

## El control del riego mediante la tensión matricial del suelo

*C.C. Shock, T. Welch, F.X. Wang, R. Flock, E. Feibert, C.A. Shock y A. Pereira*



Malheur Experiment Station, Oregon State University: *Clint C. Shock, director y profesor; Rebecca Flock, antigua ayudante de investigaciones; Erik Feibert, ayudante de investigaciones sénior; Cedric A. Shock, antiguo ayudante de investigaciones; Andre Pereira, profesor visitante (profesor adjunto, Departamento de Ciencias de Suelos e Ingeniería Agrícola, UEPG, Paraná, Brasil)*

Centro para Investigaciones en el Agua y la Agricultura, China Agricultural University, Beijing: *Feng-Xin Wang, profesor adjunta*

Wild Iris Communications, Corvallis, OR: *Teresa Welch*

Una de las herramientas más eficaces utilizadas por el Malheur Experiment Station durante las últimas dos décadas es el sensor matricial granular (SMG), el cual mide la humedad del suelo. El sensor tiene sólo 7,5 cm de largo, y normalmente se entierra verticalmente en el suelo. Se conoce como el Watermark Soil Moisture Sensor, y está fabricado por Irrometer Co., Riverside, CA.

De modo similar a los bloques de yeso, los sensores SMG utilizan para su funcionamiento el principio de la resistencia eléctrica variable. Los electrodos del SMG están empotrados en un relleno granular y situados encima de una placa de yeso. Debajo de la placa se encuentra más materia matricial granular envuelta por un tubo de malla que permite la entrada y salida del agua del sensor.

Disuelto en agua, el yeso es un conductor de electricidad bastante eficaz. Por eso, cuando el sensor contiene mucha agua, la corriente eléctrica fluye bien. Cuando hay mucha agua en el suelo, también hay mucha agua en el sensor. Mientras va secándose el suelo, el sensor también se seca, y la resistencia al flujo de electricidad aumenta.

La resistencia al flujo de electricidad (expresada en Ohms) y la temperatura del suelo se utilizan para calcular de forma aproximada la tensión de humedad en el suelo en centibares (cb). La tensión matricial del suelo (TMS) es la fuerza que las raíces de las plantas deben emplear para extraer agua del suelo. Esta tensión refleja el nivel de humedad en el suelo. Cuanto más alta la tensión, más seco está el suelo.

Otros instrumentos para la medición de la TMS son los tensiómetros, bloques de yeso, sensores dieléctricos del potencial del agua del suelo y sensores cerámicos porosos de humedad.

### ¿Qué provecho sacan los cultivadores al usar sensores matriciales granulares?

Hasta ahora, el cultivador había de aprender a reconocer el momento preciso en que el suelo se había secado lo suficiente para regar. Incluso con años de experiencia y una intuición agrícola bien desarrollada resulta difícil elegir el momento

oportuno para regar consistentemente, y también para determinar la cantidad óptima de agua para maximizar la cosecha. Ayudaría mucho disponer de unos puntos de referencia de TMS para programar el riego. La lectura digital de los SMG facilita precisamente estos puntos de referencia y ayuda al cultivador a mejorar el rendimiento y calidad de sus cultivos.

### ¿Cómo interpretar la escala de 0 a 100 cb de TMS?

Por lo general, un SMG instalado en un suelo de textura media indica lo siguiente:

- > 80 cb indica suelo seco.
- 20–60 cb es la TMS típica antes de regar, variando según el cultivo, la textura del suelo, la meteorología y el método de riego.
- 10–20 cb indica que el suelo está cerca de su capacidad máxima de retención de humedad.
- 0–10 cb indica que el suelo está saturado.

### ¿Qué otra información puede dar un SMG?

Un SMG puede indicar, por ejemplo, si la lluvia de anoche fue suficiente para regar un campo de cebollas. Puede indicar también si en un día nublado se reducirá suficientemente el consumo de agua en un campo de patatas (papas) como para posponer el próximo riego. Puede indicar si se ha de regar con mayor frecuencia en el mes de julio que en junio. Ya que los datos provienen directamente de la zona de raíces de su cultivo, es una información que complementa eficazmente sus conocimientos agrícolas.

### ¿Es factible usar la TMS para la programación del riego?

En el Malheur Experiment Station, utilizamos desde hace 26 años los SMG y podemos por tanto decir con seguridad que la respuesta es SÍ. No hay nada que pueda sustituir la vigilancia de un cultivador experto. Pero, imagínese un corredor de bolsa que posee mucha experiencia e intuición

financiera. ¿No tendría aún más éxito después de consultar en el Internet la evolución de la bolsa? Lo mismo ocurre con el cultivador. Por ejemplo, una visita diaria a su campo de cebollas para leer seis o más SMG le ayudará a saber cuándo se debe regar. De hecho, usted normalmente podrá predecir la necesidad de riego con uno o dos días de anticipación.

Nuestras investigaciones nos han permitido determinar el umbral de TMS para varios cultivos en suelo franco limoso con diferentes técnicas de riego. Hemos constatado que el regar a estos valores críticos de TMS tiene beneficios importantes para los cultivos.

El umbral de TMS para el riego varía no sólo según el cultivo, sino también según la textura del suelo, factores meteorológicos y el método de riego. Se han establecido los valores umbral para una gran variedad de cultivos comerciales, teniendo en cuenta los varios tipos de suelo, condiciones meteorológicas y sistemas de riego (vea las tablas 1–4, páginas 7–10).

### ¿Cómo puede el uso de la TMS maximizar los beneficios de los cultivadores?

- Menor consumo de agua—Un programa de riego basado en un umbral de TMS puede reducir el número de riegos en una temporada evitando el riego en exceso.
- Menor consumo de energía
- Menor estrés para las plantas, lo cual puede reducir los problemas de plagas y enfermedades
- Evita la filtración profunda de nutrientes, especialmente el nitrógeno y el boro
- Evita la contaminación de las aguas subterráneas
- Menor desgaste en los equipos de riego

En nuestras investigaciones, hemos determinado que los cultivos regados según los criterios de TMS ofrecen mayor rendimiento económico, tamaño y calidad.

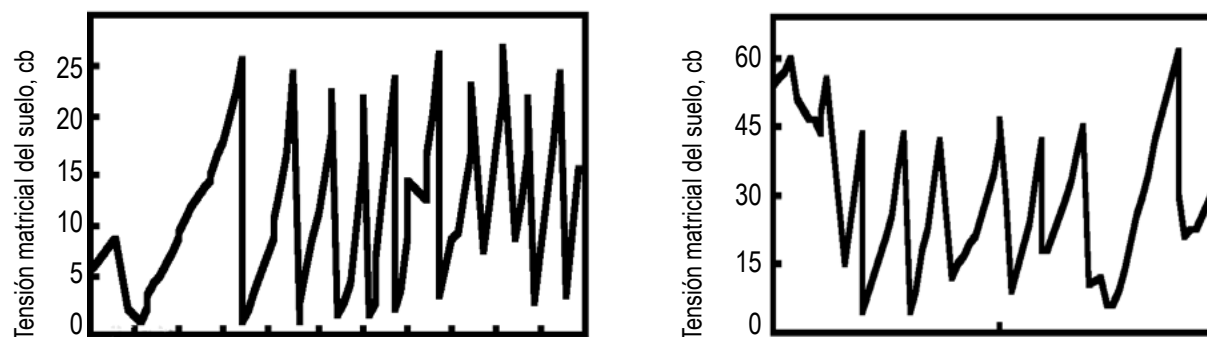


Figura 1. La variación en la tensión de humedad del suelo (TMS) durante una temporada de crecimiento para las cebollas regadas por surcos (izquierda) y las patatas regadas por aspersión (derecha).

### ¿Es difícil obtener los datos de TMS?

Se puede leer el SMG de varias maneras. Un método es el mediador electrónico Watermark (Modelo 30KTCD-NL, Irrometer Co., Riverside, CA). Este mediador se usa como un voltímetro y se acopla manualmente a los alambres del sensor con una pinza cocodrilo. Es fácil de usar pero lleva tiempo recorrer el campo y leer los resultados. Se recomienda apuntar los datos registrados para compararlos a lo largo de un período.

Existen dataloggers que permiten el registro automático de los datos de SMG. El Hansen AM400 (Mike Hansen Co., Wenatchee, WA) y el Watermark Monitor (Irrometer Co., Riverside, CA) son instrumentos que pueden instalarse en el límite del campo. Pueden programarse para registrar automáticamente los datos proporcionados por seis o siete SMG y un sensor de temperatura del suelo a lo largo del día. Se pueden leer los datos en forma numérica o gráfica en el mismo datalogger, o descargarlos a un ordenador para leerlos mediante un gráfico de software o de una hoja de cálculo (vea la figura 1).

Los datos registrados en los instrumentos del campo pueden ser subidos fácilmente al Internet usando un módem de teléfono móvil. De allí se les puede mostrar en forma gráfica en un portal del Internet. De este modo el usuario puede ver las condiciones actuales del suelo desde cualquier

ordenador que tenga acceso al Internet, haciendo más fácil el manejo del riego desde una distancia.

### Pero mi campo es muy grande y el sensor muy pequeño...

La utilidad del SMG depende de la precisión con la que un grupo de sensores instalados por todo un campo refleja la humedad del suelo. Por eso es importante instalar los sensores en varios sitios del campo que representen fielmente la zona de raíces media de una planta típica. Si un campo tiene distintas necesidades de agua, instale también sensores en las áreas representativas de cada zona.

Por lo general, los SMG se instalan en grupos de seis o siete para cada zona de riego. Cada SMG da información sobre la TMS sólo en el área más cercana al sensor. Ya que la TMS varía de un lugar a otro en un campo, y los sensores varían también, el uso de seis o más SMG dará datos más fiables que un sólo SMG.

Los sensores forman un circuito eléctrico sencillo. Por tanto, es muy fácil alargar los alambres del sensor utilizando un cable eléctrico normal. De este modo se pueden obtener datos de los sensores situados en el campo a varios metros de distancia del límite. Es importante mantener limpias y secas las conexiones entre los cables de extensión y los alambres del sensor.

## ¿Puedo yo mismo hacer la instalación?

La instalación es fácil y requiere pocas herramientas. Para abrir un agujero del tamaño adecuado para el sensor, se utiliza una sonda para muestras de suelo de un diámetro de 22 mm. No olvide que los SMG deben representar el nivel de humedad en todo el campo de producción, así que no escoja un sitio que sea excepcional.

La figura 2 (para suelos gruesos) y la figura 3 (para suelos limosos) muestran el proceso de instalación. Para facilitar la retirada de los sensores del campo, se puede pegar con adhesivo un tubo de PVC al sensor (vea la figura 2).

Los sensores darán datos exactos sólo si tienen buen contacto con el suelo. La profundidad adecuada para la instalación del sensor depende principalmente de la profundidad de la zona de raíces del cultivo. Sin embargo, también pueden estar afectados por la profundidad y textura del suelo. Para los cultivos con raíces poco profundas, es suficiente instalar los sensores a una profundidad menor de 30 cm. Para los cultivos con raíces profundas, instale también algunos sensores a una profundidad mayor dentro de la zona de raíces. La profundidad de la zona de raíces podría ser mayor en los suelos bien drenados que en los suelos barrocos o en aquéllos que tienen una capa de suelo compactado o drenaje inadecuado.

Para instalar un SMG, remoje el sensor durante varios minutos hasta que esté saturado. Luego, use una sonda para muestras de tierra para hacer un agujero en el suelo con un diámetro exterior que corresponda al diámetro del sensor. Ya que la parte sensible del SMG se encuentra a 2 cm encima de la punta, el agujero debe ser 2 cm más profundo que la longitud del sensor.

Los próximos pasos dependen de la textura del suelo. En caso de suelo grueso que no suele

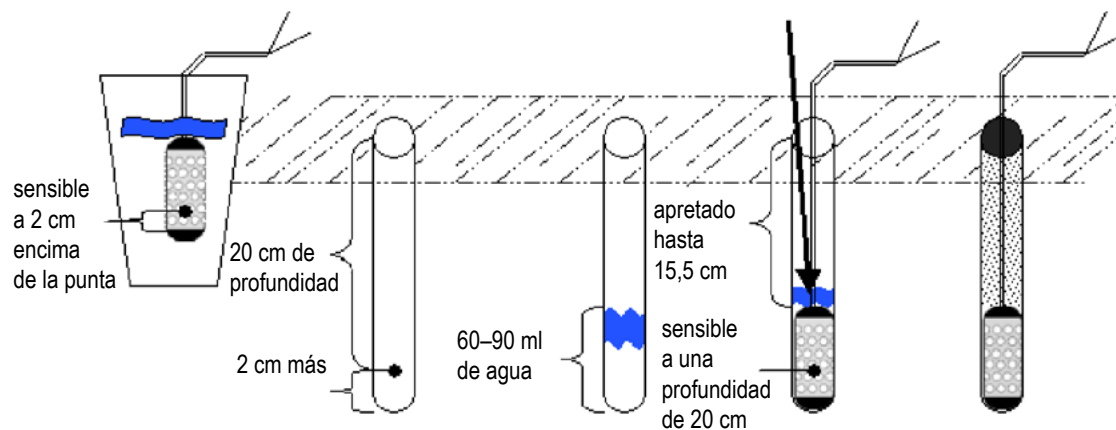
perder su estructura cuando está saturado, agregue 60–90 ml de agua al agujero y luego coloque el sensor en el fondo del mismo (vea la figura 2). Los suelos limosos tienden a perder su estructura cuando están saturados y pueden adherirse al sensor, impidiendo que el agua entre y salga del mismo. En estos suelos, coloque primero el sensor en el fondo del agujero y luego agregue 60–90 ml de agua (vea la figura 3).

Por último, y sin importar el tipo de suelo, rellene el agujero con tierra fina y use un tubo, barra de metal o palo de madera para compactar ligeramente el suelo. Esto impedirá la formación de un canal por el cual el agua podría llegar fácilmente al sensor (vea las figuras 2 y 3). Es importante evitar la formación de tales canales porque podrían cambiar artificialmente el nivel de humedad en el suelo y alterar los datos de TMS obtenidos por el SMG.

## Localización y resolución de problemas

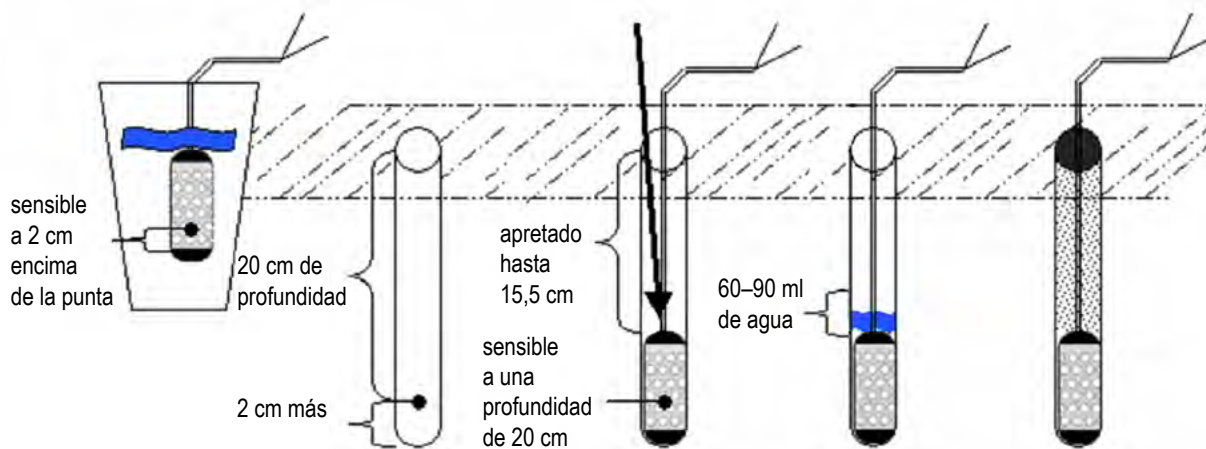
El sensor funciona a base de un circuito eléctrico. Un cable deshilachado puede causar un cortocircuito en el sensor, dando por resultado una lectura continua de cero. En otros casos un cable cortado causa un “circuito abierto”, el cual produce datos artificialmente altos. Si los sensores están mojados, deben dar resultados bajos. Algunas indicaciones de errores son los números 199 y 250, dependiendo de la marca del datalogger. No tire de los cables para retirar los sensores del suelo porque los podría dañar.

Incluso con el mantenimiento adecuado, los sensores tienen una vida útil limitada; tarde o temprano se desgastan o se debilita su sensibilidad. Cuando esto ocurra, reemplace el sensor. Compruebe los sensores en la primavera antes de usarlos; los sensores secos deben registrar un número alto, y los sensores remojados durante 90 segundos deben mostrar entre 0 y 4 cb.



1	2	3	4	5
Remoje el SMG durante varios minutos hasta que esté saturado.	Use una sonda de 22 mm para quitar el suelo hasta la profundidad adecuada para el sensor más 2 cm para la punta.	Agregue 60-90 ml de agua al agujero.	Use una espiga/ clavija para introducir el sensor. Debe encajarse firmemente.	Rellene el agujero con tierra. Elimine las bolsas de aire.

Figura 2. Cómo instalar un SMG a una profundidad de 20 cm en suelo grueso.



1	2	3	4	5
Remoje el SMG durante varios minutos hasta que esté saturado.	Use una sonda de 22 mm para quitar el suelo hasta la profundidad adecuada para el sensor más 2 cm para la punta.	Use una espiga/ clavija para introducir el sensor. Debe encajarse firmemente.	Agregue 60-90 ml de agua al agujero.	Rellene el agujero con tierra. Elimine las bolsas de aire.

Figura 3. Cómo instalar un SMG a una profundidad de 20 cm en suelo limoso.

## ¿Cuánto cuesta un sistema SMG?

Los sistemas SMG son bastante económicos. Aumentan el rendimiento y calidad de los cultivos, y su uso favorece la economía en el consumo de agua, energía, fertilizantes y en otros gastos de producción, lo que permite amortizar los gastos en poco tiempo.

## Para obtener mayor información

- Shock, C.C., A. Corn, S. Jaderholm, L. Jensen y C.A. Shock. 2002. Evaluation of the AM400 Soil Moisture Data Logger to Aid Irrigation Scheduling. Oregon State University, Malheur Experiment Station, Special Report 1038: 252–256. Disponible en el Internet al <http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2001/Hansen2000.php>
- Shock, C.C. 2003. Soil water potential measurement by granular matrix sensors. En Stewart, B.A. y T.A. Howell (eds.). *The Encyclopedia of Water Science*. Marcel Dekker. p. 899–903.
- Shock, C.C. y C.A. Shock. 2004. Comparison of the AM400 and Irrrometer Monitor for Precise Irrigation Scheduling. Oregon State University, Malheur Experiment Station Special Report 1055: 257–260. Disponible en el Internet al <http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2003/HansenIrrrometer2003.php>
- Shock, C.C. y F.X. Wang. 2011. Soil water tension, a powerful measurement for productivity and stewardship. *HortScience* 46:178–185.
- Shock, C.C., R. Flock, E. Feibert, C.A. Shock y J. Klauzer. Revisada 2013a. *Drip Irrigation Guide for Onion Growers*. Publicación EM 8901 del Oregon State University Extension Service. Disponible en el Internet al <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/20425/em8901.pdf>

Shock, C.C., F.X. Wang, R.J. Flock, E.P. Eldredge y A.B. Pereira. Revisada 2013b. *Successful Potato Irrigation Scheduling*. Publicación 8911 del Oregon State University Extension Service. Disponible en el Internet al <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/20498/em8911.pdf>

*Para otras publicaciones sobre el manejo del riego, visite el sitio Web del Servicio de Extensión de OSU a <http://extension.oregonstate.edu/catalog/>*

## Fuentes de productos

- Watermark Soil Moisture Sensor—Irrrometer Co., Riverside, CA
- Dielectric Water Potential Sensor (Model MPS-2)—Decagon Devices, Inc., Pullman, WA
- Hand-held Watermark Soil Moisture Meter (Model 30KTCD)—Irrrometer Co., Riverside, CA
- Hansen AM400 Datalogger—Mike Hansen Co., Wenatchee, WA
- Watermark Monitor Datalogger—Irrrometer Co., Riverside, CA

*Los productos y servicios de marcas específicas se mencionan en esta publicación solamente como ejemplos. Esto no significa la aprobación por parte del Servicio de Extensión (Extension Service) de Oregon State University ni la desaprobación de productos y servicios no incluidos.*

## Reconocimientos

*La preparación de esta publicación fue financiada parcialmente por el Oregon Watershed Enhancement Board.*

## Resumen

- La TMS indica el nivel de humedad del suelo y ayuda a los cultivadores a decidir cuándo se debe regar, evitando así el riego inadecuado tanto por defecto como por exceso.
- Los cultivos sensibles al estrés hídrico cuando se riegan con precisión usando la TMS obtienen un mayor rendimiento y calidad que cuando reciben una cantidad de agua excesiva o inadecuada.
- La TMS óptima para un cultivo específico depende de las necesidades del cultivo, la textura del suelo y el clima.
- Otros aparatos que miden la TMS incluyen los tensiómetros, bloques de yeso, sensores matriciales granulares, sensores dieléctricos del potencial del agua del suelo y sensores cerámicos porosos de humedad.
- En el Treasure Valley de Oregon, las cebollas cultivadas en suelo franco limoso se riegan a una TMS de 20 a 25 cb. Las patatas cultivadas en el mismo tipo de suelo se riegan a una TMS de 30 a 60 cb, dependiendo del sistema de riego.
- El potencial del agua del suelo es el inverso de la TMS. Un potencial de agua del suelo de -20 cb es igual a una TMS de +20 cb. Los centibares (cb) son lo mismo que los kilopascales (kPa).
- Los sensores matriciales granulares (SMG) dan buenas aproximaciones a la TMS en muchos tipos de suelos.
- El fácil registro de las lecturas de los sensores permite almacenar de forma sencilla los datos sobre las condiciones de la humedad del suelo para ayudar en la programación del riego.
- Es importante comprobar los sensores y cables con regularidad. Los dataloggers tienen unas necesidades de mantenimiento mínimas. Mantenga los dataloggers limpios y secos y reemplace las pilas cuando sea necesario.

*Table 1. La tensión matricial del suelo (TMS) como criterios para el riego de las cebollas, recopilado por Shock y Wang, 2011.*

TMS (cb)	Lugar	Tipo de suelo	Sistema de riego	Profundidad del sensor (cm)
8.5	Piauí, Brasil	Arenoso	Micro aspersor	—
10	Pernambuco, Brasil	—	Inundación	—
15	São Paulo, Brasil	—	Surcos	—
10–15	Condado de Malheur, Oregón, EU	Franco limoso	Goteo	20.3
17–21	Condado de Malheur, Oregón, EU	Franco limoso	Goteo	20.3
27	Condado de Malheur, Oregón, EU	Franco limoso	Surcos	20.3
30	Tejas, EU	Franco arenoso/arcilloso	Goteo	20.3
45	Karnataka, India	Franco arenoso/arcilloso	—	—

Tabla 2. La tensión matricial del suelo (TMS) como criterios para el riego de la patata, recopilado por Shock y Wang, 2011.

TMS (cb)	Lugar	Tipo de suelo	Sistema de riego	Profundidad del sensor (cm)
20	Oeste de Australia	Franco arenoso	Aspersión	—
25	Maine, EU	Franco limoso	Aspersión	—
25	Luancheng, Provincia Hebei, China	Franco limoso	Goteo	20.3
30	Lethbridge, Alberta, Canadá	Franco arenoso	Aspersión	—
30	Condado de Malheur, Oregón, EU	Franco limoso	Goteo	20.3
50	California, EU	Franco	Surcos	—
50–60	Condado de Malheur, Oregón, EU	Franco limoso	Aspersión	20.3
60	Condado de Malheur, Oregón, EU	Franco limoso	Surcos	20.3

Tabla 3. La tensión matricial del suelo (TMS) como criterios para el riego de cultivos de coles, recopilado por Shock y Wang, 2011.

Nombre común	TMS (cb)	Tipo de suelo	Sistema de riego o equipo de medición	Profundidad del sensor (cm)	Lugar, temporada
Brócoli ( <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i> )	10–12	Franco arenoso	Goteo sub-superficial	30.5	Maricopa, AZ, EU; otoño–invierno
Brócoli	50, 20 <sup>1</sup>	Franco limoso	Lisímetros protegidos de la lluvia	10.2	Agassiz, Columbia Británica, Canadá; primavera
Coliflor ( <i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i> )	10–12	Franco arenoso	Goteo sub-superficial	10.2	Maricopa, AZ, EU; otoño–invierno
Col berza	9	Franco arenoso	Goteo sub-superficial	30.5	Maricopa, AZ, EU; otoño–invierno
Coliflor	25 <sup>2</sup>	Franco arenoso	Surcos e inundación	17.8	Bangalore, India; invierno
Coliflor	20–40	Franco arenoso	—	—	Skierniewice, Polonia; primavera–verano
Mostaza, hojas	6–10	Franco arenoso	Goteo sub-superficial	30.5	Maricopa, AZ, EU; otoño–invierno
Mostaza, hojas	25 <sup>2</sup>	Arena franca y arena	Lisímetros protegidos de la lluvia	10.2	Tifton, GA, EU; primavera y otoño
Repollo ( <i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> )	25	Arena franca y arena	Lisímetros protegidos de la lluvia	10.2	Tifton, GA, EU; primavera y otoño

<sup>1</sup>Una TMS de 25 cb durante el desarrollo de la planta; luego 20 cb durante el desarrollo de la cabeza.

<sup>2</sup>El criterio de 25 cb era el más húmedo investigado.



Tabla 4. La tensión matricial del suelo (TMS) como criterio para el riego de otros cultivos de campo y vegetales, recopilado por Shock y Wang, 2011.

Nombre común	TMS (cb)	Tipo de suelo	Sistema de riego o equipo de medición	Profundidad del sensor (cm)	Lugar, temporada
Alfalfa cultivada para semilla	200–800	Arena fina franca, franco, franco limoso	Aspersión e inundación	10.2–182.9	Logan, UT, EU; verano del cultivo perenne
Apio	10	Franco arenoso	Goteo	20.3	Santa Ana, CA, EU; otoño–invierno
Arroz	16	Franco arenoso	Inundación	15.2–20.3	Punjab, India; verano–otoño
Calabacín	25 <sup>1</sup>	Arena franca y arena	Lisímetro	—	Tifton, GA, EU; primavera, verano y otoño
Camote (batata)	25, luego 100 <sup>2</sup>	Arena franca y arena	Lisímetros protegidos de la lluvia	22.9	Tifton, GA, EU; verano
Camote (batata)	25–40	Franco limoso	Goteo	20.3	Ontario, OR, EU; verano
Ejotes (judías) ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	25 <sup>2</sup>	Arena franca	Lisímetros protegidos de la lluvia	10.2	Tifton, GA, EU; primavera y otoño
Ejotes (judías)	45	Franco arcilloso/arenoso	—	15.2	Bangalore, India; otoño–invierno
Ejotes (judías)	50	Franco arcilloso	Surcos y goteo	30.5	Griffin, NSW, Australia; verano
Espinaca	9	Franco arenoso	Goteo	—	Maricopa, AZ, EU
Lechuga, romana	<6.5	Franco arenoso	Goteo sub-superficial	30.5	Maricopa, AZ, EU; otoño–invierno
Lechuga de hoja	6–7	Franco arenoso	Goteo sub-superficial	30.5	Maricopa, AZ, EU; otoño–invierno
Lechuga	<10	Tierra roja	Goteo	30.5	NSW, Australia
Lechuga	20	Franco arcilloso, franco arenoso	Aspersión, goteo	15.2	Las Cruces, NM, EU; verano-otoño
Lechuga, romana	30 <sup>1</sup>	Franco arcilloso	Superficial	30.5	—
Lechuga de cogollo y romana	50	Franco arenoso	Aspersión	15.2	Salinas, CA, EU; primavera–verano
Maíz (elote, choclo)	10–40	Arena	Goteo	15.2	—
Maíz (elote, choclo)	30	Suelo cárstico	Goteo	30.5	Champlotón, Campeche, México; primavera–verano
Maíz (elote, choclo)	50	—	—	—	Utah, EU; primavera–verano
Maíz (cereal)	30	Arena fina franca	Aspersión	15.2	Quincy, FL, EU; primavera–verano
Maíz (cereal)	50	—	—	—	Utah <sup>5</sup>
Pepino	15–30	Arena fina y arcilla arenosa	Goteo	20.3	Piikkio, Finlandia; primavera–verano
Rábano	35	Franco limoso	Goteo	20.3	Luancheng, Hebei Province, China; verano–otoño
Rábano	20	Franco arcilloso/arenoso	Cuenca de control y surcos	17.8	Bangalore, India; invierno

La tabla 4 sigue en la página 10

**continuación**—*Tabla 4. La tensión matricial del suelo (TMS) como criterios para el riego de otros cultivos de campo y vegetales, recopilado por Shock y Wang, 2011.*

Nombre común	TMS (cb)	Tipo de suelo	Sistema de riego o equipo de medición	Profundidad del sensor (cm)	Lugar, temporada
Sandía	7–12.6	Franco arenoso	Goteo	30.5	Maricopa, AZ, EU; primavera–verano
Tomate (jitomate)	10	Arena fina	Goteo	15.2	Gainesville, FL, EU; primavera
Tomate (jitomate)	20	Arena	Goteo	15.2	Coruche, Portugal; primavera–verano
Tomate (jitomate)	12–35 <sup>3</sup>	Arcilla	Goteo	10.2–20.3 <sup>4</sup>	Distrito Federal, Brasil; otoño–invierno
Tomate (jitomate)	50	Franco limoso	Goteo	20.3	Yougledian, Tongzhou, Beijing, China; verano
Zanahoria	30–50	—	Aspersión	—	Nueva Escocia, Canadá; primavera–verano
Zanahoria	40–50	—	Micro aspersor	15.2	Nueva Escocia, Canadá; primavera–verano

<sup>1</sup>El criterio de 25 cb o 30 cb era el más húmedo investigado.

<sup>2</sup>Una TMS de 25 cb durante el desarrollo de la planta; luego 100 cb durante el crecimiento de la raíz.

<sup>3</sup>Treinta-y-cinco, 12 y 15 cb durante, respectivamente, las etapas de crecimiento vegetativo, desarrollo de frutos y maduración.

<sup>4</sup>La profundidad del sensor era de 10.2 cm durante la etapa de crecimiento vegetativo, 15.2 cm a principios de la etapa de desarrollo de frutos y 20.3 cm desde allí hasta que se terminó el riego.

<sup>5</sup>Taylor, S.A., D.D. Evans, and W.D. Kemper. 1961. Evaluating Soil Water. Utah Agricultural Experiment Station Bulletin 426.