
Calibración del sensor de matriz granular (SMG) para determinar la retención de agua en el suelo para la programación de riego en tomate en el Valle del Yaqui.

R.A. Bórquez-López, L.C. Valdez-Torres*, E. Yépez-González y J. Garatuza-Payán

Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente. Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). 5 de febrero 818 sur, col. Centro, Ciudad Obregón, Sonora, México. C.P. 85000 Tel: (644)4100900 ext. 2093.

Granular Matrix sensor (GMS) calibration to determine water retention in soil for tomato irrigation scheduling in Yaqui Valley.

Abstract

In vegetables production, water application its drip irrigation done, however irrigation programming is performed in a random way or for producer experience. This allows the application of excess or deficient water, causing a decrease in the production and development of the crop. In this context, tools are needed to optimize the use of water; one of them may be the granular matrix sensor (GMS). In order to calibrate the granular matrix sensor in a compacted clay soil, an investigation was done in a tomato crop submitted to a water stress under greenhouse condition and drip irrigation in the experimental field and technology transfer of the Technology Institute of Sonora located in 910 block of Yaqui Valley. In the experiment two treatments were applied, one of them with water and the other without water. On each treatment 4 watermark sensors and 4 tensiometers were installed in a 15 cm depth and 5 cm separated of plant. 2 equations were evaluated published by Thompson and Armstrong, 1987 and Shock, 1988 for Ω to Ψ_m conversion which showed significant differences to the tensiometer reference, due to this an equation was developed for the calibration *in situ* which presented a similar behavior to tensiometer.

Key words: granular matrix sensor, tensiometer, soil matric potential, Watermark.

Resumen

En la producción de hortalizas, la aplicación del agua se realiza con riego por goteo, sin embargo la programación del riego se realiza al azar o por la experiencia del productor. Lo anterior conlleva a la aplicación en exceso o deficiente de agua, lo que provoca una disminución en el desarrollo y producción del cultivo. Bajo este contexto, es necesario contar con herramientas que permitan optimizar el uso del agua y una de ellas puede ser el sensor de matriz granular (SMG). Con la finalidad de calibrar el SMG en un suelo arcilloso compactado, se realizó un estudio de estrés hídrico en un cultivo de tomate bajo condiciones de riego por goteo en invernadero en el campo experimental y transferencia de tecnología del ITSON localizado en el Block 910 del Valle del Yaqui, México. En el experimento se aplicaron dos tratamientos, uno con riego y el otro sin riego. En cada tratamiento se instalaron cuatro sensores Watermark y cuatro tensiómetros a una profundidad de 15 cm y separados de la planta a 5 cm. Se evaluaron dos ecuaciones publicadas de Thompson y Armstrong (1987) y Shock (1998) para la conversión de la resistencia (Ω) a potencial mátrico (Ψ_m) las cuales mostraron diferencias significativas a la referencia del tensiómetro, debido a esto se desarrollo una ecuación de calibración *in situ* la cual presentó un comportamiento muy similar al tensiómetro.

Palabras clave: sensor de matriz granular, tensiómetro, potencial mátrico del suelo, watermark.

*Autores de correspondencia
Email: luis.valdez@itson.edu.mx

Introducción

Al final de los 80's con los avances de la electrónica y las tecnologías de la información, se ha logrado dar avances significativos en el conocimiento del sensado de la humedad del suelo para tener una programación lo más precisa posible sin afectar el estrés hídrico de una planta (Thompson *et al.*, 1996).

El desarrollo de los sensores permitió tener una aproximación o un mejor conocimiento de cuánto y cuándo regar dando información sobre el contenido volumétrico de agua en el suelo (Time-domain Reflectometer y Frequency-domain Reflectometer) como también puede indicar el potencial matricial (watermark y electrotensiómetro) (Thompson *et al.*, 1996). El Watermark 200 (Irrrometer, 2005) es un sensor de matriz granular (SMG) el cual consiste en un par de electrodos embebidos en un bloque de yeso. El movimiento de agua entre el suelo y el sensor es manifestado en variaciones de la resistencia eléctrica entre los electrodos del dispositivo (Chard, 2005), donde dichas variaciones de resistencia eléctrica son convertidos a potencial mátrico del suelo.

El uso de estos sensores exige una ecuación de calibración para convertir los valores de resistencia eléctrica a valores de Ψ_m . Thompson y Armstrong (1987) desarrollaron una ecuación de calibración para un modelo anterior al Watermark 200. Posteriormente, Thompson *et al.* (1996) verificaron que la ecuación de calibración de Thompson y Armstrong (1987) era también precisa para el modelo actual, el SMG 200SS. Shock *et al.* (1998a) desarrollaron una ecuación de calibración para el Watermark 200SS, para el rango de -10 a -75 kPa, la cual es utilizada por el fabricante como la calibración por defecto.

Con la finalidad de evaluar la confiabilidad de los valores de Ψ_m generados por el Watermark, se planteó un estudio comparativo entre los valores de Ψ_m obtenidos por las ecuaciones de calibración de Shock y de Thompson y Armstrong, y el tensiómetro, y a la vez se plantea la generación de una ecuación *in situ*.

Algunos autores reportan que los sensores presentan una respuesta pobre en suelos húmedos, es decir a rangos de 0 a -10 kPa (Irmak and Haman, 2001; Taber *et al.*, 2002); mientras que Shock *et al.* (1998b) encontró que el modelo Watermark 200SS

presenta mejor precisión comparando sensor con el modelo 200.

Fundamentación Teórica

Monitoreo y Calibración del Sensor

El medidor digital puede tomar lecturas individuales de cada sonda watermark, dicho medidor digital convierte la señal de salida de la resistividad del sensor ($k\Omega$) a retención de humedad del suelo (kPa) para ser usado en una ecuación no lineal desarrollada por Shock *et al.* (1998a) ecuación [1] o Thompson *et al.* (1987) ecuación [2]:

$$\Psi_m = -\frac{4.093+3.213 R_s}{(1-0.009733*R_s-0.01205*Ts)} \text{ Ec. [1]}$$

$$\Psi_m = -\frac{R_s}{0.01306[1.062(34.21-T+0.001060*T^2)-R_s]} \text{ Ec. [2]}$$

Dónde: Ψ_m es potencial mátrico de suelo en kPa, R_s es la salida del sensor y T_s es la temperatura estimada del suelo en °C.

Cuando el monitoreo de los sensores es realizado mediante el uso de un datalogger, la conversión de $k\Omega$ a unidades de retención de humedad del suelo tiene que ser definida por el usuario (Shock *et al.*, 2010). Irmak y Haman (2001) revisaron algunas conversiones existentes en la literatura. En la figura 1 se presentan 4 diferentes ecuaciones de calibración, sin embargo, estas ecuaciones se han derivado de condiciones controladas, usando métodos de presión en membranas porosas (Thomson y Armstrong, 1987; Thomson *et al.*, 1996; Watermark Calibration Chart ver. 3) o macetas (Shock *et al.*, 1998a). Por lo tanto, es necesario realizar estudios de evaluación de las ecuaciones de calibración y su comportamiento bajo condiciones de campo.

Bertolino *et al.*, (2002) menciona que es conveniente realizar una calibración del dispositivo para cada suelo y a diferentes profundidades para poder caracterizar su respuesta en periodos de humedecimiento y secado. Por otro lado, Spans y Baker (1992) menciona que los watermark son afectados por la temperatura del suelo, ya que existe un efecto sobre la respuesta de los electrodos, donde la resistividad de todo material es afectada por la temperatura como lo indica la ecuación [3]:

$$R_{tf} = R_{to} * [1 + (\alpha * \Delta t)] \text{ Ec [3]}$$

Dónde R_{tf} es el valor final de la resistencia, R_{to} es el valor inicial de la resistencia, α es un coeficiente térmico de resistividad presente en todos los materiales al analizarse su resistividad eléctrica y por ultimo un Δt equivalente al diferencial de temperatura ($T_{inicial} - T_{final}$).

Materiales y método

El estudio se realizó en el Centro Experimental de Transferencia de Tecnología del Instituto Tecnológico de Sonora, ubicado en la block 910 del Valle del Yaqui, con las coordenadas $27^{\circ} 21' 45''$ de latitud norte y $109^{\circ} 55' 50.83''$ de longitud oeste.

El estudio se efectuó en el cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero y regado con el sistema de goteo. Una vez que se estableció el cultivo se procedió a la instalación de los sensores watermark y tensiómetros. Para la instalación de los sensores se escogieron 4 plantas representativas del área de estudio. En cada planta se instaló un tensiómetro y un watermark por cada lado, de forma simétrica a 10 cm del gotero y 5 cm de la planta (Figura 2).

Una correcta instalación del sensor es importante para la adquisición de mediciones representativas, se hace un orificio de aproximadamente 2 cm de diámetro y 15 cm de profundidad, se agrega pasta saturada de suelo al orificio y se introduce el sensor

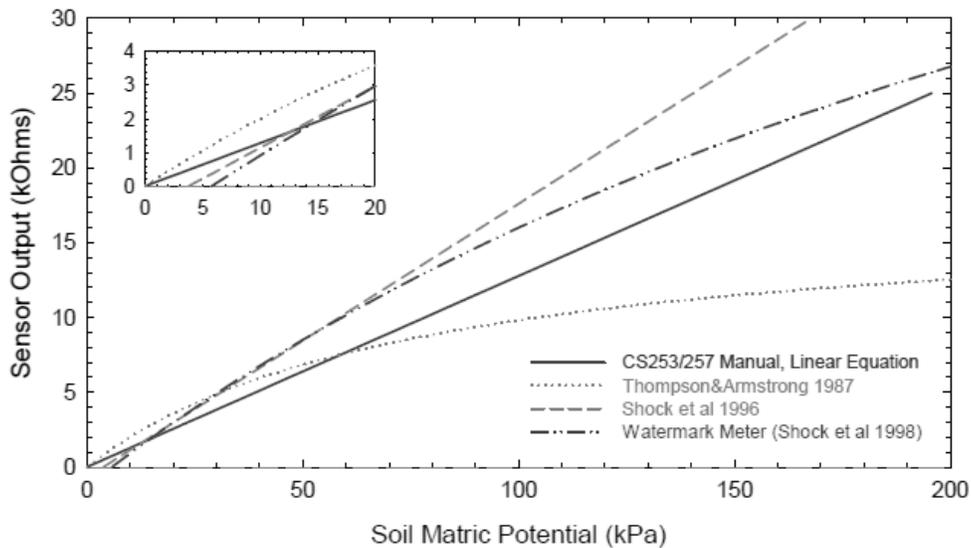


Figura 1. Relación entre potencial matricial de suelo y watermark (kΩ) a una temperatura de 24 °C utilizando las cuatro ecuaciones de conversión.

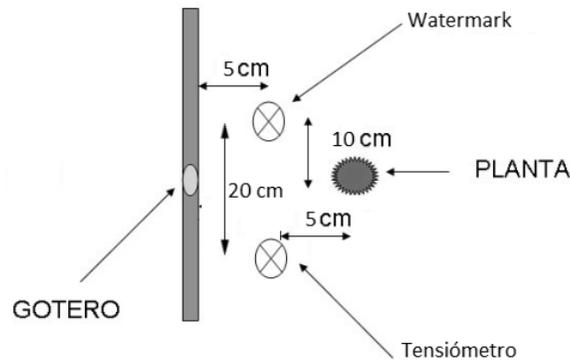


Figura 2. Localización de los sensores con respecto a la línea de goteo y la planta en el cultivo de tomate.

evitando ser expuesto por mucho tiempo al aire y se deja reposar por 24 horas para iniciar con la obtención de datos confiables.

Después se instala un sensor de temperatura de suelo (modelo 108 Temperature Probe, Campbell Scientific Inc., UTAH, USA) de forma vertical a la misma profundidad del watermark.

El registro de las mediciones y el almacenamiento, se realizó en un datalogger CR10X (Campbell Scientific, INC. CR10X Measurement and control module) donde la frecuencia de lectura de los sensores fue cada 15 segundos para después tomar la media y almacenarla cada media hora. Estos a su vez se conectaron a dos fuentes de alimentación (convertidor CA-CD y batería como fuente alterna

para caso de fallas), se colocó un multiplexor AM416 (Campbell Scientific, INC. AM416 Relay multiplexer) el cual permitió la instalación de hasta de 32 sensores.

Resultados y discusión

Resistencia vs potencial mátrico del suelo

En la figura 3 y 4 se presenta el comportamiento de la resistencia registrada por los watermark y las mediciones de potencial mátrico obtenidas de manera puntual en los tensiómetros.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos con Allen (2000) donde la calibración de los sensores mostraron una alta correlación entre la resistencia y

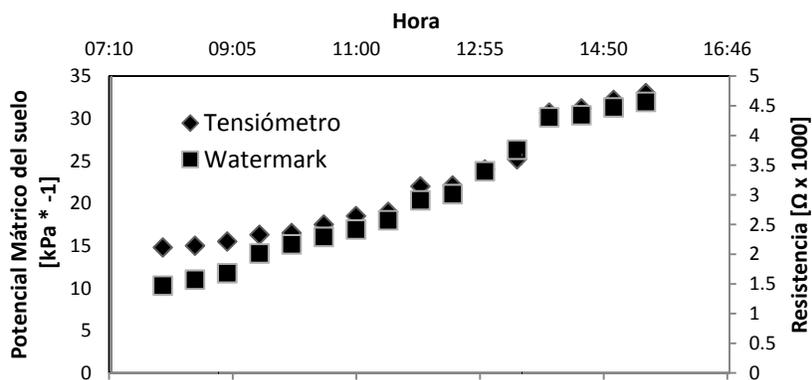


Figura 3. Relaciones tensiómetro y watermark 200.

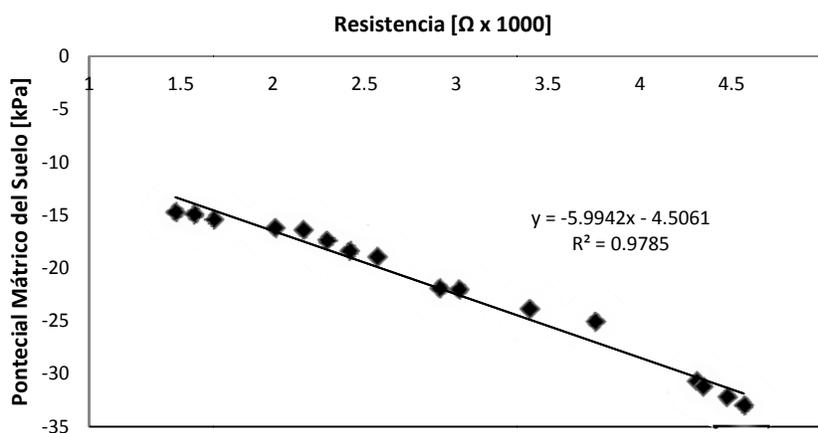


Figura 4. Correlación de los sensores con el potencial mátrico del suelo.

el potencial mátrico con alto contenido de humedad en el suelo; lo anterior permite observar que ambos equipos son sensibles a los mismos intervalos de tiempos (Figura 3 y 4).

En la valoración de los datos para analizar el efecto de la temperatura, en la ecuación de de la figura 4 se sustituye los parámetros propuestos por Spans y Baker (1992), y se tiene una nueva ecuación, donde se tomó en una temperatura de referencia de 23.2 °C (temperatura promedio final), y α de 0.03678.

La ecuación con ajuste de temperatura (*in situ*) queda:

$$\Psi_m = -5.9942 \cdot (R_s \cdot [1 + (\alpha \cdot \Delta t)]) - 4.5061$$

Presentando una correlación $R^2 = 0.9891$ en donde Ψ_m es el potencial mátrico del suelo y R_s la resistencia de los electrodos del watermark. Los

resultados obtenidos de resistencia y ajustados por la temperatura se presentan en la figura 5.

El análisis comparativo se puede observar en la figura 6, donde se presentan las ecuaciones de Shock 1998a, Thompson y Armstrong 1987 e *in situ*, así como los datos del tensiómetro; estos resultados demuestran que la ecuación *in situ* muestra un comportamiento muy similar al del tensiómetro.

Para evaluar el ajuste de las ecuaciones de Shock 1998a, Thompson y Armstrong 1987 e *in situ* y los datos del tensiómetro se realizó un análisis de varianza con comparación de varias muestras y una comparación de medias (LSD) al 95% de confiabilidad (Tabla 1); encontrando que el ajuste obtenido en la ecuación de Shock 1998a e *in situ* son estadísticamente iguales a los datos del

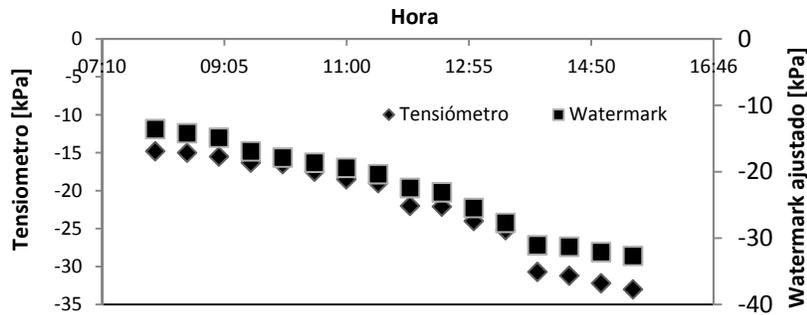


Figura 5. Correlación entre los datos de watermark con ajuste de temperatura y tensiómetros.

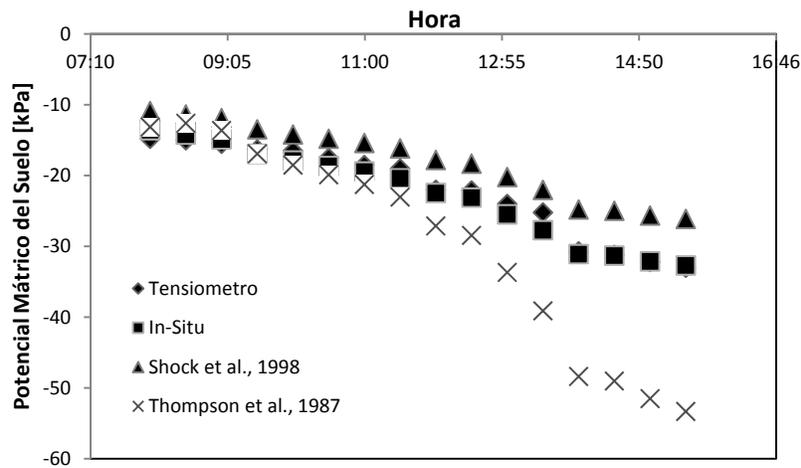


Figura 6. Comportamiento de las tres ecuaciones de calibración y los datos del tensiómetro.

Tabla 1. Análisis de varianza y comparación de media de los cuatros grupos.

| <i>Grupos Homogéneos</i> | |
|--------------------------|---|
| <i>In situ</i> 2010 | A |
| Tensiómetro | A |
| Schock 1998a | A |
| Thompson 1987 | B |

tensiómetro y diferentes estadísticamente a la de Thompson y Armstrong (1987).

Conclusiones

Las medidas de potencial matricio obtenidas en un cultivo de tomate en el ciclo invierno primavera, con las ecuaciones de Shock 1998a, Thompson y Armstrong 1987 presentan un comportamiento muy variable comparado con el tensiómetro, indicando poca precisión en la medición del agua retenida por el suelo.

La obtención de una ecuación *in situ* para la medición del potencial mátrico del suelo permitió mejorar la precisión obtenida con el sensor watermark, presentando un comportamiento muy similar al del tensiómetro.

Las ecuaciones *in situ* y Shock, 1998a, puede ser utilizadas para medir el potencial mátrico en suelos de textura arcillosa compactada del Valle del Yaqui debido a que presentaron un comportamiento similar al del tensiómetro en un rango de 10-40 kPa.

Bibliografía

Allen R. 2000. Calibration for the Watermark 200SS Soil Water Potential Sensor to fit the 7-19-96 "Calibration #3" Table from Irrrometer. University of Idaho.

- Bertolino, A.V.F.A., Souza, A.P., Fernandes, N.F., Rangel, A.M., Campos, T.M.P., Shock, C.C. 2002. Monitoring de field soil matrix potential using mercury tensiometer and granular matrix sensor, Unsaturated Soils. Recife Brasil. Lisse Swets & Zeitlinger; Vol 1 pp. 335 – 338.
- Chard J. 2005. WATERMARK SOIL MOISTURE SENSORS: Characteristics and Operating Instructions, Pag 1-8, Utah State University.
- Irmak, S., and D.Z. Haman. 2001. Performance of the Watermark® granular matrix sensor in sandy soils. Applied Engineering in Agriculture 17:787-795.
- Irrrometer. 2005. Watermark Soil Moisture Measurement: Installation and Operation
- Shock, C.C., E.B.G. Feibert, L.B. Jensen, and J. Klauzer. 2010. Successful onion irrigation scheduling. Oregon State University Extension Service. SP 1097 10p.
- Shock, C.C., J.M. Barnun and M. Seddigh. 1998a. Calibration of watermark soil moisture sensors for irrigation management, pag. 139-146, Proceedings of the International Irrigation Show, San Diego, CA. Irrigation Association.
- Shock, C.C., E.B.G. Feibert, and L.D. Saunders. 1998b. Onion yield and quality affected by soil water potential as irrigation threshold. Hortscience 33:1188-1191.
- Spaans, Egbert J.A. and John M. Baker. 1992. Calibration of Watermark soil moisture sensors for soil matric potential and temperature. Plant Soil 143:213-217.
- Taber, H.G., V. Lawson, B. Smith, and D. Shogren. 2002. Scheduling microirrigation with tensiometers or Watermarks. Int Water Irrig 22:22-26.
- Thomson, S.J., & Armstrong. C.F. 1987. Calibration of the Watermark model 200 soil moisture sensor. Appl. Eng. Agric. 3:186-189.
- Thomson, S.J.; Younos, T. y Wook, K. 1996. Evaluation of calibration equations and application methods for the watermark granular matrix soil moisture sensor. Applied Engineering in Agriculture. 12: 99-103.