

SUELOS SALINOS



L. Montañés

Estación Experimental de Aula Dei
ZARAGOZA

La necesidad de un aprovechamiento integral de los recursos naturales a disposición del hombre ha obligado a la puesta en cultivo de amplias áreas geográficas dominadas por suelos actual o potencialmente salinos. La problemática que implica el manejo de estos suelos se ha hecho más de actualidad con la realización de los planes de puesta en regadío de tierras localizadas en regiones áridas o semiáridas, puesto que muchos de los suelos en la actualidad salinizados, lo han sido a causa de la aplicación de incorrectas técnicas culturales, con un total desconocimiento de las leyes que regulan el movimiento y la acumulación de las sales.

La consecuencia práctica de una excesiva salinización radica en la mala o baja productividad del suelo, derivada del excesivo contenido de sales en el mismo, de su distribución a lo largo del perfil y del tipo o clase de sales causantes de la salinidad. Por ello si el manejo cultural de los suelos salinos precisa de técnicas y condiciones especiales, su estudio edafológico requiere, igualmente, una normativa científica y técnica muy particulares.

1. Constituyentes inorgánicos de los suelos salinos

Aunque existe una gran variedad en las características de los suelos salinos, tanto por su génesis como por su evolución, todos ellos presentan una común y fundamental, que consiste en una elevada concentración de sa-

les solubles, bien a lo largo de todo el perfil bien en algunos de sus horizontes. Así, pues, podemos considerar a estas sales solubles como los constituyentes más representativos para cualificar y cuantificar el grado de salinización de un suelo.

1.1. Cloruros

Constituyen, junto con los sulfatos, los responsables más frecuentes de la salinización, siendo altamente solubles y por tanto con un alto grado de toxicidad, desde el punto de vista del fisiologismo vegetal. En el cuadro núm. 1 se relacionan los cloruros que pueden encontrarse en un suelo salino y su grado de solubilidad en el agua.

CUADRO NÚM. 1

Cloruro	Grado de solubilidad g/l
Sódico	264
Magnésico	353
Cálcico	400-500
Potásico	276

Los cloruros cálcico y potásico rara vez son responsables de la salinización del suelo y el magnésico solamente puede plantear problemas cuando, en suelos con elevado porcentaje de magnesio de cambio, se utilizan o llegan aguas muy cargadas de cloruro sódico.

Es, precisamente, este último el agente fundamental de la salinidad, de tal forma que concentraciones del 0,1 % pueden ya afectar al crecimiento de las plantas. El umbral de toxicidad del anión es de 0,01/0,3, referido el numerador al porcentaje de cloruros y el denominador a miliequivalentes.

Ahora bien, la importancia del cloruro sódico como agente de salinización reside tanto en su parte aniónica (Cl^-) como catiónica (Na^+), pues aunque siempre se concedió una mayor trascendencia al sodio, hace tiempo que comenzó a considerarse el concepto «porcentaje de cloruros», sobre todo en los estudios referidos a aguas salinas; este concepto viene definido (GRILLOT, 1957) por la siguiente razón:

$$\frac{(\text{Cl}^-) + (\text{NO}_3^-)}{(\text{CO}_3^{2-}) + (\text{CO}_3\text{H}^-) + (\text{SO}_4^{2-}) + (\text{Cl}^-) + (\text{NO}_3^-)} \times 100$$

En este sentido FIREMAN y KRAUS (1965) dan una gran importancia al contenido de cloruros del agua, considerada ésta como vehículo de salinización del suelo.

La alta solubilidad del cloruro sódico facilita la recuperación, por lavado, de los suelos salinos. Sin embargo, cuando en el suelo no existen sulfatos, esta aparente facilidad de lavado puede complicar el problema por formación de arcillas sódicas y, en consecuencia, el suelo salino se transforma en suelo alcalino.

1.2. Sulfatos

La cantidad de sulfatos que puede encontrarse en los suelos salinos es muy variable, pudiendo, en ocasiones, alcanzar concentraciones tan elevadas (80-90 %) que forman verdaderas «costras».

En el cuadro núm. 2 se indican los sulfatos que suelen hallarse en el suelo y sus solubilidades en agua.

CUADRO NÚM. 2

Sulfato	Solubilidad g/l
Cálcico	2
Sódico	50
Magnésico	260
Potásico	68

Desde el punto de vista de la salinidad los sulfatos cálcico y sódico son los más importantes, pues el magnésico, aunque tiene una elevada toxicidad, normalmente no se acumula en el suelo. El sulfato potásico es un fertilizante.

Además, tanto el sulfato cálcico como el sódico plantean serios problemas para el estudio de la salinidad a causa de que las cifras de solubilidad asignadas (cuadro número 2) pueden verse fuertemente modificadas por las circunstancias químicas y ambientales del entorno edáfico. Así, la concentración de cloruro sódico repercute en la solubilidad del sulfato cálcico, que puede llegar a alcanzar los 8 g/l cuando aquella es muy alta; en presencia de cloruro cálcico disminuye la solubilidad del sulfato.

La temperatura influye también en la solubilidad del sulfato sódico que puede oscilar entre 50 g/l a cero grados y 250 g/l a 35°. Por ello en épocas frías, aunque húmedas, el lavado que puede producirse en el suelo, en lo que se refiere a esta sal, es muy limitado. Sin embargo en períodos de calor la migración de sal hacia la superficie del suelo es más elevada, al aumentar su solubilidad y ser arrastrada con las aguas que se evaporan a través del suelo. Este fenómeno provoca una continuada acumulación de sulfato en la capa arable con el consiguiente riesgo para los cultivos.

Temperatura y humedad repercuten también en la forma mineralógica en que estas sales se presentan en el suelo. El sulfato sódico puede encontrarse bien anhidro, bien con 10 moléculas de agua y el cálcico hacerlo semihidratado (con media molécula de agua) o hidratado (con dos moléculas de agua).

1.3. Carbonatos y bicarbonatos

Los carbonatos pueden encontrarse en el suelo y sus solubilidades en agua se exponen en el cuadro núm. 3.

CUADRO NÚM. 3

Carbonato	Solubilidad g/l
Cálcico	0,0153
Magnésico	0,1060
Sódico	71,0000

El carbonato cálcico es componente normal de los suelos calizos, pero no debe considerarse como agente salinizante, aunque en algunas circunstancias puede coadyuvar a la formación de suelos salinos en áreas de nuevos regadíos, al acumularse y formar una «costra caliza» impermeable. Este proceso según KODVA (1967) puede completarse con relativa rapidez (en un período de 5 a 7 años).

Rara vez se produce una acumulación de carbonato magnésico, en condiciones naturales, por lo que es difícil que provoque problemas de salinidad.

Desde este punto de vista, el carbonato sódico es la sal más a tener en cuenta, sal que puede presentarse bajo distintas formas, según su grado de hidratación. Es muy soluble y con un elevado grado de toxicidad, de forma que contenidos entre 0,05 y 0,1 % provocan ya depresión de la cosecha. Su umbral de toxicidad (%/meq) es de 0,001/0,03. Los efectos negativos de esta sal sobre la vegetación se ven incrementados de manera notable porque su presencia ocasiona una fuerte elevación del pH de los suelos que en casos extremos puede alcanzar valores de hasta 12.

Un exceso de carbonato sódico es causa de un fenómeno de dispersión de los suelos, por formación de arcillas sódicas, que provocan la destrucción de agregados estructurales con la consecuente disminución de la permeabilidad y agravamiento del problema de su salinidad. La presencia de carbonato sódico es, por tanto, responsable fundamental de la degradación de suelos tipo solonchak a solonetz, cuando se intenta una desalinización de los primeros por medio de lavados. Esto obliga a que para interpretar los resultados analíticos de un suelo o de agua para riego, con vistas a una posible

recuperación de un área salinizada, los niveles de sodio sean tenidos en cuenta no sólo como un ión independiente, sino en relación con el resto de las sales que se encuentran en el medio analizado.

Normalmente el carbonato sódico va acompañado de bicarbonato sódico, menos tóxico y menos alcalinizante. La proporción de uno y otro viene regulada por la concentración de CO₂ existente en la solución del suelo. Dada la menor peligrosidad del bicarbonato, toda práctica conducente a un aumento de CO₂ en la atmósfera del suelo favorecerá su recuperación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la recuperación de suelos cuyas arcillas se han sodificado es muy difícil y costosa por requerir, además de los imprescindibles lavados y drenajes, la aplicación de adecuadas enmiendas.

2. Formación de los suelos salinos

En la formación de un suelo salino es preciso considerar, además del origen de las sales que contiene, todos aquellos procesos que contribuyen a su desarrollo y evolución.

2.1. Origen de las sales solubles

Todas las escuelas de edafólogos en el mundo están de acuerdo al estimar que el lavado de las rocas cristalinas es el proceso responsable de la acumulación de sales solubles en suelos, sedimentos y aguas continentales, por lo que la composición química de las soluciones que se forman en este lavado dependerá de la propia composición mineral de las rocas.

Cuando el proceso de lavado actúa sobre rocas (granitos, gneis, porfirinas, etc.) poco meteorizables, la solución resultante contiene, fundamentalmente, carbonatos, sulfatos, cloruros y silicatos alcalinos (Na, K, Al, etc.). Si el lavado actúa sobre rocas básicas (calizas, margas, etc.), cuya meteorización es más intensa, el agua arrastra sobre todo carbonatos, sulfatos y silicatos de calcio y magnesio.

Los procesos geoquímicos en los que se ven implicadas estas sales se inician, por tanto, con su solubilización y se continúan

con una precipitación y subsecuente acumulación según las condiciones fisio-geográficas del suelo. La secuencia de extracción, su velocidad de emigración y la capacidad de determinados iones para acumularse en zonas endorréicas es proporcional a su coeficiente de energía, al radio iónico, a la valencia y a la estabilidad de la estructura cristalina de los compuestos que forman dichos iones. Conforme disminuye el coeficiente de energía, el radio iónico y la valencia, aumentan las movibilidades de los compuestos formados y la cantidad acumulada. Por ello, cloruros, sulfatos, carbonatos y nitratos alcalinos y alcalinotérreos son las sales más representadas en los procesos de salinización.

A lo largo de las distintas épocas geológicas se han producido, entre océanos y continentes, intercambios de sales solubles que han llevado a una diferenciación de acuerdo con su grado de solubilidad; en los primeros el resultado ha sido una acumulación de cloruros, mientras que en las zonas continentales el dominio pertenece a sulfatos y carbonatos.

Por último, cabe señalar que si bien los océanos son responsables directos de la salinización actual de las zonas costeras, la mayor transferencia de sales de aquellos a los terrenos del interior ha sucedido por la deposición en los mismos de grandes masas de estas sales solubles como componentes de las rocas sedimentarias de origen marino.

2.2. Desarrollo y evolución de los suelos salinos

Como es sabido, los suelos salinos se presentan fundamentalmente en condiciones de aridez o semiaridez en las que el camino natural de drenado de las sales hacia el mar se encuentra impedido. Por ello el lavado suele ser local y las sales solubles no pueden ser eliminadas. Además, una falta de pluviosidad y una evaporación intensa agravan la situación, al contribuir a que las sales se concentren en la superficie del suelo y/o en las aguas más superficiales.

Factor decisivo en la formación y desarrollo de un suelo salino es la restricción de

sus posibilidades de drenaje, bien por la baja permeabilidad del propio suelo, bien por la existencia de una capa freática muy superficial.

De forma esquemática podemos decir que se forma un suelo salino cuando la cantidad de sales acumulada es superior a la que se elimina en los procesos de drenaje y puesto que las migraciones de estas sales se realizan en solución, su acumulación estará gobernada por el balance hídrico de cada zona en particular.

La aparición de un suelo salino puede darse ante distintas situaciones en las que juegan su papel el agua, las sales y el suelo, situaciones que pueden definirse como ciclos. De entre ellos merecen destacarse.

A) *Ciclo continental*: en el que la salinización del suelo está provocada por un movimiento y acumulación de cloruros, sulfatos y carbonatos en aquellas áreas faltas de un drenaje natural efectivo. Cuando las sales provienen de la propia roca madre se denomina *ciclo continental de acumulación primaria*, y cuando proceden de una redistribución de las que previamente se han acumulado en sedimentos se denomina *Ciclo continental de acumulación secundaria*.

B) *Ciclo marino*: Se presenta en las zonas costeras donde las aguas de mar, bien por acumulación, bien por el viento, etc., provocan la salinización del suelo aportando, fundamentalmente, cloruro sódico.

C) *Ciclo de delta*: Semejante al anterior, pero en él influyen también los movimientos de las aguas continentales que intervienen siempre en la formación de este accidente hidro-geográfico.

D) *Ciclo artesiano*: Se incluyen aquí los casos de salinización provocada por movimiento de capas freáticas, lo que hace que nos encontremos ante un ciclo de gran importancia práctica. Para su desarrollo deben considerarse dos factores:

a) *Mineralización crítica del agua freática*: que representa el contenido de sales del agua necesario para provocar, cuando asciende por capilaridad, una salinización de la capa superficial del suelo capaz de ori-

ginar la desaparición de la cubierta vegetal normal. Para aguas salinas, de tipo cloruro-sulfato, el punto de mineralización crítica se sitúa entre los 2-3 g/l, mientras que para aguas sódicas este valor es de 0,7 a 1 g/l.

b) *Profundidad crítica del nivel de la capa freática*: Su valor se halla estrechamente relacionado con el contenido de sales del agua freática. Así, por ejemplo, se sitúa entre 2 y 2,5 metros para una concentración de sales de 1 a 2 g/l.

E) *Ciclo antropogénico*: En este caso la salinización está provocada por la acción del hombre al ignorar, en su agricultura, como ya se ha dicho, las leyes fundamentales que rigen los movimientos y la acumulación de sales en el suelo.

Siempre que exista una preponderancia de evaporación sobre drenado, habrá riesgo de formación de un suelo salino. Tanto esta relación (evaporación/drenado), como el balance total de agua dependen de las condiciones climáticas, geomorfológicas, topográficas, hidrogeológicas y biológicas (vegetación) que rodean el suelo.

En consecuencia, los suelos salinos aparecen normalmente en zonas afectadas por temperaturas elevadas y clima seco en las que durante largos períodos del año la evaporación del agua superficial y, sobre todo, del agua freática, es superior al agua de lluvia.

Otra de las condiciones esenciales para el desarrollo de suelos salinos en clima árido, es la existencia en el terreno de depresiones que actúan como receptor para la acumulación de las sales. Como es lógico, esta acumulación será mayor en las cotas topográficas más bajas. Diferencias de sólo un metro bastan para provocar un desarrollo y evolución de la salinidad completamente distintos.

A todas estas circunstancias ha de unirse la existencia de una capa freática alta, cuyas características de profundidad y concentración salina influyen marcadamente en el proceso de salinización.

Finalmente merece ser destacada la intervención de la cubierta vegetal, intervención que puede orientar el proceso en sentidos totalmente opuestos.

Por un lado, una vegetación herbácea abundante reduce la evaporación, lo cual se traduce en una disminución de la salinización en el horizonte superficial. Además su existencia provoca un enriquecimiento del suelo en materia orgánica lo que trae como consecuencia una modificación de la estructura y un aumento de la porosidad no capilar. La destrucción de esta cubierta vegetal cambia la situación y, en estas condiciones, puede desarrollarse rápidamente un suelo salino.

Sin embargo, en algunas ocasiones, la presencia de una cubierta vegetal abundante puede conducir a una intensificación de la salinidad del suelo, teniendo en cuenta que la toma de agua por esta cubierta, a partir de la capa freática, puede llegar a los 2.000 mm anuales. El agua se absorbe por la planta, pero las sales quedan depositadas en los horizontes que limitan superiormente la capa freática. Se trata de un tipo de salinización muy lento en el que la concentración de sales se sitúa en los horizontes profundos del suelo, no en la superficie. Si el proceso alcanza la zona de raíces puede llegar a provocar la destrucción de la cubierta vegetal con una consecuente rápida salinización de los horizontes superiores.

La cubierta vegetal tiene también un papel en el desarrollo y evolución de los suelos salinos al influir en los procesos de migración de las sales por efectos de la absorción selectiva que para los iones tienen las diversas especies vegetales. En este aspecto es significativo el hecho de que, en general, las plantas tienen un contenido de cenizas del orden del 8 al 10 % que contrasta con un 50 % que puede alcanzar la vegetación halofila que crece sobre un solontchak. La trascendencia de aquel papel la refleja el hecho de que mientras que la cubierta vegetal recicla anualmente hasta 30 Tm de sal por Km², el «trasvase» de sales de los continentes a los océanos se estima en sólo unas 25 Tm, referidas a la misma superficie y tiempo. Con todo debe señalarse que la acción de las plantas en este movimiento de sales no llega nunca a aportar al suelo la cantidad de sales que quedan depositadas al ascender, en su evaporación, el agua de las capas freáticas.

3. Bases para calificar los suelos salinos

El proceso de salinización del suelo puede considerarse bajo dos puntos de vista; por un lado el tipo de los iones acumulados (aspecto cualitativo) y por otro el grado o intensidad de salinización (aspecto cuantitativo).

Sobre la base del tipo de iones presentes BAZILEVICH y PANKOVA (1968) agrupan los suelos salinos según el cuadro núm. 4.

El conocimiento del tipo químico de salinización permite una orientación en la previsión de los procesos tanto de acumulación de las sales en el suelo como de las que pueden llevar a su desalineación.

El grado de intensidad de salinización es utilizado por el U.S. Salinity Laboratory de Riverside (California) como base de calificación de la salinidad, según el cuadro número 5.

Al mismo tiempo, el citado laboratorio ofrece un cuadro de tolerancia relativa de distintos cultivos o plantas a la salinidad que se resume en el cuadro núm. 6.

4. Clasificación de los suelos salinos

Todas las escuelas de edafología incluyen los suelos salinos en un apartado de su sistemática, siendo la escuela soviética la que

CUADRO NÚM. 4

ANIONES

Tipo de salinidad	Relación Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ (m Eq)	Relación CO ₃ H ⁻ /Cl (m Eq)	Relación CO ₃ H ⁻ /SO ₄ ²⁻ (m Eq)
Salinidad por cloruros	2,5		
Salinidad por sulfatos-cloruros	2,5-1,0		
Salinidad por cloruros-sulfatos	1,0-0,2		
Salinidad por sulfatos	0-2		
Salinidad por carbonato-cloruros	> 1	< 1	> 1
Salinidad por sulfatos	< 1	> 1	< 1
Salinidad por cloruros-carbonatos	> 1	> 1	> 1
Salinidad por sulfatos-carbonatos	< 1	> 1	> 1
Salinidad por sulfatos-bicarbonatos	—	> 1	> 1

CATIONES

Tipo de salinidad	Relación Na ⁺ /Mg ²⁺ (m Eq)	Relación Na ⁺ /Ca ²⁺ (m Eq)	Relación Mg ²⁺ /Ca ²⁺ (m Eq)
Salinidad sódica	> 1	> 1	—
Salinidad magnésico-sódica	> 1	> 1	> 1
Salinidad calcio-sódica	> 1	> 1	< 1
Salinidad calcio-magnésica	< 1	< 1	> 1
Salinidad sodio magnésica	< 1	> 1	> 1
Salinidad sodio-cálcica	> 1	< 1	< 1
Salinidad magnésico-cálcica	< 1	< 1	< 1
Salinidad magnésica	< 1	< 1	> 1

CUADRO NÚM. 5

Grado de salinidad	Porcentaje de sales	Conductividad eléctrica del extracto de saturación (mohs/cm)	Efectos sobre los cultivos
No salino	0,00-0,08	0- 2	Ninguno
Incipiente salino	0,08-0,15	2- 4	Afecta a especies sensibles
Salino	0,15-0,35	4- 8	Afecta a muchos cultivos
Muy salino	0,35-0,65	8-16	Tolerable únicamente por especies resistentes
Excesivamente salino	> 0,65	> 16	Tolerable sólo por especies muy resistentes

CUADRO NÚM. 6

Baja tolerancia	Tolerancia media	Tolerancia elevada
Peral, manzano, naranjo, ciruelo, almendro, albaricoquero, melocotonero. Fresal, habas, rábano, apio y tréboles.	Granado, higuera, olivo, vid, centeno, trigo, avena, arroz, sorgo, maíz forrajero, lino y girasol. Melón, tomate, pimiento, coliflor, lechuga, patata, cebolla, guisantes, calabaza.	Palmera datilera. Cebada, remolacha, nabo, algodón. Acelga, espárrago, espinaca.

ofrece una clasificación más completa de los mismos, descendiendo al máximo detalle.

4.1. Clasificación francesa:

Incluye los suelos salinos dentro de los Alomorfos en el grupo 9.º, estableciendo la siguiente diferenciación:

Subclase 1: Suelos con perfil A/C, estructura no degradada y porcentaje de saturación de sodio inferior al 15 %: SUELO SALINO.

Subclase 2: Suelos con perfil ABC o A(B)C, estructura modificada en el segundo horizonte y porcentaje de saturación de sodio superior al 15 %: SUELO ALCALINO.

a) Perfil A(B)C: SUELO ALCALINO NO LIXIVIADO.

a.1. POCO SALINIZADO.

3.2. MUY SALINIZADO.

b) Perfil ABC: SUELO ALCALINO LIXIVIADO.

b.1. Sin adificación superficial SOLO-NETZ.

b.2. Con acentuada acificación en superficie SOLOTH.

4.2. Clasificación americana

El Soil Salinity Laboratory de Riverside (California) distribuye los suelos con acumulación de sales en tres grupos:

a) *Suelos salinos:* Suelos con una conductividad eléctrica del extracto de saturación mayor de 4, pH menor de 8,5 y con un contenido de sodio de cambio inferior al 15 %.

b) *Suelos alcalinos-salinos:* Aquellos con conductividad también superior a 4 mohs/cm, y con un contenido de sodio de cambio mayor del 15 %. El pH puede variar, pero no suele sobrepasar 8,5.

c) *Suelos alcalinos no salinos:* Su conductividad es menor de 4, pero el porcentaje de sodio de cambio se sitúa en los

mismos niveles que el grupo anterior (más del 15 %) y el pH es mayor de 8,5.

Tanto los suelos salinos como los alcalinos se agrupan, según su efecto sobre los cultivos en cuatro clases:

Clase 0: Suelos cuyo nivel de sales o álcali, no afecta a la marcha de los cultivos.

Clase 1: Suelos ligeramente afectados por la sal o álcali, en los que se ve restringido el crecimiento de los cultivos sensibles, mientras los tolerantes no se ven afectados.

Clase 2: Suelos afectados moderadamente por las sales o por el álcali, inhibiéndose el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Clase 3: Suelos afectados fuertemente por la sal o álcali. Son muy pocas las especies vegetales que sobreviven en este medio.

4.3. Clasificación soviética

Se combinan aquí los principios edafogénicos y fisiológicos que regulan la aparición y desarrollo de los suelos salinos y la repercusión de sus características sobre la vegetación que soportan. Con estos criterios se establecen tres grupos.

4.3.1. *Solontchaks*

Se incluyen aquellos suelos que en sus treinta primeros centímetros manifiestan un contenido de sales superior al 2 %.

En su perfil destaca, normalmente, un horizonte superficial con acumulación de sales que se manifiestan por la aparición de visibles afloramientos. Los horizontes inferiores no suelen estar bien diferenciados, aunque su contenido de sales suele ser menor y la existencia de una capa freática, temporal o permanente, les puede proporcionar la tonalidad grisácea de una gleyificación.

Por estar situados en zonas de depresión topográfica suelen ser profundos y de textura, normalmente, arcillosa. Cuando la proporción de sales es muy elevada puede provocar la coagulación de las arcillas y originar un aparente estado de agregación (pseudestructura) sin ninguna estabilidad. El pH es inferior a 8,5 y el sodio de cambio inferior al 15 % del total de los cationes cam-

biales. Su contenido de materia orgánica no suele superar el 1,3 % y está proporcionado por una vegetación siempre halófila.

Según las condiciones de formación o desarrollo se establecen los siguientes subgrupos:

a) *Actuales o residuales:* Los primeros se forman por la ascensión capilar de agua freática, fuertemente cargada de sales, cuya profundidad se sitúa entre 0,5 y 3 metros. En los segundos no existe ninguna relación actual con capas freáticas, por no existir éstas o por hallarse a gran profundidad.

b) *Primarios o secundarios:* Los primeros, también llamados naturales, se han desarrollado por la acción conjunta de los factores que normalmente intervienen en los procesos de formación del suelo. En los secundarios ha sido el factor humano el principal responsable de su formación.

c) *Húmedos o pulverulentos:* En los primeros el horizonte superficial se encuentra constantemente humedecido bien a causa de la existencia de una capa freática alta o por presentar un elevado contenido de sales higroscópicas (cloruros de calcio y magnesio). En los «solontchaks polvo» la presencia de carbonato y sulfato de calcio y de cloruro y sulfato de sodio, dan al horizonte superficial una estructura pulverulenta.

4.3.2. *Suelos similares a solontchaks*

Se trata de un grupo muy particular establecido por los tipólogos soviéticos en el que se incluyen suelos con un cierto grado de salinización (nunca más del 1,5 % de sales), pero que no llega al de los solontchaks típicos. La acumulación de sales puede darse en la zona radicular (entre 1 y 1,5 metros de profundidad). Un aumento del contenido de sales, motivado muchas veces por la acción negativa del hombre, puede transformarlos en solontchaks típicos.

También aquí pueden diferenciarse algunos subgrupos:

a) *Contemporáneos* (activos o de vega), relacionados íntimamente con la capa freática por efecto de la ascensión capilar. Aquella, dependiendo de la estación climática, se sitúa entre 1,5 y 3 metros de profundidad. El

contenido de sales de las aguas freáticas no suele ser superior a los 3,5 g/l y en los períodos secos la salinidad se concentra en la superficie del suelo.

Nos encontramos ante unos suelos cuya recuperación por lavado y drenaje adecuados no es difícil. Sin embargo, una agricultura inadecuada, una falta de cultivo o la práctica de suelo desnudo pueden, con facilidad, transformarlos en solontchaks.

b) *Residuales* (internos). Tienen menor relación con la capa freática, pues, normalmente, está situada a gran profundidad (10 a 20 metros), si bien aquella presenta un elevado contenido de sales (entre 10 y 20 g/l). Así, los horizontes superficiales pueden hallarse totalmente exentos de sales y éstas concentrarse (hasta niveles del 1,5 %) entre los 30 y 100 cm de profundidad.

En la práctica son suelos peligrosos, pues un estudio no cuidadoso de los mismos puede darlos como no salinos y al ponerlos en cultivo normal provocarse una redistribución de las sales que llegue a salinizar totalmente el suelo. Precisamente en este tipo de suelos han sucedido la mayoría de las catástrofes de salinización en las zonas de nuevos regadíos o en las que se han introducido nuevos cultivos (frutales, por ejemplo) con unas necesidades hídricas muy específicas.

4.3.3. *Solonetzs*

Este término se aplica a un grupo de suelos formados sobre rocas salinas o sobre capas freáticas muy cargadas de sales, pero que se hallan influenciadas por un proceso de desalinización. Son los suelos «alcalinos no salinos» de los americanos.

Se caracterizan por un pH superior a 8,5 que puede a veces alcanzar valores de 10 y 12. El contenido de sales es bajo, inferior al 0,15 %, con conductividad eléctrica más baja de 4 mohs/cm. El sodio de cambio es superior al 15 % del total de los cationes de cambio.

Según la profundidad a que se encuentre la capa freática se subdividen en: *Automórficos* (6-8 m), *Esteparios* (4-6 m) e *Hidromorfos* (2,5-4 m).

5. Estudio de un suelo salino

El diagnóstico correcto de la salinidad actual o potencial de un suelo debe de constituir el primer paso para una planificación de puesta en riego de una zona geográfica y también para establecer las normas de recuperación de un suelo ya salinizado.

Dada la gran variabilidad de caracteres que presentan los suelos salinos y los numerosos factores que intervienen en su formación y desarrollo, para realizar un diagnóstico exacto del grado y tipo de salinidad conviene establecer un plan de trabajo, que aun con las particularidades de cada caso puede esquematizarse en los puntos siguientes:

5.1. *Reconocimiento del perfil*

Cualquier estudio edafológico debe abordarse inicialmente por el conocimiento detallado del desarrollo del perfil de acuerdo con la normativa general establecida en los manuales de estudio de suelos (FAO, Soil Survey Manual, etc.), pero haciendo hincapié, en el caso de suelos salinos en:

- Macro y micromorfología de la zona.
- Condiciones de drenado externo de la zona.
- Vegetación. Es importante especificar con detalle este punto por la orientación que puede dar sobre tipo y cantidad de sales.
- Estructura de los horizontes.
- Compacidad y permeabilidad.
- Eflorescencias, manchas, gránulos y concreciones.
- Posibles capas freáticas o huellas de su existencia temporal, aunque sean tan profundas que no influyan en el perfil.

Con frecuencia en los suelos salinos la escasa diferenciación de horizontes y la variación del contenido de sales obliga a realizar la toma de muestras del perfil apartándose de la normativa general que establece una muestra por horizonte. Suele por ello tomarse una muestra de los primeros 5 cm y otra por cada 20 cm hasta la máxima profundidad posible.

Por otro lado cuando el tipo y grado de salinidad es similar a lo largo de todo el perfil, la caracterización del suelo se hace sobre los resultados del primer horizonte, pero si la variación entre horizontes es grande, deben indicarse las características de cada uno de ellos independientemente.

5.2. Trabajo de laboratorio

Recibidas las muestras en el laboratorio pueden ser sometidas a el siguiente programa analítico.

5.2.1. Determinaciones químicas

1.º *Conductividad eléctrica del extracto acuoso* (relación 1 : 5). Cuando es superior a 1 moh/cm puede estimarse el suelo como sospechoso de salinización.

2.º *Conductividad eléctrica del extracto de la pasta saturada en agua.*

Valor < 4 mohs/cm:

NO SALINO ——— 4.º y 6.º

Valor > 4 mohs/cm:

SALINO ——— 3.º y 4.º y 6.º

3.º *Determinación de aniones* (Cl⁻, CO₃H⁻, CO₃²⁻ y SO₄²⁻) y de *cationes* (Na⁺, Ca²⁺ y Mg⁺).

Con estos datos conviene calcular los valores

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}$$

y

$$\text{ESP} = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}$$

CLASIFICACION DE ACUERDO CON EL TIPO, CANTIDAD Y PROPORCIONES DE SALES

4.º *Determinaciones del pH*

Valor > 8,5 : SUELO ALCALINO

5.º *Determinación de yeso total*

En aquellas muestras que hayan dado una elevada proporción de sulfatos.

6.º *Determinación del sodio de cambio*

Valor superior al 15 %: SUELO ALCALINO.

5.2.2. Determinaciones físicas

1.º *Granulometrías*: Hay que tener en cuenta las dificultades que presenta su realización en suelos muy yesosos.

2.º *Conductividad hidráulica*: En muestra sin alterar y alterada.

3.º *Densidad real y aparente*

4.º *Volumen de poros*

Con todos estos datos el suelo puede quedar perfectamente caracterizado, tanto en su problemática actual como con vistas al desarrollo de unas normas que lleven a su recuperación.

Por último y teniendo en cuenta el papel que el agua ha de desempeñar en ese eventual proceso de recuperación, será conveniente, si no necesario, un detenido estudio de sus características, previo a su utilización. Esto supone el conocimiento de las aguas que van a emplearse en el riego de suelos actual o potencialmente salinos, a fin de evitar los riesgos de una salinización provocada comentados.

Tanto por la complejidad del tema como por su interés se ha creído conveniente terminar el presente trabajo con una relación de publicaciones no limitada a las consultadas para redactarlo, sino con la inclusión también de aquellas que pueden proporcionar una más abundante y detallada información sobre cada uno de los puntos aquí comentados.

6. Bibliografía

- ABROL, I. P. 1973. Field studies on salt leaching in a highly saline sodic soil. *Soil Sci.* **115** (6): 429-433.
- APPELT, H.; HOLTZCLAW, K. and PRATT, P. F. 1975. Effect of Anion exclusion on the Movement of Chloride through Soils. *Soil Sci. Am. Proc.* **39** (2): 264-267.
- BAZILEVICH, N. I. and PANKOVA, Ye I. 1968. Tentative Classification of Soils by Salinity. *Sov. Soil Sci.* (1968) número **11**: 1477-78.
- BURNS, I. G. 1974. A Model for predicting the redistribution of salts applicated to fallow soil after excess rainfall or evaporation. *J. Soil Sci.* **25** (2): 165-178.
- DRIESEN, P. M. 1970. Soil salinity and Alkalinity in the Great Kania Basin (Turkey). Centre for Agric. Publ. and Doc. Wageningen.
- DURAND, J. H. 1958. Les sols irrigables (Etude Pedologique) Direction de l'Agriculture. Alger.
- 1969. Saline soils of the Senegal Delta. *Agroké. Talej.* **18** (Suppl.): 191-186.
- 1973. L'utilisation des eaux salines por l'irrigation. *Bull. Techn. Inf.* número 276: 39-58.
- EATON, F. M. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* **69**: 123-33.
- F.A.O./U.N.E.S.C.O. 1967. International Source-book on Irrigation and Drainage of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity. Draft Ed.
- FIREMAN, M. and KRAUS, Y. 1965. Salinity Control in Irrigated Agriculture. Cit. por Kovda, V. A. en F.A.O./U.N.E.S.C.O. (1967).
- GRILLOT, G.; HAYWARD, H. E. and EVERETT, E. E. 1957. Utilization of Saline Water. En U.N.E.S.C.O. (1961).
- KELLEY, W. P. 1951. Alkali Soils: Their formation, properties and reclamation. Reinhold Pub. Co. New York.
- KOVDA, V. A. 1967. Chemistry of saline and alkali soils of arid zones. En FAO/UNESCO, 1967.
- OBREJANU, G.; OPREA, S. V. and SANDU, G. Improvement of solonchets and solonchetic soils in Europe. *Soviet. Soil Sci.* **2** (4): 466-79.
- OLLAT, CH.; BECVAROVA, H.; CHAARI, H.; COMBREMONT, R.; VAN HOORN, J. W. and SAID, H. 1969. Salure et alcalisation d'un sol salé et calcaire irrigué avec des eaux saumâtres. *Agroké. Talej.* **18**: 113-20.
- ; —; BOUZAI, A.; COMBREMONT, R.; VAN HOORN, J. W. and NANAA, O. 1969. Lessivage et desalcalisation d'un sol salé à alcali. *Agroké. Talej.* **18**: 103-12.
- PÉREZ GARCÍA, V.; FERNÁNDEZ CALDAS, E. and GARCÍA, V. 1975. Distribución y características de los suelos salinos de la Isla de Tenerife. *Anal. Edaf.* **XXXIV** (78): 599-606.
- RAINS, D. W. 1972. Salt transport by plants in relation to salinity. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* **23**: 367-88.
- RHOADES, J. D. 1972. Quality of water for irrigation. *Soil Sci.* **113** (4): 277-84.
- SHALHEVET, J. and REININSER, P. 1964. The development of salinity profiles following irrigation of field crops with saline water. *Israel J. Agric. Res.* **14** (4): 187-96.
- SZABOLCS, I. (Editor). 1965. Proceedings of the Symposium on Sodic Soils. Budapest, 1964.
- SZABOLCS, I.; DARAB, K. and VARALLYAY, G. Y. 1969. Methods of predicting Salinization and Alkalization Processes due to Irrigation on the Hungarian Plain. *Agroké Talej.* **18**: 351-76.
- U.N.E.S.C.O. 1961. Salinity Problems in the Arid Zones. Proceed. of the Teheran Symp.
- U.S.D.A. 1954. Diagnosis and improvement of Saline and Alkali Soils. U.S. Salinity Lab. Staff. Agric. Handbook n.º 60.

