

# V Simposio sobre EL AGUA EN ANDALUCÍA

ALMERÍA 25-28 Septiembre 2001

**VOLUMEN I**



Editores:

Antonio Pulido Bosch  
Pablo A. Pulido Leboeuf  
Ángela Vallejos Izquierdo



Grupo de Investigación  
Recursos Hídricos y  
Geología Ambiental



Departamento de  
Hidrogeología y  
Química Analítica  
UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



**V Simposio sobre el Agua en Andalucía**

- © De la edición: *Universidad de Almería,  
Servicio de Publicaciones*
- © Del texto: *Los autores*

Obra completa: ISBN: 84-8240-460-1  
Volumen I: ISBN: 84-8249-458-X

Depósito Legal: AL-209-2001

Imprime: **arte impresores, s.l.** 18200 MARACENA (Granada)

# MONITORIZACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO Y SALINO DEL SUELO ENARENADO EN CULTIVO INTENSIVO DE MELON BAJO PLÁSTICO

M.A. Domene<sup>1</sup>, A. Solé-Benet<sup>1</sup>, F. Domingo<sup>1</sup>,  
R.B. Thompson<sup>2</sup>, M. Gallardo<sup>2</sup> y M.D Fernández<sup>3</sup>

1. Estación Experimental de Zonas Áridas, CSIC, General Segura, 1, 04001 - Almería.

2. Dpto. de Producción Vegetal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Almería, 04120 - Almería.

3. Estación Experimental Las Palmerillas, Cajamar, Ctra. Nacional 340, km 416,7 04700 - El Ejido, Almería.

**RESUMEN.** Entre las posibles mejoras a aplicar en la mayoría de las explotaciones agrícolas estaría la introducción y empleo de sensores que monitorizando el estado hídrico o salino del suelo, permitan optimizar la gestión del riego. Se presentan los resultados, obtenidos en cultivo de melón, utilizando el sensor SBIB-CHS basado en una técnica que denominamos de Puente de Impedancia Auto Equilibrado y estabilizado mediante "Chopping" de bajo coste y no destructivo que permite la determinación del contenido volumétrico de humedad y el contenido salino. El seguimiento del ciclo de cultivo se realizó desde el 24-Abril (41 DDT) hasta el 11-Junio (99 DDT). El análisis de los datos revela que es posible establecer tendencias generales en cuanto al uso agronómico de dicho sensor, poniendo de manifiesto períodos de riegos excesivos o períodos de riegos deficitarios. En cuanto a la variabilidad observamos que es un sensor muy sensible a pequeñas variaciones del contenido de humedad volumétrica y de la conductividad eléctrica del suelo lo cual puede resultar de interés para analizar sistemas muy dinámicos como es un bulbo de humedad de un gotero.

**Palabras clave:** *humedad volumétrica del suelo, conductividad eléctrica del suelo, SBIB, melón, conductividad eléctrica de la solución del suelo, fertirrigación.*

## INTRODUCCIÓN

La horticultura intensiva se ha desarrollado enormemente durante las últimas décadas en el litoral almeriense, donde la superficie invernada alcanza en la actuali-

dad las 25000 Ha (Flores, 2000). En un 80% de invernaderos se cultiva sobre suelo enarenado (Reca et al., 1999). La mayor parte del agua de riego procede de acuíferos, los cuales son incapaces de soportar la creciente demanda de agua, lo que está provocando su sobreexplotación y procesos de intrusión de agua salina.

Es bien conocida la importancia de medir la humedad del suelo,  $q$ , para investigaciones aplicadas en Agricultura en general y para Horticultura en particular en donde un riego no adecuado puede resultar en una pérdida del recurso o en una creciente salinización del suelo, entre otros factores. De todos los métodos disponibles en el mercado, que van desde las recientes sondas basadas en la constante dieléctrica,  $\epsilon$ , del suelo (sondas capacitivas y TDR), hasta las clásicas sondas de neutrones, de rayos gamma, bloques de yeso o nylon, tensiómetros, psicrómetros, etc. son las primeras las que despiertan mayor interés por parte de científicos, técnicos y usuarios.

En relación con este conjunto de métodos basados en la medida de  $\epsilon$  del suelo, presentamos los primeros resultados aplicados a la Horticultura de un sensor basado en un puente de impedancia autoequilibrado y estabilizado mediante 'chopping' (SBIB-CHS, self balanced impedance bridge, chopped stabilized) que se desarrolló (Vidal, 1994; Vidal et al., 1996) para registrar variaciones tanto espaciales como temporales de  $\theta$  en volúmenes pequeños de suelo, en situaciones contrastadas. Es un sensor de fácil instalación y coste moderado que se ha utilizado ya en suelos de monte semiáridos (Puigdefábregas et al., 1996; 1998; 1999; Cantón et al., 2001), pero nunca se había probado su utilidad en Agricultura bajo riego.

Este sensor se basa en la medición de la impedancia eléctrica compleja,  $Z$ , entre dos o más electrodos inmersos en el suelo que sirve como dieléctrico de separación y tiene la ventaja de determinar simultáneamente el contenido volumétrico de agua  $\theta$  y su conductividad eléctrica (CE) (Vidal et al, 1996).

## MATERIAL Y METODOS

En un invernadero (a dos aguas tipo asimétrico, de cubierta plástica de 630 m<sup>2</sup>) con fines experimentales de la Estación Experimental Las Palmerillas perteneciente a Cajamar (Caja Rural de Almería y Granada), situada en el término municipal de El Ejido, Almería, se instalaron un total de 24 sensores SBIB distribuidos en 2 grupos de 6 SBIB a tres profundidades, 7, 17 y 27 cm, y otros 2 grupos a 7 y 17 cm, sin la profundidad de 27 cm debido a la gran cantidad de piedras existentes que podían falsear los datos, en un suelo enarenado. Este medio de cultivo es utilizado en más del 80% de la horticultura de Almería y consiste en la aportación de una capa de tierra de cañada con alto nivel de arcillas de aproximadamente 20 cm de espesor, generalmente de textura franco-arcillosa (López, 1994), una capa de estiércol de unos 5 Kg·m<sup>-2</sup>, dando un espesor de 2 cm aproximadamente, y por último, una capa de arena de playa de unos 10 cm de espesor que sirve como acolchado. Los sensores, por duplicado, se enterraron en sentido horizontal tras la apertura de las correspondientes zanjas, equidistantes unos 8 cm (Fig. 1) medidos horizontalmente de un gotero y del cuello de una planta.

Los sensores se conectaron de forma permanente a *data loggers* de bajo costo (HOBO, Onset Corporation, USA) durante 3 meses registrándose  $\theta$ , CE y temperatura del suelo cada 30 minutos. Periódicamente (una o dos semanas) se vaciaron los data logger directamente a un PC portátil a través del software *BoxCarPro*.

Previamente los sensores SBIB se habían calibrado con disoluciones de mezclas de tricloroetileno ( $\mu=9$ ) y metanol ( $\mu=34$ ) en diferentes proporciones volumétricas para abarcar un amplio rango de constantes dieléctricas equivalentes a  $\theta$  de 7.4% a

47%, más arena seca (0%). Asimismo se validaron dichas medidas mediante el método gravimétrico (Vidal et al., 1996).

Los sensores utilizados en este trabajo pertenecen a una serie desarrollada como prototipo, con unas dimensiones de 193 mm de longitud total. La caja que encierra los componentes electrónicos tiene 9 cm de largo por 6 cm de ancho. La punta de cobre mide 8 cm de longitud (Fig.2). En la actualidad se está trabajando en la miniaturización del sensor.

El material vegetal utilizado fue melón tipo Galia y la siembra se llevó a cabo en semillero el 5-Febrero-2000 y su transplante tuvo lugar el 4-Marzo-2000, con una densidad de plantación de 1.3 plantas  $m^{-2}$  (1.5 m de distancia entre líneas y 0.5 m entre plantas).

Para validar el contenido salino se utilizaron sondas de succión (modelo 1900 de Soil Moisture Co., Santa Barbara, California) en cada parcela colo-

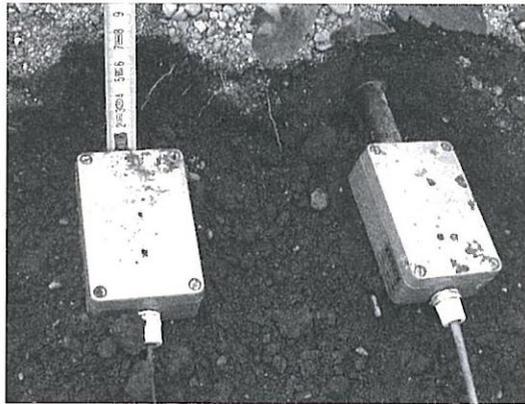


Figura 1. SBIB superficiales a 7 cm.

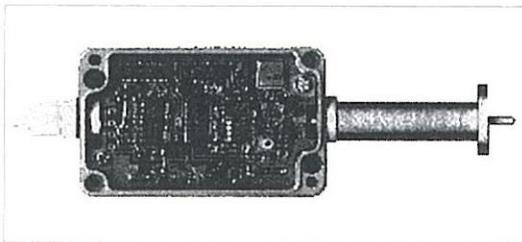


Figura 2. Prototipo de la sonda como las utilizadas en el trabajo.

casadas a una profundidad de 10 cm. Para el análisis del extracto se utilizó un conductivímetro (Múltiple P3 PH/LF, WTW, Alemania) con una frecuencia de muestreo de 15 días. Los datos obtenidos fueron comparados con los de las sondas SBIB, transformando su medida de CE del suelo a CE de la solución del suelo, mediante las ecuaciones descritas por Rhoades et al. (1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3 podemos observar la evolución de la humedad volumétrica del suelo medida en continuo desde el 24-Abril (41 DDT) hasta el 11-Junio (99 DDT). El

seguimiento de la humedad en el suelo ( $\theta$ ). a diferentes profundidades permite observar fuertes caídas de  $q$  (nivel superficial 7 cm), que no se corresponden con incrementos similares en el nivel subyacente, lo que indica una posible exportación lateral de agua.

Los valores de humedad volumétrica a 7 cm, oscilaron fuertemente entre el 33 y 44% (Fig.3), oscilaciones que no fueron observadas a 17 y 27 cm donde los valores de  $q$  se mantuvieron alrededor del 36%. Los sensores muestran también la frecuencia de riegos, que en este estudio era diaria salvo excepciones y permiten conocer tendencias generales de la evolución de la humedad volumétrica del suelo a lo largo del tiempo (Fig.3) a la vista de los valores mínimos diurnos de la humedad superficial y valores de humedad a 17 y 27 cm. Estas tendencias ponen de manifiesto periodos en los que el riego fue excesivo (p.ej. el 7 de mayo) o periodos de riegos deficitarios (27-30 de mayo) como observamos en la Figura 3.

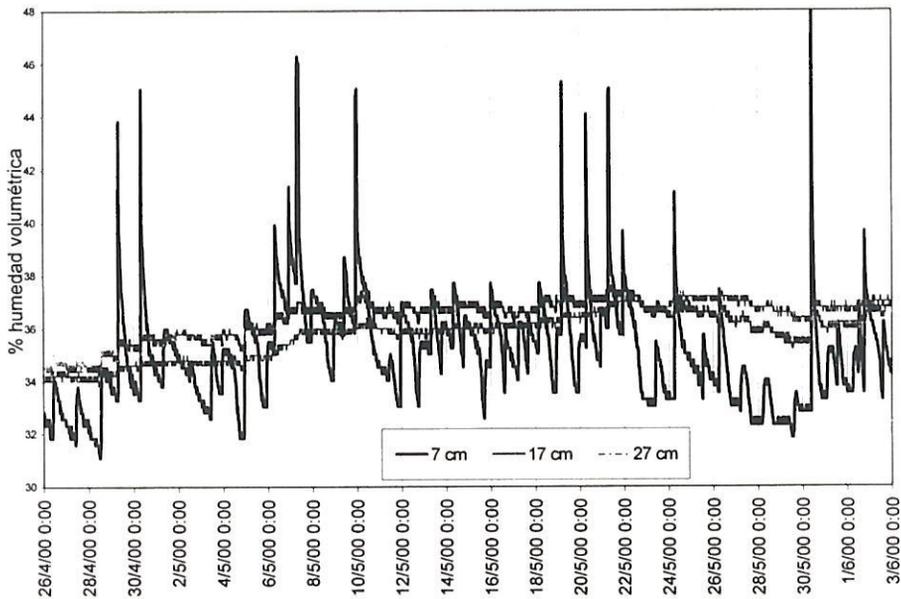


Figura 3. Evolución temporal de la humedad volumétrica en el perfil a profundidades de 7,17, y 27 cm.

Las diferencias observadas entre diferentes sensores situados alrededor de una misma planta y/o gotero (Fig 4) a nivel superficial permite comprobar la heterogeneidad espacial del suelo enarenado a pesar de la homegeneización previa a la que se somete el suelo aportado. El coeficiente de variación CV para estos sbib superficiales fue inferior al 10% lo que indica una gran variabilidad inducida por la complejidad del bulbo de humedad y la distribución del sistema radicular que hacen provocar variaciones en la densidad aparente y a su vez diferencias en el contenido de humedad en posiciones equivalentes.

Asimismo el SBIB permite detectar la evolución de la conductividad eléctrica (CE) del suelo: periodos de movilización de sales seguidos por periodos de estabilidad (fig

5). Estos datos ponen de manifiesto las ventajas del SBIB en cuanto a control de nivel salino en el perfil del suelo durante el ciclo de cultivo permitiendo: observar un periódico lavado de sales del nivel superficial (7 cm) por la relativa disminución a lo largo del ciclo de cultivo, relativa estabilidad salina a 27 cm, o a lo sumo un ligero aumento. Los niveles significativamente más altos de salinidad a 17 cm, lo que indicaría el nivel donde se produce la acumulación de sales. Las oscilaciones diarias de CE a este nivel reflejan las propias del contenido de humedad (se observa que la CE real del suelo está controlada por  $q$  de tal manera que a mayor  $q$  mayor CE del suelo) más las sales procedentes de lavado del horizonte.

En la siguiente tabla observamos los resultados obtenidos al medir la CE en la solución del suelo extraída con las sondas de succión instaladas a 10 cm y los SBIB, instalados a 7 cm, cuyas medidas han sido transformadas a CE de la solución del suelo. Todos los valores de CE están expresados en  $\text{dS/m}$ .

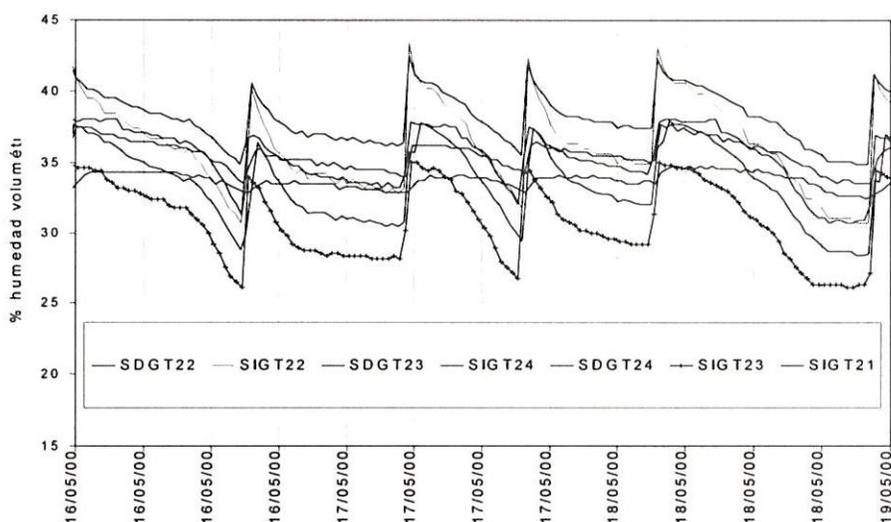


Figura 4. Variabilidad de la  $q$  a 7 cm de todas las sondas instaladas.

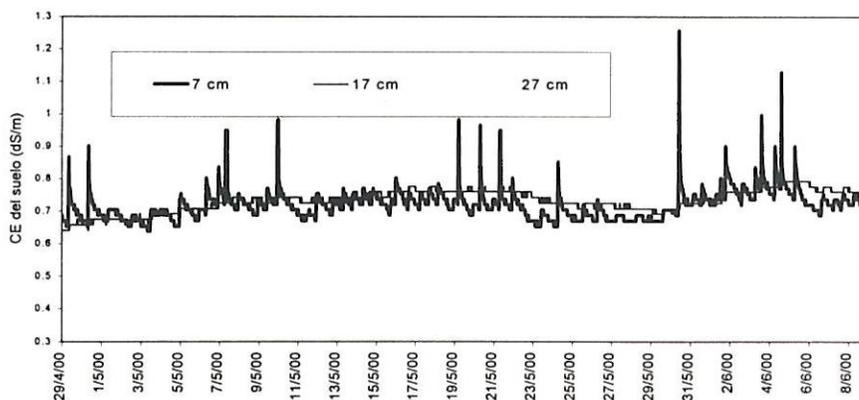


Figura 5.. Perfil de conductividades eléctricas del suelo a 7,17 y 27 cm.

FECHA	Media SBIB	Desv.Estand.	Media Sondas	Desv.Estand.
04/05/00	1.98	0.81	2.4	0.09
05/05/00	2.00	0.82	2.5	0
09/05/00	1.97	0.81	3.2	0.66
17/05/00	2.02	0.86	3.1	0.28
23/05/00	2.32	0.56	3.6	0.89
07/06/00	2.71	0.69	4.5	0.71

**Tabla 1.** Datos de medida de la CE medida con SBIB y sondas, para el cultivo del melón a 7 cm.

A pesar de que la comparación de estos valores de CE muestra una diferencia de un 30-40% entre ambos métodos, cuando se ajustó una regresión lineal se obtuvo un coeficiente de correlación elevado ( $R^2=0.85$ ,  $P<0.05$ ). La evolución estacional de CE en melón sugiere que la CE calculada a partir del SBIB siguió la misma tendencia estacional que la CE medida directamente en las muestras de solución del suelo extraídas con sondas de succión aunque con valores calculados inferiores a los medidos por las sondas, probablemente porque las sondas, al muestrear un mayor volumen de suelo incluya solución más alejada del gotero que generalmente tiene una conductividad eléctrica mayor.

## CONCLUSIONES

Se ha comprobado el buen comportamiento de los sensores SBIB en cuanto al seguimiento del contenido volumétrico de la humedad del suelo en tiempo real, permitiendo, cuando se emplea en cultivos hortícolas un seguimiento detallado de los riegos aplicados, la lixiviación de agua en profundidad y la absorción de agua por el cultivo.

Se observan perfectamente los riegos con una frecuencia de 24 horas, el rápido drenaje del nivel superior después de cada riego y los correspondientes incrementos de humedad volumétrica de los niveles inferiores. Debido al pequeño volumen de suelo medido con el SBIB, hubo una considerable variabilidad entre replicaciones equivalentes de humedad en suelo cuando se emplea en suelos agrícolas regados por goteo donde la distribución del agua es muy heterogénea.

La aplicación del modelo de Rhoades et al. (1989) a los valores de CE de la matriz del suelo obtenidos con el SBIB parece ser una metodología adecuada para calcular la CE de la solución del suelo, que es la forma habitual de presentar e interpretar la CE del suelo en agronomía, pero habría que introducir un factor corrector para adecuar dicha ecuación a la medida del SBIB.

El uso del SBIB en programación de riego debe disponer de suficientes replicaciones y la toma de decisiones en la gestión de la fertirrigación ha de estar basado en la interpretación de tendencias y no en valores absolutos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se engloba dentro del proyecto cofinanciado con fondos FEDER: "Mejora en la gestión de la fertirrigación en cultivos hortícolas bajo invernadero enarenado en Almería: Incorporación de nuevos métodos de control del agua, nutrientes y salinidad y su transferencia a la industria local".

A Encarni De la Cruz y Enrique Cortes por su colaboración en la instalación de los ensayos de campo.

## BIBLIOGRAFIA

- Cantón, Y., Solé, A., Queralt I. & Pini, R. (2001). Weathering of a gypsum-calcareous mudstone under semi-arid environment at Tabernas, SE Spain: laboratory and field-based experimental approaches. *Catena*, 44: 111-132
- López, J. (1994). Caracterización de los sistemas de producción hortícola de invernaderos de Almería. FIAPA IFA. Almería.
- Puigdefábregas, J. & Sánchez, G. (1996). Geomorphological implications of vegetation patchiness on semi-arid slopes. M. G. Anderson & S. M. Brooks Eds. In *Advances in Hillslope Processes*, 2: 1027-1060.
- Puigdefábregas, J., Del Barrio, G., Boer, Gutiérrez, L. & Solé, A. (1998). Differential responses of hillslope and channel elements to rainfall events in a semi-arid area. *Geomorphology*, 23: 337-351.
- Puigdefábregas, J., Solé, A., Gutiérrez, L., Del Barrio, G., Boer, M. (1999) Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in SE Spain. *Earth Sciences Reviews*, 48:39-70.
- Rhoades, J.D., Waagpeter, B.L., Shouse, P.J. & Alves, W. (1989). Determining Soil Salinity from soil and Soil-Paste Electrical Conductivities: Sensitivity Analysis of Models. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 53: 1368-1374.
- Topp, G.C., Dais, J.L. 1985. Measurement of soil water content using time-domain reflectometry (TDR): a field evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:19-24.
- Vidal, S. 1994. Dispositivo para la determinación simultánea del contenido de agua o grado de humedad y conductividad eléctrica en terrenos o materiales de baja constante dieléctrica. Patente nº 9401681 (España). Nº Publicación: 111444.
- Vidal, S., Domene, M. A. Domingo, F. Solé A. & Puigdefábregas, J. (1996). Desarrollo y calibración de un nuevo sensor de humedad del suelo. Instituto Tecnológico Geominero de España. In *IV Simposio sobre el Agua en Andalucía*. Vol 1: 101-109.