

# BLOQUES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA DE DIFERENTES MATERIALES PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL SUELO\*

## Electrical resistance's blocks of different materials to detect soil moisture

Dayana Peña<sup>1</sup>, José Ortiz<sup>1</sup>, Héctor Miranda<sup>1</sup> y Douglas Peroza<sup>1</sup>

### RESUMEN

Existen muchos métodos desarrollados para el monitoreo de la humedad en el suelo con fines de programación del riego, entre estos se encuentra el sensor de matriz granular Watermark®, equipo poco accesible para los productores venezolanos, ya que es importado y de elevado costo. Por ello surge la necesidad de desarrollar un equipo de medición de la humedad en el suelo que sea efectivo y de bajo costo. El objetivo de este estudio fue comparar bloques de resistencia eléctrica elaborados con distintas proporciones de yeso-arena y yeso-sílice, con el sensor Watermark®. La investigación se llevó a cabo en el Decanato de Agronomía de la Universidad Centrooccidental "Lisandro Alvarado". Las variables evaluadas fueron la tensión y la resistencia eléctrica del agua en el suelo, esta última medida con dos aparatos (Ohmímetro y Puente de Wheatstone) a diferentes niveles de humedad. En cuanto a la tensión, los tratamientos T1 (100% yeso) y T3 (80% yeso + 20% arena), fueron similares al Watermark®. Para la resistencia eléctrica con el uso del Ohmímetro, todos los tratamientos pueden sustituir al Watermark®, y en lo que respecta a la resistencia eléctrica medida con el Puente de Wheatstone, T1 y T4 (70% yeso + 30% arena) se comportaron igual que el Watermark®. Las curvas de calibración obtenidas resultaron apropiadas ( $P < 0,05$ ;  $R^2 > 0,60$ ) para la determinación de la humedad del suelo en función de la tensión y la resistencia eléctrica, medidas con los bloques de resistencia eléctrica para el suelo bajo estudio.

**Palabras clave:** Watermark®, tensión del agua en el suelo, curvas de calibración.

### ABSTRACT

There are many methods developed for soil moisture monitoring for irrigation programming. The Watermark® matrix granular sensor is one among them. These devices are scarcely accessible to the Venezuelan's producers, as they are imported and expensive. Therefore, there arises the necessity to develop an effective and low-cost soil moisture measurement device. The objective of this study was to compare electrical resistance blocks made off with different proportions of gypsum-sand and gypsum-silica against the Watermark® sensor. The research was carried out in Agronomy School from the Universidad Centrooccidental "Lisandro Alvarado". The variables under evaluation were the soil water tension and electrical resistivity, the last one being measured with two devices (Ohmmeter and the Wheatstone bridge) in relationship to different moisture levels. With regard to the tension, the T1 treatments (100% gypsum) and T3 (80% gypsum + 20% sand), were similar to the Watermark®. With regard to the electrical resistance by using the Ohmmeter, all treatments can replace the Watermark®. Regarding measuring the electrical resistance with the Wheatstone bridge, the T1 and T4 treatments (70% gypsum + 30% sand) behaved like the Watermark®. The calibration curves obtained were appropriate ( $P < 0.05$ ,  $R^2 > 0.60$ ) for determining the soil moisture of the soil under study as a function the soil water tension and electrical resistance with the blocks of electrical resistance.

**Key words:** Watermark®, Soil water tension, calibration curves.

(\*) Recibido: 17-06-2012

Aceptado: 20-05-2013

<sup>1</sup> Decanato de Agronomía, Departamento de Ciencias Sociales. Universidad Centrooccidental "Lisandro Alvarado" UCLA. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. E-mail: jortiz@ucla.edu.ve, hmiranda@ucla.edu.ve.

## INTRODUCCIÓN

Cuando se produce un aumento creciente de la demanda de agua por los sectores agrícola e industrial y por el crecimiento demográfico, es necesario condicionar la demanda a la disponibilidad, para no afectar el desarrollo socio económico de una región (Vita *et al.* 2006). En el sector agrícola es fundamental realizar el diseño agronómico del riego para efectuar su buen manejo, ello consiste en determinar las cantidades adecuadas de agua y el momento oportuno para su aplicación (Gordillo 2006). Un mal diseño agronómico del riego trae como consecuencias incremento en los costos y una disminución de la calidad y cantidad del producto cosechado (Brito 2007). Así la medición y control del contenido hídrico y de nutrientes en el suelo son requerimientos necesarios para optimizar la gestión y el uso del recurso hídrico.

La fuerza con que el agua es retenida por la matriz del suelo depende de su contenido de humedad; mientras más seco se encuentra el suelo, mayor será la fuerza de retención, al igual que el trabajo que se debe ejercer para extraerla (Montenegro y Malagón 1990). Este trabajo o energía, que se opone al movimiento del agua, se llama potencial total del agua del suelo, el cual es la suma de todos los potenciales parciales, originados por el efecto de las interacciones del agua con diferentes partículas del suelo o por la posición en que se encuentra.

La determinación del contenido de agua en el suelo es un dato indispensable para el cálculo de los aportes de riego, mientras que la medición de los estados energéticos (medida de los diversos componentes del potencial) es imprescindible si se desea conocer su disponibilidad para las plantas. La cantidad de agua presente en un suelo y el potencial del agua, están indudablemente relacionados, pero no existe una única función conocida que relacione ambos valores, las curvas son variables según el tipo y condiciones del suelo, temperatura y antecedentes de humedecimiento o desecación (Villar *et al.* 2005). Por esto y debido a la gran importancia que el contenido de agua de los suelos y el estado energético de la misma, tiene

sobre el crecimiento de los vegetales, así como sobre las propiedades físicas y químicas de aquellos, muchos métodos se han desarrollado para la medición de uno u otro parámetro (Artigao y Guardado 1993).

Entre los métodos que miden el potencial de agua se encuentran los bloques de resistencia, basados en la propiedad que presenta el agua de conducir la corriente eléctrica; así se ha demostrado que la conductividad eléctrica del suelo es función de su contenido de humedad (Montenegro y Malagón 1990). Durante la década de los 90 surgió un nuevo sensor, basado en el mismo principio que los bloques de yeso, denominados sensores de matriz granular, conocidos comercialmente como Watermark®.

Estos sensores miden la resistencia eléctrica a una corriente que fluye entre dos electrodos inmersos en un material como la arena fina rodeada por un material poroso sintético, deben mantener un buen contacto con el suelo para su correcto funcionamiento (Villar *et al.* 2005). Las lecturas de resistencia eléctrica entre los dos electrodos son convertidas en potencial de agua en el suelo, a través de una ecuación de calibración que trae internamente el equipo de medición (Lopes *et al.* 2003). Thompson *et al.* (2006) evaluaron el uso del sensor Watermark® en cultivos bajo riego por goteo, concluyeron que puede proporcionar una indicación exacta del potencial matricial del suelo, siempre y cuando se obtenga y verifique una ecuación de calibración adecuada para las condiciones específicas del cultivo, y se consideren las características de funcionamiento del sensor.

Los Watermark® son útiles para medir un amplio rango de tensiones matriciales (0 hasta 199 kPa), dentro de las que se encuentran las tensiones críticas de los suelos, para una gran variedad de cultivos, lo cual refleja su utilidad para una correcta y oportuna aplicación de riego, en los periodos críticos de las plantas cuando las necesidades de agua son más acuciantes (Fuentes 1996). Los sensores Watermark® son útiles para determinar cuándo y cuánto regar, siempre que se realice una adecuada calibración; sin embargo, estos instrumentos no son muy usados por nuestros

productores, a causa de su poca accesibilidad, debido al alto costo en el país.

El objetivo fue realizar un estudio comparativo de bloques de resistencia para determinar el contenido hídrico, contruidos con diferentes materiales, con la intención de ofrecer a los agricultores una alternativa accesible, económica, precisa y útil para planificar el riego de cultivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” ubicado en Cabudare, estado Lara. Los tratamientos fueron bloques de resistencia elaborados en diferentes proporciones de yeso-arena y yeso-sílice, en total se establecieron 8 tratamientos, incluyendo al testigo (Watermark®), con cuatro repeticiones cada uno (Tabla 1).

Se pesaron los materiales a utilizar en las proporciones establecidas y se elaboraron dos electrodos que se colocaron inmersos dentro de cada bloque, para lo cual se utilizó alambre de cerca eléctrica, que se cortaron en longitudes de aproximadamente 5 cm, luego se unieron a cables finos. Para que los electrodos no hicieran contacto entre ellos, se colocó un separador de plástico no conductor de electricidad.

Se fabricaron moldes con tubos de PVC de ½ y ¾”, con el mismo ancho y longitud del Watermark® (Irrometer Corp., Riverside, CA, USA), se introdujeron los electrodos y se fue agregando la mezcla a la que previamente se le adicionó agua destilada, y se removió hasta lograr una consistencia líquida con apariencia de una

suspensión que se llama barbotina en el argot del ceramista. Posteriormente se dejaron secar durante 15 min, luego se sacaron los bloques de los moldes y se separaron las dos partes que lo conformaban. Cuando estaban totalmente secos, se unieron por el cuello a tubos de PVC de ¾” de diámetro y 25 cm de largo, usando pega de PVC, lo cual facilitó la instalación de los sensores, y contribuyó a una menor alteración del suelo. En el extremo superior se colocó tapa a los tubos para evitar que el agua de lluvia o de riego entrara y alterara lectura.

El estudio se realizó en macetas (cuñetes plásticos de 20 litros de capacidad) llenas con un suelo que tenía 49% de arena, 30% de limo, 21 % de arcilla y 2,8% de materia orgánica, en ellas se estableció un cultivo de crecimiento rápido como la caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), ya que para los fines de la investigación se necesitaba que hubiese extracción de agua del suelo, para así obtener diferentes contenidos de humedad, los cuales se corresponden con distintas medidas de tensión y resistencia eléctrica para los diferentes tratamientos. En el suelo presente en cada maceta se abrieron ocho orificios a 20 cm de profundidad, uno por tratamiento, para lo cual se utilizó un barreno de diámetro semejante al de los bloques, luego se elaboró una pasta con el mismo suelo extraído y agua que se colocó en el fondo de cada orificio para obtener buen contacto entre el bloque y el suelo, se introdujeron los bloques, previamente saturados, se agregó suelo y se compactó suavemente para evitar que quedaran bolsas de aire. Seguidamente se sembraron las semillas de caraota, y se regó para garantizar la germinación.

Las mediciones se realizaron dos veces por semana durante dos ciclos del cultivo. Para la tensión se dispuso de un medidor digital portátil Modelo 30 KTCD-NL (Irrometer Corp., Riverside,

**Tabla 1.** Proporciones de los materiales usados en la fabricación de bloques de resistencia.

Bloques	Proporciones (%)	Tratamiento
Watermark®	---	T0
Yeso	100% Yeso	T1
Yeso + Arena	90% Yeso + 10% Arena	T2
Yeso + Arena	80% Yeso + 20% Arena	T3
Yeso + Arena	70% Yeso + 30% Arena	T4
Yeso + Sílice	90% Yeso + 10% Sílice	T5
Yeso + Sílice	80% Yeso + 20% Sílice	T6
Yeso + Sílice	70% Yeso + 30% Sílice	T7

CA, USA), el cual se conecta con los cables inmersos en los bloques a través de un par de pinzas tipo caimán para obtener las lecturas, este aparato posee un rango de lecturas entre 0 y 199 kPa. Para la determinación de la resistencia eléctrica se usaron dos medidores: un Ohmímetro, este posee tres escalas de lecturas, se empieza leyendo de la más pequeña a la mayor, si se sale del rango una lectura se pasa a la siguiente escala, hasta que se obtenga una medida, puede medir entre 0 y 10000000 ohm; el otro medidor fue el Puente de Wheatstone, este presenta un rango de lecturas de 0 a 10000 ohm.

La determinación del contenido de humedad del suelo se efectuó pesando los cuñetes en cada medición (peso húmedo), para lo cual se usó una balanza digital modelo MSI-3360 Challenger 2, cuya precisión es  $\pm 0,1$  % de la carga aplicada. Al final del ensayo se determinó el peso de suelo seco para cada repetición, con el uso de muestras de suelo no alteradas, la cual se relacionó con el volumen total de suelo. También al final del ensayo, para determinar el peso húmedo en cada medición, se restó a cada peso total, el peso del cuñete, y de los bloques de resistencia. Con valores de peso húmedo y peso seco se obtuvo porcentaje de humedad en cada medición correspondiente a las lecturas de tensión y resistencia.

Para el análisis de los datos se usó el programa estadístico Statgraphics 5.1 (Statistical Graphics Corp., Englewood Cliffs, USA). Se procedió a realizar el análisis de regresión, para esto se buscó el modelo que más se ajustara, y se descartaron datos salidos del rango de lectura de los aparatos. Se tomó en cuenta la significancia del modelo, de los parámetros, el coeficiente de determinación y el error estándar de la estimación para establecer la adecuación del modelo. De los resultados de la regresión, se descartaron aquellos tratamientos en los que se obtuvo una o ninguna ecuación de regresión. Las variables que se sometieron al análisis de varianza fueron los parámetros de las ecuaciones de regresión; es decir, el intercepto (a), y la pendiente (b), para determinar si hubo diferencias para cada variable. Cuando se encontró diferencia significativa se realizó prueba de medias de Tukey para establecer grupos homogéneos.

Para determinar las curvas de calibración humedad vs tensión, y humedad vs resistencia eléctrica para el suelo estudiado, se sometieron los datos de todas las repeticiones por tratamiento, a un análisis de regresión usando los mismos modelos utilizados en el primer caso. La utilidad de estas curvas está en la determinación de la humedad del suelo en función de la tensión o resistencia eléctrica medida usando los bloques de resistencia elaborados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelos de regresión

Para relacionar el contenido de humedad en función de la tensión del agua en el suelo, los valores se ajustaron al modelo Raíz cuadrada de X (variable independiente, Ec. 1).

$$\theta = a - b\sqrt{T}$$

Donde:

$\theta$  = % de humedad gravimétrica.

a y b = Parámetros del modelo.

T = Tensión.

Los valores de resistencia eléctrica obtenidos con los dos aparatos usados, se ajustaron al modelo Multiplicativo (Potencial, Ec. 2).

$$\theta = a * R^{-b}$$

Donde:

R = Resistencia eléctrica.

$\theta$ , a y b = tienen el mismo significado anterior.

Al realizar la diagnosis de los modelos, mediante el análisis de los residuos, cumplieron con las hipótesis de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de los errores.

### Análisis de varianza para los parámetros de los modelos

En cuanto a la tensión, los tratamientos en los cuales se obtuvo una o ninguna ecuación de regresión fueron T6 (80% Yeso + 20% Sílice) y

T7 (70% Yeso + 30% Sílice), lo que podría deberse a errores en la construcción de los bloques de resistencia o en las mediciones; esto también ocurrió en el caso de la resistencia eléctrica medida con el Puente de Wheatstone, en la cual los tratamientos que generaron dos o más ecuaciones de regresión con significancia del modelo, además del tratamiento testigo (Watermark®), fueron T1 y T4. Para la resistencia eléctrica medida con el ohmímetro, se lograron obtener suficientes ecuaciones de regresión con significancia del modelo ( $P < 0,05$ ;  $P < 0,01$  y  $P < 0,001$ ) en cada tratamiento para realizar el análisis de varianza a los parámetros de los modelos.

### Pruebas de Medias

Con base en el parámetro “a” de la tensión, en el análisis de varianza no se detectaron diferencias ( $P > 0,05$ ), para el parámetro “b” hubo diferencias ( $P < 0,05$ ), como puede observarse en la Tabla 2.

Para el parámetro “a”, los tratamientos no presentaron diferencias significativas, se infiere que cualquiera de los tratamientos puede sustituir al Watermark® en la medición de la tensión del suelo. De la prueba de medias realizada al parámetro “b”, se establece que los tratamientos estadísticamente iguales al tratamiento testigo fueron T1 (100% Yeso) y T3 (80 % de Yeso + 20 % de Arena), se deduce que estos bloques de resistencia pueden sustituir al sensor Watermark® para la determinación de la tensión del suelo, como medida indirecta de su contenido de humedad, resultado que es muy importante, ya que este equipo es de difícil adquisición, por no fabricarse en el país, y su costo es elevado en comparación con los bloques que se construyeron para la realización de este trabajo.

Por su parte, los parámetros “a” y “b”, de la resistencia eléctrica obtenida con los dos aparatos usados no mostraron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre tratamientos. Por lo anterior puede establecerse que para la medición de la resistencia eléctrica con el ohmímetro, todos los bloques de resistencia elaborados pueden sustituir al Watermark®. En cuanto a la resistencia eléctrica medida con el Puente de Wheatstone, T1 (100% de Yeso) y T4

(70% Yeso + 30% Arena) se comportaron de forma similar al testigo.

### Curvas de Calibración

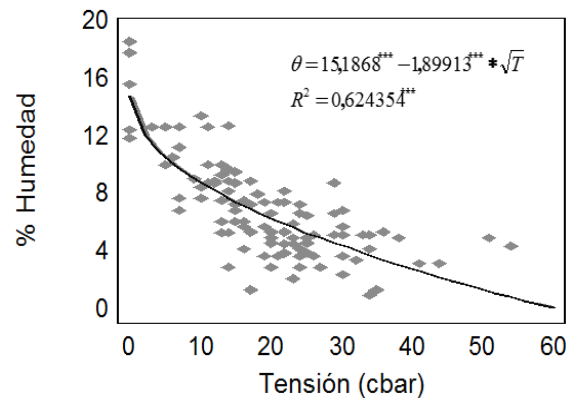
#### a) Humedad vs Tensión

Para obtener estas curvas de calibración, se utilizó el modelo usado para las regresiones anteriores, en este caso el raíz cuadrada de X (variable independiente).

Para los tres tratamientos que no presentaron diferencias estadísticas entre ellos (T0, T1 y T3), las ecuaciones de calibración, coeficientes de determinación y de correlación, y los valores de error estándar obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Se obtuvieron en los tres casos ecuaciones de calibración similares en cuanto a los parámetros “a” y “b” ( $P < 0,001$  y  $P < 0,01$ ), valores significativos del modelo que demuestran que en un alto grado la variabilidad de la humedad puede ser explicada por la tensión; además, alto coeficiente de correlación para cada tratamiento, indica una relación de moderada a fuerte entre las variables. Los valores de error estándar también fueron bajos, se deduce alta confiabilidad de las ecuaciones obtenidas.

En la Figura 1 se muestra la curva de calibración Humedad vs Tensión resultante para el tratamiento testigo (Watermark®).



$\theta$  = % de Humedad; T = Tensión;  $R^2$  = Coeficiente de determinación \*\*\* =  $P < 0,001$

**Figura 1.** Curva de calibración Humedad vs Tensión del Watermark® (tratamiento testigo).

**Tabla 2.** Valores promedio de los parámetros “a” y “b” de la ecuación  $\theta = a - b\sqrt{T}$

Tratamiento	Media Parámetro “a”	Media Parámetro “b”
T0	15,35 a	-1,95 a
T1	14,39 a	-1,15 abc
T2	16,50 a	-0,85 bc
T3	15,53 a	-1,63 ab
T4	14,52 a	-0,46 c
T5	13,996 a	-0,88 bc
P	0,4875	0,0134

Medias con similar letra dentro de la misma columna indican que no hay diferencias (P> 0,05).

**Tabla 3.** Ecuaciones de calibración de % de Humedad en función de la tensión.

Tratamiento	Ecuación	R <sup>2</sup>	r	ES
T0 (Watermark®)	$\theta = 15,1868^{***} - 1,89913^{***} * \sqrt{T}$	0,624354***	-0,790161	2,07478
T1 (100 % Yeso)	$\theta = 10,7206^{***} - 0,693084^{***} * \sqrt{T}$	0,606749***	-0,778941	1,24798
T3 (80 % Yeso + 20% Arena)	$\theta = 11,999^{***} - 0,840752^{**} * \sqrt{T}$	0,536809**	-0,732672	2,10029

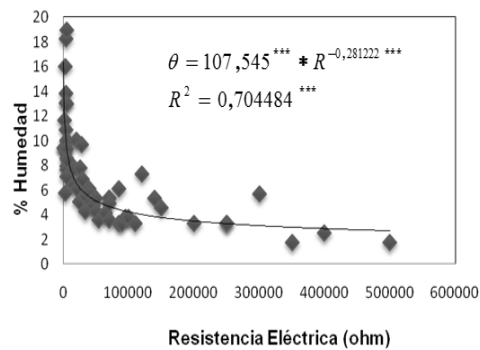
$\theta$  = % de Humedad;  $T$  = Tensión; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; r = Coeficiente de correlación; ES = Error estándar  
Significancia: \*\*\* = P<0,001; \*\* = P<0,01

**b) Humedad vs Resistencia Eléctrica medida con el Ohmímetro**

Se utilizó el modelo multiplicativo, y en este caso se determinó la ecuación de calibración para tratamiento testigo, T1 (100% Yeso) y T2 (90% Yeso + 10% Arena); las ecuaciones de calibración, coeficientes de determinación y de correlación y los valores de error estándar obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Las ecuaciones de calibración resultantes fueron similares en cuanto a los parámetros “a” y “b”, con alta significancia (P<0,001), de igual forma se obtuvieron valores aceptables de coeficientes de determinación, esto demuestra que existe una buena adecuación del modelo de regresión, lo que también es explicado por los altos coeficientes de correlación, esto indica una relación fuerte entre las variables. Los valores de error estándar también fueron bajos, lo que indica que las ecuaciones obtenidas son confiables.

En la Figura 2 se muestra la curva de calibración Humedad vs Resistencia eléctrica resultante para T1 (100% Yeso).



$\theta$  = % de Humedad; R = Resistencia eléctrica; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación \*\*\* = p < 0,001

**Figura 2.** Curva de calibración Humedad vs Resistencia eléctrica (Ohmímetro) del tratamiento 1.

**c) Humedad vs Resistencia eléctrica medida con el Puente de Wheatstone**

Se utilizó el modelo multiplicativo, y en este caso se determinaron las ecuaciones de calibración para tratamiento testigo, T1 (100% Yeso) y T4 (70% Yeso + 30% Arena), las ecuaciones de calibración de % de humedad en función de la resistencia eléctrica, coeficientes de determinación, coeficientes de correlación, y los valores de error estándar obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Las ecuaciones de calibración fueron parecidas en cuanto a los parámetros “a” y

**Tabla 4.** Ecuaciones de calibración de % de Humedad en función de la resistencia eléctrica medida con el Ohmímetro.ç

Tratamiento	Ecuación	R <sup>2</sup>	r	ES
T0 (Watermark®)	$\theta = 127,616^{***} * R^{-0,350804^{***}}$	0,599056***	-0,773987	0,335311
T1 (100 % Yeso)	$\theta = 107,545^{***} * R^{-0,281222^{***}}$	0,704484***	-0,839336	0,287752
T2 (90 % Yeso + 10% Arena)	$\theta = 236,446^{***} * R^{-0,336692^{***}}$	0,647484***	-0,804664	0,289029

$\theta$  = % de Humedad;  $R$  = Resistencia eléctrica;  $R^2$ = Coeficiente de determinación;  $r$  = Coeficiente de correlación; ES= Error estándar. Significancia: \*\*\*=  $P < 0,001$ .

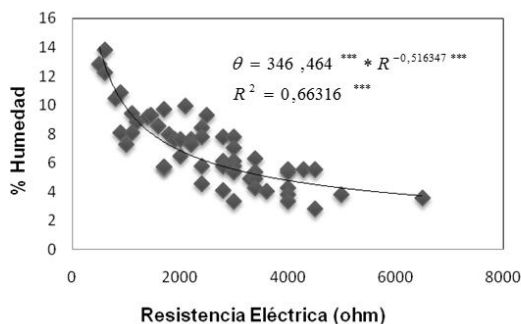
**Tabla 5.** Ecuaciones de calibración de % de Humedad en función de la resistencia eléctrica medida con el Puente de Wheatsatone.

Tratamiento	Ecuación	R <sup>2</sup>	r	ES
T0 (Watermark®)	$\theta = 346,464^{***} * R^{-0,516347^{***}}$	0,66316***	-0,814346	0,21665
T1 (100 % Yeso)	$\theta = 307,216^{***} * R^{-0,495188^{***}}$	0,636283***	-0,797674	0,248508
T4 (70% Yeso + 30% Arena)	$\theta = 95,7831^{***} * R^{-0,314976^{**}}$	0,620108**	-0,78747	0,144414

$\theta$  = % de Humedad;  $R$  = Resistencia eléctrica;  $R^2$ = Coeficiente de determinación;  $r$ = Coeficiente de correlación; ES= Error estándar. Significancia: \*\*\*=  $P < 0,001$ ; \*\*=  $P < 0,01$ .

“b” ( $P < 0,001$  y  $P < 0,01$ ), de igual manera se obtuvieron elevados coeficientes de determinación, los cuales demuestran que el modelo explica en alto grado la variabilidad de la humedad, así como también altos coeficientes de correlación para cada tratamiento, que indica una relación fuerte entre las variables. Los valores de error estándar también fueron bajos, lo que implica una alta confiabilidad de las ecuaciones resultantes.

En la Figura 3 se muestra la curva de calibración Humedad vs Resistencia eléctrica resultante para el tratamiento testigo (Watermark®).



$\theta$  = % de Humedad;  $R$ = Resistencia eléctrica;  $R^2$  = Coeficiente de determinación \*\*\* =  $p < 0,001$

**Figura 3.** Curva de calibración Humedad vs Resistencia eléctrica (Puente de Wheatstone) del Watermark® (tratamiento testigo).

## CONCLUSIONES

- Los bloques de resistencia eléctrica construidos con sólo yeso (T1) y 80% de yeso con 20% de Arena (T3) generan resultados similares al Watermark® para la determinación de la tensión como medida indirecta de la humedad del suelo.
- Los tratamientos T1 y T4 (70% de Yeso y 30% de Arena) fueron adecuados para medición de la resistencia eléctrica con el uso del Puente de Wheatstone, en comparación con el tratamiento testigo.
- Los bloques de resistencia construidos con yeso más sílice no generaron determinación de tensión similar al Watermark®.
- Para la medición de la resistencia eléctrica con el uso del ohmímetro, todas las mezclas yeso-arena y yeso-sílice resultaron apropiados en comparación con el sensor Watermark®.
- Las curvas de calibración resultantes son apropiadas para la determinación de la humedad del suelo estudiado, en función de la tensión y resistencia eléctrica.
- En general el bloque construido solamente con yeso puede sustituir al Watermark® en la

determinación indirecta del contenido de humedad del suelo.

### REFERENCIAS

- Artigao, A. y Guardado, R. 1993. El Agua en el suelo. En: de Santa Olalla y de Juan (Coords.). *Agronomía del Riego*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 732 p.
- Brito, D. 2007. Diseño y evaluación de un tensiómetro con dispositivo electrónico (transductor) para la medición de la tensión de humedad en el suelo. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Agronomía. Cabudare. Venezuela. 39 p.
- Fuentes, J. 1996. Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. España. 471 p.
- Gordillo, R. 2006. Caracterización de materiales (arcillas) para la fabricación de cápsulas porosas de tensiómetros. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Agronomía. Cabudare. Venezuela. 37 p.
- Lopes, H., Fabião, M. e Oliveira, I. 2003. Guia de Rega. Monitorização da água do solo. Sensores "Watermark". Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio. Portugal. 37 p.
- Montenegro, H. y Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Subdirección Agrológica del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Bogotá, Colombia. 813 p.
- Thompson, R., Gallardo, M., Agüera, T., Valdez, L., y Fernandez, M. 2006. Evaluation of the Watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. *Irrigation Science* 24:185-202.
- Villar, M., Josep, M. y Ferrer, F. 2005. Técnicas de medida y control del agua en el suelo. En: de Santa Olalla, López y Calera (Coords.). *Agua y Agronomía*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 496 p.
- Vita, S., Schugurensky, C., Carrión R., y Rodríguez S. 2006. 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. INTA. (Documento en línea). Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/Mendoza/Jornadas/Trabajospresentados/Vita.pdf>. [octubre de 2011].