

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



ASIGNATURA:
CONTROL Y CONTAMINACIÓN DE SUELOS

TEMA:
LA SALINIDAD Y SODICIDAD EN LOS SUELOS COMO AGENTES CONTAMINANTES

DOCENTE: DRA. PATRICIA ANDRADE PhD.

De los 230 millones de hectáreas regadas en el mundo, 45 millones de has. (20%) han sido afectadas por la sal

SALINIZACIÓN:

La salinización es el proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio de calcio y magnesio, ya sea generado de manera natural, antrópica o por su combinación.

SODIFICACIÓN:

Consiste en un aumento del porcentaje de sodio (NaCl) en las sedes de intercambio ($>15\%$), lo que induce la dispersión de las arcillas y la materia orgánica. Las propiedades físicas son muy desfavorables en estos suelos. Con frecuencia, es medida como “Porcentaje de Sodio Intercambiable en el suelo o agua de riego PSI”.





NATURALEZA DE LOS SUELOS SALINOS Y DE LOS SUELOS SÓDICOS

FORMACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS

CONSIDERACIONES:

¿CÓMO SE FORMAN LOS SUELOS SALINOS?

- Los suelos afectados por salinidad resultan de una concentración de sales más solubles que el carbonato de calcio y el yeso (gr/100 ml a 25°C = 0,24 (muy escasa)). La mayoría de los suelos afectados por elevadas concentraciones de sales se clasifican como Solonchaks. Presentan una Conductividad Eléctrica superior a 4 dS/m.
- La formación de los suelos salinos se debe a ciclos de movilización, redistribución y acumulación de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonato sódico, que resultan de la mezcla entre algunas sales solubles con otros elementos químicos, principalmente: Oxígeno (O), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Cloro (Cl), Azufre (S), Carbono (C) y Nitrógeno (N).

A CONSIDERAR:

Siemens (S): Unidad del SI de conductancia eléctrica (G). La conductancia es la inversa de la resistencia (R). Un siemens corresponde a la inversa de 1 ohmio $1\text{ S} = 1/R$.

¿Qué es un Ohmio (ohm)?:

Es la unidad de resistencia eléctrica. Un ohm, se define como la resistencia entre dos puntos de un conductor cuando se aplica 1 voltio entre ellos y fluye un amperio de corriente

¿Qué es un micro siemens ($\mu\text{S/cm}$) ?

Es una Medida que se obtiene de la Conductividad.

Su unidad de medición es el Siemens/cm (S/cm); si lo aplicamos a una magnitud de 10 elevado a -6 obtenemos un valor en microSiemens ($\mu\text{S/cm}$); y si lo medimos en 10 elevado a -3, estamos hablando de miliSiemens (mS/cm).

¿Cuánto vale 1 microsiemens?

Múltiplos del SI

Valor	Símbolo	Nombre
10^{-3} S	mS	milisiemens
10^{-6} S	μS	microsiemens
10^{-9} S	nS	nanosiemens
10^{-12} S	pS	picosiemens

¿QUÉ ES LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA?

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad de la solución del suelo para transportar corriente eléctrica en función del contenido de sales disueltas o ionizadas en la solución (USDA,1999).

Por lo tanto, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. La unidad SI de conductividad es el siemens por metro (S/m).

¿QUÉ SUCEDE SI LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO ES ALTA?

Si la conductividad es muy baja lo más probable es que se requiera más fertilizante o mayor frecuencia en el riego; por lo contrario, si la conductividad es muy elevada, esto implica que existe mayor cantidad de nutrientes de los necesarios, poca irrigación o que la sal haya formado una costra que no permite el paso de los nutrientes.

TIPOS DE CE

Al analizar la conductividad eléctrica, se debe considerar los diferentes tipos de conductividad, pues las lecturas cambian mucho, cuando se miden en un medio diferente o en diferentes niveles de humedad del suelo.

CE_w— Conductividad eléctrica del agua de riego.

CE_e — Conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada del suelo. El extracto de pasta saturada es un extracto que se toma en un estado de humedad específico del suelo. Todos los umbrales de CE relacionados con la tolerancia del cultivo a la salinidad se dan como CE_e.

CE_e $\approx$ CE_w X 1.3 a 1.5 (depende de la textura del suelo, la frecuencia de riego, etc.).

CE de extracto 1: 2 o 1: 5 — La conductividad eléctrica medida en un extracto de 1: 2 o 1: 5 relación suelo / agua.

Para **estimar La CE_e**, o para comparar los valores obtenidos por estos métodos, se deben usar ecuaciones de regresión.

CE_b o CE_a — La conductividad eléctrica a granel (también denominada conductividad eléctrica aparente) del suelo, que es la conductividad eléctrica del suelo a granel, es decir, el agua y el aire del suelo. Este es un parámetro diferente a ECE.

FORMACIÓN DE LOS SUELOS SÓDICOS

¿¿ Y CÓMO SE FORMAN LOS SUELOS SÓDICOS ??

Los Suelos Sódicos se originan cuando, por encontrarse grandes cantidades el ion Na^+ en el suelo, se intercambia con otras bases presentes en el complejo de cambio como Ca^{2+} y Mg^{2+} en el suelo, esto origina efectos físicos y químicos en el suelo. Un exceso de sodio en el complejo de cambio en relación al contenido de calcio y magnesio, se considera el principal causal de la sodicidad del suelo.

Así se considera que, un Suelo salino sódico: es el proceso combinado de salinización y acumulación de sodio. Su CE es mayor a 4 mmhos/cm a 25°C y el PSI es mayor que 15.

El pH raramente es mayor de 8,5 cuando hay presencia de sales y el suelo está floculado.

CAUSAS DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD

ORIGEN DE LAS SALES: SALINIDAD

Para que un suelo se contamine en sales se han de cumplir dos condiciones: que haya un aporte de sales y que estas no se eliminen.

El riego no controlado, es la causa principal de contaminación por sales especialmente en las regiones áridas y semiáridas.

El empleo de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, es otra de las causas que provocan situaciones de altas concentraciones de sales, que contaminan los acuíferos y como consecuencia los suelos que reciben estas aguas.

La actividad industrial, en ocasiones, puede acarrear situaciones serias de acumulación de determinadas sales en los suelos situados bajo su zona de influencia.

Las aguas subterráneas presentan una concentración salina superior a las aguas superficiales debido principalmente a dos razones: al contacto prolongado con los minerales de las rocas, así como al contacto con las masas de agua salina del mar (intrusión marina) en las zonas costeras.

SODICIDAD

El exceso de sodio en el complejo de cambio en relación al contenido de calcio y magnesio es el causante de la sodicidad del suelo.

La sodificación del suelo se produce por la evapoconcentración de las sales.

Al concentrarse la solución del suelo, Ca, Mg, HCO_3 y SO_4 son los primeros en precipitar en el suelo, los cationes monovalentes (Na) incrementan frente a los divalentes (Ca y Mg).

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS SALINOS

SUELO	CE	PSI	pH	UBICACIÓN DE LAS SALES EN EL SUELO
	(dSm ⁻¹)	(%)	Adimensional	
Salino	> 4	< 15	7.0 - 8.5	Disueltas en la solución del suelo Costras blancas de sal en la superficie
Sódico o alcalino	< 4	> 15	8.5* - 10.0	Adsorbidas en las arcillas (Na ⁺) Costras negras y quebradizas en la superficie
Salino-sódico	> 4	> 15	< 8.5*	Adsorbidas en coloides y en la solución del suelo Costras blancas y oscuras en la superficie
Normal	< 4	< 15	6.5 - 7.5	Adsorbidas en coloides y en la solución del suelo

ELIMINACIÓN DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD

CORRECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE SALES

ELIMINACION DE SALES: GENERALIDADES

- La salinización en sitio, se produce por la acción del drenaje y del clima.
- Es necesario que el agua circule lentamente, para que impregne el suelo, disuelva las sales y estas se distribuyan en el perfil sin que puedan eliminarse grandes cantidades de ellas. Ello se origina en suelos con malas condiciones de drenaje.

- El clima ejerce una acción también fundamental en la formación de estos suelos, desarrollados bajo climas más o menos áridos.
- Los breves períodos húmedos provocan la disolución de las sales, y con ello su movilización.

- Con las intensas y largas sequías se originan fuertes evaporaciones, que producen la ascensión de los mantos freáticos y al intensificarse la evaporación concentran las sales de la solución del suelo, que precipitan acumulándose en determinados horizontes del perfil.

- Bajo climas húmedos, las sales solubles de las aguas de riego son lavadas y transportadas a horizontes inferiores, hacia los acuíferos subterráneos y finalmente llevadas a los océanos.

CORRECCIÓN Y MANEJO DE SUELOS SALINOS

Con el uso de sistemas de fertirrigación se puede manejar cultivos sensibles en condiciones salinas. Es por ello que para evitar problemas de salinidad la elección del sistema de riego es crucial. Además se recomienda lo siguiente:

- Aplicación correcta de los abonos orgánicos sin excederse.
- Fertilización de cultivos en base a análisis preliminares del suelo y agua.
 - Monitoreo de la CE del suelo en cada ciclo de cultivo.
 - Buen sistema de drenaje del suelo.
- Control y monitoreo de fuentes de agua para asegurar y prevenir salinidad de suelos.
- Determinación de la tolerancia de cada cultivo antes de empezar su proceso productivo.

CORRECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE LA SODIFICACIÓN



Los suelos sódicos se originan cuando el ion 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.

Por ello es necesario, tomar en cuenta que las altas concentraciones de sodio en los suelos son responsables de la floculación o dispersión de las partículas (materia orgánica y arcillas), así como de la disminución de la permeabilidad o infiltración de agua a través del perfil, degradándolo físicamente.

De allí que en los suelos sódicos, la concentración de sodio es mayor que la suma de la concentración de calcio y magnesio. Por lo que el manejo de estos suelos, implica desde el **uso de mejoradores químicos como el yeso agrícola o ácido sulfúrico según la ausencia o presencia de carbonatos de calcio y magnesio en el suelo.**

PRINCIPALES EFECTOS DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD EN EL SUELO

EFECTOS DE LA SALINIDAD EN LOS SUELOS

PRINCIPALES EFECTOS:

La salinidad tiene un efecto negativo en el desarrollo de los cultivos ya que en estas condiciones el potencial osmótico del suelo supera al del sistema de las plantas limitando así la entrada del agua en la raíz, además de ello la salinidad trae consigo otros problemas como:

- La presencia de sales **reduce el potencial osmótico** del suelo lo que ocasiona menor disponibilidad del agua para las plantas (Una forma de determinar el contenido salino de los suelos es mediante la conductividad eléctrica).
- Absorción limitada de los nutrimentos.
- Afecta la translocación y el reciclado de iones en la planta.
- El exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad en las plantas.
- Acumulación de Cl, Na y B; en distintas partes de las plantas, como las semillas, los tallos y las hojas.
- Se producen una serie de modificaciones debido a las variaciones de pH, que afectan a la disponibilidad de los nutrimentos.
- La presencia en exceso de determinados elementos provoca antagonismos entre nitratos-cloruro, potasio-sodio, calcio-sodio.

EFECTO TOXICIDAD EN LAS PLANTAS

HOJAS DE CÍTRICOS AFECTADAS
POR TOXICIDAD POR BORO.
LIMONERO (A), NARANJO (B),
POMELO (C).



FOLLAJE DEL CULTIVO DE
ROSAS SEMBRADO EN UN
SUELO AFECTADO POR LAS
SALES DE SODIO (NA)



EFFECTO: MODIFICACIÓN DE PROCESOS DE ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS:

Fenológicas

- Retraso de la floración.

Morfológicas

- Disminución tamaño foliar para hacer descender la transpiración.
- Suculencia en tallos y hojas acumula y aísla sales para evitar toxicidad
- Reducción del número nervios y estomas.

Fisiológicas

- Retraso germinación y maduración ante condiciones desfavorables.
- Acortamiento estación crecimiento (anuales).
- Engrosamiento cutículas para hacer descender transpiración.
- Selectividad a iones específicos para compensar desequilibrios.

EFEECTO SALINIDAD EN LOS SUELOS: En función a su Clasificación:

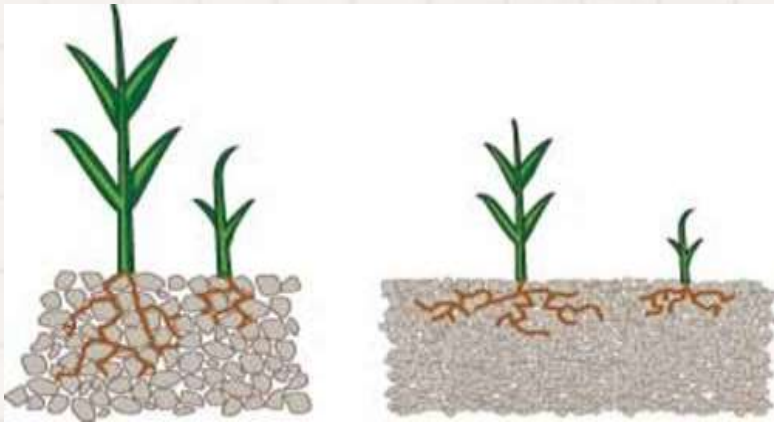
Cuadro 1. Clasificación del suelo y su efecto general sobre los cultivos a partir de la conductividad eléctrica.

CEe dS/m	Condiciones de salinidad y efecto sobre las plantas
Menor a 1	Suelos libres de sales. No existen restricciones para ningún cultivo.
1-2	Suelos bajo en sales. Algunos cultivos muy sensibles pueden ser restringidos sus rendimientos.
2-4	Suelo moderadamente salino. El rendimiento de cultivos sensibles puede verse afectados en sus rendimientos.
4-8	Suelo salino. El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.
8-16	Suelo altamente salino. Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.
Mayor a 16	Suelo extremadamente salino. Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.

EFECTOS DE LA SODICIDAD EN LOS SUELOS

EFECTO: PÉRDIDA FÍSICA DEL SUELO

El principal efecto de una elevada sodicidad es la ruptura de la estructura física del suelo, llegando a sellarse los poros por donde se mueve la solución del suelo con todos los nutrientes.



Un efecto añadido a esa ruptura de la estructura del suelo es el aumento de forma considerable de las pérdidas del suelo por erosión. En las imágenes, se observan las cárcavas producidas por erosión hídrica en suelos con elevada sodicidad.



OTROS EFECTOS DE LA SODICIDAD EN LOS SUELOS

Efectos Ambientales

Desplazamiento y reducción del microbioma de los suelos por toxicidad a las altas concentraciones de sodio. Predominancia de especies halófitas.

Efectos sobre las propiedades del suelo:

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

Efectos sobre el cultivo

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.



EJERCICIO DE APLICACIÓN:

VALORES A CONSIDERAR EN EL AGUA DE RIEGO

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores normales en aguas de riego
SALINIDAD			
<u>Contenido en sales</u>			
Conductividad eléctrica	CE _a	dS/m	0 – 3
Total sólidos en solución	TSD	mg/l	0 – 2000
<u>Cationes y aniones</u>			
Calcio	Ca ²⁺	meq/l	0 – 20
Magnesio	Mg ²⁺	meq/l	0 – 5
Sodio	Na ⁺	meq/l	0 – 40
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	meq/l	0 – 0'1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/l	0 – 10
Cloro	Cl ⁻	meq/l	0 – 30
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq/l	0 – 20
NUTRIENTES			
Nitrato-nitrógeno	NO ₃ -N	mg/l	0 – 10
Amonio-nitrógeno	NO ₄ -N	mg/l	0 – 5
Fosfato-fósforo	PO ₄ -P	mg/l	0 – 2
Potasio	K ⁺	mg/l	0 – 2
VARIOS			
Boro	B	mg/l	0 – 2
Acidez o basicidad	pH	1-14	6 – 8'5
Relación de absorción de sodio	RAS	meq/l	0 - 15

En el caso de la salinidad se utiliza la misma lectura de Conductividad pero se sigue la siguiente relación:

$$\text{Salinidad (mg/l)} = 0.64 \times \text{conductividad eléctrica } (\mu\text{S/cm}).$$

(Se recomienda que el agua presente valores $<0.75 \mu\text{S/cm}$ para que el riesgo de salinidad en suelos sea bajo).

Rendimientos	100%		90%		75%		50%		0%	
(Conductividad eléctrica en dS/m)	Extracto saturado CEe	Agua riego CEw	Extracto saturado CEe	Agua riego CEw	Extracto saturado CEe	Agua riego CEw	Extracto saturado CEe	Agua riego CEw	Extracto saturado CEe	Agua riego CEw
EXTENSIVOS										
Cebada	8	5,3	10	6,7	13	8,7	18	12	28	19
Algodón	7,7	5,1	9,6	6,4	13	8,4	17	12	27	18
Remolacha	7	4,7	8,7	5,8	11	7,5	15	10	24	16
Trigo 4,6	6	4	7,4	4,9	9,5	6,3	13	8,7	20	13
Soja	5	3,3	5,5	3,7	6,3	4,2	7,5	5	10	6,7
Arroz	3	2	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8	11	7,6
Caña de azúcar	1,7	1,1	3,4	2,3	5,9	4	10	6,8	19	12
Maíz	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7
Haba	1,5	1,1	2,6	1,8	4,2	2	6,8	4,5	12	8
Alubia	1	0,7	1,5	1	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
HORTALIZAS										
Calabacín	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10	6,7	15	10
Remolacha roja	4	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4	15	10
Brócoli, Brécol	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14	9,1
Tomate	2,5	1,7	3,5	2,3	5	3,4	7,6	5	13	8,4
Pepino	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2	10	6,8
Espinaca	2	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15	10
Apio	1,8	1,2	3,4	2,3	5,8	3,9	9,9	6,6	18	12
Col	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7	4,6	12	8,1
Patata	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7
Maíz dulce	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7
Boniato	1,5	1	2,4	1,6	3,8	2,5	6	4	11	7,1
Pimienta	1,5	1	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Lechuga	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9	6
Rábano	1,2	0,8	2	1,3	3,1	2,1	5	3,4	8,9	5,9
Cebolla	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	5
Zanahoria	1	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3	8,1	5,4
Judía	1	0,7	1,5	1	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
Nabo	0,9	0,6	2	1,3	3,7	2,5	6,5	4,3	12	8
FRUTAS										
Palmera datilera	4	2,7	6,8	4,5	11	7,3	18	12	32	21
Pomelo	1,8	1,2	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3	8	5,4
Naranja	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	8	5,3
Melocotón	1,7	1,1	2,2	1,5	2,9	1,9	4,1	2,7	6,5	4,3
Albaricoque	1,6	1,1	2	1,3	2,6	1,8	3,7	2,5	5,8	3,8
Uva (Vitus sp.)	1,5	1	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12	7,9
Almendra	1,5	1	2	1,4	2,8	1,9	4,1	2,8	6,8	4,5
Ciruela	1,5	1	2,1	1,4	2,9	1,9	4,3	2,9	7,1	4,7
Mora (Rubus sp.)	1,5	1	2	1,3	2,6	1,8	3,8	2,5	6	4
Fresa (Fragaria sp.)	1	0,7	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7	4	2,7

EJERCICIO

CÁLCULO DE LA SALINIDAD EN EL AGUA:

Sales aportadas (t/ha) = Conductividad eléctrica (ds/m) * f (factor conversión ce-concentración sales) * dosis riego (m³/ha) / 1000000

DE ESTA FORMA, PARA UN AGUA CON SALINIDAD MODERADA (CE = 2 DS/M) Y UNA DOSIS DE RIEGO DE 6000 M³/HA SE CALCULA UN APORTE DE SALES POR HECTÁREA:

$$\text{SALES APORTADAS (T/HA)} = 2 \text{ (DS/M)} * 640 * 6000 \text{ (M}^3\text{/HA)} / 1000000 = 7.68 \text{ T/HA}$$