



Artículo: COMEII-17032

III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

CALIBRACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN SENSOR DE CAPACITANCIA DE BAJO COSTO PARA ESTIMAR LA HUMEDAD DEL SUELO

Juan Manuel Barrios Díaz^{1*}; Sergio Ramos Acuña²; Wendy Cruz Romero¹; Benjamín Barrios Díaz¹; Gloria Vázquez Huerta¹; Jesús Mao Estanislao Aguilar Luna¹; Pablo Zaldívar Martínez; Omar González Lara¹

¹Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Av. Universidad S/N, San Juan Acateno, Teziutlán C.P. 73965, Puebla, México.

Correo electrónico: jbarriosdia@hotmail.com – Teléfono: 01 (231)3122933 (*Autor de correspondencia)

²Automatización Industrial, C.P. 73965, Puebla, México.

Resumen

En la agricultura de riego, el monitoreo continuo de la humedad del suelo con sensores es muy importante para realizar un manejo eficiente del agua suministrada, pues los balances hídricos pueden integrarse en tiempo real, sin embargo, en el mercado existen sistemas electrónicos de monitoreo que por costo son inaccesibles a muchos productores. Como alternativa, en la presente investigación evaluamos la respuesta a la humedad del suelo por un lote de sensores de capacitancia de bajo costo, marca Grove® modelo SEN92355P; se realizó su calibración en laboratorio y fueron caracterizados mediante el coeficiente de variación del voltaje de salida que registraron cuando se sometieron a corriente directa de 5.0 V. Para el desarrollo de la investigación se prepararon diez tratamientos de humedad de un suelo andosol húmico de textura franco arenosa proveniente de un invernadero de la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. De la calibración se obtuvo una relación entre el voltaje de salida del sensor (V) y la humedad gravimétrica del suelo (W) de tipo cuadrático $W=3.8V^2+5.8137V+32.485$ ($r^2=0.99$), además se obtuvo que el coeficiente de variación del voltaje de salida promedio fue de 2.4 %, el cual puede considerarse como aceptable para realizar las mediciones indirectas del contenido de humedad y posibilitar la automatización de la frecuencia de los riegos agrícolas.

Palabras clave adicionales: Sensor de capacitancia, humedad del suelo, calibración de sensores.



Introducción

En agronomía y horticultura el monitoreo en tiempo real de la humedad del suelo o del medio de cultivo, es indispensable para realizar un manejo eficiente del riego que permita optimizar el rendimiento y la rentabilidad económica de los cultivos, ahorrar agua y disminuir los impactos adversos al ambiente (Enciso *et al.*, 2007). Sin embargo, para realizar un balance hídrico en el suelo de forma precisa y en forma continua, se requiere del empleo de una cantidad considerable de sensores de humedad, aún cuando el balance sea a nivel parcelario; por esta razón, el manejo del riego con ésta tecnología resulta muy costoso con los sistemas electrónicos que actualmente se tienen disponibles en el mercado. Los sensores de capacitancia son un método indirecto para estimar la humedad del suelo y se basan en la constante dieléctrica de los suelos (Rial y Han, 2000), tienen como principales ventajas su bajo costo, respuesta inmediata y funcionalidad en varios tipos de suelo (Ritter and Regalado, 2007). Como todos los métodos indirectos de medición de la humedad de suelo necesita de una calibración para definir la relación entre el contenido de humedad del suelo y su coeficiente dieléctrico. La forma más correcta, pero laboriosa, de calibrar los sensores es en lugar específico de utilización, lo cual resulta impráctico para su operatividad. En la presente investigación se realizó la calibración y caracterización en laboratorio de un lote de sensores de capacitancia de bajo costo para un suelo andosol húmico.

Materiales y Métodos

La presente investigación fue desarrollada con una muestra compuesta de suelo proveniente de un invernadero tipo baticenital de 1,500 m², ubicado en la Facultad de Ingeniería Agrohídrica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), campus Teziutlán, Puebla, México (19° 52' 31" latitud norte y 97° 22' 02" longitud oeste, y altitud de 1,675 m).

La muestra de suelo fue caracterizada físicamente de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 para textura, densidad aparente, conductividad eléctrica y determinación gravimétrica de la humedad del suelo. La textura determinada fue franco arenosa, la densidad aparente fue de 0.8 g cm⁻³ y la conductividad eléctrica de 0.5 dS m⁻¹.

Preparación de las muestras de suelo

Las muestras de suelo secadas al aire se homogenizaron y tamizaron con una malla de 2.0 mm de apertura. Para humectarlas y lograr una variabilidad del contenido de humedad se depositaron aproximadamente un litro de suelo en recipientes con capacidad de dos litros y se agregó agua con una probeta graduada de 1000 mL en diferentes cantidades, estas fueron: 0, 250, 500, 750 y 1000 mL. De cada una de las proporciones suelo : agua se prepararon dos muestras lo cual originó en total 10 tratamientos. Posteriormente cada muestra de los tratamientos se mezclaron y se dejaron reposar por 24 horas. De cada

tratamiento se tomaron tres submuestras (repeticiones) en vasos de plástico de 237 mL para realizar las mediciones con los sensores de capacitancia.

Sensores de capacitancia

El lote de 10 sensores de capacitancia fueron de la marca Grove® modelo SEN92355P, el cual utiliza nominalmente un voltaje de 5.0 V (Figura 1). Para suministrar energía eléctrica al sensor, éste se adaptó a un circuito electrónico y a su vez una fuente de alimentación eléctrica que suministra corriente directa a un voltaje de aproximadamente 3.5 V en una solución de cloruro de potasio 0.1 M, la cual se utiliza para calibrar la respuesta del sensor y en caso de registrar un voltaje diferente a 3.5 V se ajustó a este valor mediante un potenciómetro integrado al circuito electrónico. La medición del voltaje de salida del sensor fue con un multímetro profesional auto rango STEREN® MUL-285.

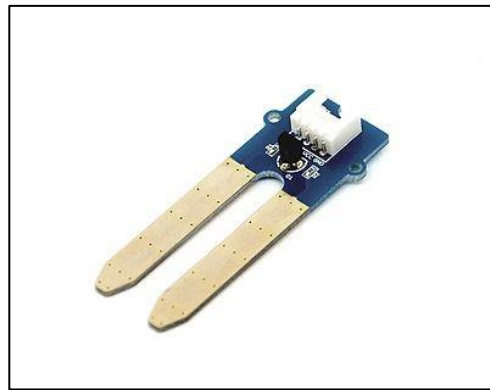


Figura 1. Sensor de capacitancia marca Grove® modelo SEN92355P.

Calibración de los sensores de humedad

La calibración de los sensores de capacitancia consistió en determinar la relación entre el contenido gravimétrico de humedad y el voltaje de salida que proporcionó el sensor a través del multímetro.

En las tres muestras de suelo de los diferentes tratamientos se introdujo separadamente cada uno de los 10 sensores de capacitancia. Para una respuesta correcta del sensor ambos electrodos deben sumergirse en el suelo hasta el límite de cada placa dorada (Figura 1) y para la limpieza de los electrodos del sensor después de utilizarlo se empleó agua desionizada y toallas de papel para su secado.

Una vez que se midieron y registraron las lecturas del multímetro de todos los sensores del lote, en cada repetición de los tratamientos preparados, se determinó el contenido gravimétrico de humedad de una muestra de cada repetición con la relación siguiente;



$$W = \frac{P_{SH} - P_{SS}}{P_{SS}} \cdot 100$$

Donde W es el contenido gravimétrico de humedad (%), PSH es el peso de la muestra de suelo húmeda (g), PSS es el peso de la muestra de suelo secada hasta obtener peso constante (aproximadamente 24 h) a 105 °C en un horno con circulación forzada de aire (g).

Determinación del Coeficiente de Variación

Con la información del voltaje de salida de los sensores de capacitancia se estimó el coeficiente de variación (CV) en cada uno de los tratamientos evaluados, este parámetro estadístico relaciona el tamaño de la media con respecto a la variabilidad de la respuesta del lote de sensores y evaluar la repetitividad de la información que proporcionan; entre más pequeño sea el CV de mayor confianza serán las lecturas registradas con dichos sensores. El CV puede expresarse en porcentaje con la siguiente relación:

$$CV = \frac{\sigma}{X} \cdot 100$$

Donde CV es el coeficiente de variación (%), σ es la desviación estándar típica y X es la media general.

Resultados y Discusión

Calibración de los sensores

La respuesta de los sensores de capacitancia medida en voltios (V) se correlacionaron con la humedad presente en las muestras de suelo (W). La función obtenida $W=f(V)$ se ajustó a un modelo cuadrático ($r^2 = 0.99$) que se muestra en la Figura 2. En la gráfica se observa que para $W=32.5$ %, la respuesta del sensor fue un voltaje de 0.0 V, el cual correspondió a la condición de humedad del suelo secado al aire o similar al contenido de humedad del punto de marchitamiento permanente (W_{pmp}), por otra parte, los voltajes de respuesta del sensor de aproximadamente 3.5 V correspondieron a la humedad del suelo de alrededor de 100 %, condición muy húmeda que para este tipo de suelos se asocia a la humedad a capacidad de campo (W_{cc}). La cantidad de agua retenida por este tipo de suelos generalmente es mayor que en otros suelos minerales debido principalmente a la presencia de alófono, ferrihidrita y los complejos metal-humus, los cuales tienen alta superficie específica.

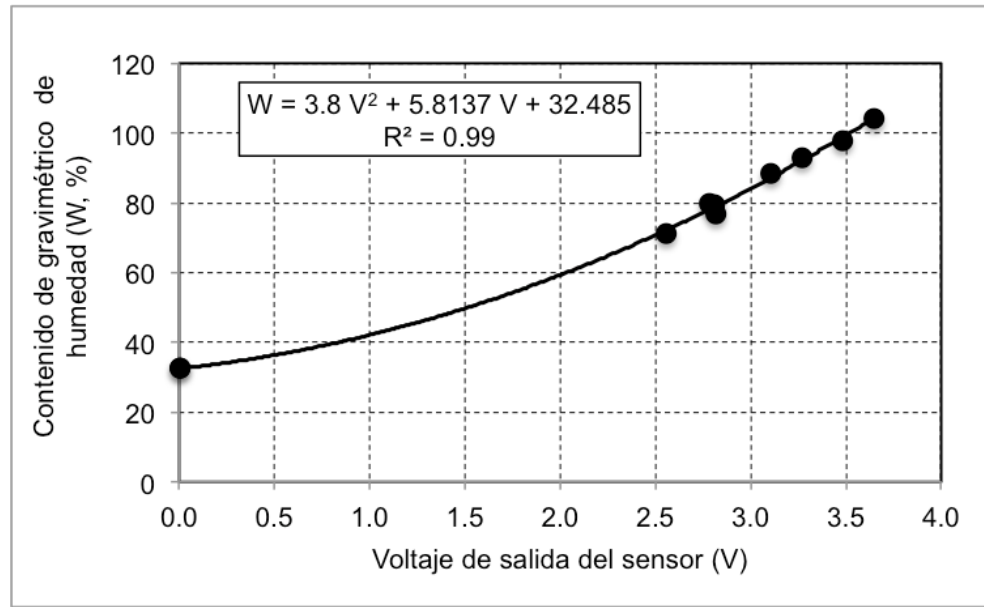


Figura 2. Relación entre contenido gravimétrico de humedad (W) y el voltaje de salida (V) del sensor marca Grove modelo SEN92355P.

Existen diferentes reportes donde señalan una buena correlación entre la humedad del suelo y la respuesta de sensores de capacitancia en diferentes aplicaciones, por ejemplo Loaiza y Pauwels (2008) analizaron la calibración de sensores de humedad del suelo tipo ECH₂O para monitorear el comportamiento hidrológico en cuencas de montaña, los valores de R^2 fluctuaron entre 0.65 y 0.96 para los diferentes ensayos y recomendaron realizar calibraciones independientes para cada sensor, teniendo en cuenta las condiciones específicas de trabajo, lo anterior debido a la influencia en la respuesta de los sensores dieléctricos o de capacitancia que tienen algunos parámetros del suelo como son: textura, densidad aparente, conductividad eléctrica, temperatura, entre otros, lo cual ha sido abordado en varios estudios (Topp *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2004; Bogena *et al.*, 2007), pero también han sido señaladas algunas ventajas de este tipo de sensores como bajo costo, facilidad para almacenamiento de datos, posibilidad de monitorización continua y funcionamiento en un amplio rango de tipos de suelos (Kizito *et al.*, 2008), las cuales son importantes para la facilitar la automatización del riego de los cultivos en los sistemas agrícolas.

Caracterización de los sensores

La caracterización del lote de sensores se realizó mediante el coeficiente de variación (CV). El CV del voltaje de salida de los sensores varió entre 5.6 y 1.3 % cuando la humedad del suelo se incrementó aproximadamente de 70 a 100 % (Figura 3) y para la humedad del suelo secado al aire (32.5 %) el CV fue cero pues el voltaje de salida fue 0.0 V con todos los sensores. El CV de los sensores se relaciona con su grado de precisión o reproducibilidad de una medición, es decir al realizar varias veces la medición con una misma entrada, un sensor ideal deberá



mostrar siempre exactamente la misma salida, sin embargo los valores de salida del sensor presentaran una cierta variación, la cual estará directamente relacionada con su precisión (a menor variación implica una mayor precisión). El CV promedio de todo el lote de sensores evaluados fue de 2.4 % el cual puede considerarse como adecuado si tomamos en cuenta que son varios factores del medio ambiente que influyen en la respuesta del sensor. Estos factores frecuentemente afectan los errores característicos del sensor, de tal forma que, en aplicaciones prácticas, algunas veces están combinados. Los errores característicos son inherentes al dispositivo y pueden ser debido a la diferencia entre las características ideales publicadas por el fabricante y las características reales del dispositivo.

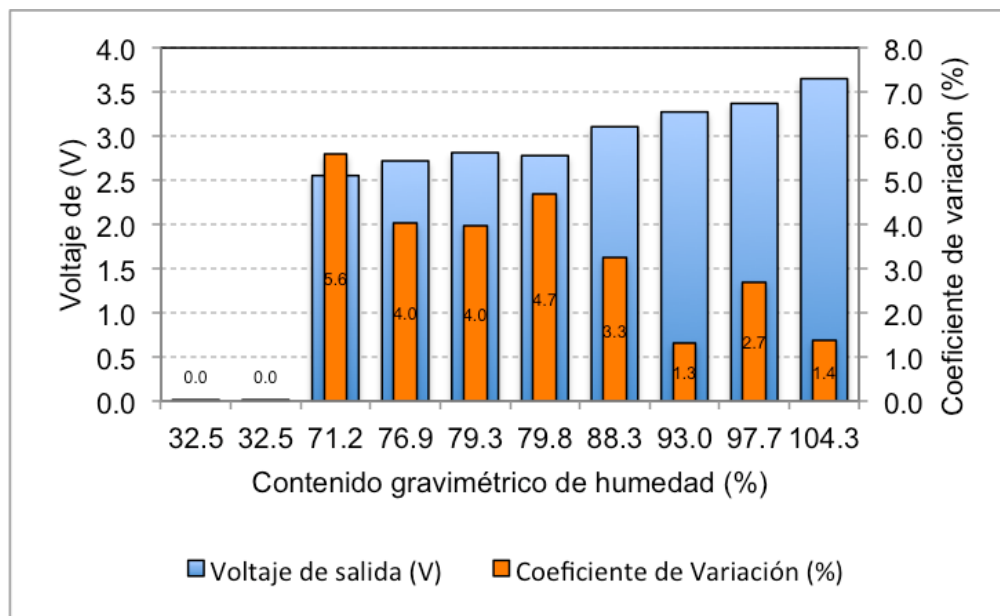


Figura 3. Coeficiente de variación (%) del Voltaje de salida (V) de un lote de diez sensores de capacitancia marca Grove® modelo SEN92355P, sometido a diferentes contenidos de humedad del suelo.

Conclusiones

Se establece que la respuesta de los sensores de capacitancia marca Grove® modelo SEN92355P es adecuada para monitorear la variación del contenido de humedad en un suelo andosol húmico debido a que su coeficiente de variación del voltaje de salida promedio fue de 2.4 % considerarse como aceptable para realizar las mediciones indirectas del contenido de humedad.



Referencias bibliográficas

- Bogena, H.R., J.A. Huisman, C. Oberdorster, H. Vereecken. 2007. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications, *J. Hydrol.* 344: 32-42.
- Enciso, J.M., D. Porter, X. Périès. 2007. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Extensión Cooperativa de Texas. Sistema Universitario Texas A&M. Folleto B-6194S 08/07.
- Kizito, F., C.S. Campbell, D.R. Cobos, B.L. Teare, B. Carter, J.W. Hopmans. 2008. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor, *J. of Hydrology* 352: 367-378.
- Loaiza, J.C., V.R.N. Pauwels. 2008. Utilización de sensores de humedad para la determinación del contenido de humedad del suelo (ecuaciones de calibración). *Suelos Ecuatoriales*. 38(1): 24-33.
- Rial, W.S., Y.J. Han. 2000. Assessing soil water content using complex permittivity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 43(6): 1979-1985.
- Ritter, A., C.M. Regalado. 2007. Eficacia de un sensor de capacitancia para medir simultáneamente salinidad y contenido hídrico. *In: Giráldez J.V. and Cervera Jiménez Hornero, F.J. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), Departamento de Suelos y Riegos, Tenerife, España.*
- Topp, G.C., S. Zegelin, I. White. 2000. Impacts of the real and Imaginary components of relative permittivity on time domain reflectometry measurements in soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1244-1252.
- Zhang, N., G. Fan, K.H. Lee, G.J. Kluitenberg, T.M. Loughin. 2004. Simultaneous measurement of soil water content and salinity using a frequency-response method, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1515–1525.