Agricultura Razonada®

Por:
Laboratorios A-L de México S.A. de C.V.

SALINIDAD Y SALES SOLUBLES EN EL SUELO

-Importancia, medición y control-

Contenido

1. La salinidad de los suelos
2. Naturaleza de las sales solubles
3. Causas de salinidad
4. Efectos de salinidad y sodicidad
5. Medidas de salinidad y sodicidad
6. Manejo de suelos salinos y sódicos
7. Recuperación de suelos salinos y sódicos
8. Salinidad en Extracto de Pasta Saturada

1.La Salinidad de los Suelos

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

Si el catión predominante es el Ca++, las sales solubles son muy abundantes en el suelo. El perfil se encuentra muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable, como resultado de la acción floculante del Ca++. La alta presión osmótica de la solución del suelo es la responsable de la baja productividad. A estos suelos se les denomina suelos salinos (o suelos halomorfos). El suelo representativo es el *Solonchak*.

Cuando es el Na+ el catión dominante se produce la dispersión de las arcillas, lo que lleva a una destrucción de la estructura. Por otra parte, la hidrólisis de las arcillas sódicas conduce a la alcalinización del perfil, y esta provoca intensa alteración mineral. El perfil queda bien diferenciado desde el punto de vista morfológico. A estos suelos se les llama suelos sódicos (en ocasiones alcalinos) y su clase representativa es el Solonetz.

Por otra parte, cuando existe un alto contenido en sales y estas son sódicas, el sodio es el que predomina en el complejo de cambio y los suelos son salino-sódicos. Son suelos típicos de las regiones de clima seco, pues dada la alta solubilidad de las sales estas tienden a movilizarse bajo clima húmedo.

2.Naturaleza de las Sales Solubles

Las sales pueden encontrarse en el suelo de varias formas: precipitadas bajo la forma de cristales, disueltas en la solución, o bien retenidas, adsorbidas, en el complejo de cambio. El contenido en sales en cualquiera de estas tres situaciones está cambiando continuamente al ir cambiando la humedad edáfica, pasando las sales de una posición a otra. Así en el: período seco: la cristalización aumenta, las sales en solución disminuyen (aunque la solución se concentra) y aumentan las adsorbidas. En cambio, durante el período húmedo el comportamiento es inverso.

En cuanto a su composición, estas sales son el resultado de la combinación de unos pocos elementos químicos, fundamentalmente: O, Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C, N. Estos elementos necesarios para la formación de las sales son muy frecuentes en la corteza terrestre.

COMPOSICIÓN DE LA CORTEZA TERRESTRE, SEGÚN CLARK (EN %)			
ELEMENTO	**PORCENTAJE**	**ELEMENTO**	**PORCENTAJE**
Oxígeno	49,13	Hidrógeno	1,00
Silicio	26,00	Titanio	0,61
Aluminio	7,45	Carbono	0,35
Hierro	4,20	Cloro	0,35
Calcio	3,25	Fósforo	0,12
Sodio	2,40	Azufre	0,10
Magnesio	2,35	Manganeso	0,10
Potasio	2,35		

Los nitratos, cloruros, sulfatos y carbonatos de iones alcalinos y alcalinotérreos son las sales que con mayor facilidad se forman en la corteza terrestre. Los elementos químicos pueden ser agrupados en cinco categorías de acuerdo con su movilidad y a su capacidad de migración:

Grupo 1. Virtualmente no lavable: Si (en cuarzo)
Grupo 2. Débilmente lavable: Fe, Al, Si
Grupo 3. Lavable: Si, P, Mn
Grupo 4. Fuertemente lavable: Ca, Na, K, Mg, Cu, Co, Zn Grupo 5. Muy fuertemente lavable: Cl, Br, I, S, C, B

La posibilidad de encontrar estos compuestos en los suelos salinos y aguas salinas es mayor cuanta más alta sea la categoría en que se encuentran clasificados los elementos. Los grupos cuarto y quinto constituyen los principales compuestos acumulados como resultado del proceso de salinización. Las sales más frecuentemente encontradas son:

CLORUROS: NaCl, CaCl2, MgCl2, KCl
SULFATOS: MgSO4, Na2SO4,
NITRATOS: NaNO3, KNO3
CARBONATOS: Na2 CO3
BICARBONATOS: NaCO3H

Los cloruros junto con los sulfatos son las principales sales formadas en este proceso. El calcio, el magnesio y el sodio son los cationes que mayoritariamente se unen a los cloruros y a los sulfatos para formar las sales, con menor frecuencia se encuentra el potasio y los bicarbonatos, carbonatos y nitratos.

Solubilidad de la sales.

Se trata de una propiedad muy importante, pues además de afectar a la movilidad y precipitación, va a regular su máxima concentración en la solución del suelo. Y cuanto mayor sea ésta, más importante va a ser su efecto perjudicial para los cultivos. Las sales más tóxicas son, pues, las que presentan elevadas solubilidades, que darán soluciones muy concentradas. Por el contrario, las sales con baja solubilidad no representaran ningún problema ya que precipitaran antes de alcanzar niveles perjudiciales. Como puede verse en la siguiente tabla, los cloruros y nitratos son los más solubles, después los bicarbonatos junto a los sulfatos, siendo en general los menos solubles los carbonatos. Por tanto, serán estos últimos los primeros en precipitar, seguidos del sulfato cálcico y no serán considerados dentro del concepto de sales solubles, concepto que se refiere a sales muy solubles, concretamente empiezan a partir del carbonato sódico.

En general, la solubilidad de la sales aumenta con la temperatura. En soluciones complejas, la presencia de sales con iones comunes disminuye la solubilidad de estas sales. Por el contrario, cuando los iones son diferentes se suele aumentar la solubilidad de la sal menos soluble. En la siguiente tabla se reproduce la frecuencia, grados de solubilidad y los efectos tóxicos particulares estas sales.

CLASE	PRESENCIA EN LOS SUELOS SALINOS	SOLUBILIDAD	TOXICIDAD
CLORUROS			
Sódico	Común	Alta	n
Magnésico	Común	Alta	n
Cálcico	Raro	Alta	n
Potásico	Bajo	Alta	n
SULFATOS			
Sódico	Común	Muy Variable	n
Magnésico	Común	Media	n
Potásico	Común	Alta	n
CARBONATOS			
Sódico	En suelos sódicos	Media	n
BICARBONATOS			
Sódico	En suelos sódicos	Media	n

Cloruros

El cloruro sódico es la sal más frecuente en los suelos salinos, junto con los sulfatos sódico y magnésico, y suele formar parte de las eflorescencias blancas que aparecen en la superficie del suelo durante la estación seca. Su toxicidad es alta.

El cloruro magnésico se acumula en suelos que tienen una salinidad extremadamente alta. Es una sal de toxicidad muy elevada y se puede formar en suelos con alto contenido en NaCl, en los que el Na+ se intercambia con el Mg2+ adsorbido en las posiciones de intercambio: Partícula adsorbente-Mg + NaCl ----> Partícula adsorbente-Na + MgCl2.

Esta es una sal muy higroscópica, pudiendo absorber humedad del aire. Sus eflorescencias tienen un sabor amargo.

El cloruro cálcico, si bien su solubilidad es muy alta, es una sal muy poco frecuente en suelos debido a la mayor estabilidad de otras sales cálcicas, como los sulfatos o los carbonatos:

CaCl2 + Na2SO4 + 2H2O ----------> 2NaCl (halita)+ CaSO4. 2H2O (yeso)
CaCl2 + Na2CO3 ----------> 2NaCl (halita) + CaCO3 (calcita)

Tanto el yeso como el carbonato cálcico precipitan y la reacción progresa hacia la derecha. 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 las estructura de las arcillas de tipo illita o bien en la biomasa debido a su carácter de macronutriente.

Sulfatos

El sulfato sódico es frecuente en los suelos salinos. Sus eflorescencias tienen un sabor jabonoso-salado. Su solubilidad se ve afectada fuertemente por la temperatura, lo que hace que tienda a concentrarse en la superficie del suelo, ya que durante el período cálido asciende a la superficie del suelo formando parte de las eflorescencias (rasgo muy típico de los suelos salinos) y durante el período húmedo, que en nuestro clima coincide con el frío, se lava menos que las otras sales. Mucho menos tóxica que el sulfato magnésico. El sulfato magnésico es una sal frecuente en los suelos salinos, muy soluble y altamente tóxica.

El sulfato potásico, es escaso, en general, en los suelos salinos, por lo que no suele ser responsable de salinizaciones en condiciones naturales, aunque puede crear

problemas cuando se hace un mal uso de los abonos, generalmente en invernaderos. Junto con el KCl son las sales menos tóxicas.

Carbonatos y bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos sódicos presentan una solubilidad elevada, aunque dependiendo de la temperatura. Su presencia en suelos en cantidades relativamente elevadas implica condiciones de alcalinidad (pH > 9) debido a la formación de OH-:

$Na_2CO_3 + H_2O \text{ ----------> } 2Na^+ + HCO_3^- + OH^-$
$HCO_3^- + H_2O \text{ ---------> } H_2CO_3 + OH^-$

La presencia de otras sales solubles en la solución del suelo limita la formación del carbonato y bicarbonato sódico, por lo que estas sales suelen ser abundantes cuando la salinidad total es baja, ya que se pueden producir reacciones como:

$Na_2CO_3 + CaSO_4 \text{ -------> } CaCO_3 + Na_2SO_4$
$Na_2CO_3 + MgSO_4 \text{ -------> } MgCO_3 + Na_2SO_4$

En las que el $CaCO_3$ y el $MgCO_3$ son poco solubles y precipitan, con lo que las reacciones se desplazan hacia la derecha. En presencia de NaCl, la solubilidad del carbonato y bicarbonato sódico disminuye igualmente por efecto del ion común.

La fuerte alcalinidad que originan crea condiciones poco aptas para el crecimiento de los cultivos, pudiéndose presentar efectos desfavorables a concentraciones bajas (0,05-0,1 %). El bicarbonato sódico es menos alcalino que el carbonato, debido a que el ácido carbónico neutraliza en parte el efecto alcalino. Su solubilidad es también menor que la del carbonato.

Nitratos

El nitrato sódico es una sal muy soluble y tóxica, aunque, en general, muy poco frecuente y rara vez supera el 0,05 %.

Otras sales no solubles frecuentes en los suelos salinos:

- Carbonato cálcico y carbonato magnésico
- El carbonato cálcico, al ser de muy baja solubilidad, no tienen efectos perjudiciales para las plantas. Es un compuesto muy abundante en suelos.
- El carbonato magnésico es mucho más soluble que el cálcico, sin embargo, es muy rara su presencia en los suelos.

Sulfato cálcico
El yeso ($CaSO_4.2H_2O$) es una sal que por su baja solubilidad tampoco es perjudicial para las plantas. Junto con los carbonatos, es un mineral muy frecuente en los suelos salinos.

3.Causas de Salinidad

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. Dos son las condiciones necesarias para que se produzca la acumulación de sales en los suelos: aporte de sales y su posible eliminación ha de estar impedida.

(a) Origen de las sales

Las sales, tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, proceden de muy diferentes orígenes. En líneas generales, pueden ser de origen natural o proceder de contaminaciones antrópicas.

(b) Causas naturales

En primer lugar, pueden proceder directamente del material original. Efectivamente algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias, contienen sales como minerales constituyentes. Por otra parte, en otros casos ocurre que, si bien el material original no contiene estas sales, se pueden producir en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madre. Por otra parte, también las sales disueltas en las aguas de escorrentía se acumulan en las depresiones y al evaporarse la solución se forman acumulaciones salinas. Muchos de los suelos salinos deben su salinidad a esta causa.

También frecuentemente los suelos toman las sales a partir de mantos freáticos suficientemente superficiales (normalmente a menos de 3 metros). Los mantos freáticos siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y en las regiones áridas estas sales ascienden a través del suelo por capilaridad. En general, la existencia de mantos freáticos superficiales ocurre en las depresiones y tierras bajas, y de aquí la relación entre la salinidad y la topografía.

La contaminación de sales de origen eólico es otra causa de contaminación. El viento en las regiones áridas arrastra gran cantidad de partículas en suspensión, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros que pueden contribuir en gran medida a la formación de suelos con sales. El enriquecimiento de sales en un suelo

se puede producir, en las zonas costeras, por contaminación directa del mar, a partir del nivel freático salino y por la contribución del viento.

En algunas ocasiones, la descomposición de los residuos de las plantas, liberan sales que estaban incluidas en sus tejidos y contribuyen de esta manera a aumentar la salinidad del suelo; otras veces las plantas contribuyen a la descomposición de minerales relativamente insolubles y a partir de ellos se forman sales. De cualquier manera, aunque este efecto ha sido mostrado por varios autores (examinando la salinidad de suelos sin vegetación y suelos con un determinado tipo de vegetación) globalmente este efecto carece de importancia.

(C) Contaminación antrópica.

La salinidad del suelo también puede producirse como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre. La agricultura, desde su comienzo, ha provocado situaciones de salinización, cuando las técnicas aplicadas no han sido las correctas. La actividad agraria y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad: cuando se han empleado aguas conteniendo sales sin el debido control (acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos), o bien cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación. También se ocasionan problemas graves de salinización en superficies de cotas bajas, cuando se realizan transformaciones de riego de áreas situadas en zonas altas y no se ha previsto su influencia en aquellas otras. Directamente por la acción de las aguas de riego, pero también se puede producir por las movilizaciones de tierras que pueden provocar la aparición de rocas salinas en la superficie del terreno que además de contaminar a los suelos in situ provocaran su acumulación en los suelos de las depresiones cercanas por acción de las aguas de escorrentía.

El empleo de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, más allá de las necesidades de los cultivos, 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. Todas estas situaciones son muy típicas de zonas más o menos áridas sometidas a una actividad agrícola muy intensa. Finalmente, la actividad industrial, en ocasiones, puede acarrear situaciones serias de acumulación de determinadas sales en los suelos situados bajo su zona de influencia, por medio de la contaminación atmosférica o mediante las aguas que discurren por su cuenca hidrográfica.

(D)Cuando la eliminación de las sales se ve impedida.

La segunda condición que se debe cumplir para la formación de un suelo salino es que la posible eliminación de las sales se encuentre fuertemente impedida. Esto 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.

Por otra parte, el clima ejerce una acción también fundamental en la formación de estos suelos, hasta el punto de que en un principio se pensó que el clima árido era indispensable. Y, de hecho, la mayoría de los suelos salinos se encuentran desarrollados bajo climas más o menos áridos, pero al haberse encontrado suelos salinos formándose bajo otros tipos de climas hoy se acepta que los climas áridos favorecen enormemente la formación de estos suelos y su conservación, pero no es un requisito excluyente. Bajo este clima, los breves periodos húmedos provocan la disolución de las sales, y con ello su movilización, mientras que con las intensas y largas sequías se originan fuertes evaporaciones, que produce 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 en un principio presentes en los materiales del suelo son lavadas y transportadas a horizontes inferiores, hacia los acuíferos subterráneos y finalmente llevadas a los océanos. Por consiguiente, normalmente no existen problemas de salinidad en regiones húmedas excepto en los casos de contaminación agrícola e industrial o en zonas expuestas a la influencia del mar, como sucede con los deltas o marismas.

Es decir que, resumiendo, para que se puedan formar estos suelos se necesitan una serie de condiciones muy particulares y de ellas las más favorables son:

- Roca madre sedimentaria con alto contenido en sales solubles.
- Partes bajas del relieve, como los fondos de valle y las depresiones (manto freático cercano a la superficie, zonas de recepción de aguas de escorrentía superficial e hipodérmica, suelos de texturas finas con mal drenaje).
- Zonas próximas al mar o a lagos salados.
- Malas condiciones de drenaje.
- Clima árido (además de escasez de precipitaciones, la red fluvial esta poco desarrollada, presentándose frecuentes cuencas endorreicas, en las que se irán acumulando las sales).
- Riegos con sales y fertilizaciones excesivas.

4.Efectos de Salinidad y Sodicidad

El efecto de la salinidad sobre las plantas es diverso y variable. Existe una clasificación generalizada que agrupa las plantas en halófitas y no halófitas. Las primeras se refieren a aquellas plantas que poseen mecanismos de resistencia a la salinidad, aunque su grado de tolerancia es muy variable. La mayor parte de las plantas cultivadas, se consideran como no halófitas, siendo las más tolerantes la mayoría de los cereales. En general, los paisajes de los suelos salinos se caracterizan por desarrollar una vegetación escasa, con frecuentes claros. Los efectos de la salinidad se podrían agrupar bajo tres aspectos diferentes: relaciones hídricas, balance de energía y nutrición (Martínez Raya, 1996).

Relaciones hídricas.

La concentración de sales solubles eleva la presión osmótica de la solución del suelo. Si tenemos en cuenta que el agua tiende a pasar de las soluciones menos concentradas a las más concentradas, con objeto de diluir éstas últimas e igualar las presiones osmóticas de ambas, se comprende que cuando la concentración salina de la solución del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua tenderá a salir de éstas últimas hacia la solución del suelo. Este efecto llevó a Shimper (1903) a plantear la teoría de la sequedad fisiológica, en la que se postula que, en medios salinos, aunque exista una humedad elevada, las plantas sufren estrés hídrico, se secan y acaban muriendo.

Balance energético.

No obstante, esta teoría no describe completamente todos los efectos perjudiciales de la salinidad, ya que en ocasiones las plantas no sufren estrés hídrico, sino que disminuyen considerablemente su altura. Para explicar este efecto, Bernstein (1961) desarrollo la teoría del ajuste osmótico, la cual propone que las plantas, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, se ven obligadas a una adaptación osmótica de sus células para poder seguir absorbiendo agua; adaptación que requiere un consumo de energía que se hace a costa de un menor crecimiento. Aceves (1979) propone la teoría de la división y el crecimiento celular, en la cual la disminución del crecimiento se atribuye a que las sales afectan a la división celular, producen un engrosamiento prematuro de las paredes celulares y limitan el crecimiento de forma irreversible.

Nutrición.

En el aspecto nutricional, se produce una serie de importantes modificaciones, debido, por un lado, a las variaciones de pH que afectan a la disponibilidad de los nutrientes, y por otro, a las interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos. Tal sucede con los cloruros y nitratos y

fosfatos, el calcio y el sodio o los del potasio y sodio. La dominancia de calcio provoca antagonismos, entre otros, sobre el potasio, magnesio, hierro, boro y zinc. Sin embargo, existen relaciones de sinergismo entre potasio e hierro y entre magnesio y fósforo. Igualmente, la presencia en exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad, debido a su acumulación en distintas partes de las plantas, como pueden ser las semillas, los tallos y las hojas. Los más significativos, en este aspecto, son los cloruros, el sodio y el boro, afectando con mayor incidencia a los cultivos plurianuales.

Sodicidad.

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^{++} y Mg^{++} en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el Na^+ pueda desplazar al Ca^{++} y Mg^{++} 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 $Na/S > 15\%$ (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:

$Arcilla\text{-}Na + H_2O + CO_2 <===> Arcilla\text{-}H + Na_2CO_3$
$Na_2CO_3 + H_2O <===> 2Na^+ + 2OH^- + H_2CO_3$

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

Las ecuaciones anteriores se pueden simplificar en una:
Arcilla-Na + H2O <===> Arcilla-H + Na+ + OH-

La alcalinización del perfil produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan, los agregados estructurales se destruyen. Las arcillas y los ácidos húmicos 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 que presenta la cara superior de los prismas redondeada. En ocasiones, los humatos sódicos iluviados se acumulan en estas superficies revistiéndolas de colores muy oscuros. 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.

En los suelos sódicos, es el sodio el que causa la toxicidad, que podemos centrar en tres vías distintas: efecto nocivo del sodio activo para el metabolismo y nutrición de las plantas; toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones; elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos (Simón, 1996).

De las sales solubles son los sulfatos los que menos toxicidad presentan. Las sales cloruradas son altamente tóxicas. Las sales sódicas presentan una toxicidad muy alta y además su efecto adverso se ve aumentado por el elevado pH que originan (9,5 a 10,5).

5.Medidas de Salinidad y Sodicidad

La dinámica de las sales solubles en el tiempo y en el espacio, es relativamente rápida; de ahí que, tanto en estudios de salinización como en aquellos otros de lavado y recuperación de suelos salinos, sea necesaria una monitorización a intervalos cortos y la recogida de un gran número de muestras. Si a esto le unimos que el análisis de las sales solubles, especialmente los aniones, es un

proceso largo y no exento de dificultades, se comprende que, ya desde antiguo, la salinidad se intentase estimar de manera indirecta a partir de determinados parámetros de las soluciones salinas, cuya medida fuese relativamente fácil y rápida.

Medida de la salinidad: Conductividad Eléctrica (CEs).

La conductividad eléctrica ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, hoy día las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m). Por tanto, la CEs refleja la concentración de sales solubles en la disolución.

Para distinguir suelos salinos de no salinos, se han sugerido varios límites arbitrarios de salinidad. Se acepta que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido en sales excede del 1%. La clasificación americana de suelos, Soil Taxonomy, adopta el valor de 2 dS/m como límite para el carácter salino a nivel de gran grupo y subgrupo, pues considera que a partir de ese valor las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil (y por tanto la génesis) quedan fuertemente influenciadas por el carácter salino. Mientras que el laboratorio de salinidad de los EE.UU. ha establecido el límite de 4 dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas (punto de vista, pues, aplicado).

En base a la CEs el United States Salinity Laboratory de Riverside establece los siguientes grados de salinidad:

- 0 - 2 Suelos normales
- 2 - 4 Quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles. Suelos ligeramente salinos.
- 4 - 8 Quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos. Suelos salinos.
- 8 – 16 Sólo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes. Suelos fuertemente salinos.
- >16 Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables en suelos extremadamente salinos.

Los valores promedio del agua en diferentes ambientes

	CE A 25° en dS/m
Agua de lluvia	0,15
Agua de río	0,30
Agua de riego	0,30

La CE de un suelo (CEs) cambia con el contenido en humedad, disminuye en capacidad máxima (se diluye la solución) y aumenta en el punto de marchitamiento (se concentran las sales). Se ha adoptado que la medida de la CEs se hace sobre el extracto de saturación a 25°C. A una muestra de suelo se le añade agua destilada a 25°C hasta conseguir la saturación y se extrae el agua de la pasta mediante succión a través de un filtro.

5.1 Medida de la Sodicidad: PSI y RAS

La concentración en Na se puede medir bien en la solución del suelo o bien en el complejo de cambio. En el primer caso se denomina razón de adsorción de sodio (RAS) y en el segundo hablamos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

En los suelos es muy importante determinar qué tipo de cationes predominan en el complejo adsorbente (si es el Ca++ 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 x Na / CIC, siendo CIC la capacidad de intercambio de cationes (en ocasiones llamada capacidad de cambio de cationes y representada por CCC).

Se considera 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:

RAS = concentración de Na+, dividido por la raíz cuadrada de la suma de las concentr. de Ca++ y Mg++. A partir del RAS se puede calcular el porcentaje de sodio intercambiable (PSI):

PSI =100 (-0,0126 + 0,01475 RAS), dividido por 1 + (-0,0126 + 0,01475 RAS)

Se puede relacionar, así mismo, la presión osmótica OP con la conductividad eléctrica del extracto ECs, mediante la siguiente ecuación:

OP = 0,36 x ECs (mmhos/cm)

De esta forma se evalúan los suelos sódicos, cuando la CEs es menor de 4 dS/m a 25°C y el PSI es mayor de 15%, siendo los suelos salinos-sódicos aquellos que tienen un a CEs mayor de 4 dS/m a 25°C y un PSI mayor de 15%.

Quedan por consiguiente establecidas las siguientes categorías de suelos:

- Suelos Normales: CEs < 4 dSm-1 a 25°C y PSI < 15%
- Suelos Salinos: CEs > 4 dSm-1 a 25°C y PSI < 15%
- Suelos Sódicos: CEs < 4 dSm-1 a 25°C y PSI > 15%
- Suelos Salino-Sódicos: CEs > 4 dSm-1 a 25°C y PSI > 15%

FAO ponen de manifiesto la importancia climática en la formación de estos suelos. Consideran que existe un alto riesgo de salinización de suelos cuando el índice P/ETP es inferior de 0,75.

6.Manejo de suelos Salinos y Sódicos

El objetivo de la evaluación de los suelos salinos y sódicos es conseguir un manejo adecuado de los mismos, de manera que permita obtener cultivos rentables, por un lado, y su posible recuperación y regeneración, por otro.

Como ya se ha indicado la solubilidad de las sales es un parámetro evaluador de su toxicidad para los cultivos. En la siguiente tabla se reproduce la máxima solubilidad de las sales para un suelo que esté sometido a una temperatura de 40°C (temperatura frecuente en los meses de verano en los climas áridos).

SOLUBILIDAD MÁXIMA			
	CE, dS/m	gr/l	maq/l
MgSO4	363	262	4.352
Na2SO4	504	430	6.064
CaSO4	2,5	2,04	30
NaCl	453	318	5.44
MgCl2	618	353	7.413
Na2CO3	693	441	8.32
NaCo3H	272	137	3.261
CaCO3	0,8	0,01	10
MgCO3	0.8	0	10

Todas las sales solubles pueden constituir soluciones con altísimos valores de CE. Sin embargo, el yeso tan solo puede dar soluciones con un máximo de 2,5 dS/m. Cuando en un suelo, el yeso es muy abundante, solo se encontrará disuelto 2,04 gr/l y el resto se encontrará precipitado, por lo que la solución nunca superará el valor de 2,5 dS/m.

Salinidad y producción.

A la hora de evaluar la posible productividad de un suelo salino hay que tener en cuenta que los criterios de evaluación aquí señalados pueden tener un comportamiento diferente en función de una serie de factores que suelen alterar significativamente los resultados de las tablas de reducción de cosecha de las distintas especies. Esto es una consecuencia de varios factores, entre los que se encuentran la variabilidad que puede presentar la muestra de suelo seleccionada para realizar la diagnosis de salinidad, las técnicas de cultivo aplicadas, las diferentes condiciones de humedad del perfil del suelo, los comportamientos variables según clases de sales existentes, o la selección de especies y variedades adaptadas a las condiciones de salinidad e incluso la relación entre la concentración de las sales durante las distintas fases del desarrollo de los cultivos (Martínez Raya 1996).

Las técnicas de cultivo influyen positiva o negativamente sobre las condiciones salinas. La incorporación de fertilizantes puede elevar el contenido de ciertas sales, como sucede con las derivadas del potasio o nitratos o facilitar el lavado, al favorecer los procesos de intercambio. Las técnicas de riego utilizadas, así como, los caudales aplicados, van a incidir sobre el lavado y afectarán al equilibrio salino de la solución del suelo, especialmente cuando se emplea la técnica de fertiirrigación. Las labores de preparación del terreno, la localización y dosis de la semilla y posteriores labores de escarda tienen especial importancia en condiciones de salinidad. La utilización de materiales que afecten a las condiciones de humedad del perfil del suelo hace que puedan obtenerse rendimientos significativamente más elevados de los señalados en la bibliografía. Con el empleo de las técnicas del enarenado se han conseguido

rendimientos económicamente rentables, en plantas tan sensibles como la judía, con conductividades de 4 dSm-1 y con reducciones de cosecha muy inferiores a las esperadas. Resultados parecidos pueden obtenerse con el empleo de plásticos, paja, bagazo, etc (Martínez Raya, 1996).

Salinidad y necesidades de lavado.

La distribución de la salinidad en los suelos varía en función de la profundidad y a lo largo del tiempo. Las lluvias provocan un lavado descendente de las sales, mientras que la evapotranspiración hace que el flujo se invierta y se produzca un ascenso de las sales. Estos procesos tienen lugar de forma cíclica, de forma que en medios áridos o semiáridos, donde predominan los procesos de ascensión de sales, el suelo, si recibe aportes de sales, se irá salinizándose progresivamente. Este tipo de procesos pueden ocurrir igualmente en suelos de regadío cuando el agua de riego mantenga un cierto nivel de salinidad. En estos casos, para evitar la acumulación de sales en la zona de enraizamiento, se hacen necesario suplementar las dosis de riego con objeto de que el agua sobrepase la zona de enraizamiento y lave las sales de ella. Con este fin, Ayers et al. (1985) establecen los conceptos de fracción de lavado y requerimientos de lavado:

Fracción de lavado (FL).

Es la fracción de agua riego que atraviesa la zona radicular y es susceptible de lavar las sales. FL= Fd / Fr, siendo Fd los centímetros de agua drenada por debajo de la zona radicular y Fr el total de centímetros de agua aportada. Del total de agua aportada por el riego (Fr) una parte quedará retenida en el suelo en los horizontes superficiales, correspondiente a la zona del enraizamiento, mientras que otra parte de agua se infiltrará hacia los horizontes profundos. La parte del agua que drena hasta más allá de la zona ocupada por las raíces de las plantas (Fd) es la que al pasar a través de la zona radicular disolverá las sales. Como criterio orientativo, un valor de FL de 0,5 se puede considerar alto (la mitad del agua aportada pasa a través de la zona radicular y alcanza horizontes más profundos) mientras que un valor de 0,1 se considera bajo (sólo el 10% del agua de riego alcanza los niveles profundos).

Requerimientos de lavado (RL).

Es la fracción calculada de agua que debe pasar a través de la zona radicular para mantener el valor de CEs o del RAS en un determinado nivel o por debajo de él. Lógicamente cuanto menor sea el nivel al que hay que mantener los parámetros anteriores, el cual vendrá determinado por el tipo de cultivo, mayores serán los RL. Hay que tener en cuenta que el valor de CEs nunca podrá ser inferior a la conductividad del agua utilizada en el riego (CEar) y cuanto mayor sea CEar mayor deberá ser RL para evitar la salinización.

Lo ideal será que el valor de FL fuese igual o mayor que RL, de otra forma se producirá un aumento progresivo de la salinidad en profundidad. En este sentido, es importante conocer que las plantas absorben el 70% del agua a través de la mitad superior de su zona radicular, si a esto le unimos que las plantas responden al nivel de salinidad de la zona menos salina, se comprende que los requerimientos de lavado deben ser suficientes para eliminar las sales de, al menos, la mitad superior de la zona de enraizamiento. En esta zona, la salinidad deberá aproximarse a la del agua de riego, de forma que sea el valor de CEar el que controle la respuesta de las plantas. Para establecer los RL hay que tener en cuenta que debe de existir un equilibrio entre las sales que tiene el suelo y las que le llegan por el agua de riego, por un lado, y las sales que le quedan después del riego y las que se exportan por las aguas de drenaje, por otro lado. Si evaluamos las sales a partir de la conductividad, este balance sería:

$$\mathbf{AR \times CEar + As \times CEs = As \times CEs^* + AD \times CEad}$$

Donde AR es la cantidad de agua utilizada en el riego (mm), CEar es la conductividad del agua de riego (dS/m), As es el % de agua que retiene el suelo a saturación (mm), CEs es la conductividad del extracto de saturación, CE*s es la conductividad del extracto de saturación a la que queremos que quede el suelo después del riego, AD es la cantidad de agua de drenaje (mm) y CEad es la conductividad del agua de drenaje. Otro aspecto para tener en cuenta es la efectividad del lavado del agua de riego.En suelos con grietas, parte del agua de riego atraviesa rápidamente el suelo (no disuelve sales) y su conductividad es muy baja. Aquí entran en juego los parámetros texturales y estructurales del suelo.

Manejo.

De lo expuesto hasta ahora se desprende la importancia que tiene el agua de riego en todos los problemas relacionados tanto con la salinización como con la sodización. Ante condiciones de salinidad, se puede decidir el no cultivo en estos suelos o su utilización, con las limitaciones propias de su condición. Para un manejo adecuado de estos suelos, no sólo se ha de tener en cuenta las condiciones específicas que nos encontramos, sino que es necesario hacer un seguimiento de estos, con el fin de controlar su evolución. El control periódico, exige unos métodos de medida de la salinidad fiables y que sean operativos a nivel de campo. Los más utilizados han sido, la toma de muestra de suelo y su análisis en laboratorio, que permita conocer todos los parámetros que definen la salinidad.

El riego afecta directamente a las condiciones salinas y no solamente por la calidad del agua. La técnica de riego empleada influye en la variación del potencial hídrico

del suelo, encontrándose las fluctuaciones más amplias en los sistemas de gravedad (por inundación) y de aspersión y manteniéndose casi constante este potencial en los riegos de alta frecuencia (aspersión y goteo). Igualmente, estos sistemas inciden en los contenidos de humedad del suelo y como consecuencia en la variación de la concentración de sales, de la solución de este.

Los riegos de alta frecuencia y localizados, mantendrán esta concentración casi uniforme dentro de la zona mojada, pero será elevada en los límites de ésta. La distribución de sales será más uniforme en los de gravedad y aspersión, pero a medida que los intervalos entre riegos aumentan, las variaciones en el contenido de humedad lo harán también y como resultado la concentración de sales, encontrándose las conductividades menores, inmediatamente después del riego y las mayores al final de cada intervalo. El lavado de sales será mayor con los riegos de gravedad y aspersión y menor en los localizados. A medida que la eficacia del riego calculada para compensar solamente la evapotranspiración sea más alta, los lavados de sales serán menores, lo cual, tendrá su incidencia en los rendimientos. Esta consideración ha de tenerse en cuenta cuando se utilice la técnica de riegos deficitarios (Martinez Raya, 1996).

La fertilización ha de realizarse adecuadamente, especialmente en cuanto a la selección y localización de los abonos. Han de aplicarse abonos que no eleven los contenidos iónicos causantes de la salinidad. Por el contrario, han de emplearse aquellos que puedan mejorar estos contenidos y faciliten el intercambio iónico desde el punto de vista de su lavado. Existen en la bibliografía, diversas tablas que nos permiten seleccionar aquellos abonos con menor índice de salinidad y aconsejables para cada caso concreto.

La aplicación de los fertilizantes a través del agua de riego altera la composición de sales de ésta y como consecuencia de la solución del suelo. Se deben seleccionar clases y cantidades máximas de abono por volumen de agua de riego aplicada, para no incidir negativamente en la presión osmótica de la solución del suelo. Esta técnica, normalmente es empleada en riegos localizados y como consecuencia actúa con rapidez y directamente sobre el volumen de suelo explorado por las raíces, por lo cual, puede tener consecuencias negativas, o beneficiosas si se utilizan productos que mejoren las condiciones químicas del agua del suelo. Finalmente, todos aquellos fertilizantes que mejoran las propiedades físicas del suelo facilitarán el movimiento de agua del perfil. La incorporación de materia orgánica actúa sobre estas propiedades e incrementa su fertilidad.

7.Recuperación de Suelos Salinos y Sódicos

Para la recuperación de suelos salinos es necesario el lavado de las sales, mediante el cual, o son transportadas a horizontes más profundos de los explorados por las raíces de las plantas, o son evacuadas a otras zonas, por medio de drenes. Las zonas receptoras no deben ser sensibles a la contaminación originada. El manejo del suelo, para la eliminación de las sales, se realiza de distinta manera y con resultados diferentes según que el problema tóxico sean las sales solubles o el sodio en el complejo de cambio (carbonato y bicarbonato sódicos). En el primer caso su planteamiento es muy sencillo y su realización práctica también es relativamente fácil, en general, pero si el problema de toxicidad lo representan las sales alcalinas de sodio el problema es más complejo y los resultados son aún más problemáticos. Para eliminar las sales solubles, basta con regar abundantemente con lo que se produce el lavado de las sales que no se habría producido por causa de la aridez. El tipo de sales presentes va a condicionar las posibilidades de recuperación:

Para los cloruros sódicos el lavado es relativamente fácil en suelos con yeso, en los que el Ca2+ que se libera no permite que el Na+ pase a forma intercambiable. La eliminación del cloruro magnésico y del sulfato magnésico del suelo es difícil, ya que el magnesio, debido a su alta densidad de carga tiende a ocupar las posiciones de intercambio, desplazando a los iones monovalentes durante el lavado; por lo que su lavado requeriría enmiendas cálcicas. Además de regar, en la gran mayoría de los casos, es necesario extraer artificialmente el agua que se ha infiltrado en el suelo para evitar que ascienda el nivel freático de la zona que aportaría nuevas sales al suelo. Para ello se instalan a determinada profundidad del suelo un sistema de drenes (tubos de recogida del agua) que evacua esta agua a unos canales de desagüe.

Pero si en el suelo son abundantes las sales sódicas de reacción alcalina como los carbonatos y bicarbonatos sódicos, el lavado artificial del suelo provoca efectos contraproducentes, ya que al añadir más agua lo que se consigue es que el suelo sea cada vez más alcalino, pues como ya hemos visto.

Arcilla-Na + H2O + CO2 <===> Arcilla-H + Na2CO3
Na2CO3 + H2O <===> 2Na+ + H2O + H2CO3

En estos casos, el problema puede solventarse (aunque con graves dificultades prácticas) utilizando mejoradores que consiguen cambiar el anión de la sal sódica. Estos mejoradores pueden ser de varios tipos, aunque los más frecuentemente empleados son de tres clases: otras sales solubles de calcio, como el yeso, ácidos o

formadores de ácido, azufre, ácido sulfúrico, sulfatos de hierro o aluminio y sales de calcio de baja solubilidad, como la caliza molida o subproductos de la industria azucarera. Actualmente se encuentran en el mercado productos, denominados desalinizadores que actúan especialmente sobre la humedad del suelo.

El procedimiento usual es añadir yeso sobre la superficie, con lo cual se forma sulfato sódico que es una sal casi neutra y por tanto ya si lavable:

Na2CO3 + CaSO4 <===> CaCO3 + Na2SO4
Arcilla-Na + CaSO4 <===> Arcilla- Ca + Na2SO4

8.Salinidad en Extracto de Pasta Saturada

Este método es el más usual en laboratorio para determinar la salinidad del suelo. El término "Extracto de saturación" se usa en éste método para designar el extracto acuoso que se obtiene por filtración al vacío de una pasta de suelo saturado hecha con agua destilada. El término "sales solubles del suelo "("S.S.") se utiliza en éste método para referirnos a los constituyentes inorgánicos del suelo que son apreciablemente solubles en el agua. El extracto de saturación es una solución acuosa importante porque muchas propiedades del suelo como la composición de las sales solubles y la conductividad eléctrica del extracto de saturación están, como ya vimos, íntimamente relacionadas con la respuesta de los cultivos a la salinidad.

En el " Análisis de Salinidad del Suelo en Extracto de Pasta Saturada ", se determinan los contenidos de Ca, Mg, Na, K, Cl, B, Sulfatos , Carbonatos, Bicarbonatos, Fosfatos, Nitratos y Yeso-CaSO4. Se reportan, también, la "Relación de Adsorción de Sodio-RAS", la Conductividad Eléctrica-CE y el grado de efervescencia, o Índice de Fizz . Éste sencillo indicador evalúa en forma visual, la presencia de sales calcáreas graci9as a la mayor o menor efervescencia. El Reporte, con gráficos, incluye comentarios del laboratorio.

En el cuadro final, que aparece en la página siguiente se muestra el formato típico de un reporte de "Salinidad de Suelo en Extracto de Pasta Saturada", tal como los entrega nuestro Laboratorio A-L de México.

Reporte de Análisis de Extracto de Pasta Saturada

Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V.
Esmeralda #2847 Col. Verde Valle C.P. 44550 Guadalajara, México
Tel: (33) 3121-7925 (33) 3123-1823 Sitio web: www.westanalitica.com.mx
Servicios a clientes: maldana@allabs.com

ANÁLISIS EN EXTRACTO DE PASTA SATURADA

COMPAÑIA : Laboratorios AL de México	Agricultor : Laboratorios AL de México	Reporte No : Cliente No : Fecha de impresión : 05/05/2023 Fecha de recepción: 04/26/2023 Página : 1 de 1 No. de laboratorio :

Identificación de la muestra : AL

RESULTADOS DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN

Prueba	Resultado	Efecto Sobre el Crecimiento de las Plantas: Insignificante / Restringido a Cultivos Sensibles / Restringido a Muchos Cultivos / Satisfactorios Sólo a Cultivos Tolerantes / Pocos Cultivos Sobreviven
Calcio (Ca)	6.7 meq/L	
Magnesio (Mg)	6.0 meq/L	
Sodio (Na)	75.1 meq/L	
Rel. Adsorción de Sodio (RAS)	25.3	
Potasio (K)	0.4 meq/L	
Cloruro (Cl)	50.3 meq/L	
Sulfato (SO4)	22.1 meq/L	
Carbonato (CO3)	0 meq/L	
Bicarbonato (HCO3)	2.69 meq/L	
Fosfato PO4-	0.1 meq/L	
Nitrato NO3-	6.5 meq/L	
Conductividad eléctrica	8.7 dS/m	
Boro (B)	0.364 ppm	
Contenido de yeso	265 ppm	

* La estructura y la infiltración del agua en los suelos minerales pueden verse negativamente afectados cuando hay valores de RAS mayores de 6.

Prueba	Resultado	Fuertemente Ácido	Moderado Ácido	Ligeramente Ácido	Neutro	Ligeramente Alcalino	Moderado Alcalino	Fuertemente Alcalino	Grado de Efervescencia
pH	7.7								Bajo

RESULTADOS DEL BALANCE IÓNICO

CATIONES		meq/L
Sodio	Na^{+}	75.1
Calcio	Ca^{+2}	6.7
Magnesio	Mg^{+2}	6.0
Potasio	K^{+}	0.4
SUMA DE CATIONES		88.2

ANIONES		meq/L
Cloruro	Cl	50.3
Sulfato	SO_4	22.1
Bicarbonato	HCO_3	2.69
Carbonato	CO_3	0
Nitrato	NO_3	6.5
Fosfato	PO_4	0.1
SUMA DE ANIONES		81.69

Referencias

-Referencia Analítica:- Standard Methods for the examination of water and wastewater, 18 Etdhi.t ion 1992, Apha-Awwa-Wpcf.
-Norma Ofi cial Mexicana NMX-AA-073 Determinación de Cloruros.
-Norma Oficial Mexicana NMX-AA-074 Determinación de Sulfatos
-Norma Oficial Mexicana NMX-AA-082 Determinación de Nitratos
-Norma Oficial Mexicana NMX-AA-093 Determinación de Conductividad
-Norma Oficial Mexicana NMX-AA-008 Determinación de pH
-Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994.- Método para la determinación de Cadmio, Arsénico, -Plomo, Estaño, Cobre, Fierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y purificada por espectrofotometría de absorción atómica.

Agricultura Razonada

LABORATORIOS A-L DE MÉXICO S.A. DE C.V.

Calle Esmeralda # 2847. Colonia Verde Valle.
www.laboratoriosaldemexico.com.mx
44550 Guadalajara, Jalisco.
Tel. 33 3123 1823 y 33 3121 7925.
Información adicional: kcalderon@allabs.com. WhatsApp 33 28 03 79 60.

Laboratorios de Agroecología con una visión social y solidaria
VALORAMOS LA LIBERTAD DE INFORMACIÓN.
ESTE ARTÍCULO ES GRATUITO Y PUEDE SER REPRODUCIDO SIN NINGUNA LIMITANTE.