

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SENSORES DE HUMEDAD DE SUELO DEL TIPO (FDR) DE DESARROLLO LOCAL, EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE AGUA Y A LA TEXTURA DE SUELO.

Vita Serman, F. ¹, C. Schugurensky², R. Carrión, S. Rodríguez¹

¹-EEA San Juan, INTA; ²- Instituto de Automática de la Facultad de Ingeniería, U.N. San Juan
Calle 11 y Vidart, Pocito. Tel: 0264-4921079, fax 0264-4921191. fvita@sanjuan.inta.gov.ar

RESUMEN

La medición del contenido de humedad de suelo ha constituido un desafío tecnológico importante en los últimos años, por lo que el desarrollo de sensores apropiados de uso agrícola, es un tema de investigación activa a nivel internacional. En el marco del proyecto conjunto “Riego Inteligente en Vid” (Fontar PMT II-ANR SECyT), entre el INAUT, UNSJ y la EEA San Juan del INTA, se desarrollaron sensores de humedad de suelos del tipo capacitivos (FDR). Los sensores se basan en la variación de la constante dieléctrica del suelo con la incorporación de agua y transmiten la medición digitalmente con norma RS485.

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de los mismos a la variación continua de la humedad de suelo y en relación con 3 diferentes texturas de suelo (Arenoso, Franco y Franco arcillo limoso). Simultáneamente, se evaluó el contenido de humedad volumétrica y el valor entregado por el sensor y se ajustó una función para cada tipo de suelo. La experiencia se realizó en laboratorio utilizando contenedores de 10 litros de volumen. Se encontró una relación lineal entre la humedad volumétrica del suelo y los valores del sensor en los distintos tipos de suelo evaluados. Se observó una alta correlación en los tres tipos de suelo con R^2 mayores a 0.98 para Arenoso y Franco y R^2 entre 0.93-0.97 para Franco arcillo limoso. Asimismo, se observó valores de R^2 altos cuando se repitieron las experiencias sobre un mismo suelo. Se obtuvo una respuesta diferencial cuando las experiencias se realizaron con suelo disturbado en contraste con las que se realizaron con suelo ya estructurado. Analizando la respuesta de cada sensor por separado y su correspondientes valores máximos y mínimos (agua-aire) se observó que las pendientes y ordenadas al origen de la ecuación de ajuste tiene una desviación máxima del 5.3% y 4.7% respectivamente, lo que sugiere que la calibración no es específica del sensor. En conclusión, los sensores muestran una buena respuesta a la humedad de suelo, lo que debe ser confirmada a campo.

Palabras clave: Humedad Volumétrica, constante dieléctrica, calibración.

INTRODUCCIÓN

Tanto para cultivos a cielo abierto como para cultivos protegidos, la medición y control del contenido hídrico y de nutrientes en el suelo son requerimientos necesarios para optimizar la gestión y el manejo del recurso hídrico. Cuando en zonas desérticas se produce un aumento creciente de la demanda de agua por los sectores agrario e industrial y por el crecimiento demográfico, es necesario limitar la demanda a la disponibilidad, para no afectar el desarrollo socio económico de la región. El desarrollo de tecnología apropiada es una herramienta para superar las limitaciones que puedan surgir de una demanda creciente de agua. El control del riego (frecuencia y volumen) permite aumentar la eficiencia de uso del agua y reducir o eliminar las pérdidas (lixiviación, escorrentía) y consecuentemente hacer un mejor manejo del recurso agua.

La humedad de suelo es un parámetro importante para la investigación en agricultura y recursos hídricos, como también en modelos meteorológicos. Existen distintos métodos para estimar la humedad de suelo a campo (muestreo gravimétrico, sonda de neutrones, tensiómetros, psicrometros, etc.). Desafortunadamente, cada una de estos métodos tienen dificultades que los alejan de lo ideal. En ejemplo, el método gravimétrico no puede ser automatizado, es destructivo y su ejecución consume mucho tiempo. Por otro lado, a pesar de ser un método directo la precisión no supera el 3% (Brandelik, 1997; Alva y otros, 1999). Los métodos dieléctricos (incluyendo sensores de capacitancia (FDR), alta frecuencia, radio frecuencia, microondas y TDR) proveen una mejor precisión a pesar de ser de medición indirecta. Como todo método indirecto de medición de humedad de suelo necesita de una calibración para mantener la relación entre el contenido volumétrico del suelo y su coeficiente dieléctrico. La forma más correcta, pero laboriosa, de calibrar los sensores es en lugar específico de utilización. Esto resulta impracticable para la operatividad de uso de sensores de humedad de suelo.

Cuando se plantea el desarrollo de un sensor de contenido de agua de suelo usualmente se formulan algunas preguntas o exigencias que hacen al éxito tecnológico y comercial del prototipo. Estas preguntas se pueden reunir en: ¿cuál es la precisión del instrumento?, ¿cuál es su reacción ante las distintas texturas de suelo?, como también ¿cuál es el costo del mismo?. En realidad las dos primeras preguntas están cercanamente relacionadas, debido a que usualmente las propiedades de suelo determinan la precisión del valor de humedad volumétrica leído de sensores dieléctricos.

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de sensores de humedad de suelos del tipo capacitivos (FDR), desarrollado en el marco del proyecto “Riego Inteligente en Vid”¹ (Austin, 1997) Los sensores se basan en la variación de la constante dieléctrica del suelo con la incorporación de agua y transmiten la medición digitalmente con norma RS485.

El objetivo de la experiencia fue determinar las ecuaciones de calibración de los sensores dieléctricos con respecto al contenido hídrico de suelo, examinando el efecto de la textura y estructuración del mismo en la estabilidad de la calibración.

¹ (Fontar PMT II-ANR Secyt), conjunto entre el Instituto de Automática de la Facultad de Ingeniería, UNSJ y la EEA San Juan del INTA.

MATERIALES Y MÉTODO

Se seleccionaron y recolectaron tres muestras de textura de suelo diferenciadas en cuanto a su comportamiento físico. Las texturas evaluadas fueron Arenosa, Franca y Franco arcillo limosa (Cuadro 1). Las mismas se extrajeron de suelos agrícolas y luego se desagregaron manualmente los *peds* de mayor tamaño en más pequeños y uniformes para un mejor re-acomodamiento. Se utilizaron 4 diferentes sensores los cuales fueron sometidos a distintas pruebas de calibración. Para probar la respuesta dieléctrica de los sensores a los cambios en el contenido de agua, los suelos fueron colocados en bandejas de telgopor rígido de 10 l de volumen (35 cm x 16 cm x 20 cm). A través de pequeñas perforaciones en la base de los recipientes se permitió la saturación de suelo a través del movimiento capilar del agua ($< 0.6 \text{ dsiemens} \cdot \text{m}^{-1}$) en forma ascendente. Posteriormente, se dejó secar progresivamente el suelo por varias semanas utilizando aire caliente y seco, hasta alcanzar los niveles de punto de marchitez permanente (PMP) teóricos para cada tipo de texturas.

Tipo de Suelo	V.S.(2) (ml%/g)
Arenoso	74
Franco	92
Franco arcillo limoso	122

Diariamente se registró el valor entregado por el sensor (Hz) y se pesó la bandeja de suelo, lográndose registros a distintos niveles de humedad. Luego de alcanzado los niveles de PMP, se dejó secar la masa de suelo durante 2 días a 100° C. Los valores de humedad volumétrica se obtuvieron mediante la relación:

$$wg = \left(\frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \right) * 100$$

$$PEA = \frac{\text{peso seco}}{\text{volumen de suelo}}$$

$$Wv = Wg * PEA$$

donde:

Wv: humedad volumétrica

Wg: humedad gravimétrica

PEA: Peso específico aparente

Se repitió cada experiencia 4 veces tanto con el suelo desagregado como re-humedeciendo el suelo sin disturbar. Los valores obtenidos en la totalidad de las mediciones se ajustaron linealmente con la finalidad de obtener las ecuaciones de calibración para dichas texturas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró una relación lineal entre la humedad volumétrica del suelo y los valores del sensor en los distintos tipos de suelo evaluados. En la figura 1 se puede observar las ecuaciones de calibración y sus correspondientes coeficientes de regresión (R^2). Utilizando los datos de todas las experiencias realizadas dentro de cada tipo textural de suelo, se obtuvo una ecuación característica y representativa de cada tipo de suelo, con el objetivo de ajustar el valor (output) entregado por el sensor.

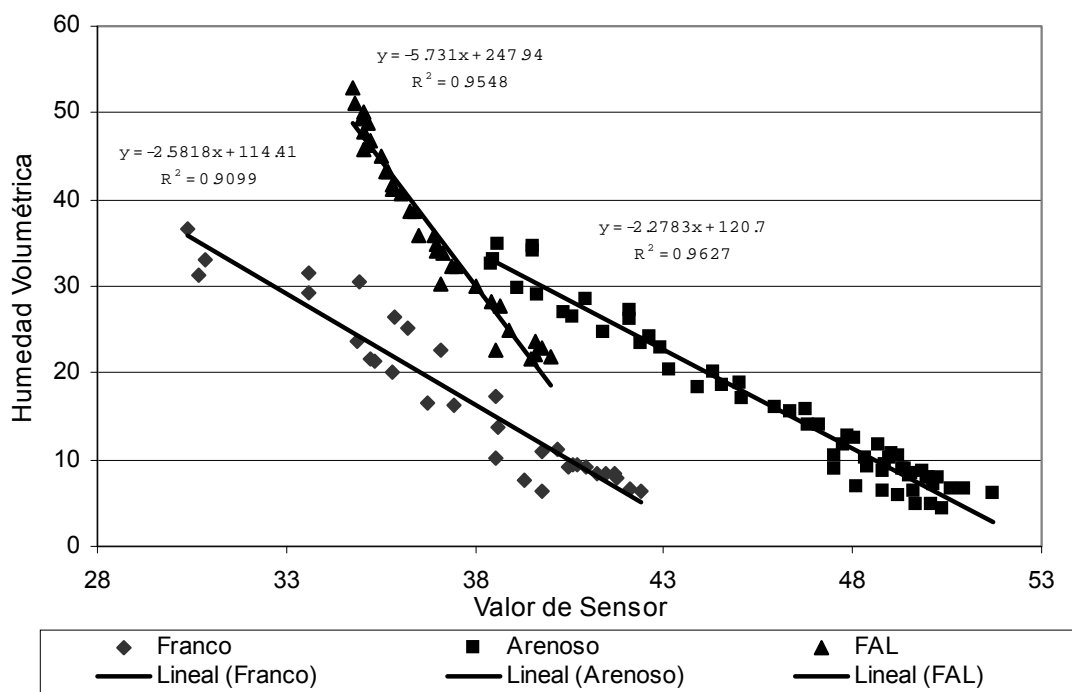


Figura 1: Respuesta de sensores dieléctricos de humedad de suelo a la variación de la humedad volumétrica del suelo. Ecuación de ajuste para cada una de las texturas evaluadas y sus respectivos coeficientes de regresión (R^2)

Cuadro 1: Ecuaciones lineales de ajuste de los valores entregados por el sensor a valores de humedad volumétrica para cada una de las experiencias realizadas.

R^2 : Coeficiente de Regresión.

Tipo de suelo	Nº de experiencia	Ecuación de ajuste	R^2
Arenoso	1	$-2.79x + 143.50$	0.98
	2	$-2.6x + 135.7$	0.99
	3	$-2.24x + 120.27$	0.99
	4	$-2.06x + 111.15$	0.98
Franco	1	$-2.32x + 103.93$	0.99
	2	$-3.69x + 153.09$	0.99
	3	$-3.38x + 147.84$	0.99
Franco arcillo limoso	1	$-4.43x + 207.78$	0.93
	2	$-6.32x + 268.55$	0.955
	3	$-5.44x + 237.96$	0.975
	4	$-6.48x + 268.35$	0.97

En el cuadro 2 se puede observar una excelente correlación entre los valores entregados por el sensor y la humedad volumétrica de los diferentes suelos, para cada una de las experiencias realizadas. Esto nos muestra una correcta respuesta del sensor antes las variaciones de humedad volumétrica, como además, asegura las bondades de la técnica de calibración utilizada.

Sin embargo, los coeficientes de correlación son levemente menores en aquellos suelos con mayor porcentaje de arcillas. Esta dificultad de ajuste lineal concuerda con lo observado por Ponizovsky y otro (1999) donde sostienen que hay un aumento del agua confinada en aquellos suelos con mayor cantidad de arcillas lo que provoca una respuesta diferencial del sensor. También es correcto considerar otros factores como los cambios en la densidad de la masa de suelo dentro del dispositivo experimental y al fenómeno de agrietamiento del mismo, de este tipo de textura.

Se evaluó las diferencias que pudieran surgir entre la utilización de suelo disgregado (suelo disturbado) y el suelo ya estructurado previamente (sin disturbar), dentro del dispositivo experimental de calibración. Al analizar la serie de datos de las experiencias realizadas con el suelo recién incorporado a la bandeja (suelo disturbado) en contraste con el mismo suelo estructurado y re-humedecido (sin disturbar), se observó que los valores del suelo sin disturbar se encuentran por encima de la recta de ajuste y los de suelo disturbado por debajo de la misma (Figura 2). Sin embargo, las pendientes de ambas experiencias son similares, lo que supone que las diferencias se deben a un factor que influye a lo largo de toda la experiencia. Este factor puede ser la diferente porosidad total de un suelo recién disgregado, de aquel que ya sufrió un proceso de estructuración. La situación real de medición del sensor en el campo se da bajo una condición de suelo no disgregado por lo que, tanto las calibraciones en laboratorio como las calibraciones a campo, se deberían realizar bajo esta situación.

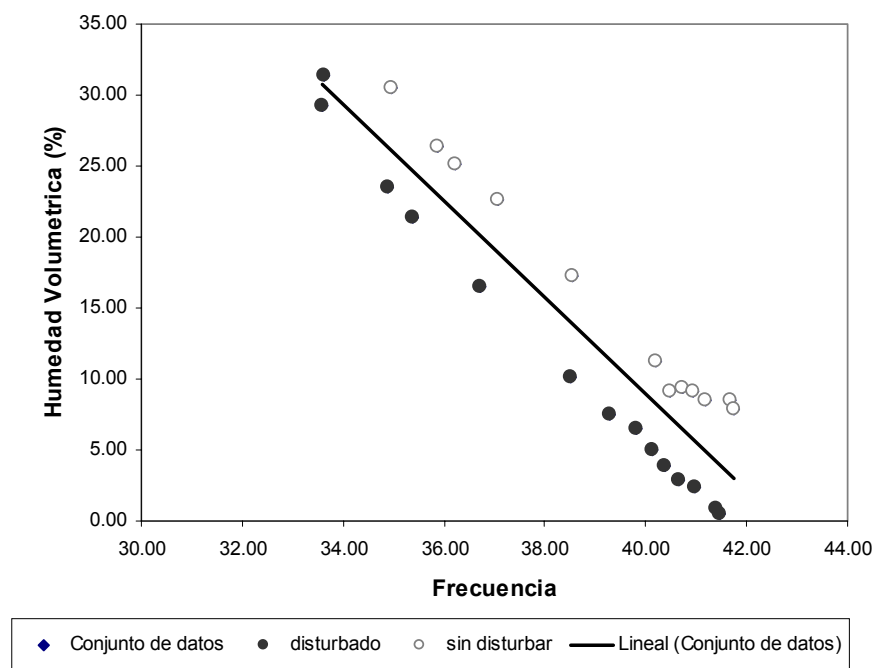


Figura 2: Valores entregados por el sensor en un suelo de textura Franca disturbado y sin disturbar. La línea indica el ajuste lineal a la totalidad de los valores registrados.

Analizando la respuesta de cada sensor por separado y su correspondientes valores máximos y mínimos (agua-aire) se observó que las pendientes y ordenadas al origen de la ecuación de ajuste tiene una desviación máxima del 5.3% y 4.7% respectivamente, lo que sugiere que la calibración no es específica del sensor (Cuadro 2). Esto es importante porque, a pesar de ser prototipos experimentales no fabricados en serie, presentan una buena homogeneidad.

Cuadro 2: Homogeneidad de los sensores a través de la calibración agua-aire

	Pendiente	Ordenada al origen
Sensor 1	3.58	112.98
Sensor 2	3.61	124.74
Sensor 3	4.02	123.85
Sensor 4	3.69	116.45
<i>Desvío estándar</i>	0.20	5.72
<i>Media</i>	3.73	119.51
<i>Coefficiente de variación</i>	0.054	0.048

CONCLUSIÓN

Los prototipos de sensor desarrollados muestran una buena respuesta a la humedad de suelo medida en forma volumétrica, observándose una buena precisión utilizando el dispositivo experimental de laboratorio. La relación lineal observada entre el valor entregado por el sensor y la humedad volumétrica en las distintas texturas de suelo, simplifica de manera los algoritmos de calibración y ajuste, que se deben incorporar en un programa de control. Las ecuaciones de calibración y la precisión de los sensores debería ser confirmada en experiencias a campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Austin, Colin & Darryl Whitford.** (1997) *Intelligent Irrigation*. Cohort International Pty Ltd, Australia
- Alva A.K, Fares A.** (1999) *New techniques for continuous monitoring of soil moisture content to improve citrus irrigation*. Proceedings of the Florida State Horticulture Society FSHS, St Petersburg. FL.
- Brandelik A and Hubner C.** (1997) *Soil moisture determination-Accurate, large and deep*. PHys. Chem. Earth. Vol.21, N° 3 pp. 157-160.
- Ponizovsky A.A. , Chudinova S.M. , Pachepsky Y.A.** (1999) *Performance of TDR calibration modesl as affected by soil texture*. Journal of Hidrology 218. Pp 35-43.