

Cátedra de Edafología

Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria

Universidad Nacional de Tucumán



Guía de estudio

Suelos Salinos y sódicos

2024



Facultad de
Agronomía,
Zootecnia
y Veterinaria
UNT



SUELOS SALINOS Y SÓDICOS

Lic. Adriana Plasencia
Ing. Agr. Gerónimo 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, ya que cada uno de ellos presenta características diferentes.

2.1 SUELOS SALINOS

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. Estas sales son principalmente cloruros y sulfatos de calcio, magnesio, potasio y sodio. La salinidad se mide por medio de la Conductividad Eléctrica (CE) en la solución intermicelar, también llamada solución del suelo, y el umbral para considerar que un suelo es salino se ha establecido en $CE > 4$ dS/m a 25°C. Sin embargo, algunas plantas sensibles se ven afectadas negativamente cuando la CE es de sólo 2 dS/m o menos.

2.1 SUELOS SÓDICOS

Los suelos sódicos son aquellos en los cuales el ión monovalente sodio desplaza otras bases del complejo de adsorción en la solución micelar y se encuen-

tra a una concentración que sobrepasa el 15 % del total de 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^+ y Mg^+) de la solución del suelo es $> 13\%$.

2.3 SUELOS SALINO-SÓDICOS

Es muy común encontrar suelos donde la salinidad está presente en conjunto con la sodicidad, denominados suelos Salinos Sódicos, o sea son suelos con $CE > 4$ dS/m y $PSI > 15\%$. En la [Figura 1](#) se esquematiza estos tres tipos de suelos según sus valores de PSI y CE.

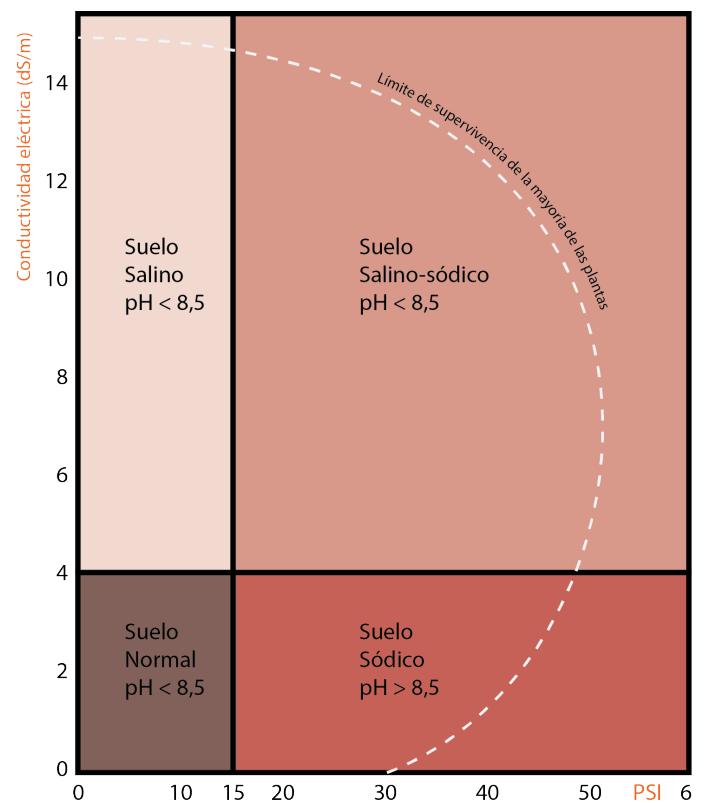


Figura 1: Tipos de suelos según valores de CE y PSI

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 ambiental y de la explotación irracional de los recursos hídricos.

Existen otros factores edafo-climáticos influyen directamente sobre la salinidad de los suelos, como ser por ejemplo, el desmonte de tierras para volcarlas a la producción, esto conlleva a un ascenso de sales por de la capa freática

Más de 800 millones de hectáreas de suelo son afectadas por salinidad y sodicidad a nivel mundial, esto significa que más del 6% de la superficie total del planeta y, aproximadamente, el 20% del área cultivable total, se encuentran afectadas por esta problemática (Tabla 1). Algunos estudios sostienen que 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: 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

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 encuentran 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 (Figura 2). 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 loca-

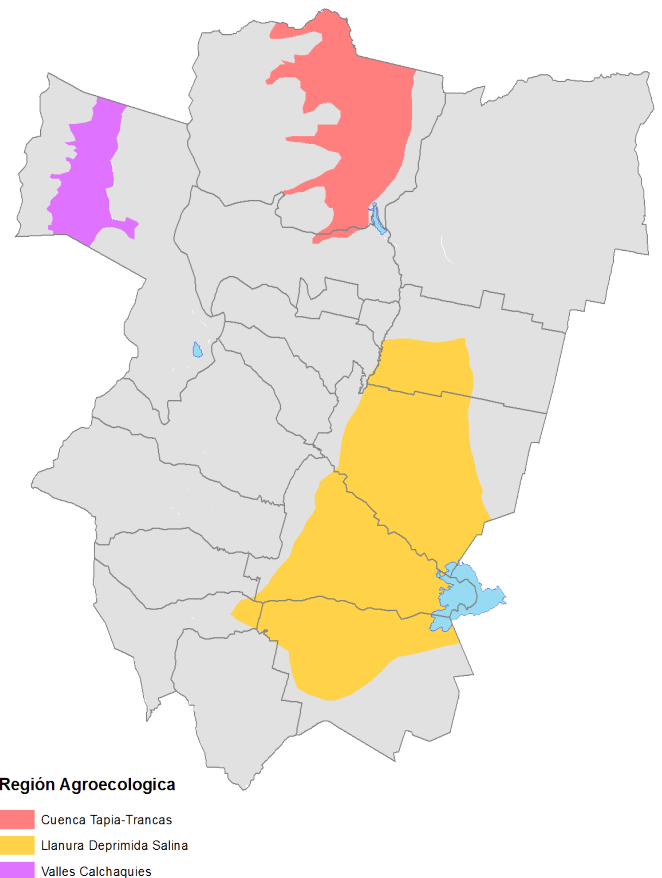


Figura 2: Distribución regional de suelos salinos y sódicos en la provincia de Tucumán.

liza 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.

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 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, ya que el agua que contiene sal se mueve a través de un paisaje desde áreas más altas a más bajas y desde zonas de suelo que son más húmedas a aquellas que son más secas. Este fenómeno está asociado a regiones áridas, semiáridas y estepas donde las precipitaciones (PP) son menores a las evapotranspiraciones potenciales (EP), generando un balance hídrico negativo, aunque también pueden 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 SECUNDARIA 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 SO- DICIDAD 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 epipercolativo (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 esorrentía 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 ge-

neral, 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 3). Esto se traduce en una buena fertilidad física de los suelos salinos (hay formación de agregados y eso es estructura).

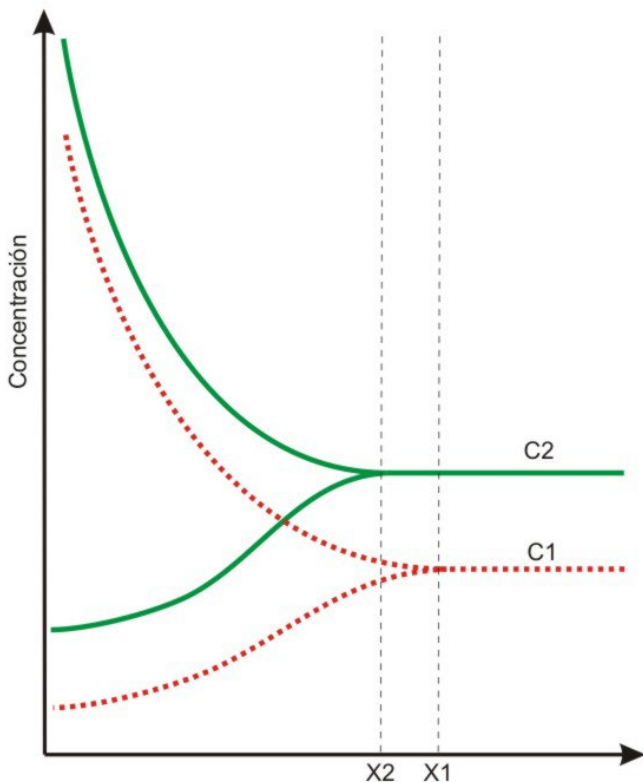


Figura 3: Floculación de un suelo por efecto de la concentración o alta conductividad eléctrica (ver cartilla de Físico-química).

Químicas: el complejo de intercambio de suelos salinos está dominado por calcio y magnesio, no por sodio. El pH de los suelos salinos suele ser alcalino y estar por debajo de 8,5, dependiendo de la composición de sales presentes.

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 4 y Tabla 2)



Figura 4: 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>Carthams 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

5.2 SODICIDAD

5.2.1 EFECTOS SOBRE PROPIEDADES EDÁFICAS

Físicas: La sodicidad 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 dispersión y no hay formación de agregados. (Figura 5). 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 arcilla se genera estructura de tipo laminar (Figura 6) 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 7).

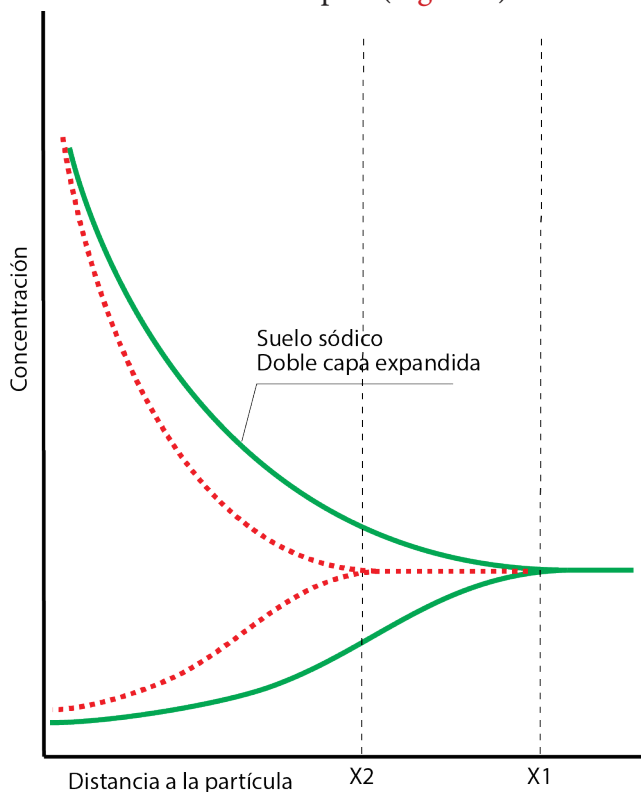


Figura 5: Suelo disperso por efecto del sodio

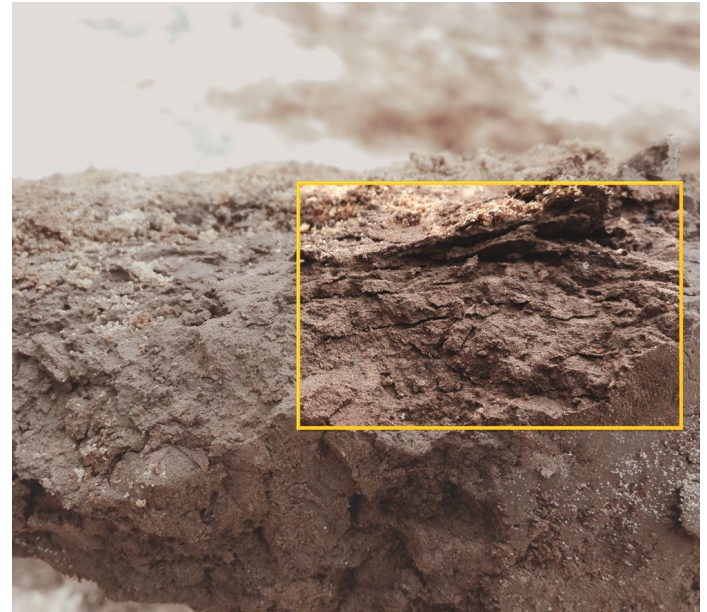


Figura 6: Estructura laminar formada en un suelo sódico



Figura 7: Estructura columnar en un horizonte nátrico (Btn). Fuente: scifaithkansas.net

Químicas: En la solución del suelo existe una proporción 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 superficie, las cuales son humatos sódicos producto de la unión de la materia orgánica coloidal (humus, de color negro)

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 8)



Figura 8: Humatos sódicos, fácilmente identificables.



Figura 9: Encontramiento del suelo a causa del sodio. afectado por ambas causas, exceso de sales y excesivos niveles de Na^+ .

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 costra dura que se genera cuando se secan estos suelos dificulta el proceso de germinación (Figura 9) 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 (salinización), o en forma de catión de cambio (sodización), 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 ($\text{CE} > 4 \text{ dS/m}$) 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

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, éstos suelos presentaran una elevada concentración de iones Na^+ y Cl^- , lo que produce una interferencia en la absorción de nutrientes (K^+ , Ca^+ , NO_3^-) e impide la captación de los mismos, lo cual puede alcanzar niveles tóxicos para el metabolismo celular, al igual 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. 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.

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) o Azufre elemental (Figura 10), materia orgánica de naturaleza ácida (ver guía de reacción química del suelo).

Para calcular la cantidad de enmienda necesaria para recuperar un suelo sódico, 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)

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 pro-

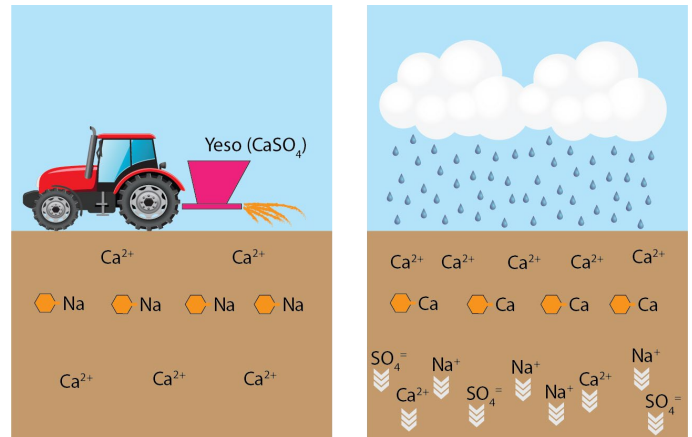


Figura 10: Esquema de reemplazo del sodio por calcio, mediante la aplicación de yeso.

fundidad 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, deben ser analizados varios parámetros, como la CE de la fuente de agua y su contenido de minerales.
- **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 en ese caso 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 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 no el porcentaje de sodio intercambiable 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, cachiyuyo); 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 cuarteán cuando están secos. El suelo sódico una vez seco normalmente desarrolla y presenta una costra dura, seca, cuarteada y agrietada en su superficie (Figura 9).

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 todos los casos se determina también el pH de los suelos como indicador de rutina que correlaciona con los resultados anteriores.

- **Suelos salinos:** CE > 4 dS/m y pH neutro
- **Suelos Sódicos:** PSI >15% y pH 8,5 o más; RAS>13%
- **Suelos Salino Sódicos:** CE> 4 dS/m; PSI>15% o RAS>13%; pH variable.

Para calcular el RAS se utiliza la siguiente formula:

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

Donde $[Na^+]$, $[Ca^{2+}]$ y $[Mg^{2+}]$ son las concentraciones de los iones de sodio, calcio y magnesio respectivamente en la solución del suelo, expresadas en cmolc/l

Para calcular el PSI se utiliza la siguiente formula:

$$PSI = \frac{[Na^+]}{CIC} \times 100$$

Donde $[Na^+]$ es la concentración de los iones sodio intercambiables expresada en cmolc/100g y CIC es la capacidad de intercambio de cationes expresada en cmolc/100g

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.