



Conductividad eléctrica del suelo

Apellidos, nombre	Soriano Soto, María Desamparados ¹ (asoriano@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Universitat Politècnica de València



1 Resumen

En este artículo se analizará el origen y las causas de las sales del suelo. La concentración de sales confiere al suelo unas propiedades particulares con efectos nocivos, su evaluación y caracterización se analizarán en este artículo.

2 Introducción

La concentración de sales confiere al suelo unas propiedades particulares con efectos nocivos para los cultivos. Se puede deber a causas naturales o antrópicas, y se distinguen dos situaciones con morfologías, propiedades, génesis y usos del suelo muy diferentes según que el catión predominante en el complejo de cambio sea el sodio o el calcio.

Salinización: cuando las sales se acumulan en el suelo impidiendo el desarrollo de la mayoría de cultivos

- *Sodificación*: ocupación del complejo de cambio por Na^+
- *Alcalinización*: si este proceso se desarrolla a $\text{pH} > 8.5$

3 Objetivos

Los objetivos son que el alumno será capaz de:

- Identificar los problemas de los suelos salinos, conocer su problemática y aplicar las medidas necesarias para su evaluación y eliminación de sales.

Los apartados de que consta son:

1. Resumen
2. Objetivos
3. Introducción
4. Desarrollo
5. Cierre
6. Bibliografía



4 Desarrollo

4.1 Sales presentes en la solución del suelo

Las sales más solubles son las más perjudiciales, ya que dan lugar a soluciones salinas muy concentradas, mientras que las poco solubles precipitan antes de alcanzar niveles peligrosos.

Los cationes y aniones más frecuentes en los suelos salinos son (Tabla 1):

CATIONES	ANIONES
Calcio	Cloruros
Sodio	Bicarbonatos
Magnesio	Carbonatos
Sodio	Boratos
Potasio	Nitratos

Tabla 1. Los cationes y aniones más frecuentes en los suelos salinos

Las sales más normales que forman estos iones son los cloruros y los sulfatos de sodio y magnesio que, por su gran solubilidad, pueden presentar mayores problemas. Hay que tener presente que la solubilidad de las sales disminuye con la temperatura, razón por la cual los lavados en épocas frías son menos efectivos que en las épocas cálidas.

4.2 Sales más importantes

Los sulfatos, tanto magnésicos como sódicos, debido a su gran solubilidad, son muy peligrosos, estando presentes no sólo en la solución del suelo, sino también en las aguas freáticas y los lagos salinizados.

El **sulfato magnésico** no se acumula en el suelo en forma pura, sino en combinación con otras sales también muy solubles. El **sulfato sódico** es de 2 a 3 veces menos tóxico que el sulfato magnésico, pero sin embargo es más frecuente en los suelos salinos. La solubilidad de esta sal varía mucho con la temperatura, y así, en las estaciones cálidas, por capilaridad sube a la superficie. Cuando bajan las temperaturas, precipita en forma de mirabilita ($\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), que no es lavada por las lluvias y que tiene la propiedad de



separar las partículas del suelo. En la siguiente estación cálida la mirabilita se deshidrata y forma tenardita (SO_4Na_2) en su superficie. Estos son los suelos clásicos que vemos recubiertos de una costra blanca de sales.

El **cloruro sódico** es, junto con los sulfatos de sodio y magnesio, la sal más frecuente en los terrenos salinos. Su solubilidad es muy elevada y varía poco con la temperatura, siendo por lo demás una sal muy tóxica para las plantas. Suelos con un 2 – 5% de esta sal se vuelven totalmente improductivos.

El **cloruro magnésico** es junto con el **cloruro cálcico**, una de las sales más solubles. Ambas son higroscópicas, de forma que absorben el vapor de agua de la atmósfera, formando soluciones salinas muy concentradas. Presentan un color más oscuro que los suelos vecinos, no son alcalinos, y tienen una buena estructura, ya que el sodio entra en pequeña relación respecto al calcio y el magnesio.

El **carbonato sódico** es otra de las sales más importantes que podemos encontrar en suelos y aguas. Su solubilidad varía mucho con la temperatura, desde 70 g/L a 0°C a 429 g/L a 50°C. Su hidrólisis provoca una fuerte alcalinidad ($\text{pH} = 12$). Resulta ser muy tóxico para las plantas, y aun en cantidades pequeñas (0,05 – 0,1%) destruye la estructura del suelo, reduciendo su permeabilidad. Sin embargo, no suelen presentarse grandes depósitos de esta sal, ya que normalmente en los suelos desérticos o semidesérticos es muy abundante el yeso que, al reaccionar con el carbonato sódico, produce carbonato cálcico más sulfato sódico, sales éstas menos nocivas que aquéllas. Si no hubiese yeso en el suelo, se producirían depósitos de **carbonatos y bicarbonatos sódicos**, de muy difícil lixiviación, ya que a bajas temperaturas son poco solubles y las lluvias suelen ser durante las épocas frías.

El **carbonato de calcio** es menos soluble que el de magnesio, si bien suelen ir juntos y su solubilidad conjunta es poca, del orden de 10 meq/L. El carbonato cálcico, cuando se halla en la superficie y gracias a la evapotranspiración, se deposita en el suelo en grandes cantidades. El **carbonato magnésico** se acumula muy poco en el suelo ya que el magnesio es adsorbido por las arcillas.

Tanto el **cloruro potásico** como los **nitratos** son sales muy tóxicas y muy solubles. Si bien su acumulación en los suelos es muy pequeña, ya que son absorbidos por la planta, recuérdese que ambas sales son utilizadas como abonos. El **nitrato potásico**, bastante utilizado como fertilizante, es muy soluble (279 g/L a 20°C) y puede ser tóxico si, por exceso de abonado, ocurren altas concentraciones. El cloruro potásico presenta unas propiedades análogas a las del NaCl, aunque es poco frecuente en los suelos debido a que el K se inmoviliza en el suelo, bien en la estructura de las arcillas de tipo illita o bien en la biomasa debido a su carácter de macronutriente

Y por último tenemos al **yeso** ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), que lejos de ser una sal perjudicial, resulta ser una sal beneficiosa y del todo indispensable para la recuperación de suelos de tipo sódico. Su solubilidad es muy baja, apenas 2 g/L. El yeso, caso de no existir en el suelo, se utiliza como enmienda cálcica, al tiempo que tiene una acción acidificante.

4.3 Conductividad eléctrica

Su medida se basa en que la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina es proporcional a la concentración de sales en solución. En un principio se propuso definir como suelo salino aquel que presentase más de un 0,1% de sales

solubles. Esta afirmación no acaba de ser del todo correcta ya que no considera la textura del suelo.

Una solución conduce la electricidad en mayor grado cuanto mayor sea su concentración de sales (CE). Así cuanto mayor es la CE de una solución salina, mayor concentración de sales.

Como unidad de medida para soluciones se utiliza el dS/m.

Como la conductividad varía con la temperatura se suele utilizar, como norma general, la medida a 25°C.

La conductividad depende, en el caso de suelos, y con la misma cantidad de sales del agua que éstos contengan (estarán más o menos diluidas). En general, la salinidad se indica para el extracto de saturación del suelo (CE_e), pero en el punto de la capacidad de campo la concentración de sales será mayor, de forma que aproximadamente: $CE_{cc} = 2 CE_e$.

4.4. Clasificación

La CE de un suelo (CEs) cambia con el contenido en humedad, disminuye en capacidad máxima (pues se diluye la solución) y aumenta en el punto de marchitamiento (se concentran las sales). Se ha aceptado que la medida de la CEs se hace sobre el extracto de saturación a 25°C.

El método consiste en añadir a una muestra de suelo agua destilada a 25°C hasta conseguir la saturación y posteriormente se extrae el agua de la pasta mediante succión a través de un filtro. Los valores de conductividad en suelos se muestran en la Tabla 2.

$CE_{1:5} \text{ dSm}^{-1}$	$CE_{Ps} \text{ dSm}^{-1}$	Calificativo
< 0.35	< 2	No salino
0.35 – 0.65	2 – 4	Ligeramente salino
0.65 – 1.15	4 – 8	Salino
> 1.15	> 8	Muy salino

Tabla 2. Clasificación de la salinidad de los suelos según la $CE_{1:5}$



CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Cultivo
< 500 dSm ⁻¹	Buen desarrollo
500 – 1000 dSm ⁻¹	Aparecen problemas en algunos cultivos
> 1000 dSm ⁻¹	Dificultades en muchos cultivos

Tabla 3. Tipos de suelo, según los valores de CE obtenidos

Los suelos con elevadas conductividades eléctricas impiden el buen desarrollo de las plantas, ya que contiene asimismo una elevada cantidad de sales. Cada cultivo es capaz de sobrevivir en rangos algo diferentes de conductividad, dependiendo del tipo de sales que tiene el suelo, sin embargo se pueden dar las siguientes líneas generales (Tabla 3).

4.5. Porcentaje de sodio intercambiable

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) nos indica el porcentaje de la capacidad total de cambio que le corresponde al ion sodio. Esta determinación es muy interesante para determinar si un suelo es sódico o no.

El estudio de este tipo de suelo tiene mucha importancia en lo que se refiere a las propiedades físicas del suelo (estructura, permeabilidad, etc) de forma que influyen negativamente en el desarrollo de las plantas.

En los suelos es muy importante determinar que tipo de cationes predominan en el complejo adsorbente (si es el Ca²⁺ o por el contrario el Na⁺). El porcentaje de Na⁺ respecto a los demás cationes adsorbidos se denomina porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

$$PSI = 100 \times Na / (Ca + Mg + K + H + Al)$$

considerándose que un suelo puede empezar a sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el PSI > 15%.

Otra manera de determinar la sodicidad de un suelo es evaluar la concentración de Na⁺ en la solución del suelo en vez de medir su concentración en el complejo adsorbente como hace el PSI. Para estimar así el grado de sodificación, Richards et al., (1954) proponen la razón de adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en mmol/dm³ de las soluciones salinas.

4.6. Clasificación de suelos salinos

Por definición son aquellos suelos que presentan una CE_e menor de 4 mmhos/cm y un PSI mayor del 15%, o sea, que el complejo de cambio catiónico tiene suficiente sodio retenido como para alterar las propiedades físicas del suelo principalmente, aunque también afecte a las químicas. Debido a la hidrólisis del sodio de cambio, el pH de estos suelos suele estar entre 8,5 y 10,00. Estos pHs tan altos solubilizan los componentes de la materia orgánica, dispersándola en la superficie, confiriéndole un tono oscuro característico.

La solución de suelo presenta gran cantidad de cloruro, sulfatos y bicarbonatos, y algo de carbonato. Al perder agua el suelo, por medio de la evapotranspiración y en presencia de pHs altos, el calcio y el magnesio precipitan en forma de carbonatos, los cuales son relativamente insolubles.

Sin embargo, lo más destacado de este tipo de suelo es la dispersión de las arcillas las cuales, al ser arrastradas por las aguas, se depositan a pocos centímetros de profundidad, formando una capa poco permeable y de estructura prismática, causante de la asfixia de las plantas. Ésta es la característica negativa más importante que nos plantean los suelos sódicos. No obstante, hay que señalar además que algunos cultivos son sensibles al contenido de sodio en el complejo de cambio. Las tablas 4 y 5 nos dan una idea para la interpretación de los análisis de los suelos sódicos. Para la recuperación de estos suelos es indispensable poseer una fuente de calcio (por ejemplo, yeso), con el fin de sustituir el exceso de sodio cambiante.

CLASE	PSI	PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS (%)
Ligeramente sódicos	7 – 15	80 – 60
Medianamente sódicos	15 – 20	60 – 40
Fuertemente sódicos	20 – 30	40 – 20
Extremadamente sódicos	> 30	< 20

Tabla 4. Producción de los cultivos en suelos sódicos.

En la práctica analítica, una vez determinada la CE en el extracto, se determinan también los cationes y los aniones. Los cationes nos sirven para obtener el índice de SAR o RAS (relación absorción sodio) que viene dado por la siguiente fórmula:

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

Según sus características salinas, sódicas o alcalinas se clasifican los suelos como:



	CEps > 4dS/m	PSI < 15%	PH < 8.5
SUELOS SÓDICOS	CEps < 4dS/m	PSI > 15%	PH < 8.5
SUELOS ALCALINOS (caso particular de los sódicos)	CEps < 4dS/m	PSI > 15%	PH > 8.5
SUELOS SALINO-SÓDICOS	CEps > 4dS/m	PSI > 15%	PH < 8.5
SUELOS SALINOS-ALCALINOS	CEps > 4dS/m	PSI > 15%	PH > 8.5

Tabla 5. Clasificación de suelos salinos

4.7. Procesos de acumulación de sales

El proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio del Ca y el Mg se le denomina salinización. Cuando es el Na el que predomina netamente el suelo evoluciona de muy distinta manera, desarrollándose un proceso, con resultados completamente distintos, que es el llamado alcalinización. Las condiciones para producir la acumulación son un aporte de sales cuya posible eliminación ha de estar impedida.

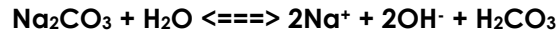
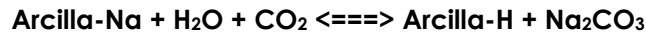
La sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Junto a estas sales de base fuerte NaOH y ácido débil (H_2CO_3), existen importantes cantidades de sales sódicas neutras carentes de propiedades alcalinizantes (principalmente cloruros y sulfatos) y sales de calcio y magnesio.

Un elevado contenido en Na^+ en la solución del suelo, en relación con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provocaría, dada su baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides y, con ellos, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica.

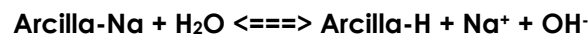
Según varios autores:

- La concentración de Na^+ frente al Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el Na^+ pueda desplazar al Ca^{2+} y Mg^{2+} en el complejo de cambio, dada la menor energía de adsorción del sodio.
- Es generalmente admitido que para que el sodio juegue un importante papel en la evolución del suelo, es decir, para que se produzca la alcalinización, la concentración de sodio adsorbido frente a los otros cationes ha de superar el valor crítico del 15%, o sea $\text{Na} / \text{S} > 15\%$ (S = suma de otros cationes adsorbidos).

Las arcillas saturadas en Na^+ tienen propiedades particulares, en presencia de agua de lluvia por tanto con CO_2 disuelto, se hidrolizan, liberando Na^+ y OH^- según la siguiente ecuación:



Como consecuencia el medio se alcaliniza rápidamente, alcanzándose valores de pH progresivamente cada vez más altos; 9, 10 o incluso más.



Esto produce consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo:

- Tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan
- Los agregados estructurales se destruyen;
- Las arcillas y los ácidos humicos se iluvian, acumulándose en el horizonte B, formándose un horizonte de acumulación de arcillas sódicas, es decir, que se origina un horizonte nátrico (si la intensidad de la iluviación es suficiente)
- Los cambios estacionales producen el hinchamiento y contracción de las arcillas sódicas (montmorillonita) formándose una estructura prismática fuertemente desarrollada.
- Finalmente, como el medio se ha vuelto fuertemente alcalino, la cristalinidad de las arcillas disminuye; se vuelven inestables, parte de ellas se descomponen; se destruyen los vértices y aristas superiores de los prismas originándose una estructura muy peculiar llamada columnar.

Este proceso se puede dar directamente en el suelo o puede aparecer a continuación del proceso de salinización, cuando se produce el lavado de las sales más solubles y se acumulan los carbonatos y bicarbonatos sódicos.

5. Cierre

Como resumen final, queremos recalcar que la salinidad afecta principalmente a las plantas de forma directa cuando hay un exceso de sales (presión osmótica), mientras que la salinidad de tipo sódico afecta de forma indirecta al destruir la estructura del suelo, lo que posteriormente dará lugar al fenómeno de asfixia.

6. Bibliografía¹

Libros:

Porta, J., López Acevedo, M., Roquero, C. "Edafología para la agricultura y el medio ambiente". 2003. Ed. Mundi prensa, pp. 167-202.



Porta, J. "Agenda de campo de suelos". 2005. Mundi prensa. Madrid.

Saña y Villaseca, J., More Ramos, J.C., Cohi, A. "La gestión y la fertilidad de suelos". 1996. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

Urbano-Terrón, P. "Tratado de fitotécnia general", 1988. Ed. Mundi prensa.
pp. 345 – 388.