

2019

Cátedra de Edafología
Facultad de Aronomía y Zootecnia
Universidad Nacional de Tucumán



Guía de estudio

Suelos salinos y sódicos



SUELOS SALINOS Y SÓDICOS

Ing. Agr. Gerónimo Fernando Courel

1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos muy antiguos se conocen los efectos de la acumulación de las sales en los suelos y en los cultivos. Algunas civilizaciones guerreras de Asia Menor utilizaban los efectos de la acumulación de sales para hacer improductivos los suelos de sus enemigos e impedir de este modo el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Existen registros históricos de migraciones que se han producido por la salinización de los suelos.

2. DEFINICIÓN

Es importante diferenciar los suelos salinos de los sódicos. Los suelos salinos son aquellos que contienen cantidades importantes de sales más solubles que el yeso, lo que interfiere con el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas sensibles. La salinidad se mide por medio de la Conductividad Eléctrica (CE) en la solución intermicelar o solución del suelo, y el umbral para considerar que un suelo es salino se ha establecido en $CE > 4$ dS/m a 25°C. En cambio, los suelos sódicos se originan cuando el ión monovalente sodio desplaza otras bases del complejo de adsorción en la solución micelar y se fija a esta estructura superficial, en un nivel de concurrencia que sobrepasa el 15 % entre los cationes intercambiables. Un suelo es considerado sódico cuando el PSI (Porcentaje de Sodio de Intercambio) es $> 15\%$ o la RAS (Relación de Absorción de Sodio), que es la relación entre el catión monovalente Na^+ y los cationes bivalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) de la solución del suelo es $> 13\%$. Es muy común encontrar suelos donde la salinidad está presente en conjunto con la sodicidad, denominados suelos Salinos Sódicos.

3. LA PROBLEMÁTICA A NIVEL MUNDIAL Y LOCAL

La actividad antrópica ha incrementado la extensión de áreas salinizadas al ampliarse las zonas de regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han provocado cambios en la composición de sales en el suelo. En la década del 90 se estimaba que la proporción de suelos afectados por salinidad estaba alrededor de un 10 % del total mundial y que entre un 25 y un 50 % de las zonas de regadío estaban salinizadas. En la actualidad, no existe referencia alguna de los niveles de áreas afectadas por este factor, pero, sí está claro, que esta situación se agudiza cada día más en las áreas cultivadas a nivel mundial, producto de la falta de conciencia medioambiental y de la explotación de los recursos hídricos irracionalmente, además de otros factores edafo-climáticos que influyen directamente sobre la salinidad de los suelos como, por ejemplo, el desmonte de tierras para volcarlas a la producción, esto conlleva a un ascenso de sales de la capa freática.

Más de 800 millones de hectáreas de suelo son afectadas por salinidad y sodicidad a lo largo del mundo, lo que es equivalente a más del 6% del área total mundial y aproximadamente el 20% del área cultivable total. Este porcentaje podría incrementarse a un 50% del total de suelo cultivable en el 2050. A partir de estos números podemos dimensionar que es un tema de suma importancia y cada vez requerirá mayores estudios.

(Tabla 1)

En la Argentina unas 13 millones de hectáreas se caracterizan por la presencia de sales en el perfil, lo que la convierte en el tercer país, luego de Rusia y Australia, con mayor superficie de suelos afectados por sales. Entre las regiones más afectadas se encuen-

Tabla 1: Distribución regional de suelos salinos y sódicos en el mundo. Basado en datos de Szabolcs (1989)

Región	Superficie (miles de km ²)		
	Suelos salinos	Suelos sódicos	Total
Australia	173	3400	3573
Asia del norte	916	1201	2117
América del sur	694	596	1290
África	535	270	805
Europa	78	229	307
Asia sudoriental	200	-	200
América del norte	62	96	158
América central	20	-	20

tran el Chaco semiárido, la depresión del Salado y el noroeste de Buenos Aires.

En cuanto a Tucumán, la problemática está concentrada en la región de la Llanura Deprimida Salina, en ciertos sectores de la Cuenca Tapia Trancas y del Valle Calchaquí. La primera subregión se localiza al este y sud de la subregión de la Llanura Deprimida No Salina, ocupando parte de los Departamentos de Cruz Alta, Leales, Monteros, Chicligasta, Río Chico y Graneros. Comprende aproximadamente el 70,4 % de Llanura Deprimida. La segunda se localiza al centro norte de la provincia, limitando al este con las Sierras de Medina y al oeste con las cumbres Calchaquíes, mientras que el valle Calchaquí se localiza entre las sierras de Quilmes al oeste y las sierras Calchaquíes al este. El área de interés agrícola ganadero ocupa una superficie de unas 100.000 has, lo que corresponde al 4,5 % del área provincial (Figura 1)

4. ORIGEN DE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS

Para hablar de origen de salinidad, es importante diferenciar dos grandes tipos de causas:

- Causas de salinidad primarias o naturales
- Causas de salinidad secundarias o antrópicas (Inducidas por el hombre).

4.1. CAUSAS DE SALINIDAD PRIMARIAS O NATURALES

La principal causa natural de salinidad de

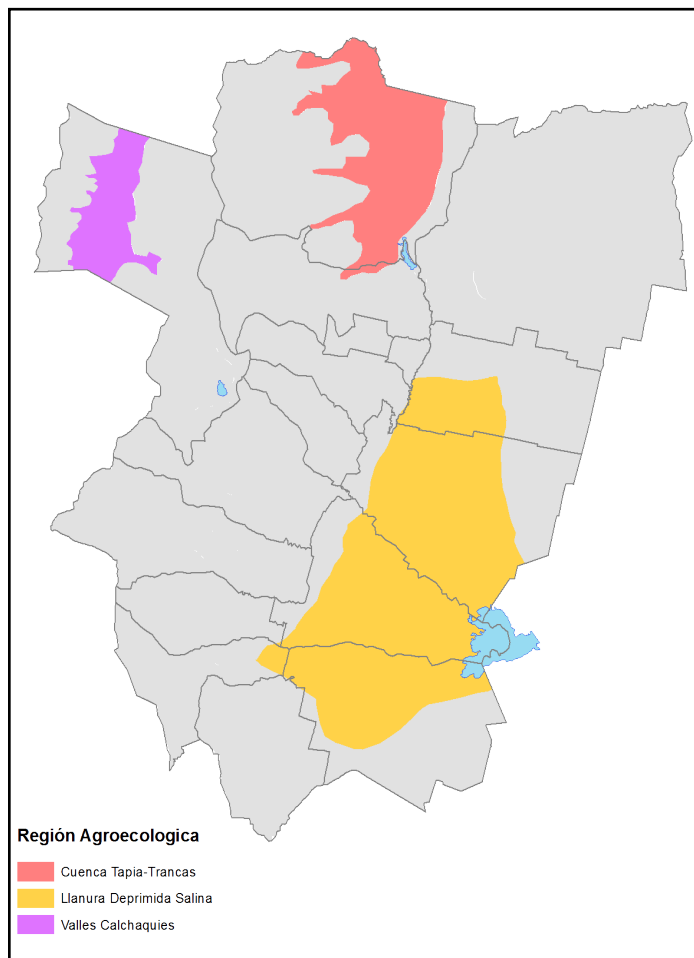


Figura 1: Distribución regional de suelos salinos y sódicos en la provincia de Tucumán.

los suelos es el **ascenso capilar de napa freática con características salinas**, siendo la fuente de salinidad la meteorización del material original del suelo de naturaleza salina. En este caso el micro relieve juega un rol determinante en la presencia de mayor o menor cantidad de sales. Este fenómeno está asociado a regiones áridas, semiáridas y estepas, donde la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial, generando un balance hídrico negativo. Sin embargo, también puede aparecer en lugares con prolongados períodos de sequía, como en zonas climáticas templadas y tropicales secas.

Otra causa natural de salinización de los suelos es la cercanía al mar. Zonas costeras que normalmente son inundadas con agua de mar, reciben constantemente aporte de sales, lo cual lleva a estos suelos a la salinización.

4.2. CAUSAS DE SALINIDAD SECUNDARIAS O ANTRÓPICAS

El origen de este tipo de salinización puede ser por:

- Riego con aguas salinas.
- Mal uso del riego (aunque las aguas sean de buena calidad) que provocan ascensos de capas freáticas salinas
- Uso de fertilizantes (algunos fertilizantes contienen altos niveles de sales que son potencialmente perjudiciales, tales como cloruro de potasio o sulfato de amonio) y otros insumos, especialmente en zonas de agricultura intensiva en las que el suelo es poco permeable y las posibilidades de lixiviación son limitadas.
- Contaminación de suelos por uso de agua y subproductos industriales salinos (por ejemplo, riego con vinaza).
- Cambio brusco del uso de la tierra (por ejemplo, desmonte) que provoca revenimientos salinos desde profundidad hacia las capas superficiales del suelo.

5. EFECTOS DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y LAS PLANTAS

5.1. SALINIDAD

5.1.1. AMBIENTES

Los procesos de salinización se presentan en suelos con régimen de humedad ascensional epi-percolativo (humedad ascensional) donde la evapotranspiración potencial supera a las precipitaciones, con translocaciones capilares ascendentes a partir de una napa freática salina (halohidromorfismo) y una dinámica de lixiviado restringido en época de lluvias. Estos procesos pueden tener lugar en **ambientes áridos y semiáridos**. Por lo general las sales tienden a acumularse en posiciones topográficas de fondo, con

drenaje deficiente a donde han sido llevadas por el agua de escorrentía superficial o subsuperficial.

5.1.2. EFECTOS SOBRE PROPIEDADES EDÁFICAS

Físicas: La salinización es un proceso mediante el cual tiene lugar la acumulación de sales, por lo general, cloruros y sulfatos de sodio y magnesio, lo que provoca una concentración elevada en la fase líquida del suelo. Esta alta concentración tiene un efecto físico favorable en los suelos ya que la doble capa eléctrica (constituida por la micela coloidal y la nube de contraiones y coiones que neutralizan cargas) se encuentra comprimida lo que favorece el proceso de floculación (Figura 2). Esto se traduce en una buena fertilidad física de los suelos salinos (hay formación de agregados y eso es estructura).

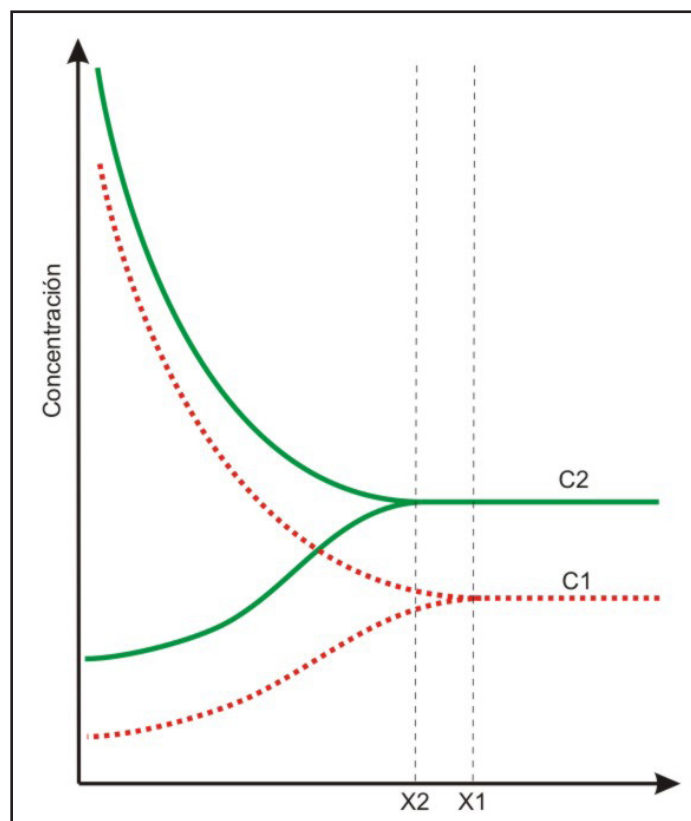


Figura 2: Floculación de un suelo por efecto de la concentración o alta conductividad eléctrica (ver cartilla de Físico-química).

Químicas: En un suelo salino la elevada concentración de iones Na^+ y Cl^- , produce una inter-

ferencia en la absorción de nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , NO_3^-) e impide la captación de los mismos, lo cual puede alcanzar niveles tóxicos para el metabolismo celular.

5.1.3. EFECTOS SOBRE LAS PLANTAS

Los efectos sobre las plantas dependen tanto de la tolerancia de cada especie y cultivar, como también del estado de desarrollo de la misma. La acumulación de sales más solubles que el yeso en la cama de siembra, puede provocar un retardo o una inhibición en la emergencia, un tamaño menor de la planta, necrosis en las hojas, disminución de rendimientos y la muerte de la planta antes de completar el ciclo. Ello podría deberse a efectos osmóticos que dificultan la absorción de agua (sequía fisiológica) y a efectos ión-específicos origen de diferentes toxicidades. (Figura 3 y Tabla 2)

5.2 SODICIDAD

5.2.1 EFECTOS SOBRE PROPIEDADES EDÁFICAS

Físicas: La sodicidad o elevada alcalinización se desarrolla cuando en la solución micelar existe un porcentaje de sodio de intercambio (PSI) mayor o igual al 15%. Esta situación conduce a que la doble capa eléctrica se encuentre expandida. La expansión de la doble capa, debido a los efectos de **valencia** y elevado **radio hidratado** del ion Na^+ , produce



Figura 3: Cultivo de sorgo azucarado en suelos salinos de Tucumán.

Tabla 2: Tolerancia de los cultivos a la salinidad en relación con el porcentaje de producción. Fuente: Mass-Hoffman

Cultivos Extensivos	Valores de CE (dS/m) para un % de producción				
	100 %	90 %	75 %	50 %	0 %
Cebada <i>Hordeum vulgare</i>	8,0	10,0	13,0	18,0	28,0
Algodón <i>Gossypium hirsutum</i>	7,7	9,6	13,0	17,0	27,0
Remolacha azucarera <i>Beta vulgaris</i>	7,0	8,7	11,0	15,0	24,0
Trigo <i>Triticum aestivum</i>	6,0	7,4	9,5	13,0	20,0
Cártamo <i>Carthamus tinctorius</i>	5,3	6,2	7,6	9,9	14,5
Soja <i>Glycine max</i>	5,0	5,5	6,2	7,5	10,0
Sorgo <i>Sorghum bicolor</i>	4,0	5,1	7,2	11,0	18,0
Maíz <i>Zea mays</i>	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0

dispersión y no hay formación de agregados. (Figura 4). Al no generarse estructura (falta de porosidad) el movimiento de agua en este tipo de suelos es muy lento y la conductividad hidráulica es muy baja. En superficie, si hay presencia de texturas moderadamente finas a finas, se genera estructura de tipo laminar (Figura 5) con fuerte encostramiento, dificultando la emergencia del cultivo.

La presencia de sodio de intercambio (>15%) en un perfil de suelo con horizonte Bt, puede dar lugar a la formación de un horizonte subsuperficial nátrico (Btn), el cual generalmente presenta una estructura columnar típica (Figura 6).

Químicas: En la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Estas sales de elevada solubilidad producen incrementos del pH del suelo a valores iguales o superiores a 8,5 (suelos fuertemente alcalinos) lo que dificulta de modo severo la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes como así también la actividad biológica. Los suelos sódicos suelen presentar “costras negras” en su superfi-

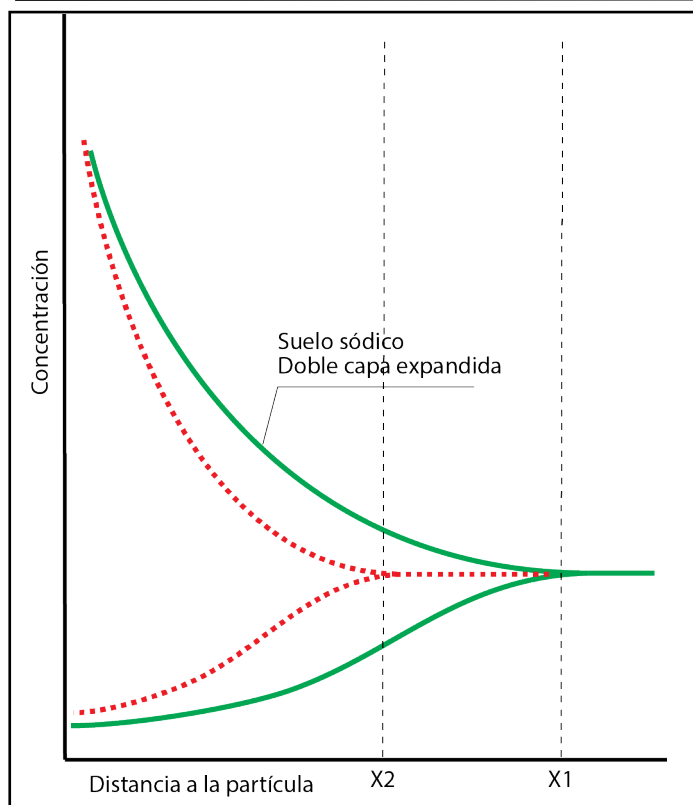


Figura 4: Suelo disperso por efecto del sodio



Figura 6: Estructura columnar en un horizonte nátrico (Btn). Fuente: scifaithkansas.net



Figura 7: Humatos sódicos, fácilmente identificables.

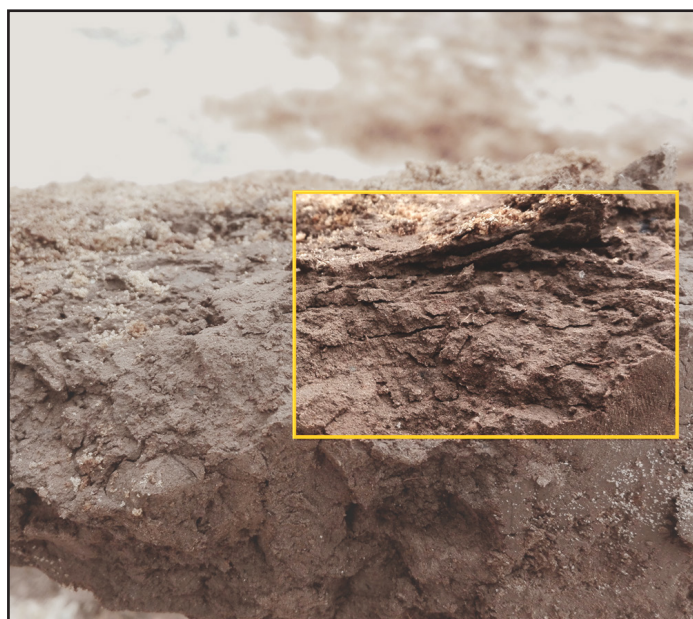


Figura 5: Estructura laminar formada en un suelo sódico

cie, las cuales son humatos sódicos producto de la unión de la materia orgánica coloidal con el sodio presente. Estas costras negras son identificadas con facilidad sobre la superficie del suelo, permitiendo reconocer la problemática de sodicidad a simple vista. (Figura 7)

5.2.2 EFECTOS SOBRE LAS PLANTAS

La falta de estructura del suelo reduce la disponibilidad de oxígeno y capacidad de oxigenación en la zona radicular limitando el crecimiento de las plantas. La dura costra que se genera cuando se secan estos suelos dificulta el proceso de germinación (Figura 8) e impide el normal crecimiento de las raíces. Por otro lado, el aumento del pH, afecta la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales.

5.3. SALINIDAD Y SODICIDAD

Como ya vimos el ión sodio puede intervenir en la pedogénesis ya sea en forma de sales (salini-



Figura 8: Enconstramiento del suelo a causa del sodio-

zación), ya sea en forma de catión de cambio (sodificación), o simultáneamente en las dos formas. En este último caso los suelos reciben el nombre de suelos Salino-Sódicos, es decir que son suelos con altos niveles de sales solubles ($CE > 4 \text{ dS/m}$) y con una saturación parcial del complejo de cambio por el catión Na^+ ($\text{PSI} > 15\%$ o $\text{RAS} > 13$). El crecimiento de las plantas en estos suelos se ve afectado por ambas causas, exceso de sales y excesivos niveles de Na^+ .

Los suelos salino-sódicos presentan una buena fertilidad física, generando el efecto de concentración el acercamiento de la doble capa eléctrica y por ende la floculación de las partículas y formación de agregados.

En cuanto a la fertilidad química, estos suelos presentarán la misma problemática que los suelos sódicos. El pH, no será necesariamente fuertemente alcalino, el mismo es variable, dependiendo de las características de las sales presentes.

6. RECOMENDACIONES

6.1. RECUPERACIÓN, MANEJO Y DIAGNÓSTICO

Antes de realizar las recomendaciones, es necesario tener identificada la problemática. Ya que, si

hablamos de suelos salinos, salinos sódicos, o sódicos las recomendaciones no son las mismas. En la figura 9 se muestra una guía para la identificación de cada tipo de suelo.

Las prácticas de recuperación no son inmediatas, sino que, como todo proceso, requiere de un tiempo el cual va a depender de diferentes factores, principalmente del factor climático (precipitación y evapotranspiración), tipo de suelo, historial del lote, entre otras.

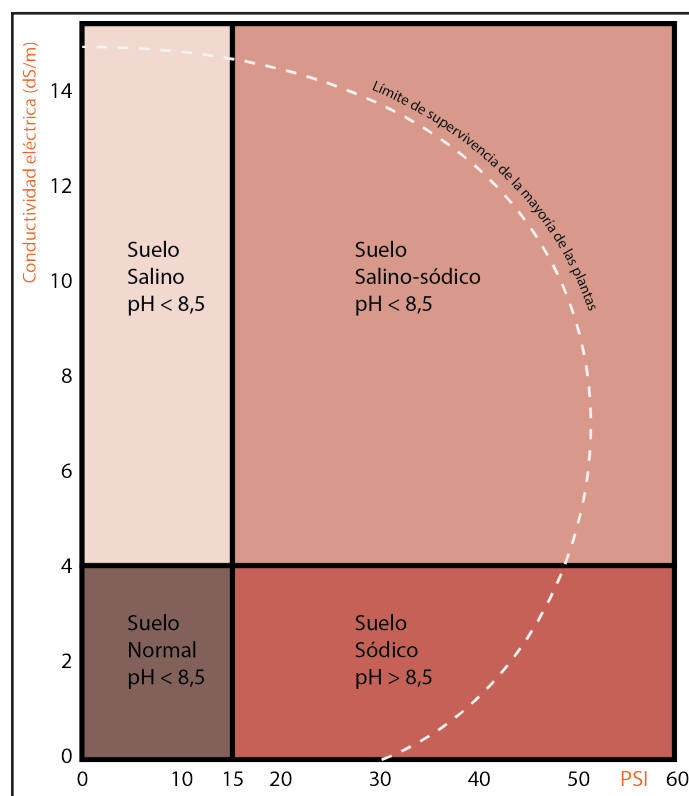


Figura 9: Tipos de suelos según valores de CE y PSI

6.1.1. MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE SUELOS SÓDICOS

- **Cambiar el tipo de cultivo:** Cultivar plantas más tolerantes a altos contenidos de sodio en el suelo.
- **Mejoramiento de la estructura de los suelos sódicos:** Sustituir el Sodio intercambiable por iones de Calcio. Aplicar Sulfato de Calcio (yeso), Azufre elemental o materia orgánica de naturaleza ácida (Figura 10).

Para calcular la cantidad de enmienda cálcica

a aplicar en un suelo sodico, se puede utilizar la siguiente fórmula

$$\text{Enmienda [t/ha]} = \frac{(\text{PSI}_{\text{final}} - \text{PSI}_{\text{inicial}}) \times \text{CIC}}{100} \times \frac{\text{Eq Yeso}}{1000} \times \frac{\text{PCA}}{100}$$

PSI = Porcentaje de sodio intercambiable

Eq Yeso = (PM yeso/2) = 86

CIC = capacidad de intercambio catiónico (cmolc/kg)

PCA (t/ha) = peso de la capa arable = DA (t/m³) x prof (m) x 10.000 (m²/ha)

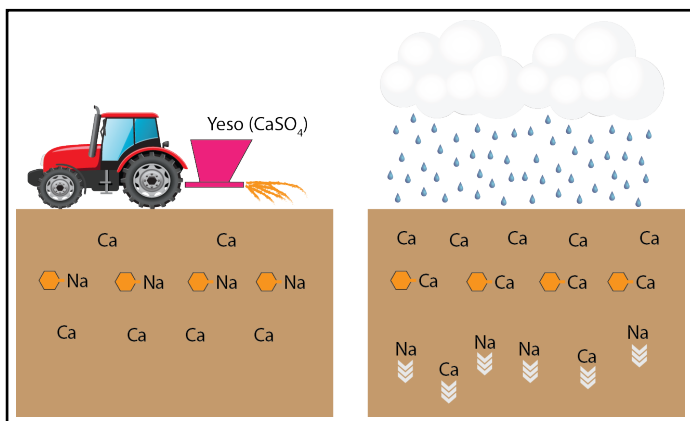


Figura 10: Esquema de reemplazo del sodio por calcio, mediante la aplicación de yeso.

6.1.2. MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE SUELOS SALINOS

Para recuperar un suelo salino es fundamental lavarlo. Para ello es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones:

En áreas de secano

- **Drenaje:** en áreas de secano es imprescindible asegurar el drenaje libre del agua de lluvia para que el lavado de las sales se realice sin impedimentos. Para ello es necesario abatir el nivel freático con sistemas artificiales de drenaje (zanjas a cielo abierto, drenajes entubados, usos de implementos tipo “topo”, etc.) hasta una profundidad que no constituya peligro de revenimiento salina

En áreas bajo riego

- **El agua de riego:** La cantidad total de sales disueltas en el agua de riego, y su composición, influyen en la salinidad del suelo. Por lo tanto, varios parámetros, como la CE de la fuente de agua y su

contenido de minerales deben ser analizados.

- **Régimen y métodos de riego:** Para prevenir la acumulación excesiva de las sales en la zona radical, es necesario aplicar una cantidad extra de agua, a la fracción de lavado, de manera que supere a la necesaria para la evapotranspiración. Esta fracción de agua debe pasar a través de la zona radical para desplazar, de este modo, el exceso de sales. La frecuencia y la cantidad de lavado dependen de la calidad del agua, del clima, del suelo (textura, estructura, porosidad, etc.) y de la sensibilidad del cultivo a la salinidad.
- **Las características del campo:** Un suelo mal drenado, podría llegar a nivel de salinidad que es perjudicial para las plantas. Será necesario realizar una sistematización con canales de drenaje si el suelo presenta problemas de drenaje interno. Es muy importante dejar cobertura sobre el suelo, para así evitar el ascenso de las sales.

Otra alternativa al lavado o como práctica conjunta al mismo es cambiar tipo de cultivo, buscando implantar cultivos con mayor tolerancia. (Tabla 2).

6.1.3. MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE SUELOS SALINOS-SÓDICOS

Los suelos salino-sódicos exhiben condiciones intermedias entre los suelos salinos y los suelos sódicos. La alta concentración de sales neutras modera la acción dispersante del sodio. Las sales proporcionan un exceso de cationes que se mueven cerca de las partículas coloidales cargadas negativamente, reduciendo así su tendencia a repelerse mutuamente, o a dispersarse. Las sales, por lo tanto, ayudan a mantener las partículas coloidales asociadas entre sí en agregados. Desafortunadamente, esta situación está sujeta a un cambio bastante rápido si las sales solubles son lixiviadas del suelo, especialmente si el RAS de las aguas de lixiviación es alto. En tal caso, la salinidad disminuirá, pero el porcentaje de sodio intercambiable aumentará, y el suelo salino-sódico se convertirá en un suelo sódico. Por lo tanto, para recuperar estos suelos es necesario en primer lugar reemplazar, del complejo de cambio,

al ión Sodio por el ion Calcio y después de cumplido este proceso realizar el lavado de las sales.

6.2. CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO

6.2.1. DIAGNÓSTICO A CAMPO

En campo se puede diagnosticar salinidad en un suelo observando a la presencia de una vegetación halófila (jume, suncho, cachiuyo); por la presencia de eflorescencias salinas de color blanco en la superficie de suelo, principalmente en la estación seca. Es importante destacar que la salinidad presenta una variabilidad espacio-temporal, es decir que en épocas secas, de alta tasa evapotranspiratoria, y ausencia de vegetación los valores máximos de salinidad se encontrarán en la parte superior del suelo y este perfil puede ser distinto después de una lluvia ya que existirá un “lavado restringido” de las sales. Por lo tanto, para muestrear un suelo salino, es importante tener en cuenta el factor temporal y la profundidad de muestreo, la cual debe ser hasta los 90 o 100 cm. (Ver guía de Muestreo)

Para el diagnóstico de la sodicidad a campo se pueden utilizar como criterios lo mencionado en puntos anteriores, observación de la presencia de humatos sódicos sobre la superficie del suelo o también reconocer que los suelos sódicos tienden a hincharse cuando se mojan, luego se endurecen y cuartejan cuando están secos. El suelo sódico una vez seco normalmente desarrolla y presenta una costra dura, seca, cuarteada y agrietada en su superficie.

6.2.2. DIAGNÓSTICO EN LABORATORIO

Determinaciones analíticas de la CE en el extracto de saturación para suelos salinos y de los Cationes de Cambio (cmolc/kg), la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC en cmolc/kg) y/o la Relación Adsorción de Sodio (RAS) para suelos sódicos. En ambos casos se determina también el pH de los suelos como indicador de rutina.

Suelos salinos: CE => 4 dS/m y pH neutro

Suelos Sódicos: PSI => 15% y pH 9 o más; RAS=13 meq/l

Suelos Salino Sódico: CE => 4 dS/m; PSI => 15% o

RAS => 13 meq/l; pH variable.

Para calcular el RAS se utiliza la siguiente formula:

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} / 2}$$

Para calcular el PSI se utiliza la siguiente formula:

$$PSI = \frac{Na^+ \text{ (cmolc/kg)}}{CIC \text{ (cmolc/kg)}} \times 100$$

7. BIBLIOGRAFIA

1. ARZANI A. 2008. Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. In *Vitro Cell, Dev. Biol.-Plant* 44: 373-383.
2. BLUMWALD E. 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. *Curr. Opin. Cell Biol.* 12:431-434.
3. CASAS, R. e PLÁ SENTÍS, I. 2011. Suelos salinos: más de 13 millones de hectáreas son recuperables. INTA informa N° 652:4.
4. GARCIA, A. 2002. Manejo de suelos con acumulación de sales. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 26 y 27 de septiembre de 2002. Portoviejo, Ecuador.
5. LEDESMA, F., C. LOPEZ, D. ORTIZ, P. CHEN, K. L. KORTH, T. ISHIBASHI, A. ZENG, M. ORAZALY, AND L. FLOREZ-PALACIOS. 2016. A Simple Greenhouse Method for Screening Salt Tolerance in Soybean. *Crop Sci.* 56:585-594. DOI:10.2135/CROPSCI2015.07.0429.
6. LAMZ PIEDRA, A., y GONZÁLEZ CEPERO, M. C. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42
7. MOLINA, N. C. 2009. Guía de físico-química del Suelo. www.edafologia.com.ar
8. RENGASAMY, P., NORTH, S., & SMITH, A. 2010. Diagnosis and management of sodicity and salinity in soil and water in the Murray Irrigation region. The University of Adelaide, SA
9. TABOADA, M. A., DAMIANO, F., LAVADO R.S. 2009. Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos. p.103-127. En: M. A. Taboada y R. S. Lavado (ed). *Alteraciones de la fertilidad de los suelos*. EFAUBA.