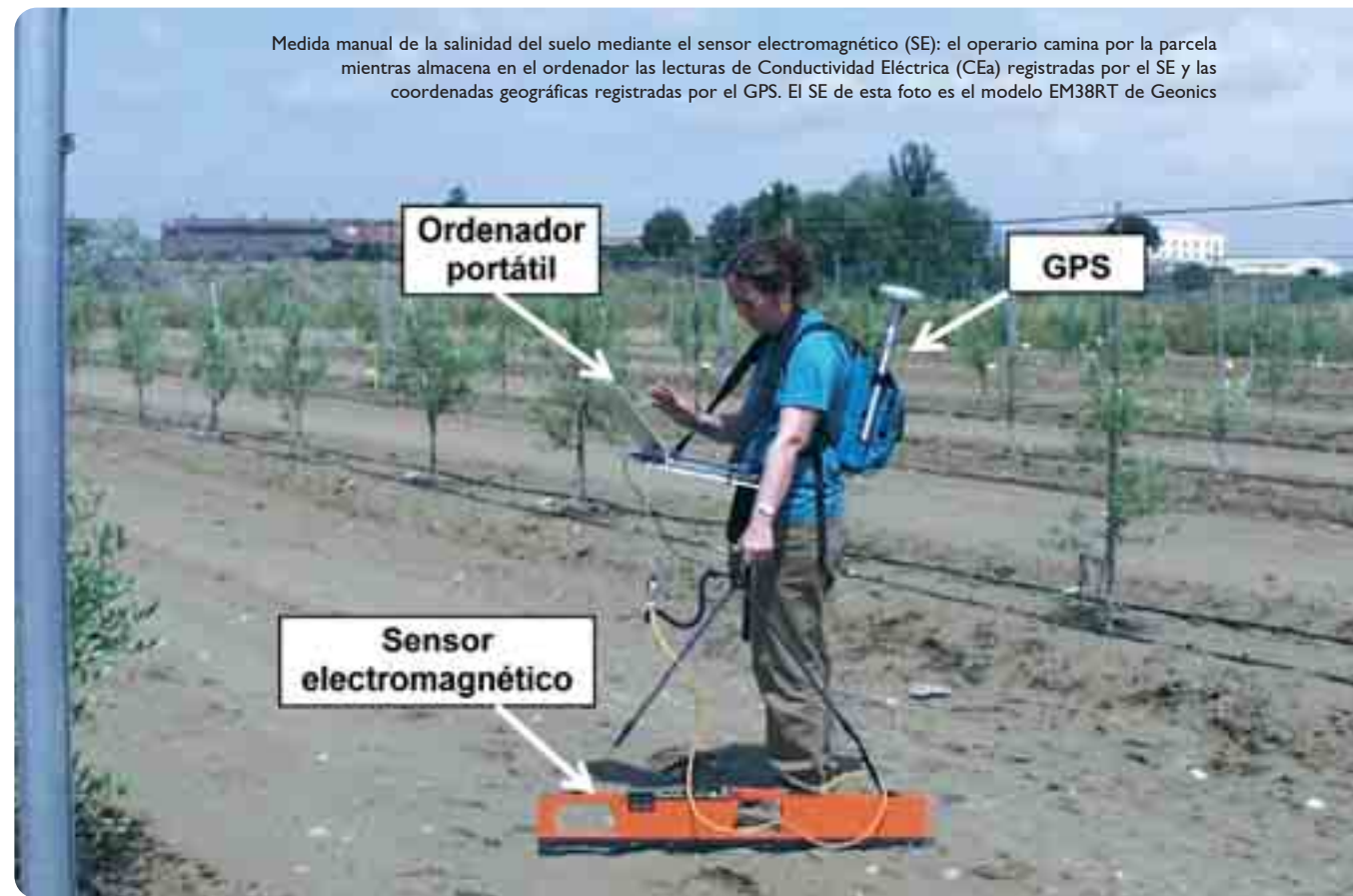


Nuevas técnicas para la medida rápida y sencilla de la salinidad del suelo



TEXTO Y FOTOS: RAMÓN ARAGÜÉS LAFARGA Y VICENTE URDANOZ MELADO
 Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) Gobierno de Aragón

INTRODUCCIÓN

La salinidad del suelo es un problema relevante en un buen número de regadíos. De los 230 millones de hectáreas que se riegan en el mundo, se estima que un 20% están moderadamente afectadas y un 10% están seriamente afectadas por salinidad. Asimismo, se estima que cada año se salinizan en el planeta unos 0,5 millones de hectáreas de regadío, que es una superficie mayor que todo el regadío de Aragón. Puede obtenerse más información sobre la distribución de salinidad en el mundo en www.fao.org/ag/agl/agll/spush.

La salinidad es también un problema importante en la Cuenca Media del Ebro y en Aragón, donde cerca del 30% del regadío está afectado por sales, llegando a alcanzar valores aún mayores en algunos sistemas de riego como Flumen o en algunos sectores de Monegros I y Bardenas I. La salinidad y sodicidad de los suelos tiene un efecto negativo sobre el rendimiento de los cultivos, sobre la estabilidad estructural de los suelos y sobre la calidad de las aguas de retorno de estas zonas regables.

En general, las superficies de regadío afectadas por salinidad están pobremente cartografiadas (tanto en Aragón como en España) debido, entre otras razones, al coste económico y al tiempo asociados a la toma de muestras de suelo y su análisis en laboratorio. Dado que la salinidad es muy variable en el espacio y en el tiempo, su precisa definición exigiría un volumen de muestreo y análisis de suelos inabordable en la mayoría de los casos.

Sin embargo, este problema se ha resuelto en gran medida en las últimas décadas con el desarrollo de nuevos sensores de salinidad que permiten medir de forma rápida y sencilla la salinidad del suelo. Estos sensores pueden utilizarse tanto para la cartografía de la salinidad edáfica de grandes áreas de regadío (objetivo de interés para la Administración, Comunidades de Regantes, etc.) como

para determinar la salinidad de pequeñas parcelas o superficies y su efecto sobre el rendimiento de los cultivos (objetivo de interés para los agricultores).

En este artículo se revisan algunos conceptos básicos acerca de la salinidad del suelo, se describen los sensores de salinidad y un sensor de salinidad móvil georreferenciado desarrollado en el CITA, se presentan sus ventajas y limitaciones y se muestran algunos ejemplos de obtención de mapas de salinidad.

Para más información acerca de estos sensores y su disponibilidad para posibles interesados, contactar con la Oficina del Regante de SIRASA (oficinaregante@sirasa.net; Tlf: 976 302268; Fax: 976 214240).

¿QUÉ ES LA SALINIDAD DEL SUELO? ¿CÓMO SE MIDE?

Desde un punto de vista agronómico, se dice que un suelo es salino cuando acumula sales disueltas en la zona de raíces de los cultivos a unos niveles tales que afectan negativamente a su producción. La Conductividad Eléctrica (CE) es la forma más usual de medida de la salinidad total del suelo y sus unidades son deciSiemen por metro (dS/m, equivalente a la antigua unidad de mmho/cm). La CE se mide tradicionalmente en un extracto acuoso del suelo llamado extracto saturado (CEe). Aunque existen otros métodos de medida de la salinidad, la CEe sigue siendo el parámetro de referencia a nivel mundial.

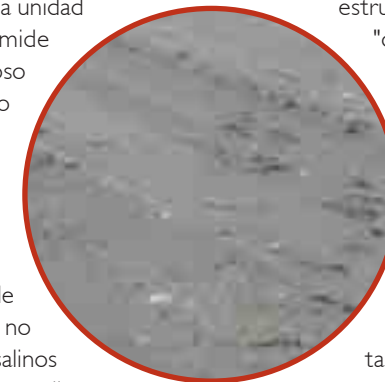
En base a esta CEe y a la respuesta de los cultivos, los suelos se clasifican en: no salinos (CEe < 2 dS/m), ligeramente salinos (entre 2 y 4 dS/m), moderadamente salinos (entre 4 y 8 dS/m) y muy salinos (CEe > 8 dS/m). Estos umbrales de CEe se han elegido porque la mayoría de los cultivos no tienen pérdidas de rendimiento con valores inferiores a 2 dS/m, sufren pérdidas de moderadas a altas (según su tolerancia) con valores entre 2 y 8 dS/m, y tienen generalmente pérdidas muy elevadas con valores superiores a 8 dS/m.

Un factor limitante importante de la CEe es que mide adecuadamente el total de sales disueltas, pero no puede distinguir qué tipo de iones conforman esta salinidad. El tipo de iones presentes puede tener un efecto específico negativo para el rendimiento de los cultivos y para la estabilidad estructural de los suelos. Aunque estos aspectos no son objeto de este artículo,

cabe citar que el ión sodio (tanto su concentración absoluta como la relativa a los iones calcio y magnesio o "Relación de Adsorción de Sodio") puede ser muy negativo para ciertos cultivos sensibles a la "toxicidad específica del sodio" (sobre todo en riego por aspersión) y puede inducir a la pérdida de la estructura de ciertos suelos susceptibles a la "dispersión" y/o "hinchamiento" de las arcillas. Por ello, es importante diferenciar los suelos salinos de los suelos sódicos.

Otro factor limitante de la medida de la CEe es su laboriosidad, ya que exige tomar muestras de suelo, llevarlas al laboratorio, secarlas al aire, molerlas, tamizarlas, preparar la "pasta saturada", y extraer mediante filtrado con

vacío el denominado "extracto saturado". Este proceso tan farragoso debe efectuarse en un número suficiente de muestras tomadas a distintos tiempos y en distintos puntos y profundidades con el objetivo de establecer de forma satisfactoria la típica variabilidad temporal y espacial de la salinidad edáfica.



EL SENSOR ELECTROMAGNÉTICO

Con el objetivo de facilitar el diagnóstico de la salinidad de los suelos, en las últimas dos décadas se han desarrollado distintos métodos de campo que evitan o reducen el muestreo de suelos. Entre ellos, cabe resaltar el sensor electromagnético (SE). Existen varios modelos de SE de dos casas comerciales canadienses (Geonics: www.geonics.com y Dualem: www.dualem.com). Los SE recomendables para medir salinidad de suelos son el modelo EM38RT de Geonics y el modelo 1S de Dualem.

Aunque estos modelos difieren en algunas características, el principio en que se basan es similar: una bobina transmisora establece un campo magnético primario a través del suelo que, en función de su capacidad conductora, induce un campo magnético secundario que es detectado por una bobina receptora situada a una distancia de un metro de la bobina inductora. Un circuito electrónico convierte estos campos a valores de CEa (conductividad eléctrica aparente del suelo) que expresa de forma indirecta la salinidad del suelo.

La forma en que opera el SE es muy sencilla. El sensor se apoya sobre el suelo y mide de forma instantánea la CEa del suelo. En el caso del modelo Geonics el sensor puede colocarse horizontalmente (en cuyo caso la lectura de CEa integra la salinidad desde la superficie del suelo hasta una profundidad de aproximadamente un metro), o verticalmente (en cuyo caso la integración es hasta unos dos metros de profundidad). En el caso del modelo Dualem el sensor mide a la vez los valores en horizontal y vertical, lo que incrementa la rapidez de la medida.

El primer SE fue comercializado por Geonics a principios de los ochenta. Con el sensor EM38, las lecturas de CEa se tomaban visualmente y se anotaban en un papel. Posteriormente se desarrolló el modelo EM38RT, similar al anterior pero con una salida de conexión a un sistema de adquisición de datos que registra las lecturas de CEa. A este sistema se le puede acoplar asimismo un GPS para georreferenciar las lecturas, lo que permite obtener de forma rápida y sencilla mapas de CEa y, con la consiguiente calibración, mapas de salinidad (CEe). La foto adjunta muestra un ejemplo de medida manual georreferenciada del sensor Geonics en una parcela de olivos de la finca experimental del CITA.

En la última década se han desarrollado sensores electromagnéticos acoplados a vehículos que circulan por la zona de interés mientras toman lecturas georreferenciadas de CEa. Dado que el SE responde a materiales conductores, el sensor debe colocarse sobre un remolque no conductor situado a una dis-

tancia del vehículo de unos tres metros para evitar lecturas alteradas por los materiales conductores del mismo. Existen distintos SE móviles comerciales más o menos sofisticados y de coste en general muy elevado.

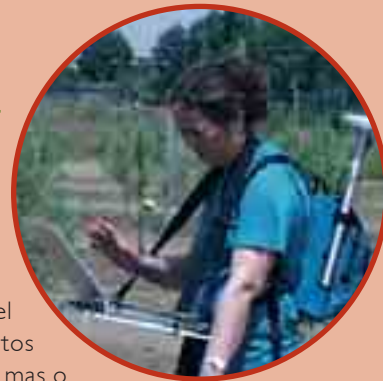
En el CITA se ha desarrollado un sensor electromagnético móvil georreferenciado (SEMG) que es muy sencillo y económico (ver foto adjunta). El SEMG se compone de un vehículo (tractor, quad, 4x4 o similar) capaz de traficar por las parcelas de estudio, y de un remolque donde se coloca el sensor electromagnético. En el vehículo tractor se instala un sistema de adquisición de datos-SAD (ordenador portátil, PDA, etc.) y un GPS.

En concreto, el SEMG del CITA está compuesto de un mini-tractor Kubota B-2400, un ordenador de campo Allegro SX (muy compacto y robusto) y un GPS Garmin que se instala en la parte superior del tractor para que visualice de forma apropiada la constelación de satélites. Este GPS tiene una precisión de unos 5 m, suficientes para nuestros fines cartográficos. A una distancia de unos tres metros del vehículo se dispone de un trineo de resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, material no conductor, sobre el que se fija el SE (Geonics o Dualem). El vehículo recorre la zona de estudio a una velocidad de unos 8 km/h y toma lecturas cada 5 m aproximadamente.

El coste aproximado del SEMG desarrollado en el CITA es de 22,500 euros desglosado en:

- tractor Kubota B-2400: 9,000 euros
- ordenador Allegro SX: 3,000 euros
- GPS Garmin etrex: 300 euros
- sensor electromagnético (Geonics EM38RT o Dualem 1S): 10,000 euros
- trineo de resina de poliéster fabricado por Arapol 2000 S.L.: 200 euros.

Este coste es muy razonable comparado con otros SEMG comerciales y se amortiza rápidamente teniendo en cuenta principalmente el ahorro en costes de personal. El siguiente Cuadro (1) presenta las principales ventajas y limitaciones del sensor electromagnético. Su principal ventaja es que mide de forma instantánea la CEa del suelo sin precisar de contacto con el mismo. Ello permite realizar mapas de salinidad del suelo con una rapidez y detalle imposibles de alcanzar con otros métodos, sobre todo con aquellos basados en el muestreo del suelo y análisis en laboratorio como el método clásico del extracto saturado (CEe).



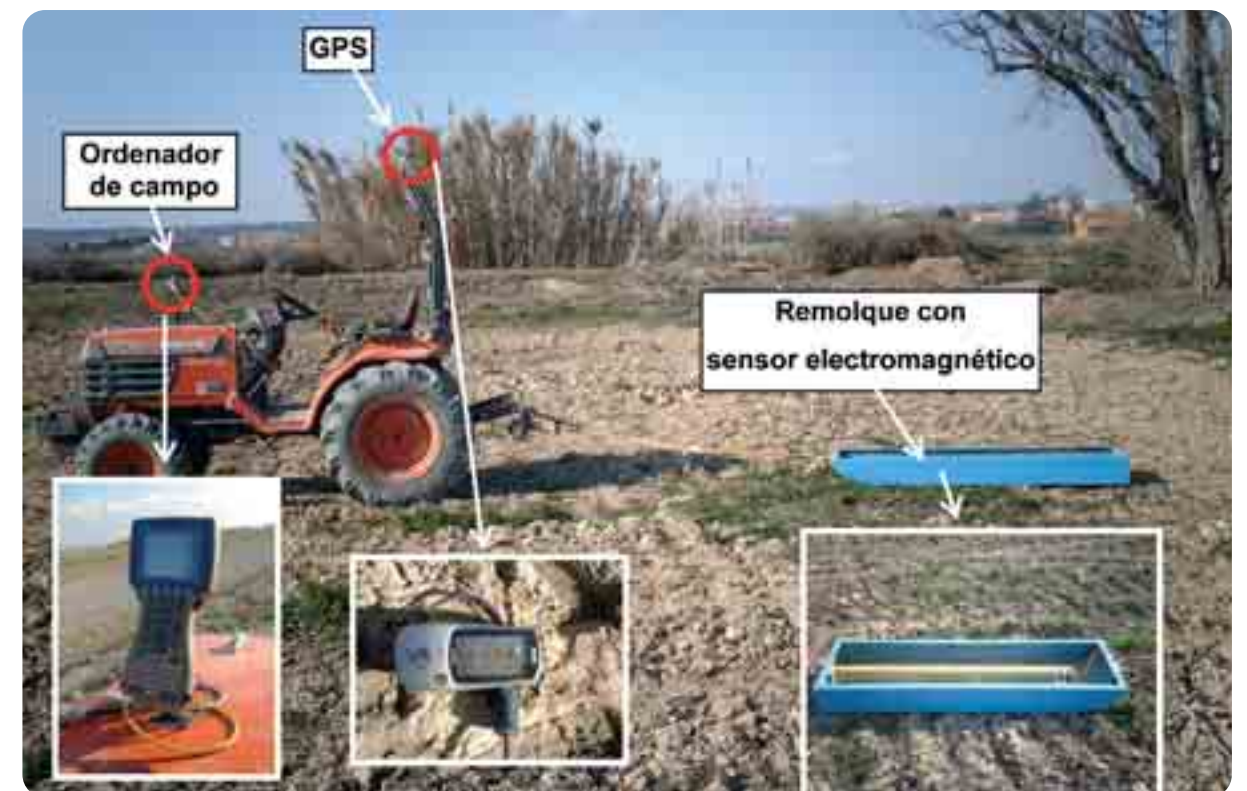
Cuadro 1

VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL SENSOR ELECTROMAGNÉTICO

VENTAJAS	LIMITACIONES
Portátil, robusto y ligero, mide de forma instantánea la CEa del suelo	No corrige la CEa a 25°C; por lo tanto se precisa medir independientemente la Tª del suelo
No precisa de contacto físico con el suelo	Interfiere con objetos conductores de electricidad
Mide un elevado volumen de suelo: integra la salinidad del suelo hasta 1 m (posición horizontal) y 2 m (posición vertical)	No detalla el perfil salino del suelo o salinidad a distintas profundidades
Permite la automatización georreferenciada de la CEa	Solo es válido para humedades del suelo superiores a la mitad de capacidad de campo
Permite estimar otras variables del suelo, además de la salinidad	Responde a otras variables del suelo además de la salinidad; por lo tanto, precisa de la calibración "CEa-CEe" para cada suelo

Su principal desventaja es que precisa de calibración para estimar la salinidad del suelo (CEe) a partir de las lecturas de CEa. Esta calibración debe realizarse en rigor para cada suelo, ya que la CEa responde también a otras variables como su humedad, textura, etc. Para ello, una vez efectuadas las lecturas de CEa se seleccionan en torno a diez-quince puntos (dependiendo de la escala de trabajo y de la variabilidad de la CEa) sobre los que se muestrea el suelo y se procede a la medida de la CEe.

Una vez medida la CEe media del perfil del suelo en estos puntos de muestreo y la correspondiente lectura de la CEa corregida a 25°C, se procede a establecer la regresión lineal "CEe = a + b CEa" a partir de la cual se estima la CEe en el resto de puntos con lecturas de CEa. Con la ayuda de sistemas de información geográfica se establecen de forma rápida y sencilla los mapas de salinidad de las áreas de estudio.



Medida automática de la salinidad del suelo mediante el sensor electromagnético móvil georreferenciado (SEMG) desarrollado en el CITA: el tractor circula por la parcela y registra automáticamente en el ordenador las lecturas del sensor electromagnético y del GPS. El SE de esta foto es el modelo 1S de Dualem

APLICACIONES DEL SENSOR ELECTROMAGNÉTICO

La aplicación más común del SE es la medida de la salinidad del suelo. Tal como se ha indicado anteriormente, esta medida exige la calibración del SE. Generalmente, las medidas de CEa se efectúan unos días después del riego, cuando el suelo está a una humedad de referencia y relativamente húmedo ("capacidad de campo"). De esta manera, se elimina relativamente el efecto de la humedad sobre las lecturas de CEa.

Las aplicaciones a nivel parcela suelen estar relacionadas con el interés del agricultor por conocer el efecto de la salinidad sobre el rendimiento de los cultivos y decidir qué tipo de cultivos son los más adecuados para evitar pérdidas de rendimiento. Asimismo, en función de las tendencias de salinización de la parcela, el agricultor puede decidir aplicar riegos de lavado u otro tipo de técnicas para reducir la salinidad tales como el acolchado del suelo o el uso de enmiendas (como el yeso) para incrementar la infiltración del agua en el suelo.

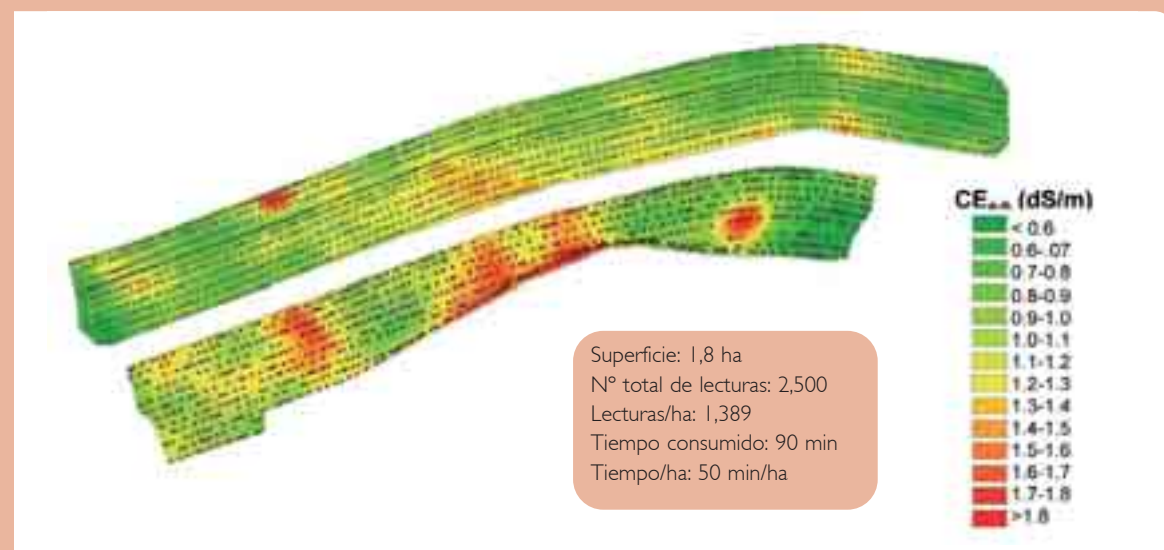
La medida de la salinidad a nivel sector de riego es de interés para las Comunidades de Regantes, tanto

desde el punto de vista de la distribución del agua de riego entre los regantes como, en los casos en que sea necesario, de la planificación de cultivos y el abandono de aquellas tierras con mayor afección por salinidad. Asimismo, estos mapas de salinidad son importantes para el mejor diseño de la red de drenaje, ya que la presencia de freáticos superficiales suele venir asociada a perfiles de salinidad invertidos con valores elevados de salinidad en la superficie del suelo debido al ascenso capilar de agua y sales y a la acumulación superficial de las mismas por efecto de la evapo-concentración.

En resumen, estas técnicas de medida de salinidad tienen ciertas limitaciones que es preciso evaluar, pero abren la posibilidad de medir la salinidad de los suelos (y de otras variables de interés, por ejemplo, en agricultura de precisión) con una sencillez y rapidez inalcanzables por cualquier otro método. El CITA, a través de la Oficina del regante de SIRASA, ofrece a los agricultores interesados la posibilidad de realizar mapas de salinidad de sus parcelas de regadío (ver dirección de contacto más arriba).

MAPA DE CEa DE UNA PARCELA DE VIÑA OBTENIDO CON EL SEMG.

Los puntos negros son los puntos de medida. Verde a rojo significa suelo menos a más salino. La sub-parcela más pequeña está a cota más baja y es la más afectada por salinidad



RAMÓN ARAGÜÉS LAFARGA Y VICENTE URDANOZ MELADO

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Gobierno de Aragón. Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza

