

# Vigilancia de la **salinidad en suelos de regadío** mediante el sensor electromagnético

E. Amezketa Lizarraga\*

### Introducción

En España se riega alrededor del 15% de la superficie agraria total y en ella se obtiene el 60% de la producción agraria. Esta agricultura de regadío es esencial en zonas áridas y semiáridas y debe responder al doble reto de ser competitiva y sostenible.

Sin embargo, en ocasiones se detectan problemas de degradación del suelo debido a que se han puesto en riego suelos de baja calidad, se riega con aguas de baja calidad, y/o el diseño y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje no es el adecuado. El resultado es la salinización y/o la sodificación de los suelos, muchas veces asociadas al encharcamiento del área regada. Estos problemas afectan a actuales y futuras puestas en riego y se traducen en la reducción de las cosechas, en la limitación de la gama de cultivos y, en casos extremos, en el abandono total de estas tierras.

Estos procesos de degradación del suelo son especialmente graves en las áreas de regadío, constituyendo una de sus principales amenazas. Así, por ejemplo, de los 3,4 millones de hectáreas que se riegan anualmente en España, alrededor de un tres por ciento presenta un grado de salinización severo y otro 15% presenta un riesgo creciente de salinización. En el Valle del Ebro, cerca del 30% de las 500.000 ha estudiadas por el IRYDA en la década de los 70 tenían suelos afectados por sales. Trabajos de la FAO indican que un 25% de la superficie de regadío actual en las zonas áridas y semiáridas del planeta está afectada por estos procesos de degradación del suelo y que por estas causas se está reduciendo anualmente la



Aspecto de un campo de maíz con manchas blancas salinas



Campo de maíz con un rodal producido por la salinidad del suelo. La elevada salinidad del suelo impide el crecimiento del maíz

superficie efectiva de regadío a nivel mundial en torno a un 1-2%.

Muchos de los problemas citados se pueden pronosticar, mitigar e incluso evitar mediante estudios de suelos de suficiente calidad e intensidad, tanto antes de la transformación como tras la puesta en riego haciendo el seguimiento en años

posteriores. Sin embargo, el diagnóstico tradicional de la salinidad del suelo se basa en medidas y muestreos de campo y en análisis de laboratorio que en conjunto resultan engorrosos, lentos y caros. Por ello, el desarrollo de nuevas metodologías y tecnologías para diagnosticar in-situ la salinidad del suelo es de gran interés para los suelos de regadío en España, y en particular para los de la Cuenca del Ebro,

\*Sección de Evaluación de Recursos Agrarios, Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de Navarra



dado el grave problema de salinidad en una parte importante de los mismos en Aragón, Cataluña y Navarra.

Este artículo subraya los efectos negativos de la salinidad y salinización de los suelos en la rentabilidad y sostenibilidad de la agricultura de regadío e insiste en la necesidad de vigilar los niveles de salinidad de los mismos para conseguir una agricultura rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente. Finalmente presenta una nueva tecnología para diagnosticar in-situ la salinidad del suelo de una forma rápida y precisa, así como otras aplicaciones de relevancia que tiene dicha tecnología para el sector agrario.

### La salinidad en los regadíos: necesidad de "vigilancia" de la salinidad del suelo

La salinidad del suelo hace referencia a la acumulación de sales más solubles que el yeso en la solución del suelo, que afecta negativamente al rendimiento de los cultivos. La salinidad edáfica reduce la calidad del suelo, el rendimiento de las cosechas y la gama

de cultivos posibles, limitándolos a variedades tolerantes a salinidad, lo que condiciona la viabilidad económica de los regadíos. En situaciones extremas conduce al abandono total de estas tierras. Al problema agrícola se han sumado en los últimos años las consideraciones medioambientales, ya que la salinización de los suelos puede inducir a la salinización de las aguas superficiales y subterráneas. Esto es, los flujos de retorno del regadío pueden incrementar la concentración en sales del agua de los sistemas receptores (ríos, lagunas, etc.). Todo ello afecta negativamente a la rentabilidad y sostenibilidad de la agricultura de regadío y a la calidad del medio ambiente.

La salinización de los suelos en la agri-

cultura de regadío depende básicamente de la calidad de los suelos puestos en riego, de la calidad del agua de riego, del manejo de éste y de las condiciones de drenaje. Un requisito previo a toda transformación en regadío es el estudio detallado de los suelos y el análisis predictivo de sus respuestas al riego. Dichos estudios y análisis son con frecuencia insuficientemente abordados, lo que conduce a los problemas mencionados y en definitiva, a una rentabilidad cuestionable de



Sensor electromagnético EM38 en posición horizontal: Su lectura (valores de EMh) informa sobre la salinidad en el perfil de un metro de profundidad



Sensor electromagnético EM38 en posición vertical: Su lectura (valores de EMv) informa sobre la salinidad en el perfil de dos metros de profundidad

las cuantiosas inversiones asociadas a la transformación. La falta de una cartografía sistemática de suelos a la escala adecuada para las transformaciones en riego agrava la situación.

Es evidente que en muchas zonas de regadío tradicional no se presentan problemas de acumulación de sales por la buena calidad de sus suelos y aguas de riego y por el buen manejo del riego y del drenaje. Son las zonas de regadío situadas en los valles de los ríos y en sus depósitos aluviales, donde están las mejores tierras. Sin embargo, algunas de las transformaciones en riego de los años 50-60 se realizaron en suelos de baja calidad, provocando procesos de saliniza-

ción y sodificación del suelo, restringiendo la viabilidad técnica y económica del regadío. Este problema amenaza a actuales y futuras transformaciones con suelos, riegos o drenajes inapropiados. En ocasiones, la ampliación de los regadíos actuales conlleva la transformación de superficies con suelos de inferior calidad. Además, algunos de los nuevos proyectos de regadío transforman tierras situadas en el relieve por encima de regadíos actuales, de forma que si no se analiza con profun-

dididad el diseño de los sistemas de drenaje de dichas áreas se corre el riesgo de salinizar los regadíos ya existentes. Por otro lado, el conflicto de intereses, cada vez más extendido, por el uso del agua, y las situaciones específicas en las que los agricultores no tienen acceso a agua de riego de buena calidad puede conducir a utilizar aguas de baja calidad para el riego con el consiguiente riesgo de salinización y sodificación del suelo.

Todas estas situaciones conducen a una necesidad de seguimiento espacial y temporal de la salinidad en la agricultura de regadío. La monitorización periódica de las áreas afectadas por sales es esencial para el desarrollo de estrategias pa-

ra su manejo y recuperación. En este sentido, la Unión Europea ha recomendado el establecimiento de programas de seguimiento y vigilancia de la salinidad edáfica. Además, el seguimiento de la salinidad en regadíos potencialmente salinos o salinizables (situaciones que presagian problemas de salinidad) proporcionará criterios para futuras transformaciones en riego.

### Métodos de caracterización y seguimiento de la salinidad edáfica

El diagnóstico tradicional de la salinidad del suelo se basa en muestreos de campo y en análisis de laboratorio, donde se analiza la conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada (CEe). Se considera

suelo salino aquel que tiene una C<sub>Ee</sub> superior a 4 dS m<sup>-1</sup> a 25°C. Sin embargo este método tradicional es costoso en tiempo, esfuerzo y dinero, en particular para el estudio de grandes superficies. Por ello, en la última década se han desarrollado nuevas tecnologías que han revolucionado la forma de diagnosticar la salinidad del suelo.

El sensor electromagnético es actualmente la tecnología más apropiada para medir la salinidad del suelo in-situ en un contexto geoespacial y ya se utiliza de forma rutinaria, aunque, como es lógico, para emplearlo en cada situación concreta es necesario hacer las validaciones y las calibraciones correspondientes.

Dicho sensor mide la conductividad eléctrica aparente del suelo (C<sub>Ea</sub>), que está estrechamente relacionada con la salinidad real del suelo (C<sub>Ee</sub>). El modelo EM38 es el indicado para aplicaciones agronómicas ya que responde a la salinidad de la zona de raíces de la mayoría de cultivos. Permite obtener la salinidad para las profundidades de un metro y dos metros cuando el instrumento se coloca en la superficie del suelo en posición horizontal y vertical respectivamente. Posteriormente, mediante calibración para cada tipo de suelo y fecha de estudio se convierten las lecturas del EM38 a datos estándar de salinidad (C<sub>Ee</sub>). Ello requiere el muestreo de un número reducido de muestras de suelo y su análisis posterior en laboratorio mediante métodos estándar para determinar su salinidad en el extracto de pasta saturada (C<sub>Ee</sub>) a 25°C. Se han desarrollado diversos métodos de calibración que relacionan las lecturas del sensor con la C<sub>Ee</sub> con buenos resultados. El Laboratorio de Salinidad de Riverside del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (ARS-USDA, California) ha diseñado y desarrollado un software específico (ESAP) para visualizar, analizar, procesar y cartografiar los datos obtenidos con el sensor EM38 y estimar y cartografiar la salinidad edáfica.

En España, hasta la fecha, los sensores electromagnéticos utilizados son manuales y portátiles. Actualmente en la Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investi-



Fotos de algunos de los sistemas móviles desarrollados en Estados Unidos y Australia, llamados coloquialmente "husmeadores de sal" ó "detectores de sal".

gación y Tecnología Agroalimentaria de la Diputación General de Aragón y en el Departamento de Agricultura del Gobierno de Navarra estamos desarrollando un Sensor Electromagnético Móvil Georreferenciado (SEMG) para automatizar la toma de datos georreferenciados de salinidad. Se trata de integrar en un sistema motorizado (quad, tractor, etc.) el sensor EM38, un ordenador y sistemas de posicionamiento global (GPS) para obtener y almacenar automáticamente lecturas georreferenciadas de la salinidad del suelo. Las lecturas obtenidas con el SEMG se incorporarán a sistemas de información geográfica (SIG) para su posterior tratamiento y cartografía. La utilización de esta herramienta junto a otros tipos de software específicos que facilitan y aceleran el post-procesamiento de los datos tomados por el EM38, como el paquete informático ESAP mencionado anteriormente, representa una revolución frente a los métodos tradicionales de tratamiento de datos. La ágil integración de esta información en sistemas de información geográfica permitirá cruzarla con otras capas de información, desde mapas de suelo hasta mapas de distribución espacial y temporal del rendimiento de los cultivos.

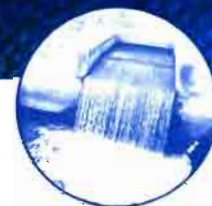
Una vez disponible esta herramienta, se aplicará en nuestros sistemas agrarios, a nivel de parcela, polígono de regadío y municipio.

Este sistema permitirá obtener información de salinidad de forma rápida y barata, lo que facilitará la repetición periódica de medidas, que es la base de un "sistema de vigilancia". Supondrá un avance considerable en la toma de datos en el terreno para el diagnóstico y control de la salinidad edáfica, lo que permitirá abordar la cartografía de salinidad de grandes superficies regables.

## Otras aplicaciones del sensor electromagnético al sector agrario y en particular a los suelos en regadío

La aplicabilidad de este nuevo sistema integrado, automatizado y móvil al sector agrario es muy amplia y de gran relevancia para la agricultura de regadío. Además de su objetivo básico de cartografiar suelos salinos, su utilización tiene otras aplicaciones específicas:

- identificación de áreas de elevado potencial de salinización para ayudar a evitar problemas en futuras transformaciones de regadío
- inventariar la salinidad edáfica de forma rápida y detallada a diferentes profundidades (en la superficie del suelo, en la zona de raíces, a diferentes profundidades del perfil del suelo) para discriminar los suelos que merecen ser desalinizados y para elaborar las estrategias más adecuadas para su control y mitigación
- monitorizar la salinidad del suelo, esto es, realizar seguimientos a largo plazo para detectar tendencias de salinización o de desalinización y actuar en consecuencia; esto es, serviría como herramienta de vigilancia de la calidad de los suelos, tema hoy prioritario en la Unión Europea y cuyo objetivo es combatir los procesos de degradación que afectan a los mismos.
- influir en la decisión del cultivo a instalar para evitar pérdidas de rendimiento
- identificar las fuentes y causas de la salinización de los suelos (detección de puntos de recarga de sales, etc.), delimitando las áreas con problemas de drenaje y de lavado de sales, etc.
- evaluar la eficiencia de las prácticas cul-



turales y del manejo del riego y del drenaje actual en regadíos antiguos salinizados, para el control y la recuperación de los suelos salinos

- evaluar la idoneidad de las prácticas culturales y del manejo del riego y del drenaje para evitar la "salinización secundaria" en nuevos regadíos potencialmente salinizables por su posición geomorfológica o por un manejo no apropiado del regadío (utilización de dosis excesivas de agua en áreas con drenaje limitado, etc.)
- evaluar la práctica de "reciclar aguas de drenaje (aguas salinas) para regar": analizar si dicha práctica de riego es sostenible y hasta qué punto puede usarse de forma efectiva y segura sin producir "salinización secundaria" (inducida por la acción del hombre) del suelo
- caracterizar la distribución espacial o el patrón de la salinidad en la superficie del suelo y en la rizosfera para su aplicación directa en la agricultura de precisión: en concreto, identificar zonas con problemas puntuales de salinidad para:
  - optimizar los inputs agrícolas; por ejemplo, reducción de inputs en las zonas salinas de la parcela para reducir costes e incrementar ganancias
  - ahorrar/conservar/utilizar de forma eficiente el agua: el "lavado de precisión" de los rodales salinos en grandes superficies puede suponer ahorro de agua; en vez de regar todo el campo para lavar una zona puntual de salinidad, se identifica primero la zona afectada y se trata ésta únicamente.
- facilitar la delimitación de fases salinas en cartografía de suelos, corregir donde sea necesario las fases ya establecidas por métodos tradicionales y completar y/o generar otras nuevas. Estos equipos agilizarán la toma de datos en campo, permitiendo abordar la cartografía de salinidad de grandes superficies.
- agilizar la obtención de la "verdad-terreno" para la calibración/verificación de la te-

ledetección como técnica futura para cartografiar suelos salinos a diferentes escalas

- inferir otras propiedades físico-químicas de los suelos, como la sodicidad, textura, humedad, contenido en nutrientes, e incluso estimar la producción del cultivo a partir de los datos obtenidos con dicho sistema, previas calibraciones. No obstante, por ahora, el uso del sensor electromagnético para estudiar dichas variables del suelo precisa de estudios adicionales de calibración y validación a nivel mundial.

Finalmente, la aplicabilidad de este procedimiento de campo tendrá consecuencias beneficiosas sobre la calidad del medio ambiente, ya que el control de la salinidad edáfica reducirá los riesgos de salinización de aguas superficiales como ríos, lagunas, etc. y/o de aguas subterráneas.

### Ejemplo de aplicación del sensor electromagnético para elaborar el mapa de salinidad de una parcela de regadío

El sensor se calibra a partir de las lecturas del mismo en ciertos puntos previamente seleccionados (puntos de calibración) y de los valores reales de salinidad (CEe) de las muestras de suelo extraídas en dichos puntos (analizadas en laboratorio). La ecuación de calibración obteni-

da ( $CEe = f[\text{lecturas EM38}]$ ) se aplica posteriormente a los puntos con lectura del sensor pero sin muestreo, para estimar los valores de CEe. El mapa de salinidad se elabora a partir de las estimas de CEe de todos los puntos y de la interpolación de dichos valores mediante técnicas apropiadas. El mapa de salinidad presentado muestra que la mayoría de la parcela es salina ( $CEe > 4 \text{ dS/m}$ ) con zonas muy fuertemente salinas ( $CEe > 16 \text{ dS/m}$ ). La localización de las zonas salinas permitirá diseñar planes y estrategias de gestión y recuperación de la parcela.

### Conclusiones

La salinidad y salinización de los suelos es una de las principales amenazas de la agricultura de regadío al poner en peligro su sostenibilidad y competitividad. Su control pasa por la detección, cuantificación y seguimiento espacio-temporal de la salinidad edáfica "in-situ". Ello requiere tecnologías precisas, específicas, sencillas, rápidas y baratas. El sensor electromagnético es actualmente el instrumento más apropiado para medir "in-situ" y cartografiar la salinidad del suelo en un contexto geoespacial agrícola. Tiene, además, otras aplicaciones específicas de gran relevancia para la agricultura de regadío. Su georreferenciación y automatización supone una evidente simplificación metodológica, con respec-

to a los métodos tradicionales, para el diagnóstico y control de la salinidad edáfica en las grandes superficies regables de España. El sensor electromagnético georreferenciado y móvil (SEMG) una vez desarrollado, validado y calibrado a nivel local o regional será una excelente herramienta para la vigilancia de la calidad de los suelos, contribuyendo a optimizar el manejo de las explotaciones agrarias y a reducir la contaminación difusa producida por el regadío.

