

## Mapa de suelos afectados por sales en Argentina

Rodríguez, D.M.<sup>1</sup>, Schulz, G.A.<sup>1</sup>, Tenti Vuegen, L.M.<sup>1,2</sup>, Angelini, M.E.<sup>1,3</sup>, Olmedo, G.F.<sup>4</sup>, Lavado, R.S.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-CIRN), Castelar (Pcia. Buenos Aires), Argentina.

<sup>2</sup> Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján. Argentina.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. Argentina.

<sup>4</sup> Investigaciones Forestales Bioforest S.A., Concepción, Chile.

<sup>5</sup> Facultad de Agronomía, INBA (CONICET-UBA). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

### Introducción

Los suelos afectados por sales (SAS) se encuentran en todos los continentes y bajo casi todas las condiciones climáticas. Se trata de un grupo de suelos con muy diversas propiedades y cuyos rasgos en común son: i.- han sido o son afectados por sales solubles o presentan potencial de ser afectados por ellas, en el futuro y ii.- presentan diversos grados de limitaciones para el desarrollo de cultivos. En general, se dividen en dos grupos, aquellos con acumulación de sales y los suelos con exceso de sodio. Así, la salinidad y la alcalinidad son procesos importantes de degradación del suelo que amenazan los ecosistemas y se reconocen como uno de los problemas más importantes a escala mundial para la producción agrícola, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en las regiones áridas y semiáridas.

Pese a la presencia de grandes áreas de SAS, su extensión y distribución aún no había sido estudiada en detalle a nivel global. Por este motivo, la Alianza Mundial por el Suelo (GSP) de la FAO inició un proyecto a escala mundial, utilizando un enfoque de abajo hacia arriba, donde cada país miembro contribuyó con sus mapas. En ese contexto, cada país produjo sus mapas siguiendo las especificaciones técnicas sugeridas por la FAO. En el caso de la Argentina, el INTA, junto con investigadores de otros organismos, elaboró el Mapa Nacional de Suelos Afectados por Sales, como contribución al mapa global.

La Argentina es un país extenso que tiene una gran superficie con SAS, distribuidos en ambientes muy diferentes. El origen de estos suelos es en parte natural y también en parte inducido por diferentes actividades, como la producción agrícola y ganadera, el riego, el manejo forestal, etc. Los SAS se encuentran preferentemente en ambientes áridos y semiáridos, ubicados hacia el oeste del territorio. En estas zonas existen suelos salinos que muestran con frecuencia eflorescencias salinas y costras, y suelos con horizontes B nátricos. En las zonas áridas dedicadas a la agricultura intensiva de regadío completo (viñedos, frutas, hortalizas), la salinización secundaria afecta en diferente grado, en promedio alrededor del 25 % de la superficie total. La mayor parte de la salinización del suelo es causada por el ascenso capilar de sales desde el agua subterránea.

Por otro lado, existen millones de hectáreas de suelos naturales en ambientes húmedos, subhúmedos y semiáridos, la mayoría de ellos con horizontes B nátricos de diferente espesor y también con reacción alcalina en todo o parte del perfil. Estos suelos se ubican en el este del país y las tres grandes áreas donde se concentran estos suelos son: la "Pampa Deprimida" en la provincia de Buenos Aires, la "Pampa Interior" ubicada

principalmente en el NO de Buenos Aires y Centro-Sur de Córdoba y los “Bajos Submeridionales” en el sur del Chaco y Centro-Norte de Santa Fe.

Además, existen suelos agrícolas que sufrieron recientes procesos de salinización/alcalinización debido a alteraciones en el régimen hídrico. Un fenómeno asociado es el aumento de las precipitaciones que se ha producido a nivel local en los últimos 30 años, que elevó el nivel del agua subterránea y contribuyó al problema en las áreas de descarga del agua subterránea.

Los suelos de nuestro país fueron individualizados taxonómicamente de acuerdo con la última versión de las claves del sistema de Taxonomía de Suelos a nivel de Orden y Suborden. Los Órdenes de Suelo reconocidos localmente según el sistema, y que incluyen Subórdenes con suelos de características salinas o alcalinas, son los Alfisoles (Acuafes, Crialfes, Udalfes, Ustalfes y Xeralfes), Aridisoles (Argides, Cambides, Durides, Gipsides, Salides, Natrargides y Haplosalides), Inceptisoles (Acueptes) y Molisoles (Alboles, Acuoles, Ustoles y Udoles). Asimismo, algunos grupos de suelos clasificados como Entisoles y Vertisoles están afectados por sales, aunque la clasificación taxonómica en este caso no lo hace explícito.

### **Metodología**

Los datos del suelo provinieron de muestras de 4645 ubicaciones. La mayoría de los datos se encuentran almacenados en el SISINTA como datos de libre acceso, así como en otras fuentes de información como el proyecto MARAS, el proyecto de datos abiertos de Córdoba y otros contribuyentes, que aportaron 637 ubicaciones de muestra. Los perfiles de suelo se analizaron hasta 100 cm de profundidad (o hasta una capa restrictiva para el crecimiento de las raíces, como un nivel freático o una capa dura). El período de recolección de datos fue entre 1958 y 2019, predominantemente durante los años sesenta y setenta. Las propiedades del suelo analizadas fueron, profundidades de capa (cm), pH del agua 1:2.5, conductividad eléctrica en muestras saturadas ( $\text{dS m}^{-1}$ ), capacidad de intercambio catiónico ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ , acetato de amonio 1N a pH 7), catión sodio ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), y porcentaje de sodio intercambiable (%).

Se seleccionaron covariables ambientales de acuerdo con el conocimiento experto con respecto a su relevancia, para mostrar la distribución espacial de los suelos afectados por sales. Los índices de salinidad del suelo disponibles a nivel mundial se obtuvieron del producto MODIS MOD09A1 a una resolución de 1 km. Se espera que contribuyan a las causas y efectos relacionados con la vegetación y otras coberturas terrestres. La topografía también es un gran impulsor de la acumulación de sales, y Argentina posee vastas planicies con muy poca pendiente donde el ciclo del agua está dado principalmente por la evaporación y la evapotranspiración. Por lo tanto, se incluyeron un modelo de elevación digital y 16 atributos de terreno derivados. Se incorporó el clima, que también es un gran impulsor de la salinización del suelo, a través del atlas climático argentino que tiene temperatura media anual, precipitación, evapotranspiración e índice de aridez. Finalmente, los mapas de arcilla, limo y arena también se incluyeron como covariables.

### **Mapas de los suelos afectados por sales**

El mapa SAS de Argentina muestra que los problemas de salinidad están muy extendidos a lo largo del país, especialmente en los sectores más áridos. Se registran

alrededor de 0.93 millones de km<sup>2</sup> en la profundidad de 0-30 cm (33,5% de la superficie del país) y alrededor de 1,19 millones de km<sup>2</sup> en la profundidad de 30-100 cm (43%). Las figuras muestran la distribución el mapa de SAS de Argentina para ambas profundidades del suelo, 0-30 cm y 30-100 cm. Téngase en cuenta que algunas regiones, como el norte del país, el sur de Entre Ríos y Misiones, no están bien representadas debido a la escasez de datos. Estas regiones tienen una precisión más baja en los mapas que las restantes.

### **Manejo de los suelos**

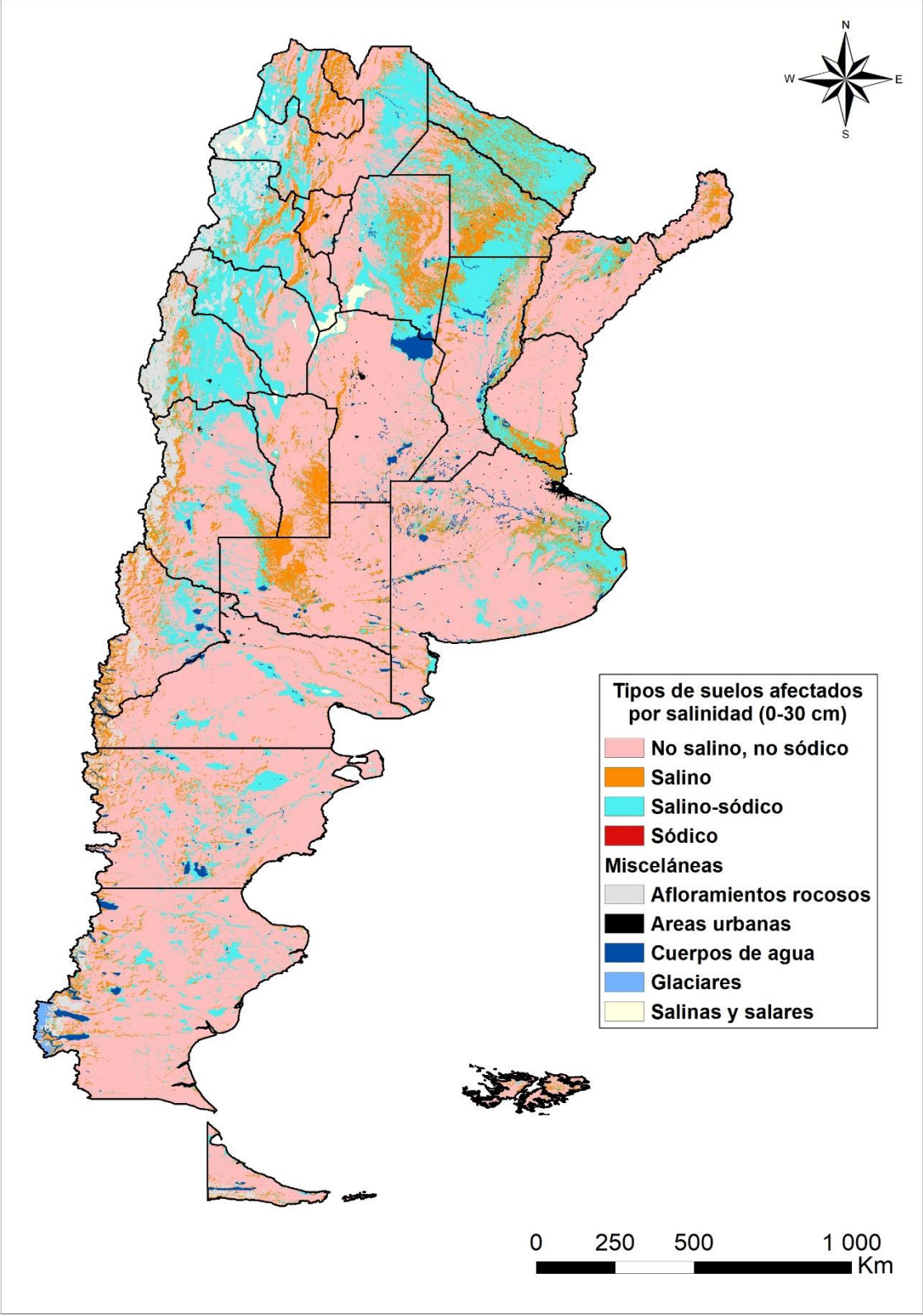
En zonas áridas los diferentes ecosistemas suelen sufrir degradación, debido a que la vegetación natural es pastoreada por ovejas, cabras, ganado vacuno y camélidos sudamericanos. La minería y la extracción de petróleo también son fuente de sales. El manejo adecuado de estos factores es imprescindible para reducir la degradación de los suelos. En áreas con riego completo ubicadas en zonas áridas, a nivel regional o local, los problemas de salinidad se manejan (o debieran manejarse) a través de la extensión de la red de drenaje. A nivel de finca, para reducir o evitar la salinidad, se debe mejorar la eficiencia en la gestión del agua de riego, cambiando a tecnologías más modernas y eficientes. En menor medida se utilizan enmiendas como el yeso. Un factor a considerar es la calidad del agua de riego.

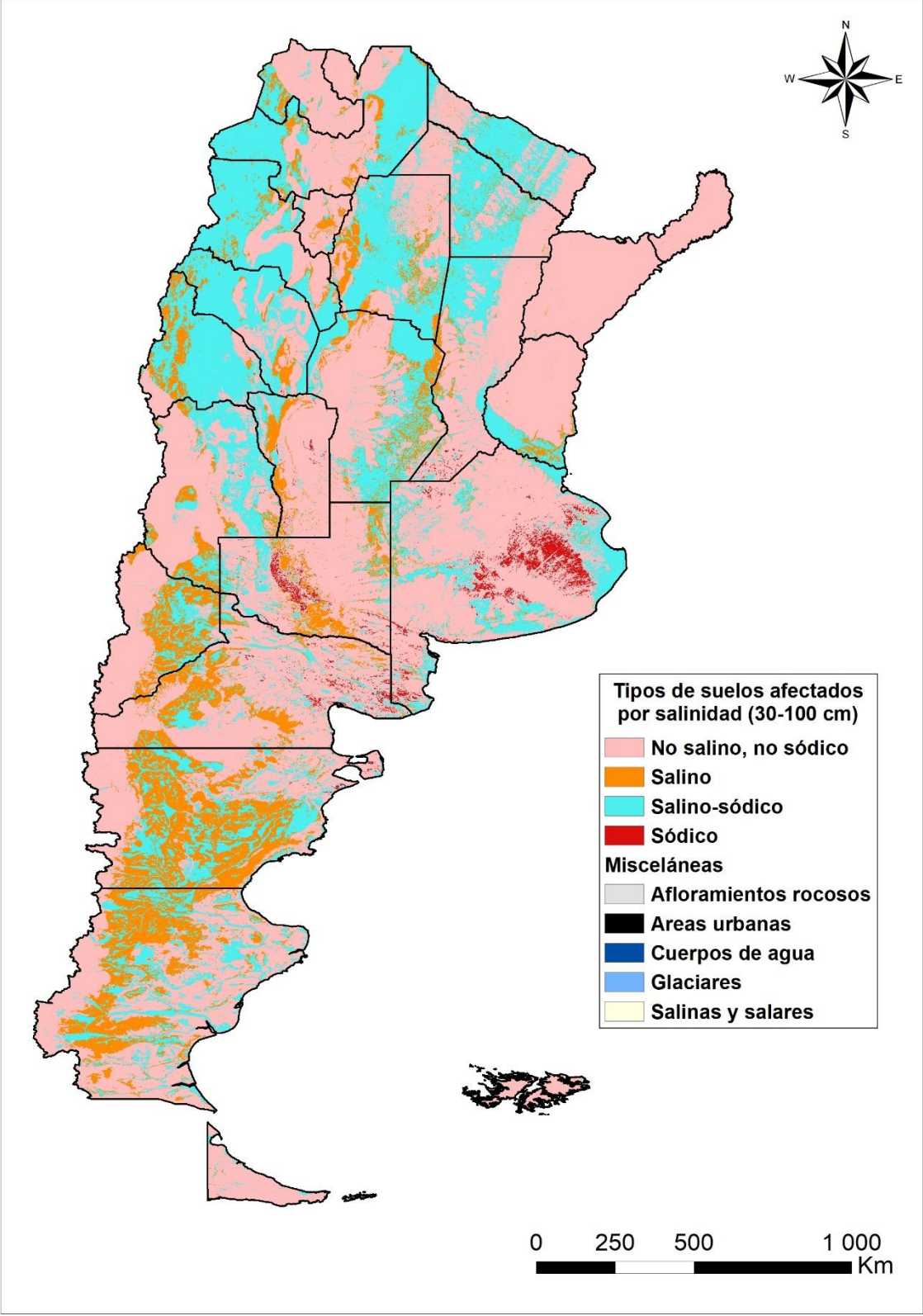
En las regiones húmedas son frecuentes los anegamientos e inundaciones y, a nivel regional, los excesos de agua superficial se canalizan hacia lagunas o arroyos. El drenaje es poco usual porque existen limitaciones técnicas causadas por la falta de pendiente suficiente para mover el agua subterránea por gravedad, y también restricciones económicas. Las tecnologías para enfrentar los procesos de salinización a nivel de finca o campo son diversas, diferenciándose en sus objetivos, grado de complejidad, efectividad y persistencia. En ese sentido, la mayoría de las tecnologías sólo aumentan la productividad de la biomasa de los pastos: incluyen siembra de pastos, manejo de pastoreo, revegetación de suelos, etc. aumentando así la producción ganadera. En esos casos se establece un nuevo equilibrio hídrico y salino inestable, con el suelo con mayor productividad, pero que debe mantenerse en ese equilibrio, pues las propiedades intrínsecas del suelo no se modifican marcadamente. Los intentos para introducir agricultura en muchos de estos ambientes no fueron, en general, exitosos.

Para todos estos casos en los últimos tiempos se introdujeron prácticas como la utilización de material genético tolerante a la salinidad, cultivos de halófitas y bioagricultura salina.

### **Impactos en las funciones del suelo**

Los SAS tienen graves impactos sobre las funciones del suelo, lo cual conduce a una serie de consecuencias, que incluyen disminuciones significativas en la productividad agrícola, la calidad del agua, la biodiversidad del suelo y pérdidas por erosión. Esta degradación de los suelos afecta las funciones de los sistemas ecológicos globales, como los ciclos hidrológicos, de nutrientes y biogeoquímico, y perjudican la provisión de servicios de los ecosistemas, que son fundamentales para sustentar la vida humana y la biodiversidad. Además, disminuye su capacidad para actuar como amortiguador y filtro contra los contaminantes.





## **Conclusiones**

La FAO, a través de iniciativas como los mapas de suelos, busca sensibilizar a la sociedad sobre el problema de los suelos afectados por sales y su impacto en la agricultura y el medio ambiente. Se busca promover la innovación tecnológica para gestionar y remediar estos suelos, y lograr un mejor conocimiento sobre el estado de conservación y funcionalidad a nivel mundial. De esta forma se busca cómo gestionar mejor la degradación del suelo en su conjunto. Además, se busca desarrollar políticas e implementar acciones en el campo, basadas en evidencia científica, para incorporar la gestión sostenible del suelo y también restaurar suelos degradados en áreas muy afectadas por sales y promover la gestión sostenible de los suelos afectados por sales.

El mapa es una fotografía de precisión que intenta representar toda la superficie sometida a problemas de halomorfismo, pero refleja principalmente la salinización natural de los suelos. Esto se debe a que aunque estos procesos de deterioro edáfico son continuos, la velocidad en que desarrollan los procesos de salinización y alcalinización de origen antrópico (agricultura bajo riego y otras actividades productivas en seco), excede usualmente la velocidad que tiene lugar en los procesos naturales. Esta diferente velocidad con que es afectada la superficie de la tierra es mayor que la celeridad con que se van efectuando y actualizando los reconocimientos de suelos. Por ejemplo, el mapa mundial de SAS estructurado por la FAO en 2021 tiene como antecedente evaluaciones efectuadas en la década de 1980. El principal problema que surge de esta desincronización es que la salinización de origen antrópico se focaliza, en particular, en áreas productivas y allí causa el mayor daño a la producción de alimentos y afecta básicamente a las poblaciones más vulnerables. Por ello, los SAS deben ser un tema de continuo alerta.

Pese a esta observación, los mapas de SAS son el mejor punto de partida para continuar enfrentando el problema.