

**Dinámica de la humedad del suelo y su efecto sobre el rendimiento de la stevia***Soil moisture dynamics and its effect on stevia yield***Emilio García, Roberto Villafañe, Carmen Basso, Adriana Florentino**

Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela

Correo electrónico: [r.villafae@gmail.com](mailto:r.villafae@gmail.com)**RESUMEN**

Un estudio de los cambios en el tiempo de la humedad en un suelo franco arcillo-arenoso, cultivado con stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni], fue realizado en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela-Maracay, utilizando unidades de resistencia eléctrica (bloques de yeso) elaboradas de manera artesanal. Las medidas de humedad del suelo se realizaron desde el trasplante del cultivo hasta los 79 días, cuando se realizó la primera cosecha, en cuatro tratamientos de dosis de riego: 40, 60, 80 y 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), arreglados en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los dos tratamientos de dosis más bajas afectaron sustancialmente el comportamiento de la dinámica de la humedad del suelo y causaron reducción significativa en el rendimiento del cultivo, obteniéndose 3,57; 4,93; 6,78 y 7,39 gramos de peso seco de hojas por planta correspondientes a los cuatro tratamientos de riego respectivamente.

**Palabras Clave:** Stevia rebaudiana; Bloques de yeso; monitoreo de la humedad del suelo; riego.

**ABSTRACT**

A study of soil moisture dynamics, using electrical resistance units (gypsum blocks), was conducted in a sandy clay loam soil cultivated with stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni], at the experimental field of the Faculty of Agronomy, Venezuela. Four treatments with different doses of irrigation: 40, 60, 80 and 100% of crop evapotranspiration (ETc), were arranged in a completely randomized design with four replications. Soil moisture was measured in each treatment from transplanting to 79 days after, when occurred the first crop harvest. The crop yields in the four irrigation treatments were, respectively, 3.57, 4.93, 6.78 and 7.39 grams of dry weight of leaves per plant. The two treatments most deficient in water highly affected the behavior of the soil moisture dynamics and produced significant reduction in crop yield.

**Keywords:** Stevia rebaudiana; Gypsum blocks; soil water monitoring; irrigation

**INTRODUCCIÓN**

La planificación del riego implica el conocimiento de los contenidos máximo y mínimo de agua en el suelo dentro de los cuales se garantiza el rendimiento máximo de un cultivo en particular (Taylor, 1965). Estos contenidos están asociados con niveles del potencial mátrico del agua del suelo. El nivel de retención de humedad máximo de un suelo (capacidad de campo) se corresponde con un potencial mátrico que está entre -10 y -33 kPa, y el nivel mínimo del rango de humedad fácilmente aprovechable por las plantas se relaciona con un potencial mátrico que varía entre -100 y -300 kPa según la sensibilidad del cultivo a los déficits de agua en el suelo (Dorenbos y Pruitt, 1977). Para la stevia, el descenso del potencial mátrico por debajo de -60 kPa puede afectar la eficiencia hídrica de la planta (Niño et al., 2013), lo que indica que este cultivo es altamente sensible al estrés hídrico (Aladakatti et al., 2012). Si conocemos el potencial mínimo para un determinado cultivo y se cuenta con la curva de retención de humedad del suelo, se puede calcular el rango de humedad fácilmente aprovechable (diferencia entre el nivel máximo de retención de humedad y el valor correspondiente al potencial mínimo). El monitoreo de la humedad del suelo se ha utilizado como herramienta para aplicar el agua de manera oportuna en la gestión del riego.

<sup>a</sup> Recibido: 06-03-16 ; Aceptado: 01-08-16

La obtención de la humedad del suelo de manera directa por termo-gravimetría o termo-volumetría, aunque es la técnica más precisa, no permite obtener siempre información del mismo sitio y además hay que esperar un tiempo, por lo general mayor de 24 horas para obtener el resultado (Martín De Santa Olalla Mañas y De Juan Valero, 1993; Florentino, 2006). Estas razones y otras han llevado al desarrollo de métodos indirectos de medición basados en propiedades del suelo relacionadas con la humedad y descritos en numerosos trabajos (Israelsen y Hansen, 1973; Martín De Santa Olalla Mañas y De Juan Valero, 1993; Florentino, 2006). Entre estos métodos destacan los tensiómetros, las unidades de resistencia eléctrica, las sondas de neutrones, las sondas de rayos gamma y los métodos dieléctricos como los TDR, FDR y ADR (Charlesworth, 2005; Florentino, 2006). Todos ellos han sido utilizados en estudios de dinámica de la humedad del suelo tanto en condiciones de riego como de secano (Hidalgo et al., 2003; Kováč et al., 2005; Murillo et al., 2008). Las unidades de resistencia eléctrica, en particular los bloques de yeso constituyen un procedimiento adecuado y económico cuando se pretende llevar a cabo el monitoreo en muchos puntos del campo (Tanner, et al., 1948; Koech, et al., 2015); sin embargo, hay que tener presente su limitado rango de medición y la variación de su calibración con el envejecimiento (Kirda y Reichart, 1992; Charlesworth, 2005). En esta investigación se utilizaron bloques de yeso elaborados de manera artesanal para monitorear la dinámica de la humedad del suelo en cuatro tratamientos de dosis de riego y evaluar el efecto de estas dosis sobre el rendimiento del cultivo de stevia. Se partió de la hipótesis que dosis de agua deficitarias causan una disminución progresiva del agua en el suelo tanto antes como después del riego y en mayor magnitud que cuando la dosis es la necesaria.

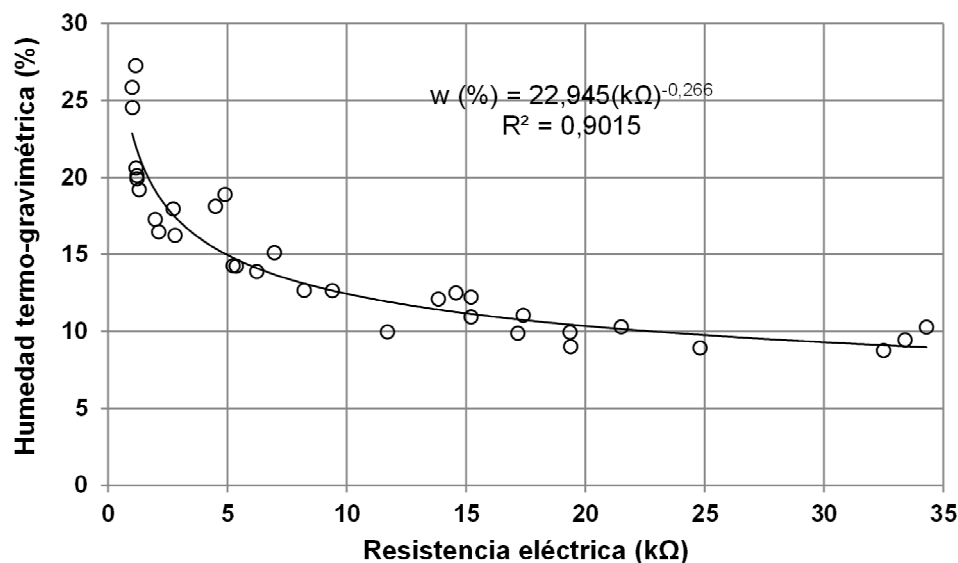
## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en un ensayo de stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] llevado a cabo en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la UCV-Maracay en el año 2015. La vegetación natural pertenece a un Bosque muy seco tropical según Holdridge (Ewel y Madriz, 1968); precipitación de 1145,3 mm año<sup>-1</sup>, evaporación de 1713,5 mm año<sup>-1</sup> y una temperatura media anual de 25,0 °C. El ensayo se desarrolló en la época seca (Enero-Marzo), donde el promedio diario de humedad relativa y temperatura variaron entre 64,93-68,81 % y 24,3-25 °C respectivamente, y la radiación solar mensual entre 506,90 y 634,34 Mj\*m<sup>-2</sup>.

Se elaboraron y calibraron unidades de resistencia eléctrica (URE) para monitorear la humedad del suelo en los primeros 30 cm de profundidad. Para su elaboración se utilizó malla metálica tipo mosquito de orificios cuadrados de 3 mm x 3 mm, cortadas en cuadritos de 16mm x 16mm. Con el uso de un molde rectangular plástico se fabricaron láminas de yeso de 8 mm de espesor que luego se cortaron en cuadritos de 16 mm x 16 mm para obtener núcleos de yeso de 16 mm x 16 mm x 8 mm. Por las caras de 16 mm x 16 mm se fijaron las mallas (electrodos) con hilo de costura. Previamente las mallas fueron soldadas con estaño a un metro de cable doble 20, haciendo uso de un cautín común. El núcleo de yeso con las mallas fijadas se introdujo en una formaleta cilíndrica de 23 mm de diámetro y 35 mm de alto para embutirlos en yeso. Estas URE así elaboradas se extrajeron de las formaletas a las 24 horas para pasar luego al proceso de calibración.

La calibración de las URE se realizó en muestras de suelo tomadas del área experimental bajo estudio (suelo franco-arcillo-arenoso (FAa), a las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm. Las lecturas de resistencia eléctrica se realizaron con un multímetro corriente digital marca UNI-T, modelo UT33C. Como ambas curvas de calibración generaron ecuaciones de predicción similares, se adoptó una curva de calibración general para ambas profundidades utilizando todos los datos de ambas profundidades (Figura 1). Estas URE se instalaron en el suelo muestreado donde se condujo el ensayo de stevia con cuatro tratamientos de dosis de riego, arreglados en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: 40, 60, 80 y 100 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc), medida esta última en lisímetros de drenaje instalados en unidades experimentales adicionales ubicadas dentro del ensayo, pero controladas por otros investigadores. Estas mediciones de ETc se realizaron antes de cada riego.

Cada unidad experimental del ensayo estuvo constituida por dos camas de 2,7 m de largo y 0,70 m de ancho. En cada cama se trasplantaron 25 esquejes enraizados de 2 meses de edad. El trasplante se realizó en tres hileras por cama pero en disposición de tresbolillo, con separación entre plantas de 0,3 m. Dos días después del trasplante se instalaron, a 10 y 20 cm de profundidad, las unidades de resistencia eléctrica (URE) previamente calibradas.



**Figura 1.** Curva de calibración de las unidades de resistencia eléctrica para el suelo FAa utilizado en el ensayo de stevia

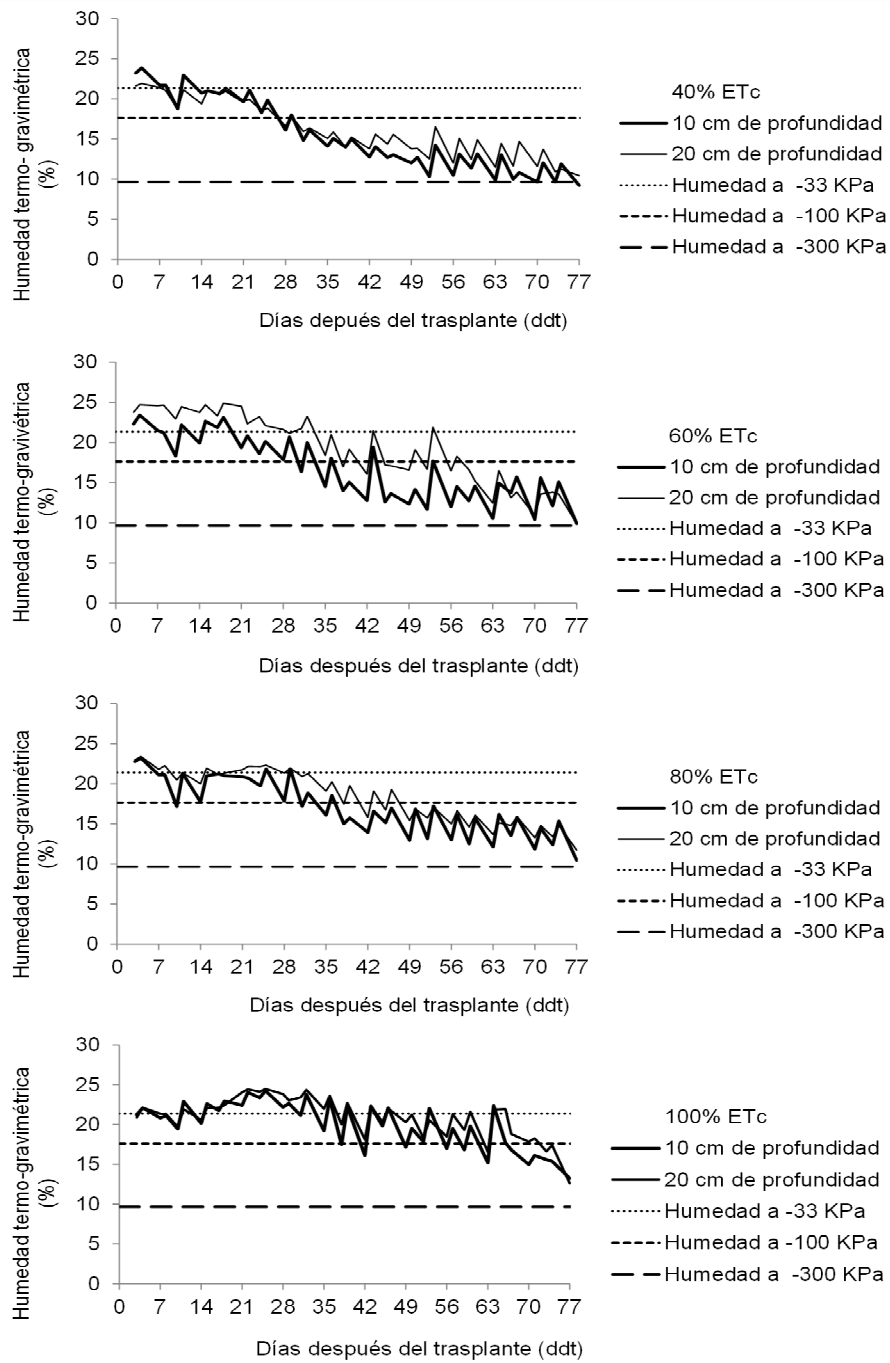
El ensayo fue manejado con un sistema de riego localizado presurizado, el cual contó con un cabezal de riego, una red de tuberías de conducción-distribución y líneas regantes del tipo cintas de goteo, con goteros separados a 0,3 m y con un caudal nominal de 1 l h<sup>-1</sup>. Cada hilera de planta contó con dos cintas de riego colocadas sobre la cama. Los riegos se realizaron cada 3 y 4 días; es decir, dos riegos por semana durante 11 semanas.

En parte de las muestras de suelo tomadas para la calibración se realizaron determinaciones de humedad a tres valores de potencial mátrico (-33, -100 y -300 kPa), utilizando un equipo de platos porosos y cámaras de presión (Richards, 1956). Los valores de humedad termo-gravimétrica obtenidos para estos potenciales fueron 21,37%, 17,64% y 9,66% respectivamente, los cuales fueron utilizados en la interpretación de la dinámica de la humedad del suelo a lo largo del ciclo del cultivo.

A los 79 días después del trasplante (ddt) se cosecharon las plantas por unidad experimental, se secaron bajo techo durante una semana, se separaron luego las hojas de los tallos para obtener los pesos secos de las hojas. Los valores promedios de pesos de hojas secas por planta y por unidad experimental se sometieron a un análisis de varianza y luego a la prueba de medias de Waller-Duncan, para evaluar la respuesta de las plantas a las dosis de riego.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las gráficas de la Figura 2 se muestra el comportamiento de la dinámica de la humedad en cada tratamiento de dosis de riego. La humedad del suelo disminuyó progresivamente con el crecimiento y desarrollo del cultivo en ambas profundidades monitoreadas, pero la humedad a 20 cm casi siempre fue superior a la obtenida a los 10 cm. El acercamiento de alguna de las curvas de un tratamiento al potencial mátrico de -100 kPa ocurrió aproximadamente a los 28 ddt en los tratamientos deficitarios y a los 37 ddt en el tratamiento de 100%ETc. En cuanto al segundo nivel de potencial mátrico mínimo preestablecido (-300 kPa), la curva de 10 cm de profundidad del tratamiento de 40%ETc alcanzó ese potencial a los 63 ddt; el de 60%ETc lo hizo a los 70 ddt; el de 80%ETc sólo se acercó a él poco antes de la cosecha, y el de 100%ETc se mantuvo por encima de este valor. Si consideramos que la humedad a un potencial mátrico inferior a -100 kPa es limitante para el cultivo, en el tratamiento de 40%ETc la humedad estuvo por debajo -100 kPa de potencial mátrico a partir de los 29 ddt en ambas profundidades; en el tratamiento de 60%ETc después de los 36 ddt en la primera profundidad y después de los 58 ddt en la segunda profundidad; en el tratamiento de 80%ETc después de los 36 ddt en la primera profundidad y después de los 48 ddt en la segunda profundidad, y en el tratamiento de 100%ETc después de



**Figura 2.** Monitoreo de la humedad del suelo en cada uno de los tratamientos de dosis de riego (dinámica). Las mediciones de humedad se realizaron indirectamente con unidades de resistencia eléctrica previamente calibradas en el suelo bajo estudio

los 66 ddt en la primera profundidad y después de los 72 ddt en la segunda profundidad. Según Niño et al. (2013), el descenso del potencial mátrico por debajo de -60 kPa puede afectar la eficiencia hídrica de la planta y por otra parte Aladakatti et al. (2012) indican que este cultivo es altamente sensible al estrés hídrico. Este comportamiento y las diferencias de humedad entre profundidades de monitoreo causadas por los tratamientos de dosis de riego tuvieron sus efectos en el rendimiento logrado en hojas, tal como se observa en el Cuadro 1. De acuerdo con el análisis de varianzas y la prueba de medias de rango múltiple de Waller-Duncan, los tratamientos que más afectaron el rendimiento fueron los de 40%ETc y 60%ETc. Como el tratamiento de 80%ETc no se diferencia del tratamiento de 100%ETc, posiblemente el manejo del riego con déficit hídrico ligero podría garantizar mayor contenido de esteviosidos (edulcorante natural extraído de las hojas de la stevia) que con 100%ETc, como lo señalan Karimi et al., (2015).

**Cuadro 1.** Rendimiento en hojas secas por planta de stevia obtenidos en cuatro dosis de riego bajo un suelo de textura franco arcillo arenoso

TRATAMIENTOS DE RIEGO	PESO SECO PROMEDIO DE HOJAS POR PLANTA (g) y su desviación estándar
40%ETc	3,57 (2,03) b
60%ETc	4,93 (1,66) b
80%ETc	6,78 (1,74) a
100% ETc	7,39 (2,14) a

Medias con letras iguales indican igualdad de medias ( $P < 0,05$ ).  
ETc = evapotranspiración del cultivo.

### CONCLUSIONES

El monitoreo de la humedad del suelo con unidades de resistencia eléctrica fabricadas de manera artesanal permitió apreciar la disminución de los niveles de agua en el suelo con el desarrollo del cultivo, lo que ocurrió de manera más acentuada en los dos tratamientos de menor dosis de riego.

El rendimiento de la planta de stevia se afectó de manera significativa en los dos tratamientos de dosis más bajas, explicable por el comportamiento de la dinámica de la humedad en dichos tratamientos. En ellos disminuyó considerablemente el potencial mátrico antes de cada riego y la recuperación de la humedad después de ellos fue menor debido a las láminas de riego deficitarias.

En las condiciones agroclimáticas en que se condujo el experimento, valores de potencial mátrico menores de -200 kPa antes del riego parecen afectar de manera importante el rendimiento de la planta.

La consistencia entre los tratamientos de riego impuestos con el comportamiento de la dinámica de la humedad del suelo indican que las unidades de resistencia eléctrica utilizadas son instrumentos de gran ayuda en la gestión del riego.

### AGRADECIMIENTO

Al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT), ente financiador de esta investigación mediante subvención al Proyecto N° 2013001817 con recursos provenientes de los aportes establecidos en la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI).

### LITERATURA CITADA

- Aladakatti, Y., Y. Palled, M. Chetti, S. Halikatti, S. Alagundagi y P. Patil.** 2012. Effect of irrigation schedule and planting geometry on growth and yield of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Karnataka J. Agric. Sci.* 25:30-35.
- Charlesworth, P.** 2005. Soil water monitoring. An information package. 2<sup>nd</sup> edition. National program for sustainable irrigation. Land and Water Australia. Canberra, Australia. 96 p.
- Doorenbos, J. y W. Pruitt.** 1977. Crop water requirements. Irrigation and drainage paper 24. FAO. Rome, Italy. 144 p.

- Ewel, J. y A. Madriz.** 1968. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. MAC-Fonaiap. Caracas, Venezuela. 264 p.
- Florentino, A.** 2006. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. *Venesuelos* 14: 48-70.
- Hidalgo, J., M. Pastor y J. C. Hidalgo.** 2013. Evaluación de una sonda FDR para la estimación de la evolución del contenido de agua en el suelo y para el control del riego en olivar. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* 6: 171-176.
- Israelsen, O. y V. Hansen.** 1973. Principios y aplicaciones del riego. Reverté S.A. 2<sup>da</sup> ed. Barcelona, España. 397 p.
- Karimi, M., A. Ahmadi, J. Hashemi, A. Abbasi, S. Tavarini, L. Guglielminetti y L. Angelini.** 2015. The effect of soil moisture depletion on stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) grown in greenhouse conditions: Growth, steviol glycosides content, soluble sugars and total antioxidant capacity. *Scientia Horticulturae* 183: 93-99.
- Kirda, C. y K. Reichart.** 1992. Comparison of neutron moisture gauges with nonnuclear methods to measure field soil water status. *Sci. Agric. (Piracicaba, Brazil)* 49: 111-121.
- Koeh, O., R. Kinuthia, G. Karuku, S. Mureithi y R. Wanjogu.** 2015. Water use efficiency of six rangeland grasses under varied soil moisture content levels in the arid Tana River County, Kenya. *African Journal of Environmental Science and Technology* 9: 632-640.
- Kováč, K., M. Macák y M. Švančárková.** 2005. The effect of soil conservation tillage on soil moisture dynamics under single cropping and crop rotation. *Plant Soil Environ.* 51: 124-130.
- Martín De Santa Olalla Mañas, F. y J. De Juan Valero.** 1993. Agronomía del riego. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 732 p.
- Niño, J., J. Cuervo y R. Villalobos.** 2013. Efecto del potencial mátrico del suelo en el crecimiento del cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 7: 240-251.
- Murillo, J., R. Villafañe, C. Basso y A. Trujillo.** 2008. Evaluación de un equipo de reflectometría de dominio temporal (TDR) para registros de humedad en un suelo franco. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 25: 211-222.
- Richards, L.** 1956. Sample retainers for measuring water retention by soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20: 301-303.
- Tanner, C., E. Abrams y J. Zubriski.** 1948. Gypsum-moisture block calibration based on electrical conductivity in distilled water. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12: 62-65.
- Taylor, S.** 1965. Managing irrigation water on the farm. *Amer. Soc. Agr. Eng. Trans.* 8: 433-436.