "cómo debería sentirse la tierra" a ciertos niveles de humedad del suelo. En esta tabla, la información de humedad del suelo se da en pulgadas por pie (in./ft). Este término (in./ft) se refiere al número de pulgadas de agua contenidas en un pie de suelo. Por ejemplo, si observamos la información de la arena (tabla 1, columna 1) podemos ver que el punto de marchitamiento es de aproximadamente 1.0 in./ft. Esto quiere decir que la arena contiene una pulgada de agua por pie de suelo. A medida que el suelo se seca, se dificulta hacer una bola de tierra y pronto la tierra se desmorona entre los dedos. El riego entonces deberá programarse de acuerdo a algún punto dentro del área sombreada de la tabla, o antes, para aquellos cultivos sensibles al estrés hídrico.

En el caso de suelos franco-arcillosos, a un déficit de 0.4 in./ft, se puede hacer fácilmente una cinta de tierra al presionarla entre el dedo pulgar y el dedo índice. Puesto que el punto de marchitamiento se da a aproximadamente 1.8 in./ft., un déficit de 0.4 equivaldría a un déficit de 22% (utilizando la Ecuación 1).

$$(0.4/1.8)*100=22\% \quad (1)$$

Un suelo de textura franco-arenosa hace una buena bola a un déficit de 0.6 in./ft (aproximadamente un déficit de 40%), pero no hace una buena bola y tan sólo se pone pegajosa a 1.0 in./ft (aproximadamente 66% de déficit). Una vez que la persona se familiariza con la textura de la tierra, se le hará más fácil estimar el contenido de humedad del suelo. Sin embargo, toma tiempo y este método requiere de mucha experiencia.

## La Sonda De Neutrones

La sonda de neutrones se ha utilizado extensamente en trabajos de investigación para determinar la humedad

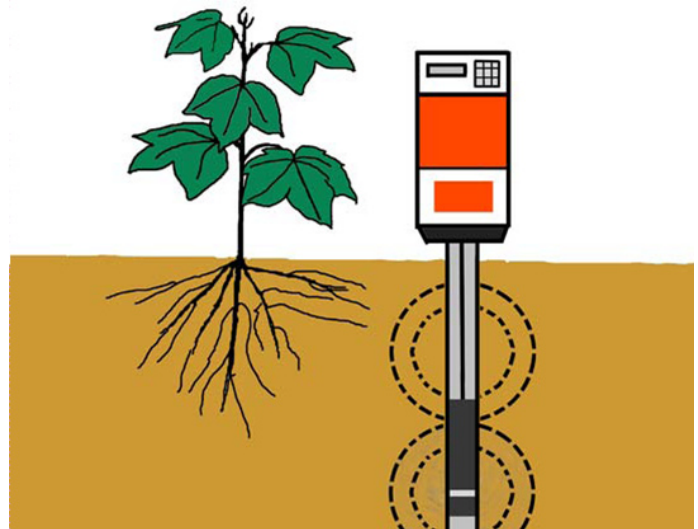


Figura 2. Diagrama de un indicador de humedad de neutrones (sonda de neutrones).

del suelo. Una sonda de neutrones contiene una fuente radioactiva que envía una cierta cantidad de neutrones rápidos. Estos neutrones rápidos son aproximadamente del tamaño de un átomo de hidrógeno, un componente esencial del agua. Cuando los neutrones rápidos chocan contra los átomos de hidrógeno, se vuelven más lentos. Un detector dentro de la sonda mide la proporción de los neutrones rápidos que salen y de los neutrones lentos que regresan. Esta relación se usa entonces para estimar el contenido de la humedad en el suelo. Sin embargo, debido a que cada suelo tiene otras fuentes de hidrógeno que no están relacionadas con el agua, es importante calibrar la sonda para cada suelo. Para medir la humedad del suelo con una sonda de neutrones, se instala un tubo de acceso en el suelo. Entonces, la sonda (la cual contiene la fuente radioactiva y el detector) se baja hasta la profundidad deseada (fig. 2). Estas sondas son bastante caras (aproximadamente \$6,400 dólares) y, debido a que contienen material radioactivo, se necesita una licencia para operarlas.

## La Resistencia Eléctrica

Otro método que ha sido utilizado por muchos años para determinar el contenido de humedad en el suelo es la medición de la resistencia eléctrica. Algunos dispositivos tales como los bloques de yeso y los sensores Watermark® utilizan la resistencia eléctrica para medir la humedad del suelo. El principio físico de estos dispositivos es que el contenido de humedad se puede determinar por la resistencia al paso de corriente eléctrica entre dos electrodos en contacto con el suelo. Entre más agua haya en la tierra, más baja es la resistencia. En las primeras etapas de desarrollo de estos dispositivos, se descubrió que se podía formar un puente de sal entre los dos electrodos y dar resultados falsos. Hoy en día, los electrodos están instalados en un material más estable y no son tan susceptibles a formar

Tabla 1. Descripción de los parámetros de la textura del suelo usados para determinar la humedad del suelo utilizando el método del tacto.

<b>Clasificación de la Textura del Suelo</b>					
<b>Deficiencia de humedad Pulgadas/Pie</b>	<b>Granular/Gruesa (arena francosa)</b>	<b>Moderadamente gruesa (franco arenosa)</b>	<b>Textura Media (franco)</b>	<b>Textura Fina (franco arcillosa)</b>	<b>Deficiencia de humedad Pulgadas/Pie</b>
	(Capacidad de campo)	(Capacidad de campo)	(Capacidad de campo)	(Capacidad de campo)	
0.0	Deja un contorno de humedad en la mano cuando se le comprime	Deja un contorno de humedad en la mano. Forma una cinta corta	Deja un contorno de humedad en la mano. Forma una cinta de aprox. 1 pulgada	Deja un contorno de humedad en la mano. Forma una cinta de aprox. 2 pulgadas	0.0
0.2	Se ve húmeda	Forma una bola dura			0.2
0.4	Forma una bola débil		Forma una bola maleable. Deja manchas en los dedos cuando se le frota	Deja manchas en los dedos y forma una cinta fácilmente	0.4
0.6	Se pone ligeramente pegajosa	Forma una buena bola		Forma una cinta gruesa	0.6
0.8	Muy seca y suelta. Se desliza entre los dedos	Forma una bola débil	Forma una bola dura	Deja manchas en los dedos	0.8
1.0	<b>Punto de Marchitamiento</b>			Forma una buena bola	1.0
		Se pone pegajosa pero no forma una bola	Forma una buena bola	Se puede hacer una bola pero no una cinta. Se forman terrones pequeños	
1.2			Forma una bola débil		1.2
1.4		<b>Punto de Marchitamiento</b>		Los terrones se desmoronan	1.4
1.6					1.6
1.8				<b>Punto de Marchitamiento</b>	1.8
2.0					2.0
2.2					2.2
			<b>Punto de Marchitamiento</b>		
2.4					2.4

La "bola" se forma comprimiendo firmemente un puñado de tierra con la mano.

La "cinta" se forma al comprimir la tierra entre los dedos pulgar e índice.

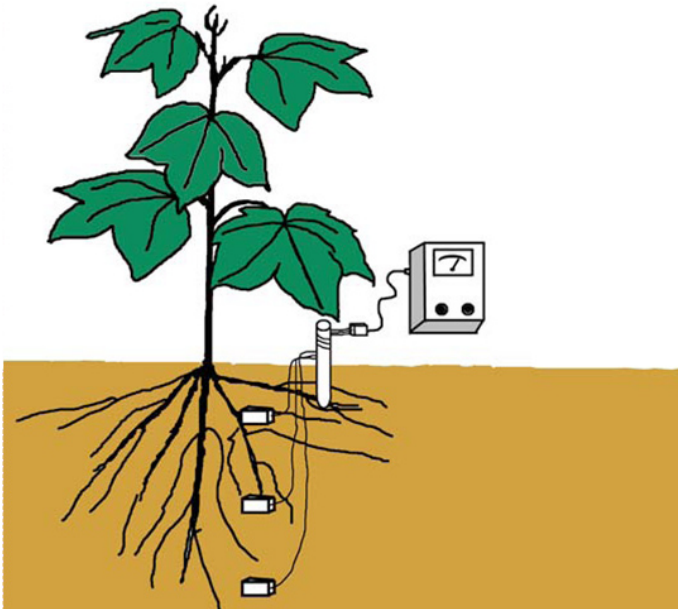


Figura 3. Diagrama de los bloques de resistencia. En este ejemplo se muestran tres bloques anclados en el suelo mediante una estaca.

puentes de sal. Su uso práctico es limitado puesto que operan muy bien en la parte alta del rango de humedad disponible en el suelo, pero su precisión disminuye en la parte baja de este rango. Para medir la humedad del suelo, los bloques se entierran a una profundidad deseada, con las terminales eléctricas extendiéndose hasta la superficie del suelo. Cuando los bloques están en equilibrio con el suelo, las terminales se conectan a un medidor (costo: \$200-300) y se toma la lectura (fig.3). Al terminar la temporada estos dispositivos se pueden extraer aunque es difícil recuperarlos en suelos arcillosos; por otro lado, estos bloques son relativamente baratos (aproximadamente \$25 cada uno).

## La Tensión del Suelo

Como se dijo anteriormente, a medida que el suelo se seca las partículas del suelo retienen el agua con mayor fuerza. Los tensiómetros miden la intensidad de la fuerza con la que el suelo retiene el agua. La mayoría de los tensiómetros tienen una punta de cerámica o porosa conectada a una columna de agua. Los tensiómetros son instalados a la profundidad deseada (fig. 4). A medida que el suelo se seca, comienza a jalar agua de la columna de agua a través del bulbo de cerámica, provocando succión en la columna de agua. Esta fuerza se mide entonces con un indicador de succión. Algunos modelos más nuevos han reemplazado el indicador de succión con un sensor electrónico. Estos dispositivos electrónicos usualmente son más sensibles que los indicadores de aguja. Los tensiómetros funcionan bien en los suelos con alto contenido de agua, pero tienden a perder buen contacto con el suelo cuando la tierra se pone muy seca. Al igual que los bloques de resistencia eléctrica, los tensiómetros generalmente son difíciles de recuperar en suelos arcillosos. El costo varía entre \$30 por un tensiómetro pequeño con medidores de aguja, hasta \$2000 por los medidores electrónicos con capacidad de toma de lecturas en múltiples sitios.

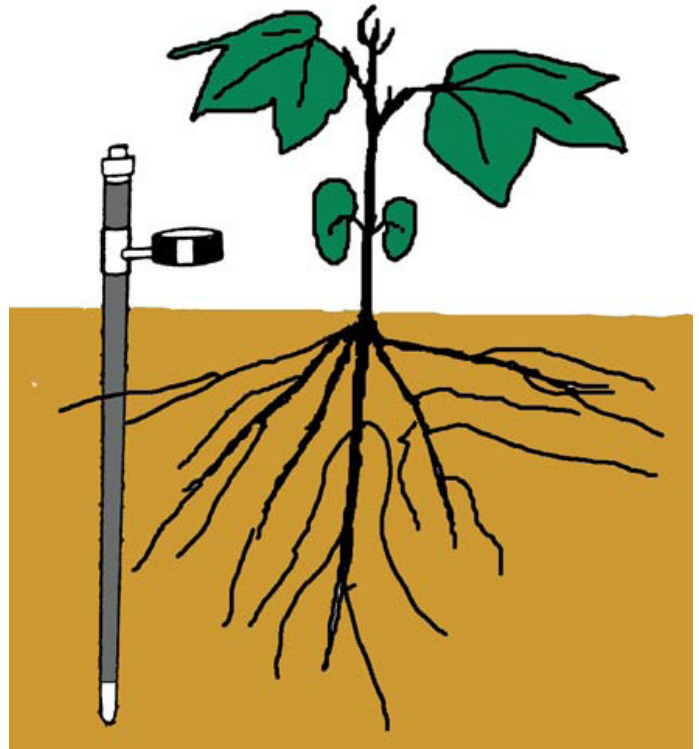


Figura 4. Diagrama de un tensiómetro. En algunos casos, el indicador de aguja es reemplazado con una terminal que conecta con un sensor que mide la fuerza de succión.

## Nueva Tecnología

Cada año se dispone de nuevos dispositivos y métodos para los agricultores. Dos técnicas nuevas para la determinación de humedad en el suelo utilizan instrumentos de medición de reflectancia en el dominio del tiempo (sondas TDR) y de capacitancia eléctrica (Sondas-C y reflectómetros que funcionan en el dominio de frecuencia [FDR, por sus siglas en inglés]).

Los instrumentos TDR funcionan bajo el principio de que la presencia de agua en el suelo afecta la velocidad de propagación de una onda electromagnética (la hace más lenta). El TDR envía una onda electromagnética a través de una guía (generalmente un par de puntas paralelas de metal) colocada en el suelo a la profundidad deseada. El TDR entonces mide el tiempo que le toma a la onda viajar por la guía hacia el suelo y regresar. Este aparato registra el tiempo y lo convierte a una lectura de la humedad del suelo. Entre más mojado esté el suelo, más tiempo le toma a la onda magnética viajar por el suelo y regresar por la guía.

Las sondas C y los instrumentos FDR utilizan un oscilador de corriente alterna para formar un circuito eléctrico en conjunto con el suelo. Después de insertar las sondas, que pueden ser puntas paralelas o anillos de metal en el suelo, el oscilador produce valores de frecuencia de acuerdo al contenido de humedad del suelo. La mayoría de los modelos utilizan un tubo de acceso instalado en el suelo (similar a

la sonda de neutrones).

Todos los dispositivos TDR, FDR y las Sondas-C han funcionado bien, pero tienen sus limitaciones: sus lecturas registran y abarcan solo un pequeño volumen de suelo, el que rodea a las guías o sondas. Tanto los reflectómetros FDR como las sondas-C son sensibles a las burbujas de aire que se forman entre los tubos de acceso y el suelo. Muchos de estos instrumentos más nuevos necesitan instalación profesional para operar apropiadamente. En los suelos donde existe caliche u otras capas endurecidas como arcillas comprimidas, estas sondas pueden ser difíciles de instalar. Este tipo de problemas se complica cuando el suelo está seco. El costo de estas sondas varía entre \$5,000 y \$10,000.

## Las Plantas como Indicadores

Las plantas también son útiles para indicarnos CUÁNDO regar. Las plantas le permiten al agricultor buscar directamente en ellas señales que le indiquen cuándo regar, y no basarse en parámetros indirectos como el suelo o la demanda evaporativa. Al observar las características de una planta el agricultor puede tener una buena idea del contenido de humedad en el suelo.

## Termómetros de Luz Infrarroja

Un termómetro de Luz Infrarroja (IR, por sus siglas en inglés) mide la temperatura térmica de la planta, particularmente de las hojas del cultivo. De igual forma que las personas sudan para mantenerse frescas, las plantas transpiran a través de unas aberturas llamadas estomas. Una vez que las plantas comienzan a sufrir de estrés hídrico, comienzan a cerrar sus estomas y dejan de transpirar provocando que la planta “se caliente” y la temperatura de las hojas aumente. Con las lecturas de rayos infrarrojos se puede detectar este aumento de temperatura en la planta.

Cuando se utiliza este método, se deben tomar temperaturas de referencia en un campo bien regado, sin ningún estrés hídrico, para compararlas con las mediciones del campo en cuestión. En días de altas temperaturas, algunas plantas, en forma natural, dejan de transpirar por un corto tiempo aún cuando estén bien hidratadas. Si se mide la temperatura de las hojas con rayos infrarrojos en ese momento, estas lecturas pueden indicar que hay estrés hídrico, cuando en realidad éste es un período en que la planta responde a las altas temperaturas. Compare las lecturas del campo en cuestión con las lecturas de un campo bien regado para tomar su decisión. Con los Termómetros de Luz Infrarroja también se necesita tomar la temperatura en días despejados, al mediodía con el sol en su punto más alto, normalmente entre las 12:00 y las 2:00 pm. Ésto es para asegurarse que las medidas se toman con la máxima intensidad solar. Durante la temporada de lluvias, estas condiciones pueden ser difíciles de lograr debido a los cielos nublados. Al principio de la temporada del cultivo, cuando el follaje de las plantas es escaso, las lecturas del IR a menudo medirán las temperaturas del suelo. Estas lecturas generalmente ofrecen datos de temperatura más

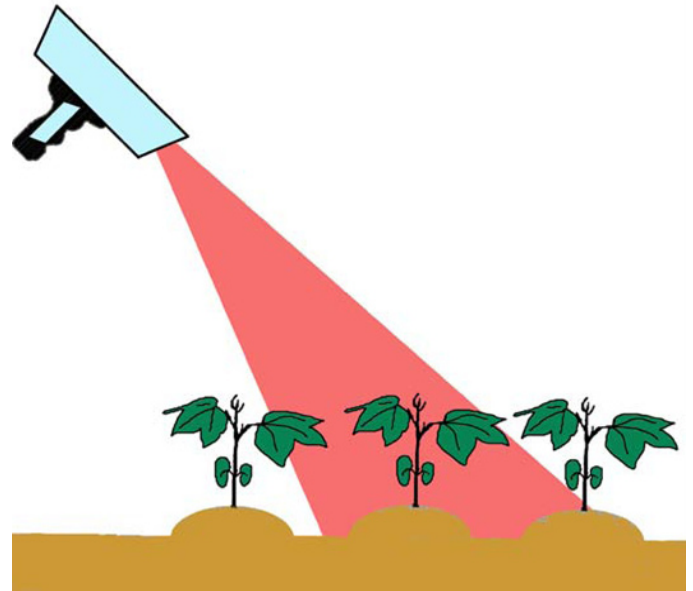


Figura 5. Diagrama de un sensor infrarrojo. Este es un modelo de mano.

altos puesto que el suelo tiende a calentarse rápidamente. La figura 5 es un diagrama de un termómetro infrarrojo de mano.

## Programación del Riego por Computadora

El uso de programa de computadoras para ayudar en la programación del riego fue introducido en los años setenta. Sin embargo, sólo hasta recientemente con la introducción de las computadoras personales con procesadores rápidos es que su uso ha comenzado a ganar amplia aceptación. Se pueden utilizar diversos métodos para determinar el uso de agua en el cultivo y ayudar a los agricultores a programar el riego. El método más común es usar una ecuación para calcular el uso de agua o la evapotranspiración (ET) de un cultivo de referencia y relacionar ese valor con la ET de otros cultivos. La ET se refiere a la pérdida de agua debido a la evaporación del suelo y a la transpiración de la planta. Al comienzo de la temporada de crecimiento de un cultivo, las plantas son pequeñas y la mayoría de las pérdidas de agua se debe a la evaporación del suelo. A medida que las plantas crecen y el follaje aumenta, hay más sombra en el suelo y la pérdida de agua se hace mayormente a través de la transpiración de la planta.

Algunas ecuaciones de referencia incluyen ecuaciones basadas en alfalfa (ET<sub>r</sub>) y en césped (ET<sub>o</sub>). Existen varias ecuaciones, cada una con sus propias ventajas y desventajas. En Arizona, la ecuación Penman Modificada se usa ampliamente. Esta ecuación utiliza datos climatológicos para predecir cómo usará agua el césped. Otras ecuaciones usadas con buenos resultados son la Blaney-Criddle, la Jensen-Haise, la Hargreaves y más recientemente, la Penman-Monteith FAO 56 (Allen et al. 1998) y la ecuación de Referencia Estandarizada ET (ASCE-EWRI, 2005).

Tabla 2. Lista de ecuaciones usadas para calcular la ET (Evapotranspiración) de referencia (Jensen et al., 1990).

Método	Frecuencia	Cultivo de referencia	Tipo de cultivo de referencia.
Penman Monteith FAO 56	Cada hora o diariamente	Césped (ETo) y Alfalfa (ETr)	Depende de la aspereza de la superficie y el follaje de las plantas.
ASCE Ecuación Estandarizada	Cada hora o diariamente	Césped, ETo	Un cultivo de referencia hipotético.
Penman Modificada, FAO-24	Diariamente	Césped, ETo	Césped de 3-6 pulgadas de altura, bien regado.
Jensen Haise	5 días	Alfalfa, ETr	Alfalfa de 11.8 a 19.7 pulgadas de altura, bien regada.
Hargreaves	10 días	Césped, ETo	Césped bien regado, de 3 a 6 pulgadas de altura.
Blaney-Criddle	Cada mes/5 a 10 días	Césped, ETo	Césped bien regado, de 3 a 6 pulgadas de altura.
FAO-24 Pan	5 días	Césped, ETo	Césped bien regado, de 3 a 6 pulgadas de altura.
Kimberly-Penman (1982)	Diariamente	Alfalfa, ETr	Alfalfa completamente desarrollada.

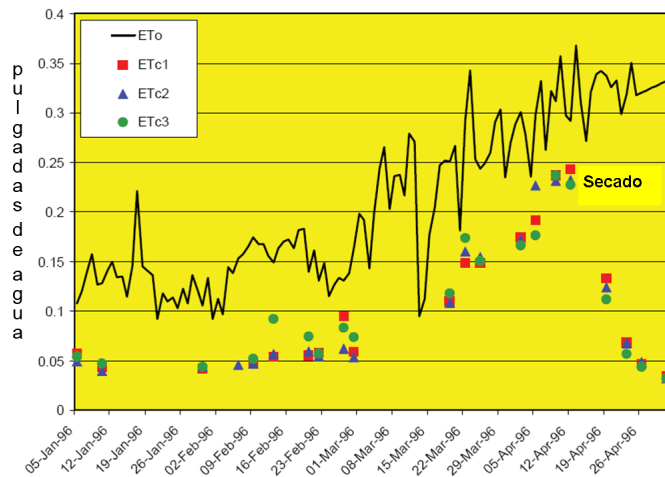


Figura 6. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y evapotranspiración medida en el cultivo (ETc) de cebolla en 1996, en Maricopa, AZ.

Además de usar ecuaciones para calcular la ET de referencia, también se utilizan tanques de evaporación para determinar el valor de ET de referencia, el cual después se relaciona con la ET del cultivo de interés. También existen ecuaciones de balance de energía y otros diversos enfoques para determinar la ET de referencia. La tabla 2 muestra una lista de los métodos más populares.

Como se dijo anteriormente, la ecuación Penman Modificada se ha usado con éxito en Arizona por varios años. La figura 6 muestra una gráfica del valor de referencia ET calculado (ETo) con la ecuación Penman Modificada para el cultivo

de cebolla en la zona central de Arizona en 1996. La figura 6 también muestra la medición del agua de cultivo usada (evapotranspiración del cultivo-ETc). Se puede calcular el coeficiente de cultivo (Kc por sus siglas en inglés) usando la siguiente ecuación:

$$ETc = ETo * Kc$$

Los coeficientes de cultivo se pueden determinar revisando información histórica del clima y datos del uso de agua del cultivo específico. Con estos datos se puede desarrollar gráficas de un cultivo específico (fig. 7). Si se usa el tiempo termal (Unidades de Calor), estas gráficas de cultivos se pueden aplicar en zonas con diferentes temperaturas diarias

En la programación del riego del suelo son de igual importancia las gráficas de cultivos como los parámetros de agua del suelo; es decir, se deben conocer tanto el ADP (agua disponible para la planta) del suelo como la CC (capacidad de campo).

En su forma más simple, la programación del riego es similar al balance de saldos de una chequera. Para la mayoría de los cultivos en Arizona, el suelo encuentra en su 100% de humedad o cerca de ese punto a la hora de plantar o justo después del riego. En ese momento, se puede determinar el uso diario de agua del cultivo usando las ecuaciones ETo con coeficientes del cultivo. Estos valores se restan al contenido total de agua que hay en el suelo y así se determina un nuevo contenido de humedad. Este proceso continúa hasta que la cantidad de agotamiento del ADP en el suelo alcanza una medida predeterminada (el DPM). Para muchos cultivos, el DPM se establece entre 40% a 50% en la

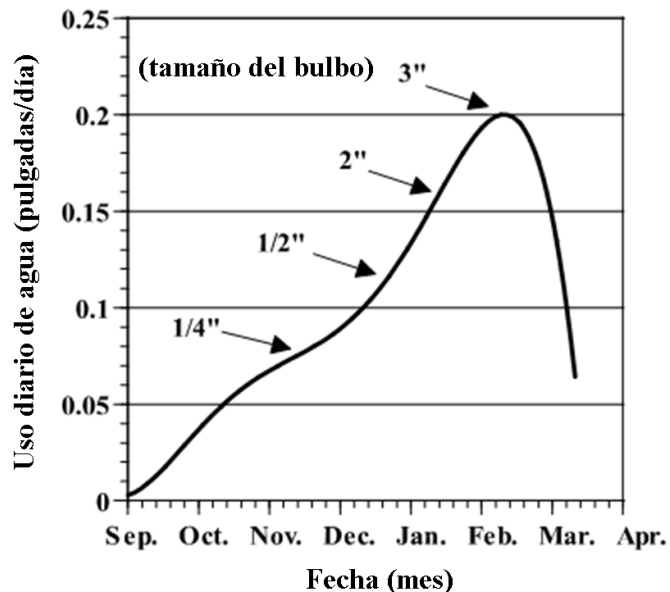


Figura 7. Gráfica de coeficiente del cultivo de cebolla desarrollada con datos ETo y ETc de la figura 6, mas datos obtenidos en otros dos años en Maricopa, AZ.

zona de raíces del cultivo. Sin embargo, algunos cultivos, tales como los cultivos de hortalizas, son más sensibles a cambios fuertes de humedad del suelo y entonces el DPM se fija a un porcentaje más bajo.

## Conclusión

Los métodos de programación del riego más comúnmente usados por los agricultores son: la programación de acuerdo al calendario (número de días pasados desde el último riego), la observación del cultivo para detectar cambios de color o escarbar en el suelo y sentir la tierra para estimar el contenido de humedad. La programación calendarizada no toma en cuenta los días extremos del clima, lo cual puede ocasionar problemas de un año a otro. Saber observar el cultivo demanda experiencia y un buen ojo - algunos agricultores lo tienen, otros no. Pero, aún cuando usted tenga un buen ojo, en el momento que la planta muestre signos visibles de estrés, ya habrá ocurrido una pérdida parcial de la cosecha. El palpar la tierra puede dar buenas estimaciones, pero les toma mucho tiempo a los agricultores. Además, cuando se usa esta técnica, se necesitan tomar en cuenta las características del suelo en la zona de raíces y estimar la profundidad de la zona de raíces puede ser difícil.

En este documento, se discutieron algunas de las opciones disponibles para ayudar a los agricultores a determinar CUÁNDO regar. Cualquiera que sea el método por el que se decida, es sabio escoger un enfoque definitivo. Ponerse a adivinar puede causar frustraciones innecesarias, pérdida parcial de la cosecha o el pago de altos costos por exceso de agua al final de la temporada. Tómese su tiempo e investigue un poco antes de invertir en cualquier sistema nuevo de medición de la humedad. Un lugar excelente

para encontrar información es el Internet. Un sitio llamado <http://www.sowacs.com> contiene información de muchos de los instrumentos descritos en esta publicación. Este sitio, aunque no ha sido actualizado recientemente, está activo a la fecha de esta publicación y contiene algunos buenos enlaces o ligas así como buena información. Vale la pena visitarlo.

Nota: Para información adicional en español sobre este tema, consulte la siguiente publicación y sitios en el Internet.

1. Juan M. Enciso, Dana Porter, and Xavier Pèrlès. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Extensión Cooperativa de Texas. Publicacion no. B-6194S.08/07 ([http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf\\_2437.pdf?sequence=1](http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf_2437.pdf?sequence=1))

2. Guía para calcular las condiciones de humedad del suelo: <ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/WY/soilmoisture/spanishtable.pdf>

3. El Manejo del Agua de Irrigación <http://www.wy.nrcs.usda.gov/technical/soilmoisture/spanishsoilmoisture.html>

## Referencias

- ASCE-EWRI, 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, 173 pp.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56, Rome, Italy.
- Jensen, M.E., R.D. Burman and R.G. Allen. 1990. Evaporation and irrigation water requirements. ASCE Practice No. 70. ASCE, NY, NY.
- Martin, E.C., A.S. de Oliveira, A.D. Folta, E.J. Pegelow and D.C. Slack. 2001. Development and testing of a small weighing lysimeter system to assess water use in shallow rooted crops. Transactions of the ASAE. 44(1):71-78.
- National Engineering Handbook, Part 652, Irrigation. 1997. USDA/NRSC.

Para más información, póngase en contacto con su Oficina de Extensión Cooperativa local.

## Apéndice A

Tabla 3. Equivalencia de términos en calendarización de riegos y métodos de medición.

Término en Inglés	Término equivalente en Español
Field capacity (FC)	Capacidad de campo (CC)
Permanent wilting point (PWP)	Punto de marchitamiento permanente (PMP)
Plant available water (PAW)	Agua disponible para la planta (ADP)
Management allowable depletion (MAD)	Déficit Permitido en el Manejo del Riego (DPM)
TDR (Time-Domain Reflectometry) probes	Sondas TDR (reflectancia en el dominio del tiempo)
Capacitance (C-Probes, Frequency-domain Reflectometers [FDR])	Sondas-C (capacitancia eléctrica)
Evapotranspiration (ET)	Evapotranspiración (ET)



**THE UNIVERSITY OF ARIZONA**  
**COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES**  
**TUCSON, ARIZONA 85721**

**EDWARD C. MARTIN, PH.D.**  
*Extension Irrigation Specialist*

**TRANSLATED BY:**  
**CAROLINA MUÑOZ**

**CONTACT:**  
**EDWARD C. MARTIN**  
[edmartin@cals.arizona.edu](mailto:edmartin@cals.arizona.edu)

This information has been reviewed by university faculty.  
[cals.arizona.edu/pubs/water/az1220S.pdf](http://cals.arizona.edu/pubs/water/az1220S.pdf)

Other titles from Arizona Cooperative Extension can be found at:  
[cals.arizona.edu/pubs](http://cals.arizona.edu/pubs)

*La Universidad de Arizona no avala ningún producto, servicio u organización que se mencione, muestre o se implique indirectamente en esta publicación.*

Publicado como adelanto del trabajo de la Extensión Cooperativa, representado desde Mayo 8 y Junio 30 de 1914; en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, James A. Chritenson. Director de Extensión Cooperativa en el Colegio de Agricultura y Ciencias de Vida de La Universidad de Arizona. La Universidad de Arizona da una igualdad de oportunidades, Institución de acción afirmativa. La Universidad de Arizona no discrimina en base de raza, color, religión, sexo, nacionalidad, edad, incapacidad, condición de veterano u orientación sexual en este programa de actividades.