

MINAG

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA

Nota Técnica #84

Conociendo los suelos afectados por sales

Contenido:

Introducción

Formación de suelos afectados por sales

Recuperación de suelos

Manejo de suelos

de los suelos

Manejo de plantas

Medición de la salinidad



Imagen de un suelo salino, por Robert Harter

por Bob Harter (PhD) y Tim Motis (PhD)

Publicado en 2016

INTRODUCCIÓN

Importancia y aparición de suelos afectados por sales: Los productores y hortelanos en las regiones semi-áridas y áridas del mundo enfrentan dos problemas asociados pero separados que limitan los cultivos que pueden sembrar y su rendimiento. El problema subyacente es la falta de las lluvias necesarias para la siembra de las plantas. El segundo es la acumulación de sales en la zona radicular. Los dos están interrelacionados pero no necesariamente ocurren al mismo tiempo.

Tal como lo señala Epstein (1976), nuestro planeta es un sitio muy salado. Alrededor del 70 por ciento de la superficie de la tierra está cubierta por océanos. Un tercio del área de tierra es semiárida o árida, la mitad de la cual posee suelos altamente salinos. Los suelos salinos de las regiones áridas y semiáridas del mundo tienden a restringir los cultivos que pueden sembrarse. La salinidad suele ocurrir en áreas donde la evapotranspiración (agua transferida al aire desde las plantas, el suelo y otras superficies) supera a las lluvias. Pero una evapotranspiración mayor que las lluvias no siempre produce un exceso en la acumulación de sales en la zona radicular de la planta. En cambio, en algunas situaciones, las sales se concentran lo suficiente como para afectar negativamente el crecimiento de la planta incluso aunque las lluvias superen la evapotranspiración. Esto último puede incluir suelos recuperados de sedimentos marinos, áreas con alta erosión mineral, áreas que contienen desechos mineros, y áreas costeras sujetas a intrusión de agua o que reciben rocíos salinos, marejadas ciclónicas, o daños causados por tsunamis. Estos suelos pueden ser importantes a nivel local pero muy pocas veces se presentan en grandes áreas. En este documento trataremos sobre los suelos afectados más ampliamente por sales en las regiones áridas y semiáridas del mundo. En la mayoría de los casos las técnicas de recuperación abordadas serán soluciones igualmente efectivas para desarrollar cultivos en esos suelos áreas más localizadas.

Efectos adversos producidos por el exceso de sales: Las platas necesitan de cierta cantidad de sales solubles, pero el exceso de sales en la zona radicular reduce el crecimiento de la planta al alterar la absorción de agua. Cuando el contenido de sales en el agua del suelo es mayor que la contenida en el agua de las células de la planta, las raíces no pueden absorber el agua del suelo. Pueden incluso hasta perder agua hacia el suelo. El exceso de sales en el suelo puede también causar toxicidades por iones específicos o desequilibrios. En algunos casos, la cura para estos problemas es simplemente mejorar el

drenaje. Sin embargo, los problemas de salinidad a menudo son más complejos y requieren de un manejo apropiado de suelos así como también del uso de cultivos tolerantes a sales.

El exceso de sales presenta un reto multifacético. Muchos factores influyen sobre las limitaciones a la producción de los cultivos debido a la salinidad. Con pocas excepciones, los suelos afectados por la sales contienen alguna combinación de calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), cloro (Cl), sulfato (SO_4), carbonato (CO_3 o HCO_3), y algunas veces nitrato (NO3). El suelo puede ser ya sea alcalino o neutral, dependiendo de la mezcla de iones y de su interacción con la porción mineral del suelo. El manejo apropiado del suelo para el crecimiento de la planta depende de la mezcla de estos factores así como

Copyright © ECHO 2016. Todos los derechos reservados. Este documento podrá reproducirse para fines de capacitación si se distribuye en forma gratuita o al costo y se da crédito a ECHO. En caso de otros usos, contacte a echo@echonet.org para obtener el permiso escrito.

también de la cantidad presente de sales. En términos ideales, las propiedades químicas del suelo deberían de analizarse antes de establecer un programa de manejo. Pero en la práctica esto es improbable que ocurra en las fincas de pequeños productores.

Propiedades del suelo que influyen en los problemas relacionados con sales: Afortunadamente, algunas características del suelo se presentan en una escala lo suficientemente grande para ser identificadas y clasificadas, y los suelos con características similares por lo general requerirán de prácticas de manejo similares. Los científicos especialistas en suelos han desarrollado sistemas taxonómicos para clasificar los suelos, pero la taxonomía de los suelos no es uniforme a nivel internacional. Por esta razón no usaremos la taxonomía como base de discusión, sin embargo, el (la) lector(a) debe familiarizarse con el sistema taxonómico del suelo del país en el cual esté trabajando. La taxonomía de los suelos categoriza la información sobre las propiedades de los suelos de la misma manera en que las designaciones taxonómicas de las plantas contienen información sobre los materiales biológicos. La taxonomía de los suelos afectados por sales se basa en factores tales como el pH, el contenido de sodio, el contenido de sales solubles, además de la humedad del suelo. Todos estos factores afectan el tipo de cultivos que pueden sembrarse en forma exitosa en el suelo, de manera que conocer el tipo de suelos en su localidad puede ser un primer paso para el diseño de un programa de manejo.

Independientemente del sistema taxonómico utilizado, en general se utilizan algunos términos comunes para describir los suelos. Algunos de los términos asociados con los suelos afectados por sales (utilizados en este documento) aparecen en el apéndice a manera de referencia.

UNIDADES COMUNES UTILIZADAS PARA EVALUAR LA SALINIDAD

Para entender de mejor manera cómo se forman suelos afectados por sales y cómo manejarlos, es de ayuda familiarizarse con las unidades de medida que usualmente se encuentran en la literatura existente sobre el tema. La única forma verdadera de medir la salinidad del suelo es en el laboratorio, lo cual es algo costoso y que consume mucho tiempo. Por consiguiente, la conductividad eléctrica del suelo (CE) se ha utilizado ampliamente para estimar el nivel de salinidad. El agua pura tiene una CE muy baja y ésta incrementa en la medida en que se eleva la concentración de sales en el agua del suelo. Aunque existen otros factores que influyen en la CE además de la salinidad solamente (p.ej., partículas de suelo cargadas), la CE brinda un estimado útil de la cantidad de sales solubles en el suelo. La mayoría de los datos de investigación citados en el resto de este documento se expresan como CE.

En general se utilizan dos unidades de medida diferentes para expresar la CE: millimhos/cm (mmho/cm) y deci Siemens/m (dS/m). Estos son términos de medida idénticos. Históricamente, era más fácil medir la resistencia de los suelos que medir la CE. La resistencia es medida en ohmios y es inversamente proporcional a la conductividad, de manera que la conductividad del suelo se expresaba como 1/ ohmio o “mhos.” A finales del siglo pasado los científicos de suelos se comenzaron a preocupar por el hecho de que se había inventado una variedad de términos para describir los suelos y éstos no estaban en concordancia con el Sistema Internacional (SI) de unidades, el cual expresaba la conductividad como Siemens por metro (S/m o S m-1). Debido a que 1 mmho/cm es igual a 0.1 S/m, en nombre de la claridad y facilidad de conversión entre unidades, los científicos de suelos acordaron expresar la conductividad del suelo como dS/m lo cual equivale al “viejo” mmho/cm (1 mmho/cm = 1 dS/m). Varias unidades más, tales como las usadas para describir los niveles de sodio, se explican en la medida que aparezcan en el contenido a continuación.

FORMACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SALES



Los procesos por los cuales se forman suelos afectados por sales tienen un impacto sobre sus propiedades. Estos atributos, a su vez, determinan qué plantas pueden cultivarse, cómo debe usarse y manejarse el suelo y con qué rapidez se puede recuperar de los efectos adversos provocados por el exceso de sales. En base a sus propiedades, los suelos afectados por sales se categorizan como salinos, sódicos o una combinación de los dos. Se estima que, del área total de tierra cultivada en el mundo, el 23% es salina y el 37% es sódica (Shahid y Al-Shankiti 2013). A continuación se abordan las características y los procesos de formación de estos suelos.

Los suelos salinos contienen sales suficientes para impactar en forma negativa el crecimiento y el rendimiento de la mayoría de los cultivos. El grado de salinidad en el cual los rendimientos declinan varía dependiendo del cultivo. En los suelos altamente salinos solamente las plantas adaptadas a las sales pueden sobrevivir y adaptarse. Los minerales como el calcio y el magnesio están presentes en cantidades suficientes para impedir que el sodio afecte adversamente las propiedades del suelo, tal como se explica más adelante en esta sección. De esta manera, no obstante la presencia de sales en exceso y de sus efectos limitantes sobre los cultivos, un suelo salino cuenta todavía con una estructura bien definida y tiene buen drenaje.

Los suelos salinos por lo general se presentan en áreas secas y de baja altitud con poco drenaje, tal como ocurre a lo largo del sistema del río Nilo en áreas del norte de Sudán y Egipto. En las áreas húmedas la precipitación sobrepasa la evaporación. Los ríos y corrientes fluyen constantemente, llenando estanques o lagos y luego saliendo a través de una corriente de desagüe. Sin embargo, en las regiones áridas la evaporación sobrepasa la precipitación. En vez de llenar y luego salir de una cuenca existente, el agua se acumula y luego se evapora, dejando atrás cantidades diminutas de minerales recogidos del suelo alrededor de la cuenca. Con el tiempo, estos minerales se acumulan hasta que las plantas halofílicas (tolerantes a sales) no pueden sobrevivir y se forma un “salar”.

También pueden formarse suelos salinos en lugares como las áreas bajas a lo largo del sistema del río Berg en Sudáfrica (Flugel 1991), donde el agua salada del suelo alcanza la superficie del terreno. Esto ocurre en áreas con filtraciones salinas e intrusión de agua salada. Estos suelos suelen tener una extensión limitada y su situación es tal que puede revertirse (aunque no fácilmente). En el caso de las filtraciones salinas, la reversión requiere de un programa de manejo de suelos que reduzca los niveles de agua subterránea en combinación con suficiente irrigación o lluvias que enjuaguen las sales contenidas en el suelo.

La intrusión de agua salada ocurre más frecuentemente cuando un manto de agua superficial dulce se agota por tasa de bombeo mayores a las tasas de su capacidad de recarga. Esto afecta los acuíferos costeros en países africanos proclives a las sequías como Egipto, Mozambique, y Nigeria (Steyl y Dennis 2010). Se pueden considerar medidas tales como el aumento del uso de riego por goteo para conservar el agua y por lo tanto reducir las tasas de bombeo. La disminución de las tasas de bombeo puede permitir que el agua dulce vuelva a acumularse, profundizando la superficie de agua salada, pero la contaminación con agua salada procedente de los sedimentos continuará. En las áreas costeras, la migración de agua salada hacia tierra adentro puede minimizarse con la restauración de las barreras naturales (p.ej., dunas de arena y manglares) o el establecimiento de diques (PNUD 2011). La remoción posterior de las sales residuales saladas del suelo ocurre en la medida que el agua dulce lixivia las sales por debajo de las zonas radiculares de los cultivos. La cobertura de suelos (mulch) y el terraceo ayudan a retener el agua de lluvia sobre la tierra para enjuagar el exceso de sales y recargar los acuíferos de agua dulce.

La salinización del suelo también puede ocurrir cuando la tierra ha sido regada con agua rica en sales sin los controles adecuados para el uso del agua. Se estima que el 20% de la tierra con riego (62 millones de hectáreas) está afectada por sales (Ghassemi *et al.* 1995; Metternicht y Zinck 2003). Las áreas donde las tierras de riego han sido afectadas adversamente por la salinización incluyen las cuencas indo-gangéticas (India) e indus (Paquistán). Afortunadamente los suelos salinos a menudo pueden recuperarse cultivando halófitas (plantas tolerantes a sales) y regando con agua con menor contenido de sales.

Suelos sódicos: casi la mitad de los suelos en el mundo afectados por sales son sódicos. Las áreas donde existen suelos sódicos incluyen América del Sur (Argentina, Paraguay y Brasil), el sudeste de Asia (India y Bangladesh) y África (Chad, Nigeria, Somalia, Sudán, Tanzania y el sur de África) (Huang *et al.* 2011). Tal como su nombre lo implica, estos suelos contienen sodio en abundancia. Los suelos sódicos resultan de una combinación de procesos los cuales se entienden mejor al conocer la diferencia entre sales libres y ligadas. Las sales libres son una combinación de iones positivos (cationes) y negativos (aniones) que se mueven libremente en el agua del suelo, también conocida como la solución del suelo. En cambio, los cationes que están débilmente ligados o adsorbidos a las superficies de partículas de suelo con carga negativa no se mueven libremente en la solución del suelo. Sin embargo, los cationes adsorbidos en las

partículas del suelo pueden reemplazarse o intercambiarse entre ellos. Hasta donde esto suceda depende en gran medida de la carga de los cationes involucrados y de las concentraciones de cationes en la solución del suelo.

El primer paso en la formación de suelo sódico sucede cuando se acumulan sales dentro del solum (perfil del suelo). Estas sales son producto del material primario rico en sodio, el ascenso capilar de agua subterránea salina de poca profundidad, o la evaporación del agua salada durante períodos secos. El agua entonces se mueve periódicamente a través del solum, eliminando las sales libres al enjuagarlas a través del perfil de suelo. El suelo se vuelve sódico cuando más del 15% de los cationes intercambiables son iones de sodio; a este porcentaje se le llama porcentaje intercambiable de sodio (ESP por sus siglas en inglés) de un suelo. Un suelo sódico también se describe como una tasa de adsorción de sodio (SAR por sus siglas en inglés) de más de 13 (la SAR describe la concentración de iones de sodio en comparación con la de calcio y magnesio).

Los suelos sódicos padecen de una pobre estructura de suelos. Los grandes iones de sodio alteran la capacidad de las partículas de suelo para permanecer juntas. Al mismo tiempo, debido a que las sales libres han sido lixiviadas, los cationes que ayudan a las partículas del suelo a juntarse (permanecer unidas) son escasos. Cuando las partículas de arcilla se mueven lo suficientemente lejos, se separan o dispersan, especialmente cuando la humedad que se recibe a través del riego o la lluvia es baja en sales. (Murphy, 2006). La eliminación de las sales por el movimiento del agua a través del suelo lleva a la dispersión de las arcillas cuando el total de sales solubles del suelo disminuye a menos de alrededor de 0.1 a 0.15 por ciento. Finalmente, el carbonato de sodio (Na_2CO_3), generalmente se presenta en suelos áridos, reacciona con el agua para formar iones de hidróxido (OH^-), aumentando el pH del suelo (Abrol et al 1988). El resultado final es el desarrollo de un subsuelo cada vez más impermeable (Bui *et al.* 1998; Indorante, 2006). De esta manera, las plantas son afectadas más por la pobre aireación del suelo y por la insuficiencia de calcio y magnesio que por los altos niveles de sodio.

Los suelos sódicos pueden ser productivos si se manejan apropiadamente, pero se encuentran entre los suelos áridos más difíciles de recuperar para propósitos agrícolas. La superficie tiende a formar una costra dura cuando se seca. Esto restringe la infiltración de agua e impide la emergencia de plántulas. El sellado de la superficie también hace que estos suelos sean susceptibles a la erosión, con la consiguiente pérdida de productividad de la tierra y la contaminación de vías fluviales. Además las arcillas dispersadas tienden a moverse hacia abajo en el perfil y formar un subsuelo denso e impermeable, que provoca el estancamiento del agua en la superficie y restringe el crecimiento de las raíces hacia abajo en el solum (Murphy, 2006). La susceptibilidad a la erosión significa que la capa densa e impermeable a menudo queda expuesta. Las arcillas dispersadas en el subsuelo son incluso más susceptibles a la erosión, de modo que tanto la erosión laminar como la erosión en cárcavas son comunes en estos suelos. Debido a esto, los suelos sódicos a menudo son los más apropiados para pastizales utilizando pastos nativos (Bui *et al.* 1998).

Los suelos salino-sódicos tienen características de los dos tipos de suelos arriba abordados. Ambos poseen una SAR elevada y exceso de acumulación de sales.

RECUPERACIÓN DE SUELOS

Suelos salinos: Tal como se indicó anteriormente los suelos salinos son teóricamente los más fáciles de recuperar. Hacer que estos suelos conduzcan al crecimiento de las plantas simplemente requiere de la eliminación del exceso de sales. Desafortunadamente, en términos prácticos, en la mayoría de las condiciones esto no es un proceso fácil de realizar. La eliminación de las sales requiere del uso de agua, y el suministro de agua en estas áreas generalmente contiene sales tomadas de los suelos en la cuenca hidrográfica. Así, a menos que exista disponibilidad de un suministro de agua de alta calidad, se deben tomar precauciones especiales para asegurar la eliminación de sales en vez de aumentar su acumulación. En general, el objetivo de la recuperación es eliminar la suficiente cantidad de sales de la zona radicular de la planta para que al menos sobrevivan y produzcan las plantas halofílicas.

Los suelos salinos pueden recuperarse a través de la combinación de riego y drenaje. El contenido de sales de un suelo generalmente se puede reducir si es posible realizar el drenaje del subsuelo. En algunos casos, el agua subterránea es lo suficientemente profunda y el subsuelo es lo suficientemente permeable para simplemente inundar el suelo con agua suficiente para sacar las sales de la zona radicular.

Si no es posible drenar el subsuelo, será necesario usar algún tipo de drenaje artificial del subsuelo. Esto último generalmente es una opción cara. En pequeña escala, se pueden construir camas elevadas con materiales porosos subyacentes para permitir drenaje. En mayor escala, puede ser posible cavar drenajes en la superficie lo suficientemente profundos como para que intersecten un manto freático somero y de esta manera eliminar el exceso de sales.

En cualquier caso, es necesario contar con un suministro de agua abundante. La Tabla 1 brinda estimados de las cantidades necesarias. A manera de ejemplo, digamos que queremos reducir la conductividad eléctrica (CE) del suelo de 8 a 4 milimhos/cm. Esto representa una reducción del 50 por ciento en sales, lo que hace necesario la aplicación

Tabla 1: Aplicación estimada de agua para lixiviar las sales. (Cardin *et. al.* 2007)

Porcentaje de reducción de sales	**Cantidad necesaria de agua**

de 15 centímetros de agua baja en sales. Esta cantidad de “15 cm” se refiere a la profundidad de agua que se necesita. Tal como se ilustra en el Cuadro 1 a continuación, el volumen real de agua a necesitarse depende del área de tierra sobre la cual se aplicará el agua. El Cuadro 1 a continuación ilustra cómo calcular la cantidad de agua necesaria para eliminar el 50% de las sales para una parcela de un metro por un metro de suelo.

50%	15 cm
80%	30 cm
90%	60 cm

En una escala mayor, se necesitarían 1.5 millones de litros de agua para el mismo grado de recuperación de una hectárea (150 litros por metro cuadrado x 10,000 metros cuadrados por hectárea). Hay que reconocer que, en la medida que el contenido de sales del agua aumenta, el volumen de agua necesaria aumenta en forma correspondiente. Obviamente, entonces, la meta debe ser simplemente eliminar las sales suficientes para permitir que las plantas que se desean crezcan y se conviertan en un cultivo. Para saber si la aplicación de agua ha eliminado o no suficientes sales para desarrollar ese cultivo, es necesario poder medir la salinidad del suelo (tal como se explica posteriormente en este documento). La lixiviación para recuperar suelos es más factible en suelos que drenan bien, en contraposición con los suelos ricos en arcillas que limitan la infiltración del agua.

Suelos sódicos: La recuperación de suelos sódicos es un proceso más difícil. En estos suelos el exceso de sales ya ha sido eliminado y el suelo ha desarrollado una SAR alta. El sodio ha remplazado a la mayoría o a todos los nutrientes (tales como calcio y magnesio) que se necesitan para el crecimiento de la planta. El suelo generalmente alcanzará una naturaleza alcalina con un pH igual o mayor que 9.0, y el subsuelo se volverá denso e impermeable.

Cuadro 1. Cómo calcular el volumen de agua necesario para eliminar el 50% de las sales de un área de suelo de un metro por un metro.

Dado que un mililitro es igual a 1 centímetro cúbico, es más fácil trabajar en centímetros.

Ya sabemos que toma 15 cm de agua eliminar el 50% de las sales en el suelo.

Dado que 1 metro es equivalente a 100 cm, entonces podemos hacer los siguientes cálculos:

Área = 100 cm (ancho) X 100 cm (largo) = 10,000 centímetros cuadrados

Volumen: 10,000 cm cuadrados (área) X 15 cm (profundidad) = 150,000 centímetros cúbicos
Esto es igual a 150,000 ml. Ya que hay 1000 ml en un litro, divida 150,000 ml entre 1000 para obtener 150 litros.

Así, toma 150 litros aplicar 15 cm de agua en un metro cuadrado de tierra.

Si el suelo no se ha vuelto completamente impermeable, y al menos se puede lograr una pequeña percolación de agua, generalmente es posible recuperar estos suelos. El proceso debe incluir el reemplazo del sodio por el calcio. El calcio sirve como un nutriente necesario de las plantas y hace que las partículas del suelo se unan, abriendo el suelo y aumentando la permeabilidad. Usualmente el yeso (sulfato de calcio dihidrato, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) se usa como fuente de calcio. El sodio en el suelo se reemplaza con el calcio y se lixivia como sulfato de sodio (Na_2SO_4). El sulfato también reduce la alcalinidad del suelo. La cantidad de yeso necesaria depende de la cantidad de sodio en el suelo (ver el Cuadro 2 para un ejemplo de cálculo). No añada una fuente de calcio como el yeso a un suelo salino que no sea sódico, ya que la cantidad extra de calcio solamente empeorará la condición de salinidad.

Cuadro 2.Un simple cálculo para determinar las necesidades de yeso de un suelo sódico.
(Adaptado de una publicación de la universidad estatal de Colorado, Extension Fact Sheet por Davis *et al*. 2007).

Un informe de análisis de laboratorio muestra que su suelo contiene lo siguiente:

- Capacidad de intercambio de cationes (CEC) = 18 centimoles de carga por kilogramo (cmolc/kg) de suelo (o 18 miliequivalentes/100 gramos).
- Tasa de adsorción de sodio (SAR) = 26

Suponga que la SAR es la misma que el porcentaje intercambiable de sodio (ESP por sus siglas en inglés), lo que significa que el ESP inicial es del 26%. También suponga que, para enmendar la capa superior de 30cms de una hectárea (ha) de suelo, se necesitan 3.81 toneladas métricas de yeso puro para reemplazar cada cmolc de sodio intercambiable presente por kg de suelo.

¿Cuánto yeso necesitaría usted aplicar a la capa superior de 30 cm (12 pulgadas) de duelo para reducir el ESP de 26% a 10%? Calcule la respuesta de la siguiente manera:

- Determine cuánto sodio intercambiable debe reemplazarse con calcio.

- ESP inicial – ESP deseado = ESP a reemplazarse con calcio
  26% - 10% = 16% de sodio intercambiable a reemplazarse con calcio

- Ahora determine cuántos cmolc de sodio por kg de suelo necesitan reemplazarse. Ya sabemos que 1 kg de nuestro suelo posee 18 cmolc de CEC, y que queremos reemplazar el 16% de sodio intercambiable con calcio.

- 16% X 18 cmolc/kg suelo = 2.88 cmolc de sodio por kg de suelo para reemplazar con calcio

- Luego, calcule cuántas toneladas métricas de yeso puro se necesitan para recuperar 30 cm de profundidad de suelo sódico en 1 hectárea, en base a la necesidad de reemplazar 2.88 cmolc de sodio por kg de suelo con calcio:

- 3.81 toneladas de yeso/cmolc sodio/kg suelo X 2.88 cmolc sodio/kg suelo para reemplazar = **10.9 toneladas/ha de yeso puro**

- Finalmente, ajuste la pureza del yeso. Si su yeso es un 60% puro, usted necesitará aplicar:
  10.9 toneladas métricas de yeso puro/0.6 = **toneladas métricas/ha de 60%-yeso puro**

NOTA: según Hanson (1993), alrededor de 1 acre-pie de agua disuelve 1 ton de yeso, esto es equivalente a 1,359,957 litros de agua necesarios para disolver 1 tonelada métrica de yeso.

Debido a su poca permeabilidad, la renovación de los suelos sódicos es un proceso lento. Algunas veces se puede acelerar incorporando materia orgánica o también aflojando la zona radicular. Sin embargo, el subsuelo sigue siendo lentamente permeable, de manera que se debe poner cuidado para no anegar la zona radicular. Qureshi y Barrett-Lennard (1998) indicaron que el estiércol de las granjas es especialmente beneficioso ya que mejora la estructura física del suelo a la vez que le suple de nutrientes a las plantas. También encontraron que el bagazo de los molinos de caña de azúcar es otra excelente fuente de materia orgánica para mejorar la condición física del suelo. El bagazo contiene azufre, que ayuda a acidificar el suelo.

MANEJO DE SUELOS

Idealmente, un programa de manejo llevaría a la recuperación del suelo tal como se describió antes. En términos prácticos, esto podría no ser económicamente factible, o podría ser imposible obtener los insumos necesarios. Por fortuna, se han desarrollado varias técnicas para eliminar las sales de las zonas aledañas a las raíces, permitiendo a los cultivos crecer en suelos salinos. A continuación se comparten algunas ideas. Se recomienda el libro de Qureshi y Barrett-Lennard's (1998) para encontrar una discusión más detallada sobre el manejo de los suelos salinos y sódicos.

Cultura de camas elevadas: Las camas elevadas pueden ayudar a minimizar los efectos del suelo salado. Aunque construirlas es una tarea intensiva en mano de obra y no muy factible para la producción en gran escala, pueden representar una solución ideal para un huerto casero o comercial en pequeña escala. La tierra para la cama puede elegirse de cualquier fuente; hay que usar el suelo con menor contenido de sales que esté disponible y mezclarlo bien con estiércol animal u otro material orgánico. Si los suelos del área son salinos, asegúrese de aislar la cama del suelo subyacente de alguna manera, para romper la continuidad capilar de manera que las sales ni migren del suelo subyacente hacia la cama. Se puede elaborar una división colocando una capa de grava gruesa o de ramas de árbol y maleza entre la tierra de la cama y la de la superficie del suelo. La cama debe ser regada en exceso periódicamente para lixiviar cualquier acumulación de sales contenidas en el agua que se usa para regar. Esto debe de hacerse solamente durante un período de barbecho porque, una vez que la capilaridad se interrumpe, el suelo de arriba tendrá que saturarse antes de que el agua se mueva por los poros más abiertos del material subyacente. Devkota *et al.* (2015) señalaron que el mulch en la superficie de las camas elevadas reduce la evaporación, reduciendo por lo tanto la deposición de sales en la parte superior de las camas elevadas.

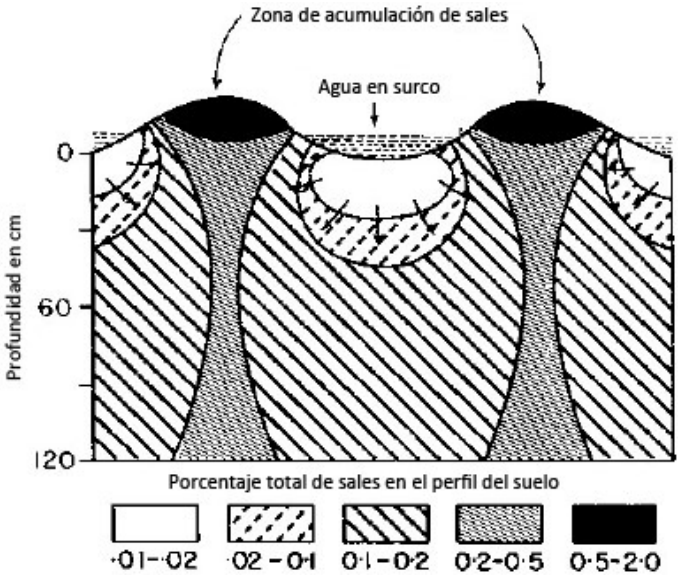
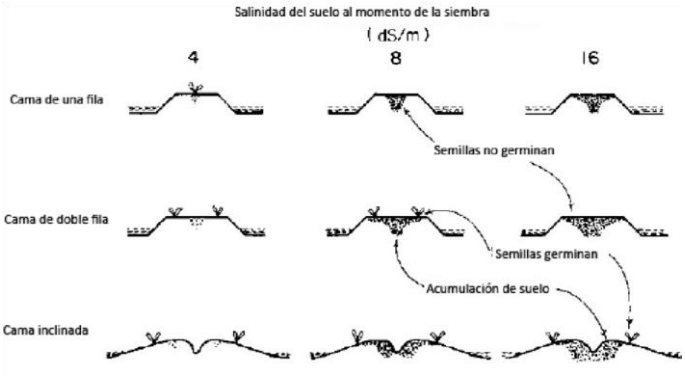


Figura 1: Dirección del flujo de sales y su acumulación en riego por

Control de sales en la zona radicular: Las plantas pueden colocarse estratégicamente para minimizar las concentraciones de sales cerca de las raíces. Un método posible se ilustra en la Figura 1. Cuando se usa riego por inundación en suelos no salinos, es común plantar el cultivo encima de un camellón, el cual permanece sin saturación mientras el agua se mueve a través de un surco. Sin embargo, esto se revierte cuando se riega por inundación un suelo salino. La capilaridad provoca que el agua se mueva del surco hacia el camellón, donde se evapora y deposita las sales que contiene. De esta manera, el contenido de sales

surco. (Abrol *et al*. 1988)

de la tierra en el surco disminuye, por lo que es aquí donde se siembra el cultivo. Colocar las semillas en esta zona de menor concentración de sales ayuda a la germinación de la planta, la cual es generalmente más sensible al contenido de sales en el suelo.



La desventaja de este método es que, durante e inmediatamente después del riego el suelo del surco estará saturado de agua. Si bien algunas plantas pueden resistir cortos períodos de saturación, otras no. Las semillas y las plántulas pueden ser especialmente susceptibles al encharcamiento. Para resolver este problema el método de riego por surcos puede modificarse sembrando las semillas en filas sencillas / dobles en el borde del camellón o en los lados inclinados del mismo. El diseño exacto dependerá en la sensibilidad de las plántulas y del contenido de sales del suelo. La Figura 2 presenta tres diseños que pueden usarse en áreas de contenido creciente de sales. Tal como se ilustró, las semillas germinarán solamente cuando se coloquen de manera que eviten la acumulación excesiva de sales a su alrededor.

Figura 2: El patrón de acumulación de sales depende de la forma de la cama y del método de riego. (Bernstein *et al*. 1955)

Devkota *et al* (2015) probó una estrategia de riego alternativo por surcos para "empujar" las sales desde el lado regado del surco (donde se encuentran las plantas) hacia el lado seco y no sembrado de cada cama (Figura 3). En este enfoque, normalmente se mantiene seco un surco de por medio (no se aplica riego), sin embargo, los surcos "secos" pueden regarse de vez en cuando en la medida que se vuelva necesario lixiviar las sales que se hayan acumulado en los lados secos

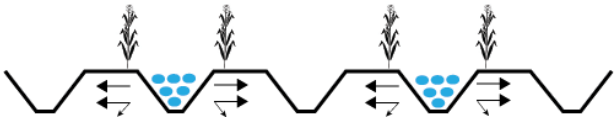


Figura 3: Ilustración de "riego permanente por surcos intercalados", un enfoque de cama elevada para minimizar la exposición de las raíces a altos niveles de sales. Las flechas indican la dirección del movimiento de las sales en respuesta al riego por surcos de las camas intercalados. Los surcos regados se indican con puntos azules, los surcos sin puntos son los que se mantienen secos. (Adaptado de Devkota *et al.* 2015)

Raspado de las superficies: En los suelos salinos, las sales usualmente se acumularán en la superficie durante los períodos de alta evaporación. Si la acumulación es suficiente para formar costras de sales, se puede reducir el contenido de sales del suelo simplemente eliminando la costra. Sin embargo, este método tiene algunas desventajas. Al eliminar la costra también se eliminan algunos nutrientes de la planta, de manera que una eliminación frecuente sin reponer los nutrientes disminuye la fertilidad del suelo. La eliminación del material de costras también puede representar un problema, ya que las sales contaminarán el área donde se coloquen y aumentarán más la salinidad del agua subterránea subyacente y de los suministros cercanos de agua superficial.

MANEJO DE LAS PLANTAS

La sección anterior compartió maneras de disminuir el contenido de sales del suelo de forma suficiente para sembrar cultivos deseados. Otro enfoque es plantar cultivos que puedan crecer exitosamente y producir en suelos ricos en sales. Cada especie y variedad de planta crece de mejor manera dentro de un rango de humedad del suelo, fertilidad, luz solar, materiales potencialmente tóxicos, y salinidad. Entender estos parámetros y los requisitos para un cultivo determinado es importante tanto para el manejo del suelo como para la elección del cultivo.

Halófitos: Unas cuantas especies de plantas (llamadas halófitas) realmente crecen mejor en condiciones salinas. Algunos han sugerido que las halófitas con valor económico pueden incluso utilizarse para revertir el proceso de salinización y recuperar suelos donde las técnicas de manejo no son factibles (Diatta *et al*. 2000).

Quínoa

Rao y Shahid (2007) señalan que, por ejemplo, la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), puede germinar en una mezcla de 1/3 de agua de mar y 2/3 de agua dulce. También reportaron que esta planta puede cultivarse en arena bajo condiciones extremadamente secas, con precipitaciones tan pocas como 200 mm. Nativa de los Andes de Bolivia, Chile y Perú la quínoa es uno de los pocos cultivos cultivados en las camas de sal del sur de Bolivia y el norte de Chile. La semilla de la quinoa es un alimento altamente nutritivo con contenido proteico y calidad que a menudo supera los de cereales de granos más conocidos.

Salicornia

Otra halófita que vale la pena mencionar es un arbusto perenne y de baja altura conocido comúnmente como salicornia (*Batis maritima* L.; Figura 4). Encontrada principalmente en las costas tropicales y subtropicales de las Américas, la salicornia se desarrolla bien en marismas o lagunas saladas o salobres (mezcla de agua salada y dulce) en los litorales (CABI datasheet). Aunque en Hawái se considera una maleza invasora, se ha usado para recuperar áreas salinas costeras donde pocas plantas pueden crecer. La salicornia cubre y protege el suelo de la erosión sirviendo como un cultivo pionero que ayuda a restablecer manglares destruidos por tormentas. Sus semillas comestibles son una rica fuente de proteína y aceite saludables (Marcon 2003).



Figura 4: Plantas de Salicornia (*Batis maritima*). Foto de Forest y Kim Starr, Servicio Geológico de Estados Unidos. Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Batis_maritima_male.jpg

Pastos salinos

También se pueden usar pastos salinos (de la especie *Distichlis*, como la *spicata*) para la recuperación de suelos ya que tienden a acumular las sales en la superficie de las hojas. El descubrimiento de un concepto de "fotohalosíntesis" (Biel y Yensen 2006), que involucra el almacenamiento de energía sin el uso de clorofila podría incentivar a los fitogenetistas a desarrollar líneas con un aumento de eficiencia en la acumulación de sales. El uso de dichas sales podría convertir un suelo marginalmente productivo en un suelo fértil y aireado. La *Distichlis spicata* también se usa como forraje para el ganado (Lymbery *et al*. 2013).

Cultivos de campo: Las plantas de cultivo difieren grandemente en cuanto a su capacidad de sobrevivir y tener un rendimiento satisfactorio cuando crecen en suelos salinos. Es importante contar con información sobre la tolerancia relativa de los cultivos a un ambiente de suelos salinos al planificar calendarios de siembre para obtener resultados óptimos. Algunas veces los productores tienen que vivir con problemas de salinidad, por ejemplo, cuando el agua salina es su única fuente de agua para riego. En otras situaciones, donde existe agua de buena calidad disponible para la recuperación de suelos salinos, puede ser económicamente ventajoso sembrar cultivos simultáneamente con los esfuerzos de recuperación (Abrol *et al*. 1988).

Arroz

El arroz (*Oryza sativa*) es el grano más extensamente cultivado donde hay agua disponible. Si bien el arroz es moderadamente sensible a los altos contenidos de sales, cultivarlo con una capa de agua de poca profundidad en el campo diluye las sales en el suelo y cualquier drenaje en el suelo elimina las sales de la zona radicular. De esta forma, el arroz sobrevivirá y producirá en suelos afectados por sales donde otras plantas igualmente sensibles no lo harían.

El arroz está particularmente bien adaptado pasa su uso en suelos sódicos y a menudo se usa en recuperación (Abrol *et al.* 1988). La muy baja permeabilidad de estos suelos es una ventaja cuando se cultiva arroz, ya que la reducción de la pérdida de agua ayuda a mantener agua en el campo. Si bien el movimiento hacia abajo del agua a través del perfil del suelo se minimiza, siempre ocurre algo de percolación, lo cual reduce la SAR al eliminar el sodio intercambiable (no ligado a las superficies de la partícula de suelo) de la superficie del suelo. Además, bajo condiciones de inundación, el pH del suelo tiende disminuir del rango alcalino hasta casi neutro (pH 7.0). Esto ha sido atribuido, al menos en parte, a un aumento en el dióxido de carbono (CO_2) en el suelo generado por la respiración de las raíces de las plantas y la vida microbiana. El movimiento de CO_2 desde el suelo hacia el aire es restringido por la capa de agua existente sobre el suelo, de manera que se acumula sobre el suelo ayudando a reducir el pH.

El cultivo del arroz también es beneficioso para la recuperación de los suelos salinos. La recuperación requiere que las sales solubles del perfil se lixivien y se drenen, pero el agua de buena calidad a menudo es escasa en las regiones áridas. La lixiviación sola por períodos prolongados de tiempo no es factible ni justificable, de manera que el arroz—que es moderadamente tolerante a las sales---puede cultivarse convenientemente para obtener el beneficio de un cultivo a la vez que se rehabilita el suelo. Aún en los suelos con bajas tasas de infiltración, suficiente agua (100 a 200 mm en una sola temporada) se mueve a través del suelo para lixiviar las sales.

Donde la intrusión de sales es un problema, como en las áreas costeras impactadas por los huracanes, hasta el arroz es difícil de cultivar. Los científicos del *International Rice Research Institute* (IRRI; www.irri.org) han desarrollado y liberado variedades de arroz tolerantes a las sales que pueden encontrarse disponibles en algunos países.

Sorgo

El grano del sorgo (*Sorghum* spp.) es moderadamente tolerante a las sales y se produce bien en sitios secos. Es uno de los cultivos de grano más importantes del mundo, especialmente en África. Es muy conocido entre los productores de subsistencia en las regiones

tropicales propensas a la sequía. El género contiene varias especies de grano de sorgo, apropiadas para los climas y gustos de distintas áreas áridas del trópico.

Mijo

Mijo es un nombre dado a una variedad de plantas, siendo los más comunes *Pennisetum glaucum* (mijo perla), *Setaria italica* (mijo cola de zorro), *Panicum miliaceum* (mijo proso), y *Eleusine coracana* (mijo dedo). Todos son moderadamente tolerantes a las sales y se producen bien en áreas áridas.

Trigo

El trigo (*Triticum* spp.) también es tolerante a las sales pero necesita algo más de agua para la producción. Las áreas semiáridas son tal vez las más apropiadas para este cultivo de granos. El trigo Durham (*T. durham*) es probablemente el más tolerante del grupo a sales.

Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*) es bastante tolerante a altas concentraciones de sales y no necesita de una gran cantidad de agua. Debido a que crece mejor bajo condiciones frías no es ideal para el trópico excepto en grandes altitudes.

Aunque cualquiera de estos granos puede considerarse para su cultivo en suelos afectados por sales, la tolerancia a las condiciones salinas o sódicas no es una propiedad establecida. Variará con el estado de desarrollo de una planta, así como también por las condiciones climáticas. La tolerancia también puede variar dentro de la misma especie. De igual importancia, la pendiente de una relación de respuesta (en este caso, la disminución en el rendimiento en la medida que aumenta la salinidad) diferirá para distintas plantas. En unos pocos casos, como el del maní y la soya sensibles a las sales (Figura 5), la caída en el rendimiento con el aumento de la salinidad es muy rápida. Por el contrario, con un aumento de salinidad, la productividad de la caña de azúcar disminuye con menor rapidez que la de la soya, aún cuando el rendimiento comienza a disminuir a un menor nivel de salinidad para la caña de azúcar que para la soya.

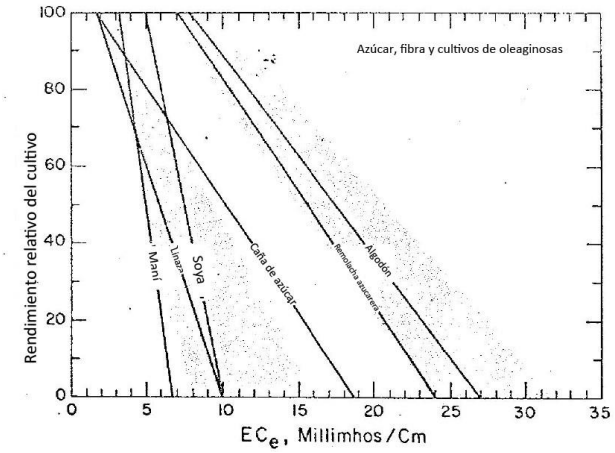


Figura 5: Tolerancia a la salinidad de diferentes cultivos. (Maas and Hoffman 1976)

Las Tablas 2 y 3 muestran el nivel de salinidad del suelo en el cual el estrés en distintas plantas comienza a causar una disminución en el rendimiento. Las tablas también indican la tasa a la cual disminuye el rendimiento de un cultivo con mayores aumentos en la salinidad. Como puede observarse, la relación varía ampliamente con los distintos tipos de cultivo. Si bien muchos cultivos de campo son tolerantes o moderadamente tolerantes a los niveles de salinidad del suelo, eso no sucede con las hortalizas. Muy pocas plantas que normalmente se cultivan en un huerto casero son ni siquiera moderadamente tolerantes a niveles elevados de salinidad. Sin embargo, tal y como se explicó previamente, el cultivo de hortalizas es muy apropiado para el uso de camas elevadas, cuyos suelos son mejorados más fácilmente con la incorporación de materia orgánica así como también por la eliminación de sales a través de la lixiviación.

Tabla 2: Tolerancia a las sales por distintos cultivos de campo y hortalizas (Maas and Grattan 1999).

	Umbral de salinidad máxima del sin pérdida de rendimiento	Salinidad máxima del agua que suelo puede utilizarse sin reducción en el rendimiento* (dS/m)	Pendiente (% reducción en el rendimiento por unidad de aumento de dS/m)
Cultivos de campo tolerantes a sales			
Algodón	7.7	5.1	5.2
Trigo	6.0	4.0	7.1
Cebada	8.0	5.3	5.0
Remolacha azucarera	7.0	4.7	5.9
Canola (*B. napus*)	11.0	7.3	13
Canola (*B. campestris*)	9.7	6.5	14
Hortalizas moderadamente tolerantes			
Alcachofa	6.1	4.1	11.5
Espárrago	4.1	2.7	2.0
Remolacha roja	4.0	2.7	9.0
Zucchini	4.9	3.3	10.5
Verdolaga	6.3	4.2	9.6
Hortalizas moderadamente sensibles			
Ajo	3.9	2.6	14.3
Guisante	3.4	2.3	10.6

* supone una fracción de lixiviación de 15-20%; adaptado de Maas y Hoffman (1977) y Maas (1984b) [encontrado en: Ayers y Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture, Estudio FAO Riego y Drenaje 29, Rev. 1, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma].

Tabla 3: Tolerancia relativa de las hortalizas a las sales (Maynard *et al.* 1997; Maas 1984a).

Hortaliza	Umbral máximo de salinidad del suelo sin pérdida en rendimiento (dS/m)	Disminución en el rendimiento en salinidades del suelo por encima del umbral (% por dS/m)
Cultivos sensibles		
Frijol	1.0	19
Zanahoria	1.0	14
Fresa	1.0	33
Cebolla	1.2	16
Moderadamente sensibles		
Nabo	0.9	9
Rábano	1.2	13
Lechuga	1.3	13
Pimienta	1.5	14
Batata	1.5	11
Haba	1.6	10

Maíz	1.7	12
Papa	1.7	12
Repollo	1.8	10
Apio	1.8	6
Espinaca	2.0	8
Pepino	2.5	13
Tomate	2.5	10
Brócoli	2.8	9
Calabaza, ondulada	3.2	16

Forrajes: La mayoría de los productores de subsistencia poseen al menos unos cuantos animales para los cuales hay necesidad de cultivar forraje. Como se señaló anteriormente, tanto los géneros de mijo como de Sorghum son tolerantes a los suelos con alto contenido de sales y varias especies son bien apropiadas para forraje. Un estudio de 42 variedades de mijo perla y de 49 variedades de sorgo mostró una amplia variabilidad en la resistencia a los efectos de una alta salinidad (15 dS/m EC). Hubo una diferencia de aproximadamente el 200% en el peso seco entre las variedades menos y más sensibles de mijo perla y una diferencia de aproximadamente el 700% entre las variedades menos y más sensibles de sorgo (ICRISAT 2002).

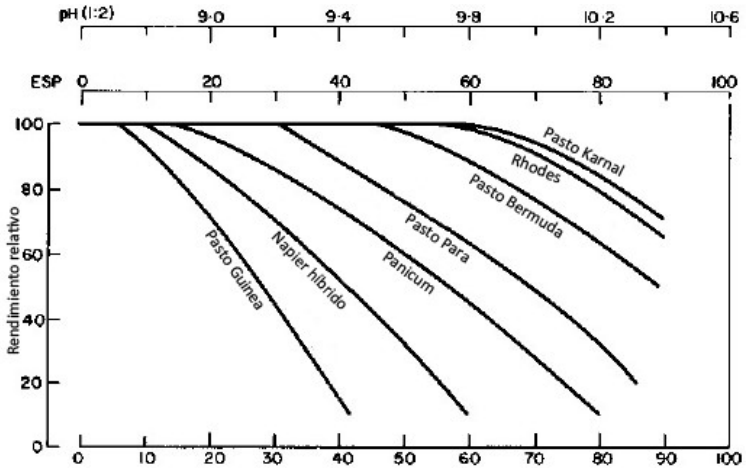


Figura 6: Tolerancia relativa de varios pastos al sodio intercambiable (ESP). (Abrol *et al.* 1988)

Tal como observa Abrol *et al*. (1988), los pastos son generalmente más tolerantes a las condiciones de sodio que los cultivos de campo. El pasto karnal (*Diplachne fusca*), el Rhodes (*Chloris gayana*), y el para (*Brachiaria mutica*) son altamente tolerantes a los suelos sódicos. El pasto karnal se desarrolla y rinde extremadamente bien en suelos muy sódicos (ESP de 80 a 90), aún cuando no se aplica enmienda. El pasto Rhodes también rinde muy bien. Además los pastos harnal y para son altamente tolerantes a condiciones de agua estancada, las cuales son típicas en suelos sódicos durante la estación lluviosa y después del riego.

Cuando se cultivan pastos en suelos sódicos, con el tiempo se produce un decrecimiento continuo en el nivel de sodio del suelo, y un mejoramiento en las propiedades físicas del suelo debido a la acción biológica de las raíces del pasto. De esta manera, además de proporcionar el muy necesario forraje, el cultivo de pastos tolerantes mejora los suelos a través del aumento en la absorción del agua de lluvia, la reducción de escorrentías y menor pérdida de suelo debido a la erosión. La Figura 6 describe la relativa tolerancia al sodio intercambiable de unos cuantos pastos seleccionados.

MEDICIÓN DE LA SALINIDAD DEL SUELO

Opciones de instrumentos:

A continuación se mencionan tres tipos potenciales de medidores, que también se ilustran en la Figura 7:

- Un medidor de banco de laboratorio de nivel de investigación equipado con un electrodo para medir la CE.
- Un medidor manual de CE.
- Un multímetro ohm/volt portátil de bajo costo.

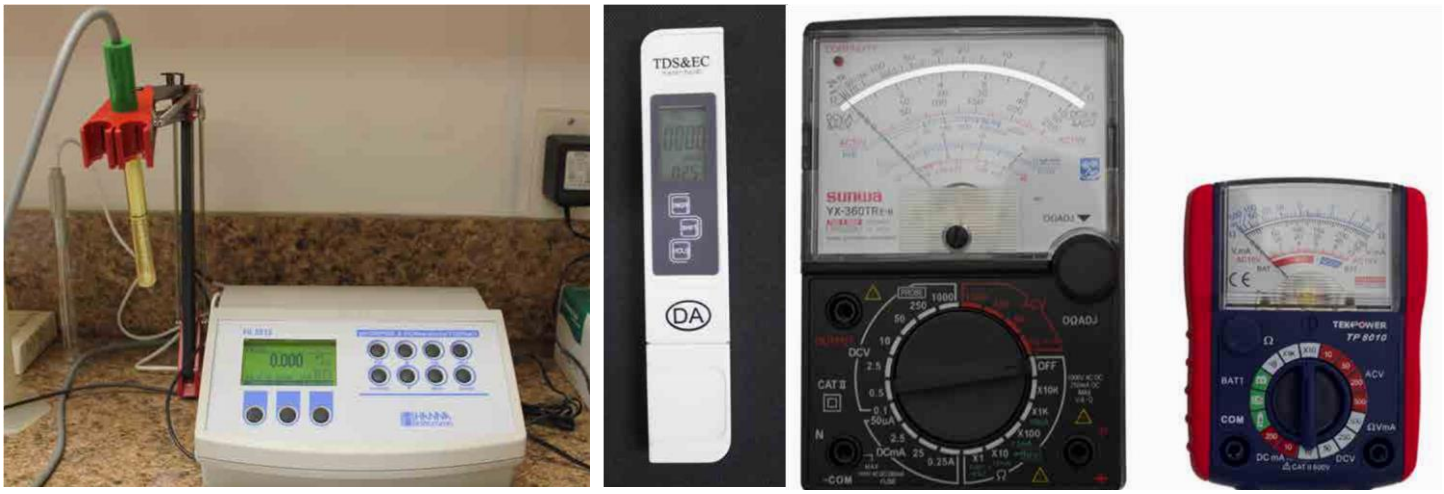


Figura 7: Instrumentos para medir la salinidad. Aquí se muestran medidores de conductividad eléctrica de laboratorio (izquierda) y manuales (centro), así como también multímetros ohm/volt (derecha). *Fuente: Tim Motis*

Los medidores de CE de banco de laboratorio y manuales a menudo muestran tanto la CE como el total de unidades de sólidos disueltos (TDS por sus siglas en inglés; la palabra "sólidos" aquí se refiere a los minerales disueltos), mostrando el TDS en partes por millón (ppm o mg/L). ambas unidades son indicadores de las cantidades de sales. En la mayoría de condiciones (para CE entre 0.1 y 5.0 dS/m) la fórmula para convertir TDS a CE es la siguiente:

TDS (en ppm o en mg/L) = CE (en dS/m) X 640

Así,

1 dS/m = 640 ppm (o mg/L)

En términos de costo, un medidor de banco de CE de nivel de investigación es la opción más cara (más de USD 400). Los medidores manuales de CE/TDS y los multímetros ohm/volt pueden comprarse por USD 25 o aún menos. Aunque son menos exactos que los medidores CE/TDS, los multímetros ohm/volt son probablemente los más accesibles en áreas donde vive la mayoría de pequeños productores.

Recolección de muestras de suelo: Debido que las plántulas son más sensible al daño causado por sales, trate de recolectar tierra a nivel de la profundidad en la cual se sembrará la semilla. No incluya ninguna superficie de costra de sal que pueda haber presente. En la mayoría de suelos "salinos" la muestra estará suelta, pero desbarate cualquier agregado o terrones de arcilla que pueda encontrar.

Coloque la tierra en un contenedor limpio, seco y no metálico (p.ej., plástico, vidrio o cerámica). Añada agua sin sales hasta que pueda observar agua brillando en la superficie, pero no sobre la superficie. Es mejor usar agua destilada, pero el agua de lluvia es aceptable. Puede que sea necesario añadir un poco más de agua luego de que la tierra haya absorbido la humedad inicial. Usted ha creado con esto una condición de suelo saturado. Luego de un breve período de equilibrio - no les tomará mucho tiempo disolverse a las sales comunes, por lo que 10 minutos deberán ser suficientes - mida la conductividad del suelo.

Ciertos medidores de CE portátiles (p.ej., los Field Scout) están diseñados para tomar lecturas directamente en suelo saturado (Scoggins y Iersel 2006), pero son bastante caros. Los multímetros ohm/volt son mucho más baratos y las puntas de la sonda pueden insertarse directamente en el suelo. Independientemente del medidor, asegúrese de tomar medidas en suelos saturados o casi saturados, ya que la CE en un suelo no saturado puede ser más un reflejo de la humedad del suelo que de sales solubles. Esto se debe a que el suelo húmedo conduce la electricidad mejor que el suelo seco. Cuando se mide la salinidad directamente en el campo o en el huerto, vierta agua sin sales en el suelo y luego inserte la sonda del medidor en el suelo humedecido.

Toma de lecturas de salinidad con un medidor ohm/volt

Dado el bajo costo y la disponibilidad de los multímetros ohm/volt, nosotros (Tim Motis y Bob Harter) probamos qué tan bien medía la salinidad un medidor multímetro ordinario. Encontramos que el medidor funciona bien para evaluar si la salinidad del suelo es baja o alta. En nuestra experiencia, es más fácil trabajar con los medidores análogos que con los digitales. Las configuraciones de ohmios en los medidores análogos se prestan muy bien para convertir ohmios a CE, y los medidores digitales algunas veces no pudieron registrar una lectura con los cables colocados en suelo líquido húmedo. Seleccione un medidor análogo con una configuración "X10" y la pantalla más ancha posible. Los medidores más pequeños con pantallas estrechas también pueden funcionar, pero los números tienen poco espacio entre ellos y es más difícil leerlos.



Figura 8: Aguja colocada sobre infinito con el medidor

Una vez que cuente con un medidor y tenga preparada una muestra de suelo (tal sin usar o apagado. El ajustador de cero, tal como como se describió en la sección anterior), tome una lectura de la siguiente manera: lo muestra la flecha, puede girarse para ajustar la posición de la aguja. *Fuente: Tim Motis* **Paso 1:** Prepare el medidor para usarlo.

○ Asegúrese de que la batería dentro del medidor sea nueva y esté cargada, ya que la exactitud se reduce con baterías descargadas. Algunos medidores tienen más de una batería.

○ Con el medidor apagado, o no en uso, asegúrese de que la aguja esté sobre el símbolo de infinito (∞) al lado izquierdo de la escala (Figura 8). Si no es así, use un destornillador plano para girar suavemente el tornillo ajustador de cero para mover el indicador hasta el símbolo de infinito. Este ajuste no debería de realizarse muy a menudo.

○ Asegúrese de que los cables de la sonda estén limpias (sin corrosión en las puntas) y conéctelos al medidor. Haga esto insertando el cable rojo en la toma positiva del medidor, y la sonda negra en la toma negativa (algunas veces están etiquetadas como COM) (Figura 9).



Figura 9: Los cables conectados al medidor fijado en



Paso 2: Ajuste el multímetro X10 ohmios. *Fuente: Tim Motis* en resistencia, tal y como se muestra con el símbolo de ohmios, Ω. Mueva el dial para seleccionar "X10" ohmios (Figura 9).

Paso 3: Coloque en cero el medidor tocando las puntas de los cables rojo y negro (Figura 10). Con las puntas de los cables en contacto, gire la perilla de control de cero hasta que la aguja se coloque sobre cero, al lado derecho de la escala.

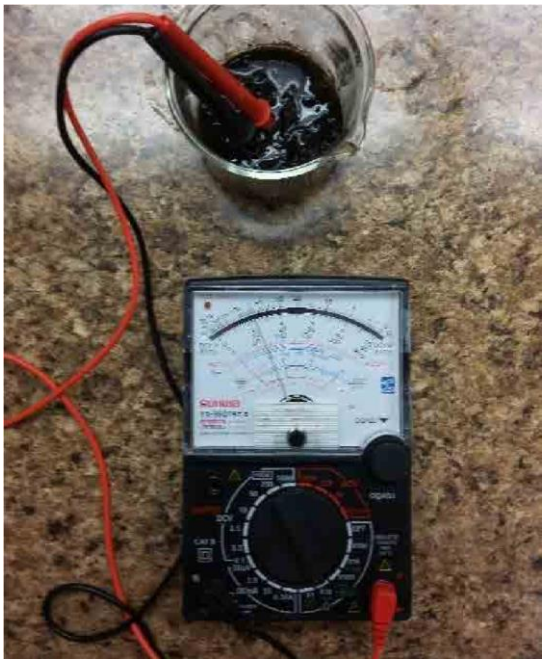


Figura 10: Aguja fijada en cero (derecha) girando la perilla de control de cero (ver flecha) mientras se juntan las puntas de los cables rojo y negro. *Fuente:* **Paso 4:** Tome una lectura

Tim Motis colocando las puntas de sonda con una separación de 1 cm en la muestra de suelo saturado (Figura 11). La distancia exacta entre las puntas no es clave ya que en un suelo saturado la CE sólo varía mínimamente con espacio entre las sondas. Observe el número en la escala de ohmios (generalmente colocado en la parte superior de la pantalla) indicado por la aguja (Figura 12). Con el medidor colocado en X10, el número de ohmios indicado en la escala del medidor debe multiplicarse por 10. Por ejemplo, si a X10 la aguja se coloca en 100 sobre la escala **Figura 11:** Lectura siendo tomada con un multímetro de ohmios, el número real de ohmios es 100 x 10 o 1000. ohm/volt. *Fuente: Tim Motis*



Paso 5: Convertir la resistencia medida (ohmios) a conductividad calculando primeramente el inverso de ohmios. Continuando con el ejemplo anterior, el inverso de 1000 ohmio s es 1/1000. De esta manera, 1000 ohmios son equivalentes a 0.001 mhos. Debido a que los cables están a 1 cm de distancia suponga que la medida es realmente mhos/cm. Multiplique mhos/cm por 1000 para convertir a dS/m. Entonces, una medida de 0.001 mhos es equivalente a 0.001 x 1000 o 1 dS/m. Ver en la Tabla 4 un listado de los incrementos de ohmios en un multímetro, con la resistencia (ohmios) ya convertida a unidades de conductividad (mhos, µS, o dS).

Figura 12: Escala de medidor de un multímetro *¿Qué significan las lecturas de resistencia con un medidor de ohmios?* ohm/volt. La escala de ohmios (Ω) está en la parte superior. *Fuente: Tim Motis* La Tabla 4 muestra un rango de valores de resistencia mostrados en muchos medidores ohm/volt. Para cada valor de resistencia mostrado se dan los valores correspondientes de conductividad. Observe que a mayor resistencia, menor la conductividad. Esto significa que, en un medidor ohm/volt fijado a X10 ohmios, la salinidad es probablemente mínima si la aguja se coloca en un valor de resistencia de 1k (1000 ohmios) o mayor (hacia la izquierda, aproximándose al infinito). Si la aguja se coloca en un valor de 50 o menos ohmios, la salinidad podría ser un limitante para la mayoría de las hortalizas descritas en la Tabla 3 como moderadamente sensibles.

Tabla 4. Unidades de resistencia (ohmios) en un medidor análogo ohm/volt convertidas a mhos (inverso de ohmios) y unidades de conductividad eléctrica (CE) (micro Siemens/cm [µS/cm] y deci Siemens/m [dS/m]) comúnmente usadas para indicar la salinidad del agua de riego o del suelo. Observe que 1 dS/m es lo mismo que 1 milimho/cm.

Resistencia		Conductividad			
Ohmios mostrados en la escala del medidor (Ω)	Ohmios reales fijados en X10 (Ω X 10)	Mhos/cm	EC (µS/cm)	EC (dS/m)	Tolerancia de las hortalizas*
3k (3000)	30000	0.0000333	33.3	0.03	Rango de salinidad del suelo en el cual los cultivos sensibles como los frijoles crecerán sin pérdida de rendimiento.
2k (2000)	20000	0.0000500	50.0	0.05	
1k (1000)	10000	0.0001000	100.0	0.10	
500	5000	0.0002000	200.0	0.20	
400	4000	0.0002500	250.0	0.25	
300	3000	0.0003333	333.3	0.33	
250	2500	0.0004000	400.0	0.40	
200	2000	0.0005000	500.0	0.50	
180	1800	0.0005556	555.6	0.56	
160	1600	0.0006250	625.0	0.63	
140	1400	0.0007143	714.3	0.71	
120	1200	0.0008333	833.3	0.83	
100	1000	0.0010000	1000.0	1.00	
90	900	0.0011111	1111.1	1.11	Rango de salinidad del suelo en el cual los cultivos moderadamente sensibles como el tomate crecerán sin pérdida de rendimiento.
80	800	0.0012500	1250.0	1.25	
70	700	0.0014286	1428.6	1.43	
60	600	0.0016667	1666.7	1.67	
50	500	0.0020000	2000.0	2.00	
40	400	0.0025000	2500.0	2.50	

30	300	0.0033333	3333.3	3.33	
20	200	0.0050000	5000.0	5.00	**
10	100	0.0100000	10000.0	10.00	
5	50	0.0200000	20000.0	20.00	
*Ver Tabla 3					
**Los cultivos moderadamente tolerantes como la calabaza pueden tolerar hasta 4.7 dS/m sin pérdidas de rendimiento. Pocas hortalizas tolerarían por encima de los 5 dS/m de salinidad del suelo sin presentar al menos alguna pérdida de rendimiento. El agua de mar tiene una salinidad de por encima de los 40 dS/m.					

¿Cuán exacto es el multímetro ohm/volt?

Para probar la exactitud de un multímetro ohm/volt, añadimos cloruro de sodio (*Morton's Canning and Pickling Salt*) a agua desionizada para preparar soluciones con concentraciones conocidas de sales. Luego medimos la salinidad de esas soluciones con un medidor de CE de laboratorio (Hanna Instruments [HI3512-01]) y con un multímetro (Sunwa YX-360TRE-B). Los resultados se muestran en la Figura 13. Observe que, en la medida que la concentración de salinidad aumentaba, la exactitud del multímetro disminuía. Un multímetro tiende a subestimar la salinidad a mayores concentraciones de sales debido a la influencia de la corriente directa (usada por el multímetro) en los iones en solución. En cambio, el medidor de CE usa corriente alterna. No obstante, hasta cerca de 2 dS/m, lecturas tomadas con el multímetro usado en el experimento se compararon muy bien con las tomadas con un medidor de CE de laboratorio. Los resultados mostraron que un multímetro puede ser útil en determinar si la salinidad de un suelo es baja o alta para la mayoría de las hortalizas.

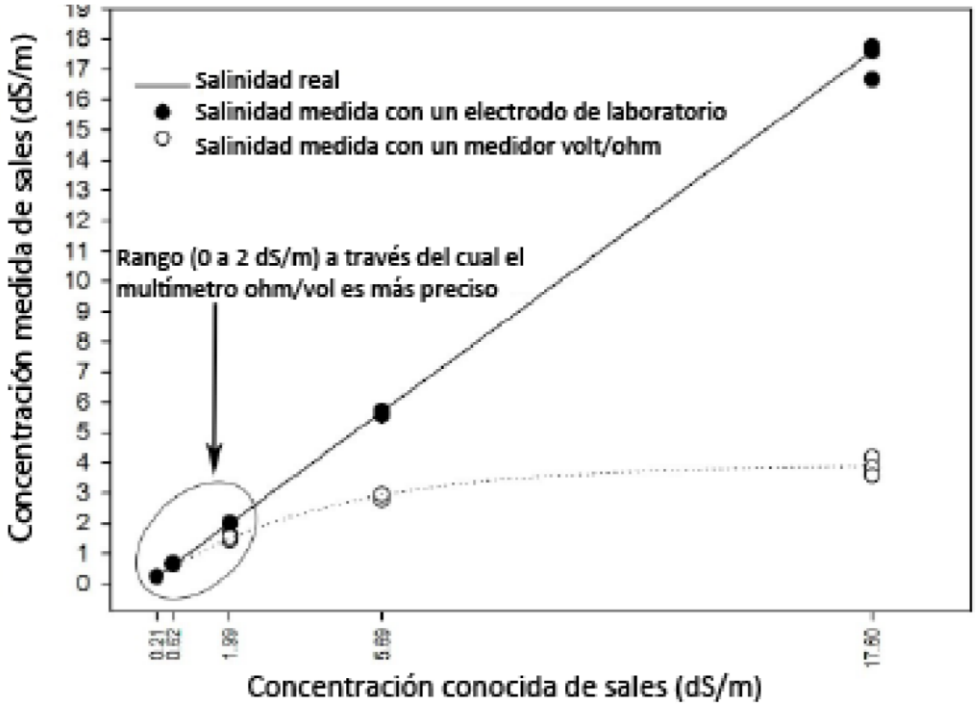


Figura 13: Exactitud de las medidas de salinidad, con aumentos de concentraciones conocidas de sales, usando un multímetro ohm/volt análogo versus un medidor de CE de laboratorio. Las concentraciones de sales medidas y conocidas se expresan como conductividad eléctrica [EC] en deci Siemens/metros [dS/m]). La conductividad eléctrica (CE) de cada una de cinco soluciones de cloruro de sodio (con concentraciones conocidas de sales) fue medida cinco veces con cada medidor. Para medir la CE con el medidor ohm/volt, se fijó un medidor análogo en X10 ohmios con el valor de resistencia resultante (ohmios) multiplicado por 10 y luego convertido a dS/m.

Toma de lectura con medidores de CE

Si se necesita una mayor precisión y exactitud, use un medidor de CE, o envíe una muestra de suelo a un laboratorio. Cualquier medidor de CE vendrá con instrucciones sobre cómo tomar una lectura. No todos estos medidores están diseñados para tomar medidas en una pasta de suelo, ya que las partículas de tierra podrían dañar el sensor o el electrodo. Si el sensor de un medidor no está diseñado para ser insertado en el suelo, en vez de eso usted puede tomar una lectura en agua que haya sido filtrada a través de la muestra de suelo de la siguiente manera:

Paso 1: Pese 20 gr de tierra secada al aire y colóquela en un contenedor limpio, no metálico.

Paso 2: Añada 20 mililitros (ml) de agua destilada o desionizada a la tierra que resulte en una solución que sea 1 parte de tierra y 1 parte de agua. Algunos protocolos requieren de una solución que sea 1 parte tierra y dos partes de agua, en cuyo caso usted añadiría 40 ml de agua.

Paso 3: Mezcle la tierra con el agua. Esto puede hacerse cubriendo la tapa del contenedor y agitando el contenido.

Paso 4: Vierta el agua a través de un filtro de papel (p.ej., un filtro de papel para café). El agua que pase a través de éste debe estar bastante clara.

Paso 5: Coloque la sonda del sensor del medidor dentro del agua filtrada y registre la lectura.

Paso 6: Consulte guías, tales como la Tabla 5 mostrada anteriormente, para evaluar la salinidad indicada por su lectura. Puede que sea necesario convertir mg/L (ppm) o µS/cm a dS/m, dependiendo de las unidades mostradas en la tabla que usted esté usando para interpretar resultados.

CONCLUSIÓN

El exceso de sales en el suelo limita el crecimiento del cultivo al interferir con la absorción de agua. Este problema es más común en las regiones secas, pero también existe en las áreas costeras afectadas por la intrusión de sal. Entender las causas subyacentes de las condiciones salinas y sódicas, tal como se explica en esta nota técnica, ayudará a los productores a seleccionar prácticas que les puedan permitir continuar produciendo cultivos alimentarios en suelos afectados por sales. Las prácticas que los productores pueden implementar más fácilmente, aún si estos no tienen acceso a agua libre de sales incluyen: 1) desarrollar cultivos tolerantes a sales y 2) sembrar las semillas en surcos o en camas elevadas para evitar la acumulación de sales alrededor de las semillas y en la zona radicular de las plantas resultantes.

Si usted cree que su suelo podría ser salino pero no está seguro, siga unos cuantos simples pasos para recolectar una muestra de tierra que pueda usarse para evaluar la salinidad. Los instrumentos para medir la salinidad varían en exactitud y costo. Un multímetro ohm/volt de bajo costo y generalmente disponible puede dar una idea general de si las sales en un suelo dado son bajas o altas para cultivos más sensibles como las hortalizas.

Las secciones de apéndice y referencias a continuación son útiles para realizar un estudio más a profundidad. Mucha de la literatura a la que se hace referencia en la sección de bibliografía de este documento puede encontrarse en internet.

APÉNDICE I

GLOSARIO DE TÉRMINOS ÚTILES

Conductividad eléctrica (CE): Conductividad de la electricidad a través del agua o de un extracto de tierra. En los suelos afectados por sales, la CE se mide normalmente en un extracto de saturación (muestra de tierra saturada con agua).

Evapotranspiración: La suma de pérdida directa de agua desde las superficies del suelo (a través de la evaporación) y desde las plantas (a través de la transpiración).

Porcentaje intercambiable de sodio: El porcentaje intercambiable de cationes conformados por sodio intercambiable.

Suelo halomórfico: (No usado en el sistema de taxonomía de suelos de EE.UU.) Es un suborden del orden intrazonal de suelos, y consiste de suelos salinos y sódicos formados bajo condiciones de drenaje imperfecto en regiones áridas, incluyendo los grupos de suelos Solonchak (o salinos), Solonetz, y Soloth.

Halofílico: Significa, literalmente, amante de la sal. Este término, al relacionarlo con suelos, suele utilizarse para describir plantas que crecen en sitios con contenido de sodio demasiado alto como para que pueda sobrevivir cualquier planta no halofílica. Generalmente las plantas halofílicas exudan o aíslan el sodio dentro de la planta. Esto les da un sabor generalmente salado.

Presión osmótica: Las sales tenderán a difundirse desde un área de alta concentración a un área de baja concentración hasta que las dos se igualan. Sin embargo, cuando una membrana semipermeable, como la pared celular, se inserta entre áreas de alta y baja concentración de sales, el proceso se invierte. Debido a que las sales no pueden moverse a través de la membrana, el agua se difundirá desde un área de baja concentración hacia el área de mayor concentración de sales. La presión osmótica controla la cantidad de movimiento a través de la membrana.

Bagazo: Desecho sólido obtenido de los molinos de caña de azúcar, contiene 1.2% N, 2.1-2.4% P_2O_5, 2.0% K_2O, 238-288 ppm Zn y 112-132 ppm Cu.

Suelo afectado por sales: Suelo que ha acumulado sales suficientes y/o sodio intercambiable como para afectar adversamente el crecimiento de la mayoría de plantas de cultivo.

Suelo salino: Suelo que contiene sales solubles suficientes como para afectar adversamente el crecimiento de la mayoría de las plantas de cultivo. La CE de un extracto de saturación de suelo es de 4 dS/m o más, el pH es entre 7.5 y 8.5 y la SAR es menor de 13. De hecho, las plantas sensibles se ven afectadas a la mitad de este nivel de salinidad, mientras que las altamente tolerantes se afectan al doble de este nivel de salinidad. Generalmente se forma una costra blanca en la superficie de los suelos salinos durante los meses más secos del año, y a menudo se les conoce como suelos 'álcali blanco'. Sin embargo, la estructura del suelo no se ve afectada de forma adversa. El suelo permanece siendo permeable y tiene buenas características de drenaje.

Suelo salino-álcali: (ya no es usado por los científicos de suelos de EE.UU.) (i) Suelo que contiene suficiente sodio intercambiable como para interferir con el crecimiento de la mayoría de las plantas de cultivo y que contiene cantidades considerables de sales solubles. El porcentaje de sodio intercambiable es mayor que 15, la conductividad del extracto de saturación del suelo es mayor que 4 dS/m (a 25°C), y el pH es generalmente de de 8.5 o menos en el suelo saturado. (ii) El suelo salino-álcali posee una combinación de cantidades dañinas de sales y ya sea una alcalinidad alta o un alto contenido de sodio intercambiable, o ambos. Estos se distribuyen en el perfil de manera que el crecimiento de la mayoría de las plantas de cultivo se ve reducido.

Infiltración salina: Una descarga intermitente o continua de agua salina en la superficie o cerca del suelo bajo condiciones de tierra seca, lo cual reduce o elimina el crecimiento del cultivo. Esto se diferencia de otras condiciones de suelo salino por origen reciente y local, manto acuífero somero, zona radicular saturada y sensibilidad para los sistemas de cultivos y precipitación.

Suelo salino-sódico: (ya no es usado por los científicos de suelos de EE.UU.) Este tipo de suelo posee características de suelos tanto salinos como sódicos. Contiene suficiente sodio intercambiable como para interferir con el crecimiento de la mayoría de las plantas de cultivo, y contiene cantidades notables de sales solubles. La tasa de sodio intercambiable es mayor de 0.15, la conductividad del extracto de saturación de suelo es mayor de 4 dS/m (a 25 °C), el pH generalmente es de 8.5 o menos en el suelo saturado, y la SAR es mayor que 13. Inicialmente estos suelos quizás tengan buena permeabilidad, pero su estructura se deteriora y su conductividad hidráulica (describe qué tan bien el agua puede pasar a través del suelo) se reduce si son rehabilitados (lixiviados) sin enmiendas tales como yeso.

Extracto de saturación: La solución extraída de un suelo en su contenido de saturación de agua (p.ej., la adición de más agua provocaría que el agua libre se acumule en la superficie).

Suelo sódico: Un suelo no salino que contiene suficiente sodio intercambiable como para afectar adversamente la producción del cultivo y la estructura del suelo bajo la mayoría de condiciones de suelo y de tipos de plantas. La SAR del extracto de saturación es de 13 o mayor. Los valores de CE son menores de 4 dS/m y los valores de pH mayores de 8.5. A estos suelos a menudo se les conoce como suelos 'álcali negro'. Estos poseen altas concentraciones de sodio intercambiable y un alto pH, que disuelve la materia orgánica presente en el suelo y da al suelo un color marrón oscuro o negro. En estos suelos su estructura se ha deteriorado, la permeabilidad ha disminuido y se restringe el crecimiento radicular. La recuperación de los suelos sódicos es comparativamente difícil.

Tasa de adsorción de sodio (SAR): Una relación entre el sodio soluble y los cationes solubles divalentes (calcio y magnesio) que pueden usarse para predecir la fracción de sodio intercambiable de un suelo. También se usa para indicar la calidad del agua de riego, generalmente, mientras más alta la SAR más probable será que el agua lleve a condiciones de suelo sódico. La tasa de adsorción de sodio se define de la siguiente manera, donde las concentraciones, denotadas por corchetes, se expresan en mmoles/litro:

$$\mathbf{SAR = [sodio]/[calcio + magnesio]^{1/2}}$$

Solum (plural: sola): Un conjunto de horizontes/capas (A, E y B horizontes) que han pasado por el mismo ciclo de procesos de formación de suelos. Corte vertical de suelo.

REFERENCIAS

Abrol, I.P., J.S.P. Yadav, and F.I. Massoud. 1988. Salt-Affected Soils and their Management. *FAO Soils Bulletin* 39.

Bernstein, L., Fireman, M. and Reeve, R.C. 1955. *Control of salinity in the Imperial Valley, California*. USDA, ARS 41-4, 14 p. (citado de Abrol et. al., 1988).

Biel, Karl and Nicholas Yensen. 2006. Photohalosynthesis. *Biosalinity News* 7(1): 6-7.

Bui, E.N., L. Krogh, R.S. Lavado, F.O. Nachtergaele, T. Tóth, and R.W. Fitzpatrick. 1998. Distribution of Sodic Soils: The World Scene. pp 19-33 in M.E. Sumner and R. Naidu (Ed) *Sodic Soils; Distribution, properties, management, and environmental consequences*. Oxford University Press, New York, NY.

CABI. Datasheet on Batis maritima (saltwort). www.cabi.org/isc/datasheet/8562 (accessed July 2016)

Cardin, G.E., J.G. Davis, T.A. Bauder, and R.M. Waskom. 2007. Managing Saline Soils. *Colorado State University fact sheet* no. 0.503, http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00503.html

Davis, J.G., R.M. Waskom, T.A. Bauder and G.E. Cardon. 2007. Managing Sodic Soils. *Colorado State University fact sheet* no. 0.504. www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00504.html

Devkota, M., R.K. Gupta, C. Martius, J.P.A. Lamers, K.P. Devkota, K.D. Sayre, and P.L.G. Vlek. 2015. Soil salinity management on raised beds with different furrow irrigation modes in salt-affected lands. *Agricultural Water Management* 152:243-250.

Diatta, M., M. Diack and Dov Pasternak. 2000. *Bioreclamation of the acid saline soils in Senegal*. IPALAC Annual Report.

Epstein, E. 1976. Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress: Adaptation of crops to salinity. pp.73-82. *In* M.J. Wright and S.A.; Ferrari. *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Proc. Workshop at the National Agricultural Library, Beltsville, MD. Nov 22-23, 1976.

Flugel, W.-A. 1991. River salination due to dryland agriculture in the Western Cape Province, Republic of South Africa. *Sediment and Stream Water Quality in a Changing Environment: Trends and Explanation* (Actas del Simposio de Viena, Agosto 1991) IAHS Publ no. 203.

Ghassemi, F., A.J. Jakeman, and H.A. Nix. 1995. *Salinisation of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Managment and Case Studies.* CABI Publishing: Wallingford.

Hanson, B. 1993. Reclaiming Sodic and Saline/Sodic Soils. *Drought Tips* Number 92-33.

Huang, P.M., Y. Li, and M.E. Sumner. 2011. *Handbook of Soil Sciences: Resource Management and Environmental Impacts,* Second Edition (Taylor & Francis).

ICRISAT. 2002. Project PMSO2 Screening and evaluation of salinity tolerance, growth, yield potential and forage quality of pearl millet and sorghum under field conditions. ICBA Annual Report (1422-1423H) pp. 20-24.

Indorante, S.J. 2006. Sodium-affected soils in humid areas. pp 1606-1609. in R. Lal (Ed). *Encyclopedia of Soil Science*, 2nd Edition, Vol. 2. CRC Press.

Lymbery, A.J., G.D. Kay, R.G. Doupé, G.J. Partridge, and H.C. Norman. 2013. The Potential of a salt-tolerant plant (*Distichlis spicata* Cv. NyPa Forage) to treat effluent from inland saline aquaculture and provide livestock feed on salt-affected farmland. *Science of the Total Environment* 445-446:192–201.

Maas E.V. Crop tolerance. 1984a. *California Agriculture*, v.38, p.20-21.

Maas E.V. 1984b. Salt tolerance of plants. In: The Handbook of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Maas, E.V. and S.R. Grattan. 1999. Crop yields as affected by salinity. Chapter 3 *in* R.W. Skaggs and J. van Schilfgaarde (Ed.) *Agricultural Drainage*. Agron. Monogr. 38. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Maas, E.V. and G.J. Hoffman. 1976. *Crop salt tolerance: Evaluation of existing data*. International Salinity Conference. Texas Tech., Lubbock, Texas. 16-20 August.

Maas E.V. and Hoffman G.J. 1977 Crop salt tolerance - Current assessment. J. Irrigation and Drainage Division, ASCE 103(IRZ): 115–134. Proceeding Paper 12993.

Marcon M.F. 2003. *Batis maritima* (saltwort/beachwort): a nutritious, halophytic, seed bearing, perennial shrub for cultivation and recovery of otherwise unproductive agricultural land affected by salinity. *Food Research International* 36:123-130.

Maynard, D.N., G.J. Hochmuth, and J.E. Knott. 1997. *Knott's Handbook for Vegetable Growers*. Fourth edition. John Wiley.

Metternicht, G.I. and J.A. Zinck. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment* 85:1-20

Murphy, B. 2006. Sodic soils: Formation and global distribution. pp 1589-1593. *in* R. Lal (Ed). *Encyclopedia of Soil Science*, 2nd Edition, Vol. 2. CRC Press.

Qureshi, R.H. and E.G. Barrett-Lennard. 1998. *Saline agriculture for irrigated land in Pakistan: A handbook*. Australian Centre of International Agricultural Research, Canberra, Australia. 142 pp.

Rao, N.K. and M. Shahid. 2007 Desert farming: The quest continues. *Biosalinity News* 8(1):6-7.

Scoggins, H.L. and M.W. van Iersel. 2006. In Situ Probes for Measurement of Electrical Conductivity of Soilless Substrates: Effects of Temperature and Substrate Moisture Content. *HortScience* 41:210-214.

Shahid, S.A. and A.Al-Shankiti. 2013. Sustainable food production in marginal lands---Case of GDLA member countries. I*nternational Soil and Water Conservation Research*. 1:24-38.

Steyl, G. and I. Dennis. 2010. Review of coastal area aquifers in Africa. *Hydrogeology Journal* 18:217-225.

UNDP. 2011. A New Land Use Model: Forests Fruit Fish. Publicación disponible en línea en http://www.undp.org/content/dam/bangladesh/docs/Publications/A%20New%20Land%20Use%20Model_Forest%20Fruit%20Fish.pdf

Van Alphen, J.G. 1975. Salt affected soils in Peru. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. *Annual Report* 1975. pp. 7-13. (citado de Abrol *et. al*., 1988)

Recursos útiles en línea:

Umbrales de tolerancia a sales para muchos cultivos herbáceos y leñosos: http://www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e0e.htm

Vistazo a profundidad de la tolerancia de las hortalizas a la salinidad:

http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/20360500/pdf_pubs/ P1567.pdf prácticos para el uso de un multímetro análogo: http://cie-wc.edu/AnalogMultimeterBasicsandMeasuringResistance10_5_11.pdf