



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMEII-21035

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.) CON RIEGO POR GOTEO

Luciano Velázquez Vázquez¹; Juan Manuel Barrios Díaz^{1*}; Benjamín Barrios Díaz²;
Fabiél Vázquez Cruz¹; Guillermo Jesuita Pérez Marroquín¹; Pablo Zaldívar Martínez¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
San Juan Acataeno, Teziutlán, C.P. 73965, Puebla, México.

juan.barrios@correo.buap.mx - 231 103 9224 (*Autor de correspondencia)

²Comprejo Regional Norte Campus Tetela de Ocampo. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Tetela de Ocampo, C.P. 73965, Puebla, México.

Resumen

En la producción de hortalizas es necesario contar con herramientas que permitan optimizar el uso del agua. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar y comparar dos tipos de sensores para estimar la humedad de un suelo franco arenoso: los sensores de matriz granular (SMG) y sensores de resistividad (SR), que fueron instalados en las camas de cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) con riego por goteo en Acatzingo de Hidalgo, Puebla, México. Para inducir variabilidad de la humedad del suelo fueron establecidos dos tratamientos: con acolchado y sin acolchado plástico. Ambos tipos de sensores se ubicaron a una profundidad aproximada de 15 cm dentro de las camas de cultivo y entre dos hileras de plantas. El monitoreo de respuesta de los sensores a los cambios de humedad del suelo fue continuo hasta finalizar el ciclo de cultivo. Los resultados muestran que para las condiciones de alta frecuencia del riego por goteo y humedad del suelo muy cercana a capacidad de campo (18 %), los SR fueron menos sensibles a la variación temporal del contenido hídrico del suelo que los SMG y hubo muy baja correlación entre las lecturas registradas por ambos tipos de sensores. Con respecto al efecto del acolchado en la humedad del suelo, se observó una tendencia muy ligera a un mayor contenido de humedad en las camas de cultivo cubiertas con el acolchado plástico.

Palabras claves: sensor de resistividad, sensor de matriz granular, riego por goteo, humedad del suelo

Introducción

En el manejo de los cultivos intensivos, 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 recursos económicos. Esto además, permite tomar mejores decisiones en la programación del riego, tales como determinar la cantidad de agua a aplicar y cuándo aplicarla, evitando pérdidas excesivas de agua por percolación profunda, por escurrimientos o bien aplicar una cantidad insuficiente. Además 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; por otra parte el riego insuficiente puede reducir la producción de las cosechas (Enciso *et al.*, 2007).

El reto de distribuir homogéneamente el agua en una parcela de cultivo puede solucionarse con sistemas de riego tecnificados, los cuales tienen el objetivo de poner a disposición de las plantas el agua necesaria para su desarrollo y producción, consiguiendo la aplicación de agua más uniforme, tal es el caso de los sistemas de riego por goteo, que al estar apoyados con tecnologías para definir de forma más exacta la programación del riego como son sensores de distintos tipos (humedad del suelo, condiciones atmosféricas, estado de la planta, etc.) se potencializan aún más sus ventajas, sobre todo en cultivos de alto valor económico como la cebolla. Al respecto, Maughan *et al.* (2015) mencionan que el riego por goteo se está utilizando cada vez más para cultivar cebollas, debido al mejor manejo de fertilizantes, menor uso de agua, mejor control de plagas y maleza, y mayor tamaño de bulbo, uniformidad y rendimiento comercial.

La cebolla es el segundo cultivo hortícola más cultivado del mundo y la quinta hortaliza más importante cultivada en México, ocupando aproximadamente 43,000 ha (SIAP, 2016). Sin embargo, la disponibilidad de agua, inundaciones, aumento de la temperatura y salinidad, son los principales factores ambientales que limitan la productividad de este cultivo en todo el mundo. El cultivo de la cebolla es más sensible al estrés hídrico durante la formación y crecimiento del bulbo que durante la etapa vegetativa, de ahí la importancia relevante del riego por goteo y del monitoreo continuo de la humedad del suelo.

Con base a lo anterior, la presente investigación tuvo como principal objetivo: evaluar la respuesta de un sensor de resistividad de bajo costo y compararlo con un sensor de matriz granular, en el monitoreo de la humedad del suelo en el cultivo de cebolla con riego por goteo en el municipio de Acatzingo de Hidalgo, Puebla, México.



Materiales y Métodos

Localización del área de estudio

El experimento se realizó en una parcela agrícola comercial ubicada en el municipio de Acatzingo de Hidalgo Puebla, México, cuyas coordenadas geográficas son entre 18° 57' y 19° 07' de latitud norte, 97° 40' y 97° 49' de longitud oeste, a 2,200 msnm. El municipio cuenta con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre los 12 y 18° C y un rango de precipitación de 600 a 900 mm, (INEGI, 2009).

Características del suelo del sitio experimental

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de las determinaciones fisicoquímicas realizadas al suelo del sitio experimental.

Cuadro 1. Resultados de las determinaciones fisicoquímicas para el suelo del sitio experimental.

Determinación	Descripción
Textura	Franco arenoso con 74.4 % de arena, 10.4 % de limo y 15.2 % de arcilla.
Da	Densidad aparente de 1.31 g cm ⁻³
CC	Contenido gravimétrico de humedad a Capacidad de Campo de 18 %.
PMP	Contenido gravimétrico de humedad a Capacidad de Campo de 10 %.
pH	7.2 en relación agua-suelo 2:1
CE	Conductividad Eléctrica en el extracto de saturación de 3.3 dS m ⁻¹
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico de 23 cmol/ kg ⁻¹

Material vegetal

Se utilizó cebolla blanca híbrida cv. Cirrus (Seminis®), de día corto y maduración temprana, con hojas de 85 cm de longitud y color verde intenso, el número de hojas es de 9 a 11 de forma erecta y el número de raíces por planta es de aproximadamente 43. Alcanza la madurez fisiológica en un periodo de 140 a 155 días con 77 % de plantas dobladas o “rendidas” y es apta para consumo en fresco (Güemes *et al.*, 2012). Tiene bulbos grandes en forma de globo con alta tolerancia a verdeo, uniformes, de color blanco brillante, con tamaño promedio de 3.75 a 4.0 pulgadas. Brinda alta productividad en zonas con altas temperaturas y largos periodos de luz, bien adaptada a las zonas del noroeste y centro de México.

Descripción de los tratamientos

La respuesta de dos tipos de sensores de humedad del suelo fue evaluada en las condiciones del régimen hídrico impuesto por el riego por goteo y por efecto de utilizar o

no acolchado plástico en las camas de cultivo. Los sensores evaluados fueron: a) sensores de matriz granular (SMG) marca Watermark® y b) sensores de resistividad (SR) marca Grove® modelo SEN92355P.

En la Figura 1 se muestra un croquis del experimento establecido en campo y se observa que al centro de cada tratamiento fueron ubicadas las estaciones de monitoreo, las cuales incluyeron a los dos tipos de sensores evaluados, separados aproximadamente a una distancia de 40 cm entre ellos, de manera paralela a dos líneas de cultivo y a la cintilla de riego e insertados a la profundidad media del estrato de cero a 30 cm.

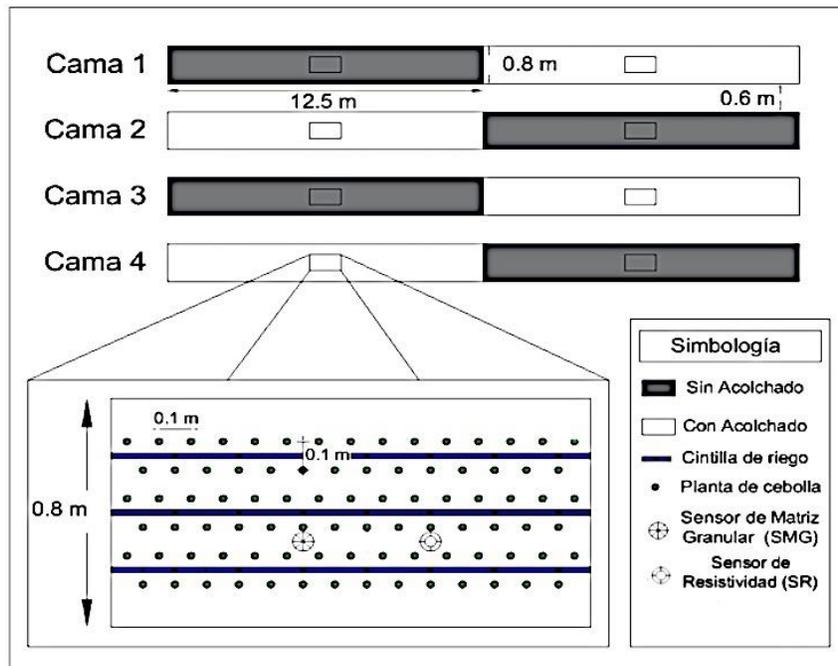


Figura 1. Distribución de las estaciones de monitoreo con sensores de matriz granular y de resistividad en cada tratamiento del sitio experimental.

Manejo agronómico del cultivo

El marco de plantación fue de 0.1 m x 0.1 m entre hileras y plantas, teniendo en total seis hileras de plantas por cama de cultivo, la densidad de población fue de aproximadamente 428,571 plantas ha⁻¹.

El sistema de riego estuvo conformado por una bomba hidráulica accionada por un motor a diésel de 15 hp, filtros de malla de 120 mesh. La línea primaria y secundaria fue con manguera lay-flat de 3.0 pulgadas. Cada cama de cultivo fue abastecida con tres cintillas de goteo (Toro®), localizando una cintilla entre dos hileras de plantas (Figura 1). La cintilla fue con diámetro de 16 mm, espesor de 0.2 mm, separación entre emisores de 0.2 m y caudal aproximado de 1.0 L h⁻¹, la presión operación fue de 0.55 bar.

El acolchado plástico utilizado fue de 1.4 m de ancho y bicolor negro-plata, negro en la parte inferior para el control de malezas y plata en la parte superior para control de insectos y captación de luz.

La fertilización del cultivo se realizó de acuerdo a una meta de rendimiento aproximada de 110 t ha^{-1} , fue considerada como base de cálculo a los análisis de fertilidad de suelo reportados por un laboratorio comercial. Durante el ciclo del cultivo se realizó una fertilización aproximada, en kg ha^{-1} , de 155 N, 70 P_2O_5 , 240 K_2O , 95 CaO y 40 MgO. La aplicación de micronutrientes fue con base al comportamiento observado del cultivo. El control fitosanitario fue de acuerdo a las prácticas de manejo que realizan los productores de la región.

Humedad del suelo

Los SMG proporcionan mediciones indirectas de la tensión del agua del suelo (THS) y miden un valor resistivo entre dos electrodos colocados en una matriz granular consistente (Hawkins, 1993; Larson, 1985). La resistencia se lee usando un circuito de medio puente y se relaciona con la THS usando una relación de calibración estándar (Shock, 2003).

En esta investigación la respuesta de los SMG fue registrada como THS (kPa) y esta fue transformada a porcentaje de humedad gravimétrica mediante la ecuación de la curva de retención de humedad mostrada en la Figura 2.

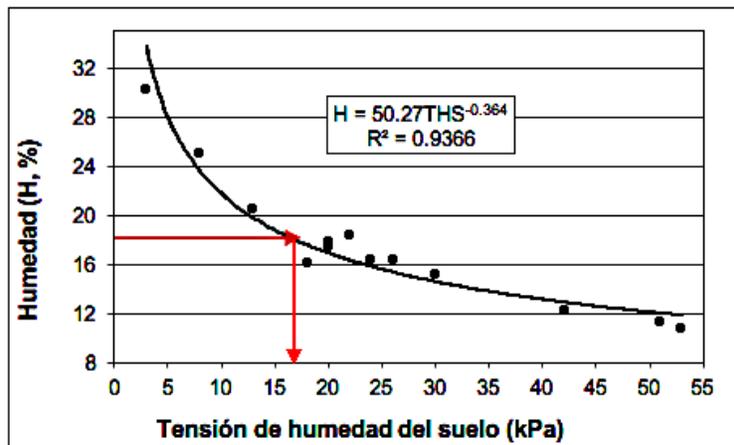


Figura 2. Curva de retención de humedad de un suelo franco arenoso obtenida con sensores de matriz granular.

El valor de humedad a capacidad de campo reportado por el laboratorio fue 18 % y corresponde, de acuerdo a lo reportado por Maughan *et al.* (2015) para un suelo de textura similar al del sitio experimental; además, de la ecuación que relaciona la humedad gravimétrica y la THS, para humedad=18 %, THS=17 kPa, lo cual está en el

rango señalado como óptimo (16 a 18 kPa) para irrigar los cultivos en suelos con textura franco arenosa (Maughan *et al.*, 2015).

Los SR fueron alimentados con un voltaje de 3.5 V y en el proceso de calibración fue utilizado un voltímetro marca Steren® para leer el voltaje de salida de estos sensores. Dicho voltaje también fue transformada a porcentaje de humedad gravimétrica mediante la ecuación de calibración entre estas dos variables (Figura 3). Cabe mencionar que al realizar la calibración de los SR fue obtenido un coeficiente de variación promedio de 8.31 %, el cual puede considerarse ligeramente elevado ya que se ha reportado que debe ser preferentemente inferior a 5.0 %.

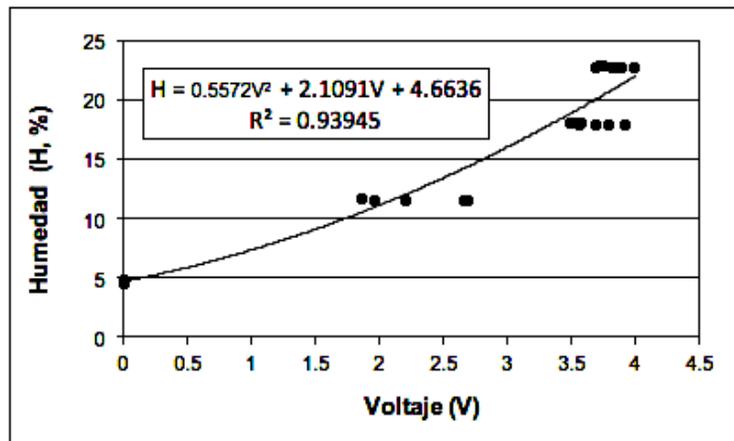


Figura 3. Relación entre el contenido gravimétrico de humedad (H, %) y el voltaje de salida (V) de los sensores de resistividad.

Ensayo previo al experimento de campo

Se realizó un ensayo previo al establecimiento del experimento en campo, para lo cual fue tomado suelo del sitio experimental y llenados cuatro recipientes cilíndricos de 20 l al 75 % de su capacidad, posteriormente fue agregado el volumen de agua suficiente para alcanzar un contenido de humedad ligeramente superior a capacidad de campo. A continuación, en cada recipiente fueron insertados un SMG y otro SR a una profundidad aproximada de 15 cm y separados 15 cm. Se registraron diariamente las lecturas reportadas por ambos tipos de sensores, y de cada repetición, durante 19 días.

Análisis estadístico

Para comparar la respuesta entre los sensores evaluados, se realizaron análisis de correlación entre la humedad de SMG y SR. Dicho análisis fue realizado con el paquete estadístico SAS para Windows 9.0.

Resultados y Discusión

Respuesta de los sensores en el ensayo previo al experimento de campo

En la Figura 7, se observa la variación de la humedad del suelo determinada por los sensores y se visualiza el efecto que provocó un riego proporcionado a los 13 días de iniciado el ensayo. De los resultados obtenidos, se observa que los SR mostraron poca sensibilidad a las variaciones del contenido hídrico del suelo, ya que al aplicar un riego que incrementó la humedad a capacidad de campo, en los registros no se reflejaron dichas variaciones, contrario a lo determinado con los SMG los cuales presentaron alta sensibilidad a estos cambios en la humedad del suelo..

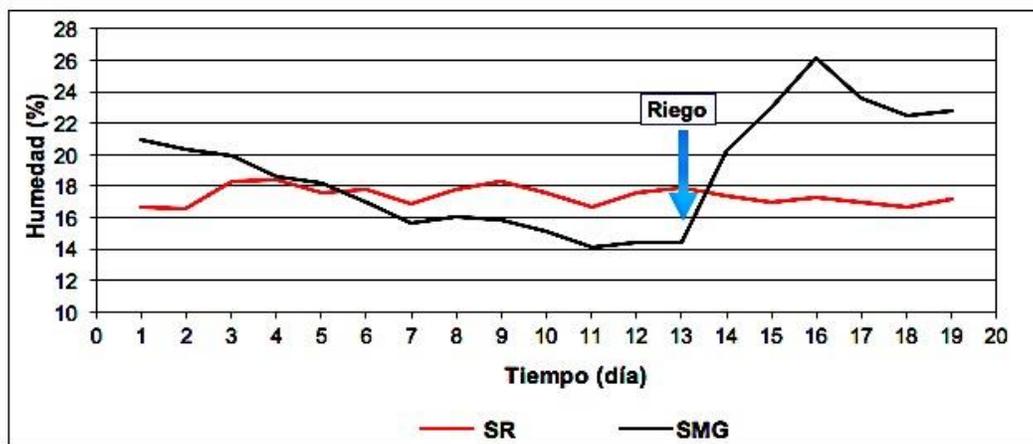


Figura 7. Comportamiento de los sensores evaluados en un ensayo previo al establecimiento del experimento para el monitoreo de la humedad de un suelo franco arenoso. SR: sensor de resistividad; SMG: sensor de matriz granular.

Respuesta de los sensores establecidos en campo

Sensores de resistividad

La dinámica del comportamiento de la humedad medida con los sensores de resistividad en los tratamientos acolchados y sin acolchar, durante todo el ciclo del cultivo, se muestra en la Figura 4. Se observa que las condiciones de humedad del suelo se mantuvieron generalmente en un rango entre 15 y 17 %, con un promedio aproximado de 16 %, y que las tendencias de la humedad de los tratamientos con y sin acolchado plástico fueron similares y prácticamente no hubo una diferencia clara entre estos tratamientos. También se observa que en la etapa intermedia del ciclo de cultivo, los sensores de resistividad registraron un ligero aumento en el contenido de humedad del suelo por arriba del promedio reportado, lo cual fue resultado de la intensificación de la frecuencia de riegos al cultivo, mientras que al final de la estación de crecimiento se observa un descenso que fue provocado para someter al cultivo a un estrés hídrico, el

cual en el cultivo de cebolla es necesario para forzar el transporte de los fotoasimilados de la hoja al bulbo, comúnmente llamado “vaciado”.

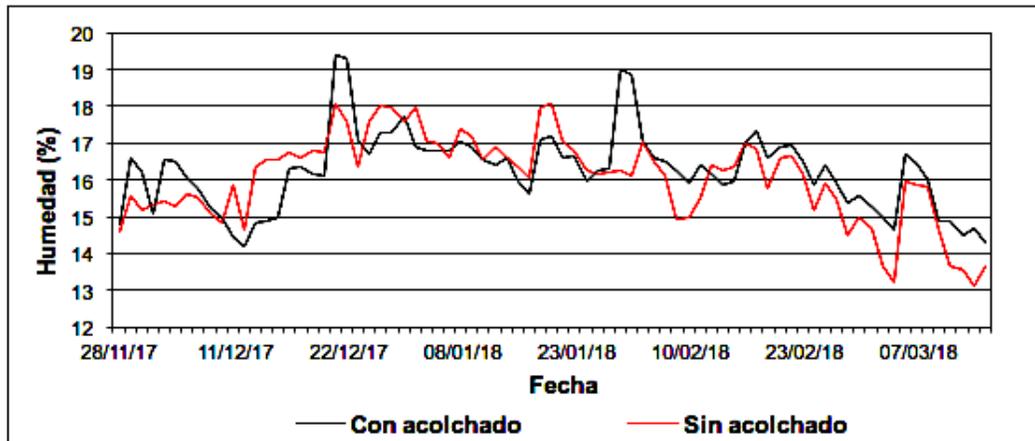


Figura 4. Comportamiento de los sensores de resistividad para el monitoreo de la humedad del suelo por efecto de la utilización o no de acolchado plástico en las camas de cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en Acatzingo de Hidalgo, Puebla, México.

Sensores de matriz granular

El comportamiento de los sensores de matriz granular en los dos tratamientos evaluados y durante el ciclo del cultivo de cebolla se muestra en la Figura 5. Se observa que las condiciones de humedad del suelo se mantuvieron entre 15 y 25 % la mayor parte del ciclo, con un promedio aproximado de 19 %, y que la tendencia de la dinámica de la humedad del suelo fue similar para las camas de cultivo acolchadas y sin acolchar; sin embargo, en los tratamientos con acolchado y después de 15 días de monitoreo, la humedad registrada fue ligeramente superior a la de camas de cultivo sin acolchar; esta diferencia fue más notable aproximadamente 45 días antes de finalizar el ciclo de cultivo.

En la Figura 4 también se observa que al inicio de la etapa intermedia del ciclo, los sensores registraron un ligero aumento en el contenido de humedad del suelo por arriba del promedio reportado, lo anterior debido al incremento de la frecuencia de riegos al cultivo ya que en esta etapa comienza a crecer aceleradamente el bulbo y por el contrario, en la parte final registra disminución del contenido de humedad incluso por debajo del 10 %, debido a que se inicia la suspensión de los riegos para favorecer el “vaciado” descrito en la sección anterior.

De los análisis realizados, con los sensores de resistividad y los sensores de matriz granular, se puede afirmar el efecto de acolchar o no las camas de cultivo no fue determinante en el contenido de humedad del suelo, lo anterior fue debido a que la humedad perdida por evapotranspiración y percolación profunda fue repuesta continuamente con las láminas de riego aplicadas.

En el cultivo de cebolla con altas frecuencias de riego, el acolchado plástico influye de manera importante en aspectos de manejo del cultivo como mantener la temperatura del suelo en la zona radicular, evitando en temporadas invernales la disminución del crecimiento radicular y bloqueo de nutrientes en suelo por bajas temperaturas, también para un mayor aprovechamiento de la luz y el control de malezas.



Figura 5. Comportamiento de los sensores de matriz granular para el monitoreo de la humedad del suelo por efecto de la utilización o no de acolchado plástico en las camas de cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en Acatzingo de Hidalgo, Puebla, México .

Comparación entre los sensores evaluados

La comparación entre los dos tipos de sensores, y con base al promedio general registrado por cada uno de ellos en los dos tratamientos, se muestra en la Figura 6. Se observa que los SR en comparación a los SMG, presentaron poca sensibilidad a cambios en la humedad del suelo al mantenerse cercana a capacidad de campo (18 %).

Los valores registrados por el SR en general permanecieron con tendencia constante y entre un rango de 15 a 17 %, a diferencia de los SMG que detectaron variaciones más amplias de la humedad del suelo, entre 15 y 30 %. Al inicio de la estación de crecimiento del cultivo, la humedad registrada por los SR fue en general inferior a la registrada por los SMG (4 % aproximadamente), sin embargo, al final del ciclo de cultivo la humedad registrada con los SR fue mayor que con los SMG (2 % aproximadamente).

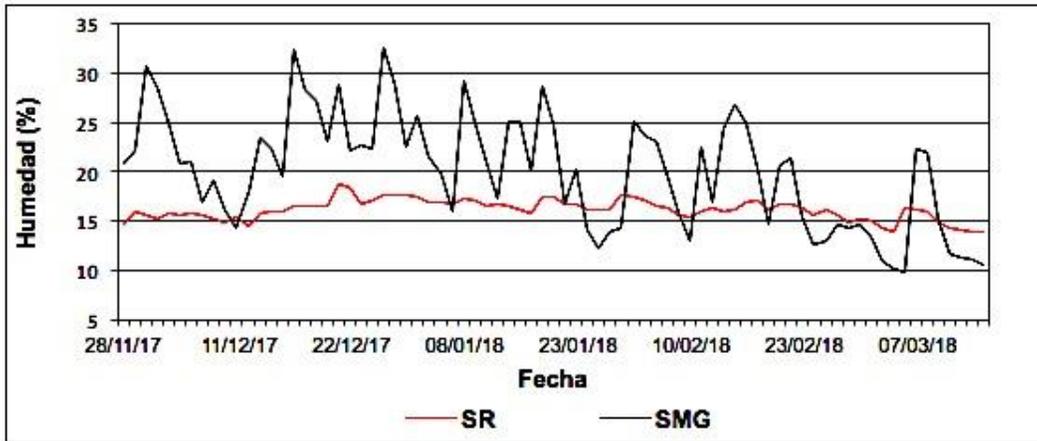


Figura 6. Comparación de los distintos tipos de sensores empleados; SR: sensor de resistividad, Tensiómetro y SMG: sensor de matriz granular, para el monitoreo de la humedad del suelo durante el ciclo de cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) con riego por goteo en Acatzingo de Hidalgo, Puebla, México .

Correlación entre sensores de resistividad y los sensores de matriz granular

La baja correlación ($r=0.1044$) entre la respuesta de SR y SMG se muestra en la Figura 7, en la que se corrobora que mientras el SMG detecta cambios más pequeños en la humedad del suelo cuando está cercano a capacidad de campo, el SR es más sensible a cambios mayores en el contenido de humedad del suelo evaluado, lo cual no ocurrió en este experimento ya que la humedad permaneció constantemente cercana a capacidad de campo. Bórquez *et al.* (2013) encontraron que los SMG presentan un adecuado tiempo de respuesta y sensibilidad a los cambios de humedad.

A pesar de los resultados contrastantes, los dos tipos de sensores presentan ventajas operativas, ya que es factible el registro automatizado de las lecturas y la visualización en tiempo real, además la posibilidad de controlar automáticamente el encendido y apagado de una bomba hidráulica, ambos poco mantenimiento y mayor vida útil.

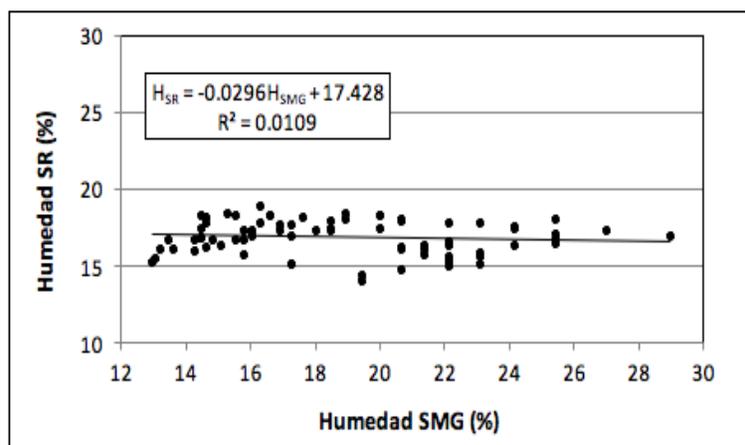


Figura 4. Correlación entre la humedad medida con sensores de matriz granular (SMG) y sensores de resistividad (SR).



Shock y Wang (2011) indican que los SMG presentan como ventajas su gran durabilidad, relativo bajo costo, no requieren mantenimiento pues no son reparables, de fácil lectura manual o automatizada con registradores de datos, por lo general no requieren calibración específica del sitio y son útiles en la mayoría de los tipos de suelo. La capacidad de respuesta del sensor es rápida de 10 a 80 kPa, pero su calibración es menos precisa de 0 a 10 kPa que de 10 a 80 kPa, para mayor precisión la temperatura se integra en las ecuaciones de calibración. El rango útil de los SMG puede extenderse a 200 kPa o más con la calibración adecuada.

Conclusiones

La respuesta de sensores de resistividad a las condiciones de humedad impuestas con el riego por goteo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en un suelo franco arenoso, muestra poca sensibilidad a los cambios del contenido de humedad cuando está muy cercana a la capacidad de campo, en contraste la alta sensibilidad expuesta por los sensores de matriz granular. Por lo tanto, aun cuando los sensores de resistividad presentan las mismas posibilidades para la automatización del proceso de riego y son bastante económicos, no representan una opción técnicamente viable para la operación de los sistemas de riego por goteo en el cultivo de cebolla en un suelo franco arenoso.

Referencias Bibliográficas

- Enciso, J., D. Porter, X. Périès. 2007. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Texas A&M AgriLife Extension Service.
- Güemes, G. M., S.A. Anaya, R.S. Ramírez, C. F. Osuna. 2012. Comportamiento de cinco cultivares de cebolla en fecha tardía en Atlacholoaya, Morelos. Agricultura Sostenible. 7:5-6.
- Hawkins, A.J. 1993. Electrical sensor for sensing moisture in soils. U.S. Patent 5,179,347. Date issued: 12 Jan.
- INEGI. 2009. Pro anuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Acatzingo, Puebla. Clave geoestadística 21004. Recuperado de: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21004.pdf
- Larson, G.F. 1985. Electrical sensor for measuring moisture in landscape and agricultural soils. U.S. Patent 4,531,087. Date issued: 23 July.
- Maughan, T., D. Drost, L.N. Allen. 2015. Vegetable Irrigation: Onion. Extension and Agricultura. Utah State University. Horticulture/Vegetables/2015-02.
- SIAP. 2016. Avance de Siembras y Cosechas. Resumen Nacional por Estado. Infosiap.



- Shock, C.C. 2003. Soil water potential measurement by granular matrix sensors, p. 899–903. In: Stewart, B.A. and T.A. Howell (eds.). The Encycl. of Water Sci. Marcel Dekker, New York, NY.
- Shock, C.C., F. Wang. 2011. Soil water tension, a powerful measurement for productivity and stewardship. HortScience. 46(2):178-185.