

Evaluation of soil salinity indexes based on bulk electrical conductivity

Valoración de índices salinos basados en la conductividad eléctrica del medio

D. Bañón^{1*}, J.J. Alarcón¹, M.J. Sánchez-Blanco¹, S. Bañón²

¹Departamento Riego, CEBAS-CSIC, Campus Universitario de Espinardo, 25, Apartado 164, 30100 Espinardo, Murcia, Spain.

²Departamento de Ingeniería Agronómica, ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena. Murcia. Spain.

*dbanon@cebas.csic.es

Abstract

Soil sensors that measure electrical conductivity (EC) and moisture play an essential role in monitoring soil salinity. However, the accurate understanding of salinity depends on the development of suitable sensor-based Salinity Indices (SI). This work studied the potential of several SIs based on bulk EC (EC_b), which is the only EC directly measured by sensors. Regression studies were performed to know how these SIs describe soil salinity. The results indicate that EC_b is an efficient SI as long as humidity is constant. Moreover, its accuracy increases with substrate moisture. The slope of the linear regression fit moisture-EC_b is proposed as a novel and reliable SI

Keywords: soil moisture; soil probe; substrate; lysimeter.

Resumen

Los sensores del suelo que miden conductividad eléctrica (CE) y humedad desempeñan un papel esencial en el control de la salinidad del suelo. Sin embargo, la interpretación precisa de la salinidad del suelo depende del desarrollo de Índices de Salinidad (IS) adecuados. Este trabajo se enfoca en el estudio del potencial de varios IS basados en la CE del medio (EC_b), utilizando análisis de regresión para conocer cómo estos IS representan la salinidad del suelo. Los resultados indican que el EC_b es un IS eficiente siempre que se mida a humedad constante. Además, la precisión de esta medida aumenta con la humedad del sustrato. La pendiente del ajuste de regresión lineal humedad-EC_b se propone como un IS nuevo y fiable.

Palabras clave: humedad del suelo; sonda del suelo; sustrato; lisímetro.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente escasez de agua en el mundo está favoreciendo el uso de aguas de baja calidad, normalmente salinas, para el riego de cultivos. El problema de la salinidad en la producción viverística puede ser abordado determinando el grado de tolerancia de las especies, sin embargo, la demanda de las plantas ornamentales no suele estar ligada con la tolerancia a la salinidad. Por tanto, surge la necesidad de desarrollar herramientas alternativas que mejoren la tolerancia a la salinidad, como es el manejo del riego. En los cultivos en maceta, el primer requerimiento bajo salinidad es lavar sales, lo que supone un consumo de agua adicional, y conocer la salinidad del sustrato en cada momento (1). Existen diferentes maneras de medir la CE del suelo, y una de ellas es a través de la CE de medio (CE_b), que tiene la ventaja de ser medida *in situ* por los sensores. Por otro lado, los valores de CE_b pueden dar valores inexactos del estado salino puesto que mide la

CE del conjunto suelo, aire y agua (2), y no la CE del agua de los poros directamente. Esto ha frenado el uso de sensores para la monitorización de la salinidad. Es por ello que el objetivo de este trabajo es evaluar la eficacia de varios IS basados en la CEB, para su uso en la programación del riego-lavado con sensores de suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sustrato, macetas y equipamiento electrónico

Se utilizaron macetas de polipropileno negro de 15 cm de diámetro llenas de sustrato [turba rubia (60%), fibra de coco (30%) y perlita (10%)]. Las características del sustrato fueron: capacidad total de retención de agua (62,9%), agua fácilmente disponible (28,5%), agua de reserva (7,6%), agua no disponible (26,8%). Se utilizaron sensores GS3 (METER Group) que miden temperatura, permitividad y la CEB del suelo. Se utilizaron balanzas programables (Analytical Sartorius) para controlar el peso de las macetas durante el periodo del experimento (capacidad máxima de 5,2 kg y una legibilidad de 0,01 g). Una balanza por maceta y un sensor GS3 fue usada. Balanzas y GS3 se conectaron a un datalogger CR1000 (Campbell Scientific), que se programó para registrar medidas del GS3 y de las balanzas cada hora, utilizando el software Loggernet 3 (Campbell Scientific). Los experimentos se realizaron en una cámara de clima (MLR-350; Sanyo Electric) programada para mantener 25°C durante todo el experimento.

2.2 Procedimiento experimental

Se insertó un sensor GS3 en cada maceta, que fueron colocadas en las balanzas, con todo el conjunto (maceta, sustrato, sensor y balanza) en la cámara climática. El experimento se basó en la evaporación gradual del agua del sustrato de 3 macetas desde su máxima capacidad hasta un CVA del 10%. El CVAreal se calculó gravimétricamente y se monitorizó durante todo el periodo experimental relacionando el peso medido cada hora con el peso inicial del sustrato. Se realizaron un total de 7 experimentos para evaluar diferentes CE del agua de los poros (CEw) del sustrato (0,5, 1,3, 2,6, 3,9, 5,6, 8,0 y 10,4 dS m⁻¹), obtenidas con cloruro sódico. Tras saturar el sustrato de cada maceta con la solución correspondiente, se dejaron drenar las macetas durante treinta minutos.

2.3 Análisis estadístico

Las relaciones estadísticas entre las variables experimentales se analizaron mediante regresión lineal, utilizando el software SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc.). La significancia estadística de las pendientes de regresión se comprobó mediante pruebas t a un nivel de significancia de 0,001. Los coeficientes de determinación (R²) se presentaron como una medida de la representatividad de los modelos de regresión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Influencia del CVA del sustrato sobre la medida de la CEB

La respuesta de la CEB a la disminución del CVA del sustrato fue estudiada con un análisis de regresión, que indica ajustes cuadráticos significativos para todos los niveles de salinidad (Fig. 1A). Estas relaciones muestran una dependencia positiva de la CEB con la humedad del sustrato descrita en la bibliografía (3). Dicha dependencia ha sido relacionada con el desplazamiento del aire de los poros del suelo por el agua lo que produce que, dado que el aire es un mal conductor de la electricidad, cuanto más aire haya en el sustrato menor sea la CE (4). Es por ello que será necesario corregir la influencia de las variaciones de humedad sobre la CEB para conocer el estado salino del suelo. Por otro lado, la salinidad del sustrato produjo cambios en la curvatura de los ajustes cuadráticos CVA-CEB, con pendientes más pronunciadas conforme la salinidad aumenta. A valores altos de CVA, las diferencias entre las CEB a diferente salinidad son máximas, mientras que a bajo CVA se aproximan bastante (Fig. 1A). Esto hace que un valor bajo de CEB pueda estar relacionado con condiciones de alta salinidad y baja humedad, o con condiciones de baja salinidad

y alta humedad, por lo que la medida de la CEB *per se* no es efectiva para valorar la salinidad real del sustrato. Además, cuanto más húmedo está el sustrato, más sensible es la CEB a los cambios de CVA (Fig. 1A). Los resultados resaltan la importancia de medir la CEB con alta humedad.

3.2 Relaciones lineales entre la EC real y la CEB.

La relación estadística entre la CEB y la ECw real para cinco niveles de CVA fue estudiada (Fig. 1B). Una significativa relación lineal entre CEB y ECw real fue encontrada para cada uno de los niveles de CVA, que indican que cambios en la ECw real están bien asociados con cambios en la CEB, y refuerzan la necesidad de medir la CEB siempre con el mismo CVA durante el periodo de cultivo. La relación entre CEB y ECw real fue buena bajo cualquiera de los CVA estudiados (ver R^2), lo que indica que podríamos usar la medida de CEB en amplio rango de CVA. Sin embargo, el hecho de que el ajuste lineal mejora (R^2) conforme la humedad aumenta, indica que la estimación de la relación entre CEB y ECw es más precisa conforme sube la humedad (2), lo que sugiere, nuevamente, que la CEB debería medirse con el sustrato muy húmedo.

3.3 Nuevo índice de salinidad basado en la ECB.

A pesar de que las relaciones entre la CEB y el CVA fueron cuadráticas (Fig. 1A), se intuye que la CEB y CVA pueden relacionarse bien linealmente dentro del tramo de CVA entre el 35 y el 60%. Esto se confirmó al hacer el análisis de regresión lineal para dicho tramo (Fig. 2A), con pendientes se van haciendo más pronunciadas conforme la salinidad aumenta. Eso sugiere que dichas pendientes podrían ser usadas como un IS efectivo. Para verificar esta hipótesis, la relación lineal entre los valores de las pendientes y la salinidad real fue estudiada, resultando que las pendientes explican muy bien la salinidad del sustrato (Fig. 2B). Entonces tendríamos un nuevo índice de salinidad basado, alternativo a la medida de la CEB a humedad alta y constante.

4. CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones fueron extraídas de este trabajo: i) La salinidad del suelo puede monitorearse eficientemente a partir de lecturas *in situ* de la CEB siempre que el CVA sea fijo, eficiencia que aumenta si el CVA en el momento de la medida es alto; ii) El uso de la pendiente del tramo lineal de la relación cuadrática CEB-CVA explica bien la salinidad del sustrato, independientemente de la humedad; iii) Nuevas investigaciones deberían centrarse en la interpretación agronómica de los valores de los índices, y establecer los umbrales de daños salinos para cada índice.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, subvención número RTI2018-093997-B-I00, y por la AEI española (subvención número PCI 2019-103608) bajo el programa PRIMA en el marco del proyecto PRECIMED.

6. REFERENCIAS

1. Bañón S, Ochoa J, Bañón D, Ortuño MF, Sánchez-Blanco MJ. Controlling salt flushing using a salinity index obtained by soil dielectric sensors improves the physiological status and quality of potted hydrangea plant. *Scientia Horticulturae*. 2019 Mar; 247:335–43.
2. Amente G, Baker JM, Reece CF. Estimation of Soil Solution Electrical Conductivity from Bulk Soil Electrical Conductivity in Sandy Soils. *Soil Sci Soc Am J*. 2000 Nov; 64(6):1931–9.
3. Malicki MA, Walczak RT. Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity: Evaluating soil salinity. *European Journal of Soil Science*. 1999 Sep; 50(3):505–14.
4. Scoggins HL, van Iersel MW. *In situ* Probes for Measurement of Electrical Conductivity of Soilless Substrates: Effects of Temperature and Substrate Moisture Content. *Hort Sci*. 2006 Feb; 41(1):210–4.

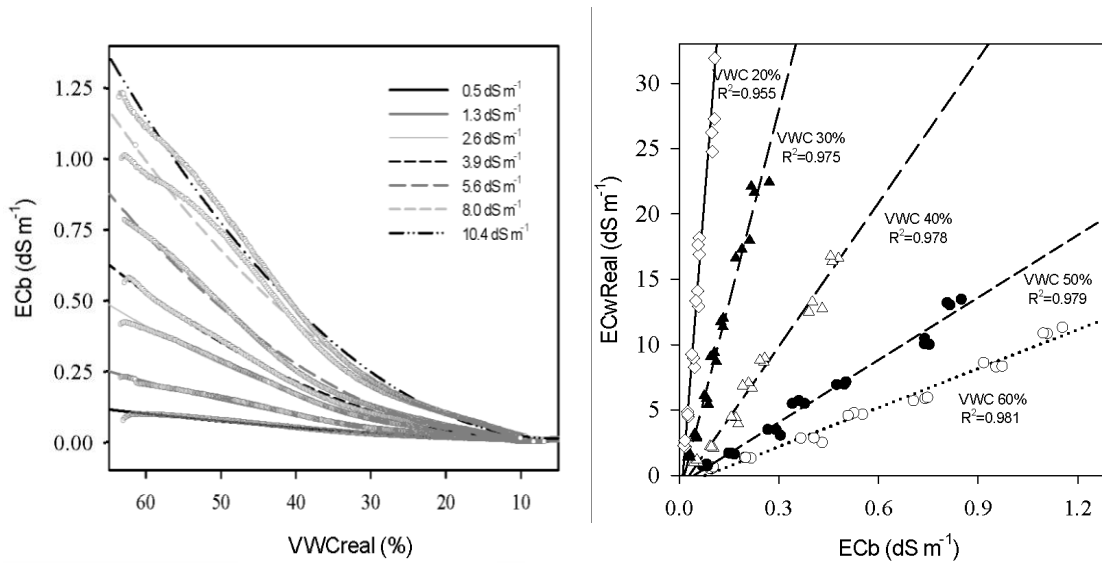


Figura 1. A-izqda) Evolución de la CEb a medida que se seca el sustrato para 0,5, 1,3, 2,6, 3,9, 5,6, 8,0 y 10,4 dS m⁻¹. **B-dcha)** Ajustes lineales entre la ECwReal (CEw medida por las balanzas) y la CEb para cinco contenidos volumétricos de agua (VWC) del sustrato (20, 30, 40, 50 y 60%).

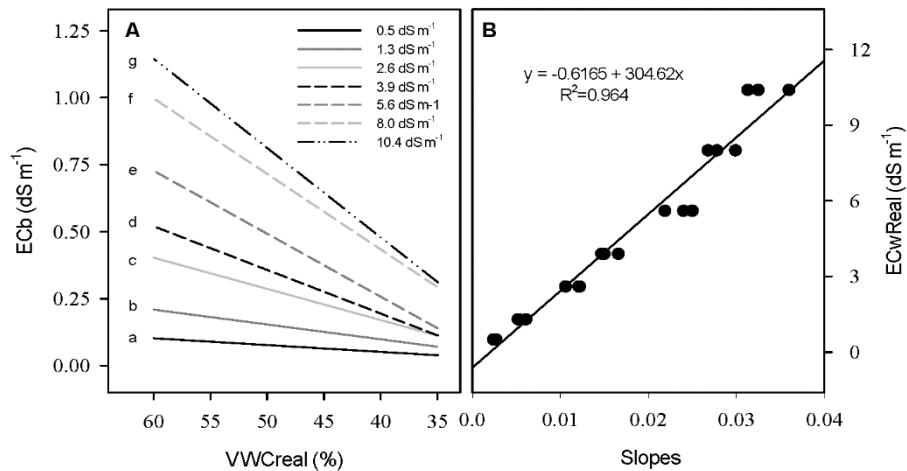


Figura 2. A) Ajustes lineales entre ECb y CVareal entre un 60-30% de CVA. **B)** Relación lineal entre ECwReal y las pendientes de la relación lineal ECb-CVareal. Las letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas entre pendientes según la prueba t de regresión lineal ($P < 0,001$).