

Calibración y caracterización de sensores capacitivos de bajo coste para la monitorización de humedad de suelo

Diego Aranda, Alejandro Tapia, Pablo Millán
 Departamento de Ingeniería
 Universidad Loyola, 41704 Dos Hermanas, España;
 {daaranda, atapia, pmillan}@uloyola.es

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de calibración y evaluación de desempeño de dos sensores de humedad capacitivos de bajo coste: SoilWatch y Catnip. En primer lugar, el proceso de calibración se ha realizado atendiendo a la metodología propuesta en la literatura, a partir del cual se propone una curva de calibración basada en un modelo de regresión polinomial que relaciona las medidas de los sensores con el contenido volumétrico de humedad del suelo. Y en segundo lugar, se ha llevado a cabo un estudio detallado del efecto de la temperatura en las mediciones de estos sensores. Los resultados demuestran que las curvas propuestas prometen buenos resultados a la hora de estimar el contenido volumétrico de agua, especialmente para el sensor SoilWatch, con el que se consigue una evaluación de la humedad más precisa que la propuesta por el fabricante. Se ha demostrado además la superioridad de este sensor con respecto al Catnip, además de tener menos sensibilidad por la temperatura, aunque esta es variable.

Palabras clave: Sensores de humedad, Calibración, Regresión, Comparación de desempeños.

1 Introducción

Los sistemas de riego automático de cultivos son altamente demandados en la industria agrícola, debido a que pueden ahorrar importantes cantidades de agua, ya que permiten reducir los costes asociados al proceso de irrigación, y combatir de forma eficiente los problemas derivados de la escasez de agua. Sin embargo, el correcto funcionamiento de estos sistemas está fuertemente condicionado por un sistema de monitorización del suelo en tiempo real capaz de evaluar con precisión el contenido de agua en el suelo [1].

Hoy día se dispone de un amplio abanico de alternativas en el mercado para la medida de la humedad del suelo, especialmente dispositivos

de bajo coste fácilmente implementables en gran número en sistemas IoT. Entre los más comunes se encuentran los de tipo dieléctrico que basan su funcionamiento en la medición indirecta de la permitividad del medio (ϵ), la cual indica la facilidad del mismo para polarizarse como consecuencia de la aplicación de un campo eléctrico. Generalmente, esta magnitud se expresa adimensionalmente a través de la permitividad relativa ϵ_r , que mide la relación entre la permitividad absoluta del medio y la del vacío, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m.

La permitividad relativa es una magnitud compleja, cuya parte imaginaria, ϵ'' , se relaciona con las pérdidas por conducción y por relajación dieléctrica en el medio, y la parte real ϵ' se relaciona a la energía almacenada. Es esta última la que se utiliza para estimar el contenido de agua del suelo. Se representa mediante la siguiente relación:

$$\epsilon_r = \epsilon' + \epsilon'' i = \epsilon' + \frac{\sigma i}{\epsilon_0 \omega} + \epsilon''_{r,rel} \quad (1)$$

donde σ representa la conductividad eléctrica del medio a frecuencia 0, ω representa la frecuencia angular, $\epsilon''_{r,rel}$ la pérdida debido a la relajación dieléctrica. Nótese que se ha usado i para representar la unidad imaginaria. De entre los tipos de sensores dieléctricos, los capacitivos están entre los más económicos y accesibles [2], permitiendo así la instalación de un gran número de ellos para una mayor representatividad espacial.

1.1 Sensores de humedad capacitivos

Los sensores capacitivos basan su funcionamiento en un circuito eléctrico que permite medir cambios en la capacitancia C del medio debido a cambios en la permitividad relativa. Esta capacitancia se puede representar mediante la siguiente ecuación:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 G \quad (2)$$

donde G es un factor geométrico constante. Los sensores capacitivos usan la permitividad relativa

para estimar el contenido de agua en suelo, gracias al alto valor de esta magnitud en el agua (78.5 a 22 °C [5]), mucho mayor que la de las partículas sólidas de los suelos (≤ 10 [5]) y el aire (1 [5]). Además, ofrecen la ventaja de un notable bajo coste. No obstante, una importante desventaja de estos dispositivos es su baja precisión, debido a que, generalmente, su baja frecuencia de operación (≤ 100 MHz) hace que la parte imaginaria de ϵ_r alcance valores significativos y, sumado a esto, la parte real también puede verse afectada. Todo esto finalmente se traduce en alteraciones en señal medida [3]. Además, la variación de la permitividad relativa para distintos tipos de suelo y el efecto de la temperatura, salinidad y compactación del suelo en el agua ligada hacen que sea necesaria la calibración específica de estos sensores para cada tipo de suelo [5]. Por último, debido a la abundante disponibilidad en el mercado de este tipo de sensores, resulta de gran interés la evaluación del desempeño y la caracterización de los mismos para una mejor elección de los dispositivos en diferentes aplicaciones.

En este trabajo se comparan dos sensores capacitivos de bajo coste ampliamente disponibles en el mercado, SoilWatch 10 (Pinotech) [7] e I2C Soil Moisture Sensor (Catnip) [6], en cuanto a su precisión y exactitud en las mediciones, además de proponer un modelo de calibración polinómico de orden 2 el cual es obtenido empíricamente haciendo una correlación directa de las medidas de los sensores con el valor verdadero de Contenido Volumétrico de Agua (VWC) de las muestras de suelo utilizadas. También se estudia el efecto de la temperatura en estos y se propone un modelo lineal de corrección.

2 Estado del arte

El problema de la calibración de sensores de humedad de suelo del tipo dieléctrico ha sido estudiado en numerosos trabajos anteriores [2, 11, 12]. El método más utilizado de calibración consiste en tener muestras preparadas de suelo con diferentes valores conocidos de VWC, calculados previamente por métodos gravimétricos, para luego hallar una correlación entre las medidas de los sensores y el VWC de estas muestras. Se han propuesto diferentes modelos para esta relación entre la medida del sensor y el VWC, desde modelos lineales hasta polinómicos y exponenciales. El método gravimétrico, utilizado para la determinación del valor verdadero de VWC de las muestras, ha sido el de secar por completo las muestras en un horno, generalmente a 110 °C durante al

menos 16 horas o hasta que se tenga un peso constante, para así finalmente poder estimar la cantidad de agua presente en la muestra calculando la diferencia de peso antes y después del secado.

Por otra parte, el efecto de la temperatura en los sensores de humedad de suelo también ha sido cubierto en numerosos trabajos [14–16], existiendo evidencia de que la temperatura afecta a la permitividad relativa del suelo y, por ende, a las mediciones de los sensores de humedad. Sin embargo, el problema reside en caracterizar este efecto pues, en algunos estudios se evidencia que el aumento de la temperatura produce un aumento en las mediciones de VWC, aunque en otros se observa una disminución de la medida con un aumento de la temperatura. También este efecto demuestra ser sensible a diferentes factores como el tipo de suelo y el contenido de agua en suelo [16].

3 Materiales y métodos

En esta sección se describen los dispositivos empleados en el trabajo, así como los procedimientos empleados en la calibración y caracterización de los mismos.

3.1 Sensores de humedad

Los sensores de humedad utilizados en este trabajo están descritos en las siguientes sub-secciones. Los costes de los sensores se incluyen en la tabla 1 y unas fotografías de los mismos se incluyen en las figuras 1 y 2.

3.1.1 Sensor de humedad I2C Catnip

El sensor de humedad de suelo del fabricante Catnip (Cat) (Catnip Electronics, Vilnius, LT, Lithuania) es un sensor de tecnología capacitiva [6]. Mediante el protocolo I2C se pueden obtener las mediciones del sensor que, además de medir la humedad del suelo, mide la temperatura y posee un sensor de luminosidad.



Figura 1: I2C Soil Moisture Sensor. Catnip Electronics. [6]

3.1.2 Sensor de humedad SoilWatch 10

SoilWatch 10 (SW) es un sensor de humedad de suelo también de tecnología capacitiva, fabricado por Pino-Tech (Zachodniopomorskie, Polonia). Posee un oscilador de 75 MHz y su salida es

de voltaje y analógica, siendo esta proporcional a la humedad de suelo [7].



Figura 2: Sensor SoilWatch 10. Pino-Tech. [7]

Tabla 1: Características de los sensores de humedad utilizados [6, 7].

Sensor	Salida	Fuente	Precio
Cat	Digital (2 Bytes)	3.3 - 5.0 V	20.63 €
SW	0 - 3.0 V	3.1 - 5.0 V	24 €

3.2 Suelo

El tipo de suelo utilizado en los experimentos se muestra en la figura. Es un suelo arenoso (clasificación USDA) con una densidad aparente de 1.86 g/cc usado en plantaciones de fresas en Huelva, España. Las muestras utilizadas de este suelo fueron tamizadas con un tamiz de 2 mm.

3.3 Calibración de los sensores

La metodología usada para la calibración con las muestras de suelo es similar a la usada en estudios anteriores [2, 8]. Se han preparado muestras de suelo de volúmenes conocidos y previamente calculados con un matraz a las cuales se les han añadido diferentes cantidades de agua. Estas muestras fueron mezcladas en un recipiente amplio para asegurar la distribución homogénea del agua. Posteriormente, se ha ido añadiendo por capas las muestras a otro contenedor, asegurándose de compactar cada capa de suelo. Una vez listas las muestras, se ha procedido a insertar los sensores en estas para la toma y registro de las mediciones. El VWC fue calculado posteriormente volviendo a secar las muestras de suelo en un horno a 110 °C durante 16 horas hasta conseguir peso constante. Calculando el peso perdido de agua se puede estimar el VWC.

3.4 Influencia de la temperatura

En orden a caracterizar el efecto de la temperatura del suelo en la medición de los sensores de este estudio, se han realizado experimentos con dos contenedores herméticos hechos de tubos de PVC de 10 cm de diámetro y 1,4 litros de capacidad dentro de los cuales se tenían muestras de suelo y los sensores insertados en éstas. Posteriormente, estos contenedores fueron sellados herméticamente y puestos al exterior, en un lugar a la sombra, para que la temperatura del suelo pueda variar. Se han utilizado, por contenedor, dos sensores SoilWatch y un Catnip, situados como se muestra en la figura 3, asegurándose previamente que las mediciones de cada sensor no se vean afectadas por la presencia de los otros sensores.



Figura 3: Contenedor y sensores utilizados en el experimento

4 Resultados

Las métricas utilizadas en este estudio fueron el coeficiente de determinación (R^2), raíz cuadrada del error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio (RMSE) y la desviación estándar para datos agrupados ($s_{r,p}$). Estos están representados en las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 respectivamente, donde θ_i es el valor estimado de VWC; $\hat{\theta}_i$ representa la medición del sensor; $\bar{\theta}$ la media de los valores verdaderos de VWC; $\hat{\bar{\theta}}$ la media de las mediciones del sensor, n es el número de datos, k, n_k, s_k son, respectivamente, el índice de la serie utilizada, el número de mediciones en las series k y la correspondiente desviación estándar de las series.

$$R^2 = \frac{(n \sum_{i=1}^n \hat{\theta}_i \theta_i) - (\sum_{i=1}^n \hat{\theta}_i) \sum_{i=1}^n \theta_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \hat{\theta}_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n (\theta_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \theta_i)^2}} \quad (3)$$

$$MAE = \left(\sum_{i=1}^n |\theta_i - \hat{\theta}_i| \right) / n \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n |\theta_i - \hat{\theta}_i|^2 \right) / n} \quad (5)$$

$$s_{r,p} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (n_k - 1) s_k^2 (1/\hat{\theta}_k^2)}{\sum_{k=1}^m (n_k - 1)}} \quad (6)$$

4.1 Calibración mediante muestras de suelo

Teniendo 11 muestras de suelo de diferentes valores conocidos de VWC, yendo estas desde suelo totalmente seco hasta saturado, se han utilizado 4 sensores de cada fabricante para los experimentos de calibración, realizándose 3 medidas en cada muestra de suelo con cada sensor. Para la obtención de los datos de entrenamiento para los modelos de calibración, se han utilizado las medias de estas medidas. El modelo escogido para ambos sensores ha sido uno polinómico de grado 2, pues los datos de entrenamiento mostraron valores de R^2 de 0.9946 y 0.9912 con este modelo para los sensores Soilwatch y Catnip, respectivamente, frente a los 0.9558 y 0.9584 de R^2 con un modelo lineal para los mismos sensores. En la figura 4 se observan las curvas de propuestas para los sensores Catnip y SoilWatch, junto a los datos de entrenamiento. Todas las mediciones se efectuaron en el laboratorio a $T = 23 \pm 1^\circ C$.

Finalmente, se prepararon otras 4 muestras de suelo de valores de 0,04, 0,10, 0,17 y 0,24 de VWC para la evaluación de los modelos. Estos valores no han sido utilizados para el entrenamiento de los modelos. De modo a comparar los modelos para el sensor SoilWatch propuestos en este trabajo y por el fabricante PinoTech, se han calculado también las estimaciones de VWC con este último, el cual es un polinomio de grado 3. En la figura 5 se muestran los resultados y en la tabla 3 se encuentran las métricas de desempeño obtenidas. En la tabla 2 se encuentran los coeficientes de las curvas de calibración. Las filas $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ y α_3 corresponden a los coeficientes de grado 0, 1, 2 y 3 de los modelos, respectivamente. Las columnas SW1 y Cat corresponden a los coeficientes propuestos para los sensores SoilWatch y Catnip, respectivamente, y los coeficientes de la columna SW2 son los coeficientes del modelo cúbico propuesto por el fabricante [7].

De los resultados de la tabla 3, se observa que el modelo propuesto para el sensor SoilWatch es superior al del fabricante en términos de MAE y

RMSE, aunque poseen valores similares de $S_{r,p}$. Ahora, comparando los modelos propuestos para el Catnip y SoilWatch, este último termina siendo superior en todas las métricas analizadas.

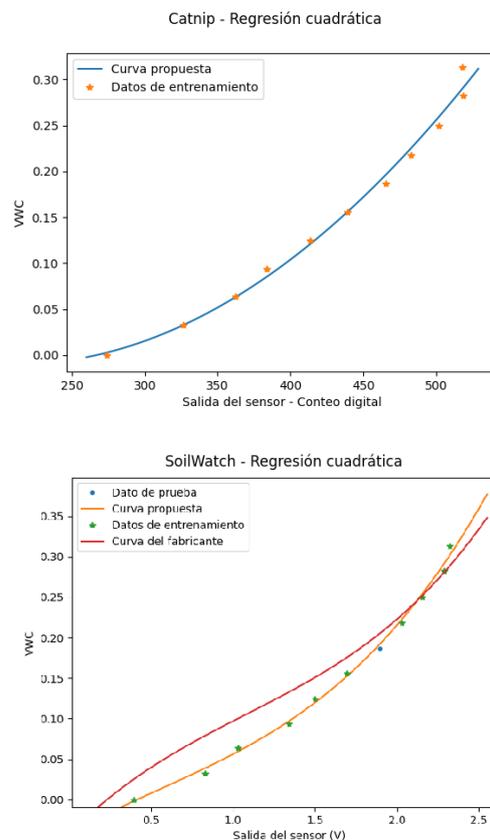


Figura 4: Curvas de calibración propuesta para los sensores SoilWatch y Catnip

Tabla 2: Coeficientes de las curvas de calibración de los sensores.

	SW1	SW2	Cat
α_0	-4.5260×10^{-3}	-4.188×10^{-2}	3.1659×10^{-6}
α_1	-1.1769×10^{-3}	0.20255×10^{-2}	-1.3307×10^{-3}
α_2	5.6359×10^{-2}	-9.1993×10^{-2}	1.2962×10^{-1}
α_3	-	2.8432×10^{-2}	-

Tabla 3: Métricas de desempeño de los sensores en el experimento de evaluación. SW 1 corresponde a la curva de calibración propuesta en este trabajo, SW 2 a la propuesta por el fabricante.

	MAE	RMSE	$S_{r,p}$
Catnip	0.01873	0.02373	8.8577×10^{-4}
SW 1	0.01019	0.01374	2.378×10^{-4}
SW 2	0.02930	0.03102	2.217×10^{-4}

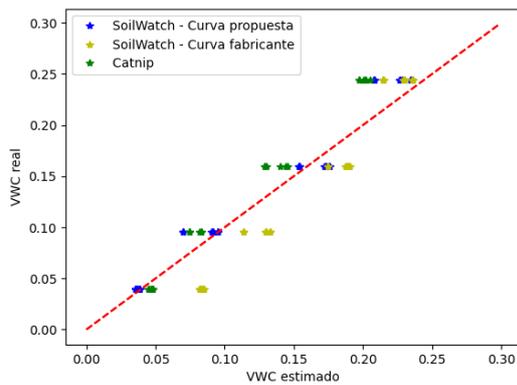


Figura 5: Resultados del experimento de evaluación de las curvas propuestas

4.2 Influencia de la temperatura

En las figuras 6 y 7 se pueden observar las estimaciones de VWC de los sensores de las muestras a lo largo del tiempo en el que fue desarrollado el experimento (44 horas). Las muestras tenían valores de VWC de 0.182 y 0.094, respectivamente. Además, en la parte inferior de ambas figuras, se observa la temperatura de las muestras de suelo, estimadas por los sensores Catnip, también lo largo del tiempo. El eje Y representa el VWC estimado por los sensores y el eje X el tiempo. Las mediciones fueron tomadas y almacenadas cada 15 minutos.

Posteriormente, se ha procedido a ordenar las estimaciones de VWC de los sensores respecto a la temperatura y, teniendo como referencia el valor verdadero de VWC de las muestras, se ha continuado con el cálculo del error porcentual de todas las estimaciones. En las figuras 9 y 8 se observan estos errores porcentuales de los sensores SoilWatch y Catnip respectivamente en función a la temperatura.

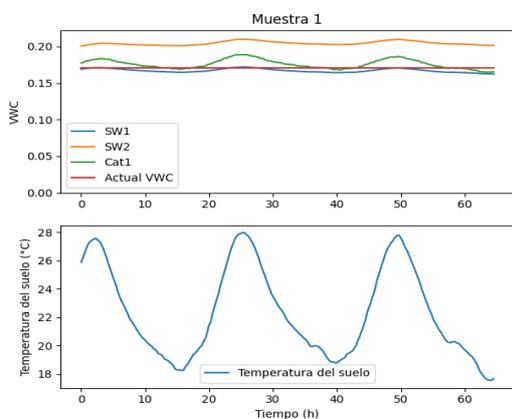


Figura 6: Estimaciones del VWC de los sensores y temperatura del suelo a lo largo del tiempo con la muestra 1 de suelo (VWC=0.171)

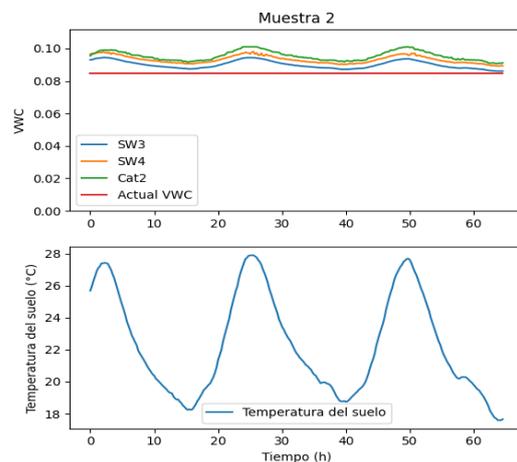


Figura 7: Estimaciones del VWC de los sensores y temperatura del suelo a lo largo del tiempo con la muestra 2 de suelo (VWC=0.084)

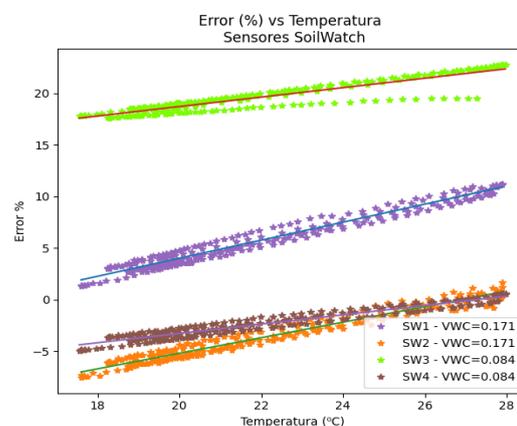


Figura 8: Error porcentual en función de la temperatura para los sensores SoilWatch

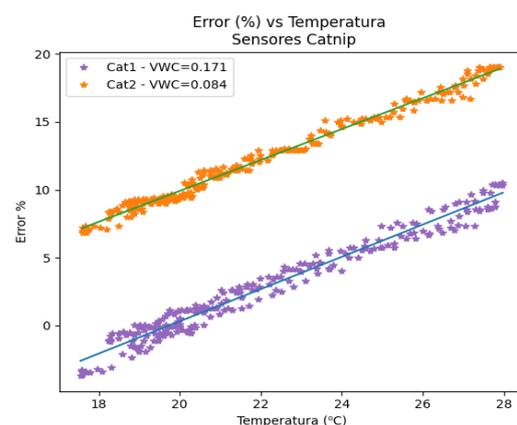


Figura 9: Error porcentual en función de la temperatura para los sensores Catnip

El error de la medición de ambos sensores muestra una fuerte correlación lineal con la temperatura,

siendo el menor valor de $R^2=0.9542$, excepto para el sensor SW3 con $R^2=0.8255$ que, como se puede observar en la figura 8, posee una serie de valores de error que se alejan de los demás.

En la tabla 4 se muestran los valores de las pendiente (α) de las rectas de regresión aplicadas a cada una de la serie de errores de los sensores. Como se puede observar, los sensores Catnip no parecen cambiar la sensibilidad frente a la temperatura. Entre ambas muestras de diferentes valores de VWC, sus pendientes no varían notablemente. Sin embargo, para los sensores SoilWatch, sus pendientes si han cambiado notablemente entre muestras de valores diferentes de VWC, aunque para muestras con igual valor de VWC no cambian apreciablemente. Esto parece indicar que los sensores Catnip tienen una sensibilidad mayor (con una media de $\alpha = 1.1628$), frente los sensores SoilWatch (con una media de $\alpha = 0.6339$). No obstante, la sensibilidad frente a la temperatura parece presentar una correlación con el VWC presente en la muestra.

Tabla 4: Valores de la sensibilidad α de la medición a la temperatura para los distintos sensores.

Sensor	α	VWC de la muestra
SW2	0.8734	0.171
SW2	0.7535	0.171
SW3	0.4575	0.084
SW4	0.4513	0.084
Cat1	1.1874	0.171
Cat2	1.1382	0.084

5 Conclusiones

En este trabajo se ha realizado la calibración y caracterización de dos sensores de humedad capacitivos comerciales de bajo coste: SoilWatch y Catnip. Para la calibración se ha propuesto un modelo de regresión polinomial de segundo grado para relacionar las medidas de los sensores con el contenido volumétrico de humedad del suelo (VWC). El modelo propuesto para el sensor SoilWatch se ha comparado con el propuesto por el fabricante, con respecto al cual el modelo propuesto reflejan un mejor desempeño en términos de MAE y RMSE. Se han comparado entre sí, además, los modelos propuestos para ambos modelos, obteniendo el primero mejores resultados en todas las métricas analizadas.

Por último, se ha estudiado el efecto de la temperatura en las medidas de ambos sensores. Aunque los dos modelos han demostrado una correlación lineal positiva entre sus mediciones y la temper-

atura, en el sensor Catnip el factor de corrección se puede considerar independiente de la humedad medida, no siendo así con el sensor SoilWatch, para el que se propone como trabajo futuro la continuación de la experimentación para caracterizar los efectos de la humedad en la sensibilidad a la temperatura.

Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen a la Junta de Andalucía (proyecto IRRIGATE-PY20 RE 017 LOYOLA) y a la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo AACID (proyecto Agricultura 4.0) por financiar parcialmente este trabajo.

English summary

Calibration and characterization of low cost capacitive sensors for soil moisture monitoring

Abstract

In this paper, the calibration and performance comparison of two low-cost soil moisture sensors, SoilWatch and Catnip, are presented. The calibration of these was carried out following common methodologies found in the literature and a polynomial regression model that relates the measurements of the sensors with the volumetric water content of the soil (VWC) has been proposed. Then, a study of the effect of temperature on the measurements of these sensors has been performed. The results show that the proposed curves promise adequate results when estimating the VWC, highlighting that the curve proposed for the SoilWatch sensor was more precise than the one proposed by the manufacturer. In addition, this sensor has the best overall performance compared to Catnip, as well as having less temperature sensitivity, although this sensitivity seems variable.

Keywords: Soil Moisture Sensors, Calibration, Regression, Sensor Performance Comparison.

Referencias

- [1] Cáceres, G., Millán, P., Pereira, M., Lozano, D. (2021). "Smart Farm Irrigation: Model Predictive Control for Economic Optimal Irrigation in Agriculture" *Agronomy* 11, no. 9: 1810. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091810>
- [2] Adla, Soham, Neeraj K. Rai, et al. (2020). "Laboratory Calibration and Performance Evaluation of Low-Cost Capacitive and Very Low-Cost Resistive Soil Moisture Sensors" *Sensors* 20, no. 2: 363. <https://doi.org/10.3390/s20020363>
- [3] Regalado, C.M., Ritter, A. and Rodríguez-González, R.M., Performance of the Commercial WET Capacitance Sensor as Compared with Time Domain Reflectometry in Volcanic Soils. (2007). *Vadose Zone Journal*, 6: 244-254. <https://doi.org/10.2136/vzj2006.0138>
- [4] J. M. Manzano, J. Bareiro, G. B. Cáceres, J. R. Salvador y P. Millán, "Irrigation control by mimicry" *Agricontrol*, p. 6, 2022
- [5] A. Fares, V. Polyakov, *Advances in Crop Water Management Using Capacitive Water Sensors*, (2006), *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 90, Pages 43-77, ISSN 0065-2113, ISBN 9780120008087, [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)90002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)90002-9).
- [6] Catnip Electronics, Product Description. Vilnius, LT, Lithuania (2022). Disponible en línea: <https://www.tindie.com/products/miceuz/i2c-soil-moisture-sensor/#product-description>
- [7] Pino-Tech, Product Datasheet. Zachodniopomorskie, Polonia (2018). Disponible en línea: <https://pino-tech.eu/wp-content/uploads/2017/08/SoilWatch10.pdf>
- [8] Matula, Svatopluk, Kamila Bářková, et al. (2016). "Laboratory Performance of Five Selected Soil Moisture Sensors Applying Factory and Own Calibration Equations for Two Soil Media of Different Bulk Density and Salinity Levels" *Sensors* 16, no. 11: 1912. <https://doi.org/10.3390/s16111912>
- [9] Bogena, Heye R., Johan A. Huisman, Bernd Schilling, Ansgar Weuthen, and Harry Vereecken. 2017. "Effective Calibration of Low-Cost Soil Water Content Sensors" *Sensors* 17, no. 1: 208. <https://doi.org/10.3390/s17010208>
- [10] Topp G., Davis J., Annan A., (1980), *Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines*, *Water Resources Research*, Vol. 16, No. 3, Páginas 574-582 <https://doi.org/10.1029/WR016i003p00574>
- [11] Sakaki T., Limsuwat A., Smits K. et al. (2008), Empirical two-point α -mixing model for calibrating the ECH 2O EC-5 soil moisture sensor in sands, *Water Resources Research*, Vol. 44, 1867 - 1876, <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR006870>
- [12] Kargas, George & Kerkides, Petros & Seyfried, Mark & Sgoumbopoulou, A.. (2011). WET Sensor Performance in Organic and Inorganic Media with Heterogeneous Moisture Distribution. *Soil Science Society of America Journal*. 75. 1244. 10.2136/sssaj2010.0238.
- [13] George Kargas, Konstantinos X. Soulis, Performance evaluation of a recently developed soil water content, dielectric permittivity, and bulk electrical conductivity electromagnetic sensor, (2019), *Agricultural Water Management*, Volume 213, Pages 568-579, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.002>.
- [14] Evett, S.R.; Tolck, J.A.; Howell, T.A. Soil profile water content determination: Sensor accuracy, axial response, calibration, temperature dependence, and precision, (2006), *Vadose Zone J.*, 5, 894-907.
- [15] Halbertsma, J.; van den Elsen, E.; Bohl, H.; Skierucha, W. Temperature Effects on TDR Soil Water Content. In *Proceedings of Symposium: Time Domain Reflectometry Applications in Soil Science*, (1994), Danish Institute of Plant and Soil Science: Lyngby, Denmark; pp. 35-37.
- [16] Chanzy A, Gaudu JC, Marloie O. Correcting the temperature influence on soil capacitance sensors using diurnal temperature and water content cycles, (2012) *Sensors (Basel)*;12(7):9773-90. doi: 10.3390/s120709773.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC-BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).