

EFFECTO DE LA RELACION DE ADSORCION DE SODIO Y LA CONCENTRACION DE SALES SOBRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DE DIFERENTES SUELOS

Carlos B. Irurtia 1) y Norman Peinemann 2)

1) Departamento de Edafología del CIRN-INTA, Castelar (1712) Buenos Aires

2) Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca (8000)

RESUMEN

Se realizaron determinaciones de conductividad hidráulica en muestras de suelo disturbadas de diferentes texturas en presencia de soluciones con distintos valores de CE y RAS. Se observó que cuando en muestras de textura franco arenosa o franco arcillosa se pasaba de altos a bajos contenidos salinos, manteniendo una elevada RAS, la K se hacía prácticamente cero; la solución percolada presentaba un pH mayor a 8,5 y presencia de materia orgánica y arcilla en suspensión como consecuencia de la gran dispersión. En muestras de textura arenosa franca por el contrario, si bien también se produjo migración de arcilla aumentó ligeramente la K.

Palabras claves: salinidad, sodicidad, conductividad hidráulica, lavado de suelos.

ABSTRACT

EFFECT OF THE SODIUM ADSORPTION RATIO AND SALT CONCENTRATION ON THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF DIFFERENT SOILS

Hydraulic conductivity determinations were done on disturbed soil samples of different textures in presence of solutions with different values of EC and SAR. It was observed that on samples of sandy loam or clay loam textures, when the total salinity passes from high to low values, maintaining a high SAR, K becomes practically zero; the percolated solution showed pH values up to 8,5 and contained organic matter and clay in suspension as a consequence of the great dispersion. In samples of loamy sand texture the migration of clay particles also took place, and in these cases a slight increment of K was noted.

Key words: salinity, sodicity, hydraulic conductivity, soil leaching.

INTRODUCCION

Los trabajos realizados por Bodman y Fireman (1950), Quirk y Schofield (1955), Mc Neal y Coleman (1966), Waldrom y Constantin (1968), Shainberg I (1984), Dane y Klute (1977), Pupisky y Shainberg (1979) y Suarez y col. (1984) entre otros, establecieron una estrecha relación entre las características de la solución en contacto con el suelo y su conductividad hidráulica (K). Ellos también señalaron cuales podrían ser los principales mecanismos que determinan las variaciones de permeabilidad (K) para distintas condiciones de concentración y relación Na/Ca en las soluciones utilizadas.

Pupisky y Shainberg (1979) determinaron la conductividad hidráulica K en columnas de suelo mediante soluciones de distintas concentraciones y valores de RAS estableciendo que a medida que disminuye la concentración y aumenta la RAS de la solución aplicada disminuye la conductividad hidráulica. Los principales mecanismos de esa disminución serían el hinchado de las arcillas con alto nivel de sodio intercambiable a una concentración mayor de $10^{-2}N$ y la dispersión de las mismas debajo de esta concentración. La dispersión de las arcillas y su migración dentro de los poros taponándolos causan drásticas reducciones en la K.

Emerson y Bakker (1973) establecieron, a bajas proporciones de sodio intercambiable, que una concentración inferior a la "concentración umbral" y un alto gradiente entre las concentraciones en los macroporos (diluída) y microporos (concentrada), favorecen la dispersión y migración de partículas coloidales. Además concluyeron que cuando no hay arcillas en la solución efluente de las columnas y el pH de la misma es neutro, no existe migración de arcillas a larga distancia como tampoco procesos hidrolíticos, siendo en estos casos la disminución de la K el resultado del hinchamiento de las arcillas y su migración a corta distancia.

Velasco-Molina (1971) y Frenkel *et al.* (1978) encontraron que los suelos montmorilloníticos son más propensos a dispersarse, en bajos niveles de electrolitos, que los caolíníficos y micáceos.

Suárez *et al.* (1984) comprobaron que la disminución de la K con la disminución de la salinidad es mayor cuando el medio es alcalino.

En los últimos años se han desarrollado numerosos modelos para predecir el movimiento de sales en un

perfil de suelo salinizado, pero en la mayoría de ellos son muy pocas las consideraciones que se hacen sobre el efecto de la salinidad en la permeabilidad del suelo.

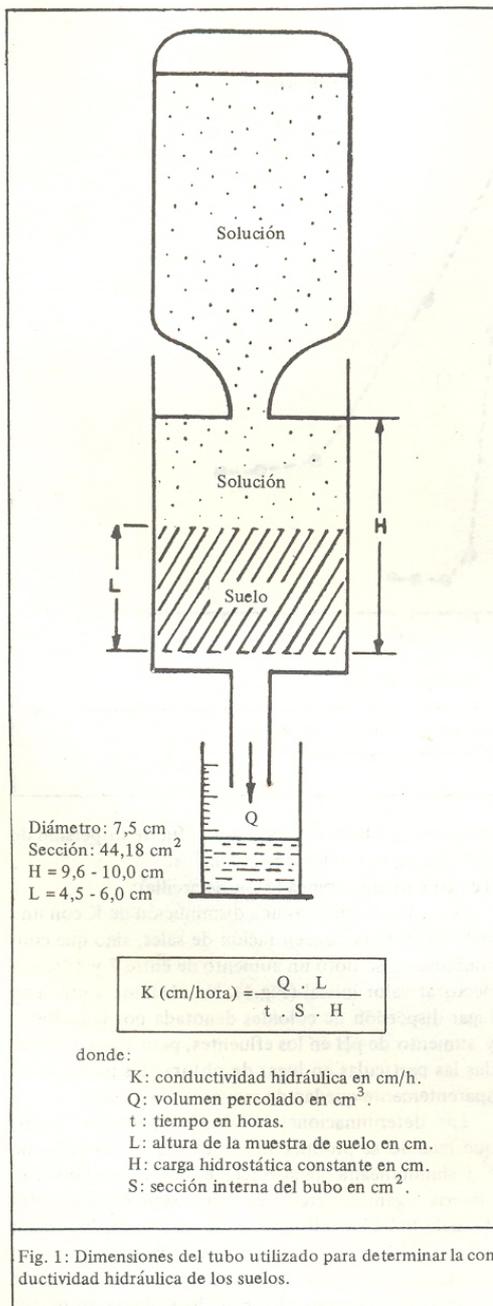
Dane y Klute (1977) advierten que ignorar el efecto de las sales sobre las propiedades hidráulicas de un suelo puede conducir a errores sustanciales en el manejo y la recuperación de los suelos salinos.

Las experiencias de recuperación de suelos salinos del Valle Inferior del Río Colorado, llevadas a cabo en columnas y a campo (Irurtia y Peinemann 1986a y 1986b) permitieron determinar la variación del contenido de sales y de la RAS del suelo cuando se lo somete a lavados con agua de riego. Estos trabajos demostraron que con los lavados disminuye la salinidad y el PSI a niveles aceptables desde el punto de vista de su recuperación. Si bien este hecho es considerado como muy favorable para el movimiento del agua en el perfil, no se conoce en términos cuantitativos la influencia de la salinidad y de la RAS sobre la conductividad hidráulica de ese suelo.

El objeto de este trabajo fue llevar a cabo experiencias en laboratorio con muestras de suelos sometidas a distintas soluciones, para determinar el efecto específico de la RAS y el nivel de salinidad sobre la conductividad hidráulica del suelo de diferentes capas de un determinado perfil.

MATERIALES Y METODOS

Fueron utilizados seis tubos de material acrílico cuyas dimensiones de llenado y columna de agua se especifican en la Fig. 1 y en cuya parte inferior consta de una placa cribada, un filtro grosero de arpillera y dos rejillas entrecruzadas de alambre tejido para evitar taponamientos en caso de producirse migraciones de partículas. Durante el llenado de los tubos para evitar estratificación de las muestras este se efectúa en un sólo movimiento vertiendo 260 g de suelo seco tamizado a cada tubo, y para uniformar la compactación se dejó caer 20 veces desde 2,5 cm de altura sobre un taco de madera agujereado, alcanzándose así una densidad aparente de $1,4 \text{ Mg.m}^{-3}$ aproximadamente. Finalmente se humedeció todo el tubo por ascenso capilar, se colocó sobre la muestra de suelo un papel de filtro para evitar la remoción durante el llenado con la solución, y por último se colocó un recipiente invertido con la solución a utilizar para lograr una carga hidrostática constante. La medición del volumen efluente se efectuó cada hora mediante una probeta graduada al ml.



Se utilizaron soluciones neutras de distinta salinidad total (0,5; 1; 2; 3; 5 dS m⁻¹) y valor RAS (5, 14, 24, 30, 46 y 110) preparadas a partir de cloruro de sodio y cloruro de calcio. Las soluciones preparadas fueron aplicadas sobre las muestras de un suelo en forma ordenada, primero las más concentradas y luego progresivamente las más diluídas previo equilibrio, simulando un lavado de sales. Esta secuencia se hizo sin variar la RAS de las soluciones para evitar alteraciones en los cationes adsorbidos. Las experiencias se efectuaron con 3 o 6 repeticiones para obtener valores promedio.

Se utilizaron en esta experiencia 3 muestras de suelo de capas de diferentes texturas, de dos perfiles salinizados localizados en un mismo lote de un establecimiento ubicado a 18 Km al SE de Pedro Luro (provincia de Buenos Aires). Ambos perfiles fueron clasificados como Ustifluventes típicos, familia arenosa y franca gruesa respectivamente.

Los datos analíticos de las muestras utilizadas figuran en la tabla correspondiente. Debe agregarse que en las tres muestras se detectó esmectitas, illita y caolinita con predominio de las primeras*.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se diseñaron distintos ensayos para evaluar el efecto de la desalinización del suelo sobre la conductividad hidráulica (K).

a) Efecto de la concentración de sales decreciente sobre K: Soluciones de distinto contenido de sales y RAS: 20 dS m⁻¹ (RAS 14), 1 dS m⁻¹ (RAS 14), 20 dS m⁻¹ (RAS 110), 1 dS m⁻¹ (RAS 110) fueron aplicadas sobre columnas de suelo de distintas texturas de modo de disminuir el contenido de sales y mantener constante la RAS.

Textura franco arenosa (10,8% de arcilla):

La conductividad hidráulica decae drásticamente cuando la salinidad de la solución disminuye de 20 a 1 dS m⁻¹, y tanto más acentuadamente cuánto mayor es la RAS de la solución aplicada (93% a RAS 110 y 64% a RAS 14) (Fig.2). El efecto de una RAS elevada en presencia de un alto tenor salino es mucho menor que aquel que se presenta a bajo contenido de sales cuando se desaliniza el suelo. Cuando la solución aplicada pasa de 20 dS m⁻¹ a 1 dS m⁻¹, la disminución de K es mucho más acentuada cuando la RAS es 110,

* Difractograma de rayos X realizado por el Dr. Héctor Morrás.

Características del perfil Nº 1

- Capa 1 : 0-36 cm, color 7,5 YR 6/4 en seco, textura franco limosa, con hifas salinas y cristales de yeso. Estructura en bloques subangulares medios a moderados que rompen a bloques menores. Friable con brusca reacción al CIH en la masa. Cobertura vegetal escasa afectada por salinidad.
- Capa 2 : 36-65 cm, color 7,5 YR 5/2 arena, masiva, presenta reacción al CIH húmedo, sin raíces.
- Capa 3 : 65-72 cm, color 7,5 YR 5/4 areno limoso, masivo, húmedo, presenta reacción al CIH.
- Capa 4 : 72-90 cm, color 7,5 YR 5/2 arena, masiva, húmedo, con escasas manchas ferruginosas y reacción leve al CIH.

- Clasificación taxonómica (Soil Survey Staff)

Subgrupo: Ustifluvente típico
Familia: arenosa

Características del perfil Nº 2

- Capa 1 AP : 0-15 cm, color 7,5 YR 3/4 en húmedo, textura franco arenosa. Estructura en bloques subangulares, medios a moderados, que rompen a bloques menores. Friable con brusca reacción al CIH en la masa.
- Capa 1 : 15-35 cm, límite gradual, 7,5 YR 4/6 en húmedo, textura franco arenosa. Estructura en bloques subangulares medios a moderados que rompen a bloques menores. Friable con reacción al CIH en la masa. Presenta concreciones de yeso.
- Capa 2 : 35-53 cm, límite abrupto, color 5 YR 2/4, textura franco arcillosa. Estructura en bloques subangulares medios a moderados que rompen a bloques menores. Friable, ligeramente plástico y adhesivo, presenta reacción al CIH y concreciones de hierro manganeso y yeso, también moteados escasos finos y débiles de Fe Mn.
- Capa 3 : 53-80 cm, límite gradual, color 7,5 YR 3/4, textura franco arenosa, estructura masiva, muy friable no plástico ni adhesivo. Reacciona al CIH, presenta concreciones de Fe Mn y de yeso.

- Clasificación taxonómica

Subgrupo: Ustifluvente típico
Familia: Franca gruesa

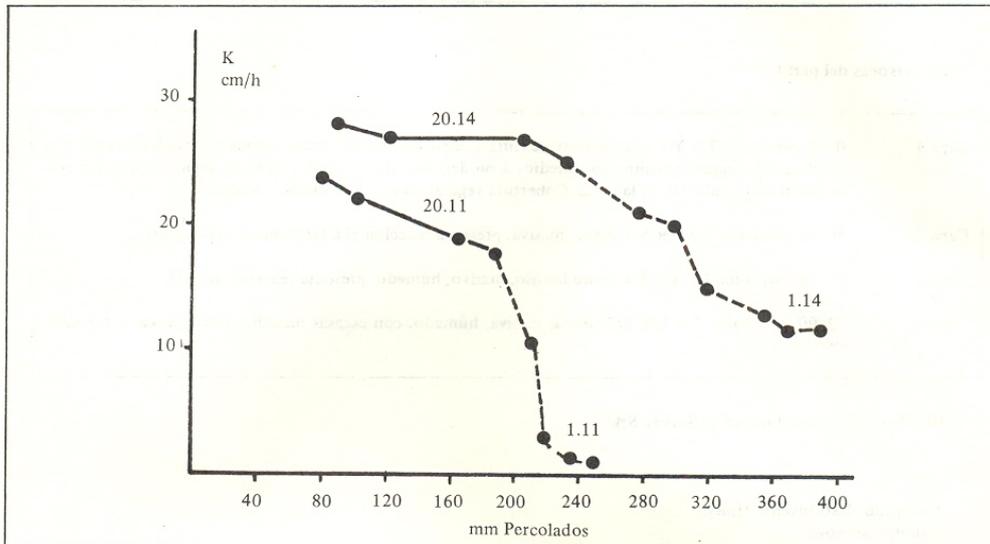


Fig. 3: Conductividad hidráulica de un suelo franco arcilloso en función de la disminución de la concentración total de electrolitos en la solución.

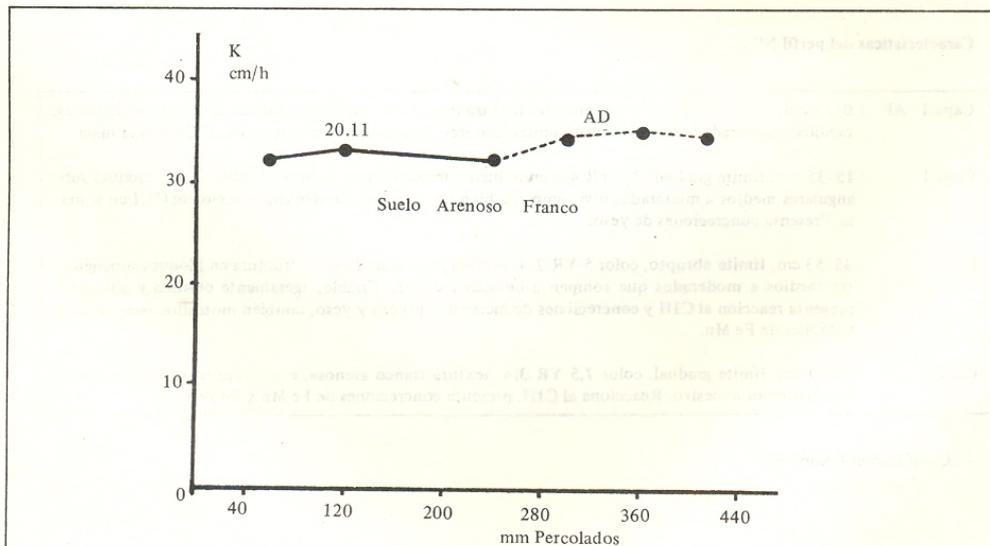


Fig. 4: Conductividad hidráulica de un suelo arenoso franco en función de la disminución de la concentración total de electrolitos en la solución.

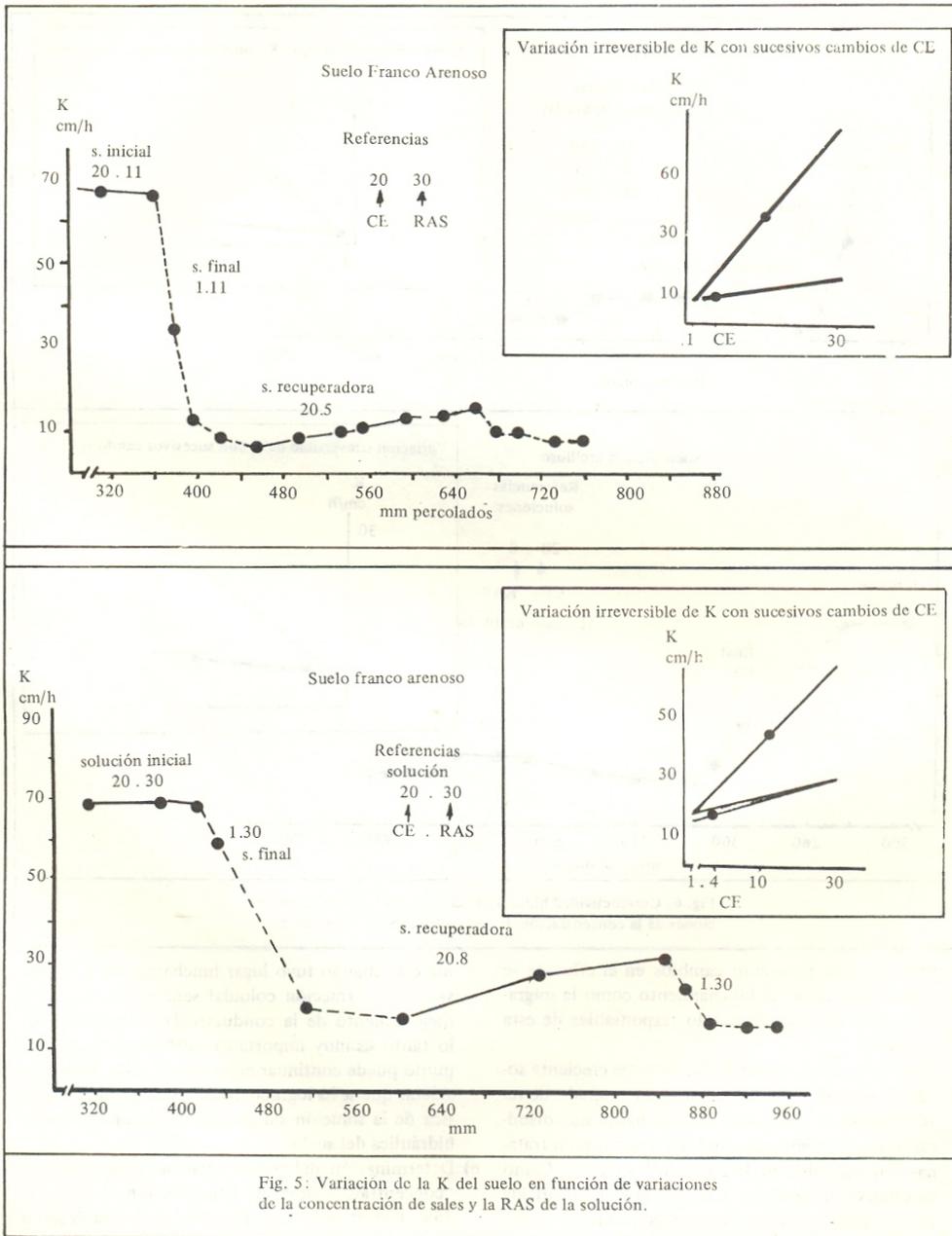
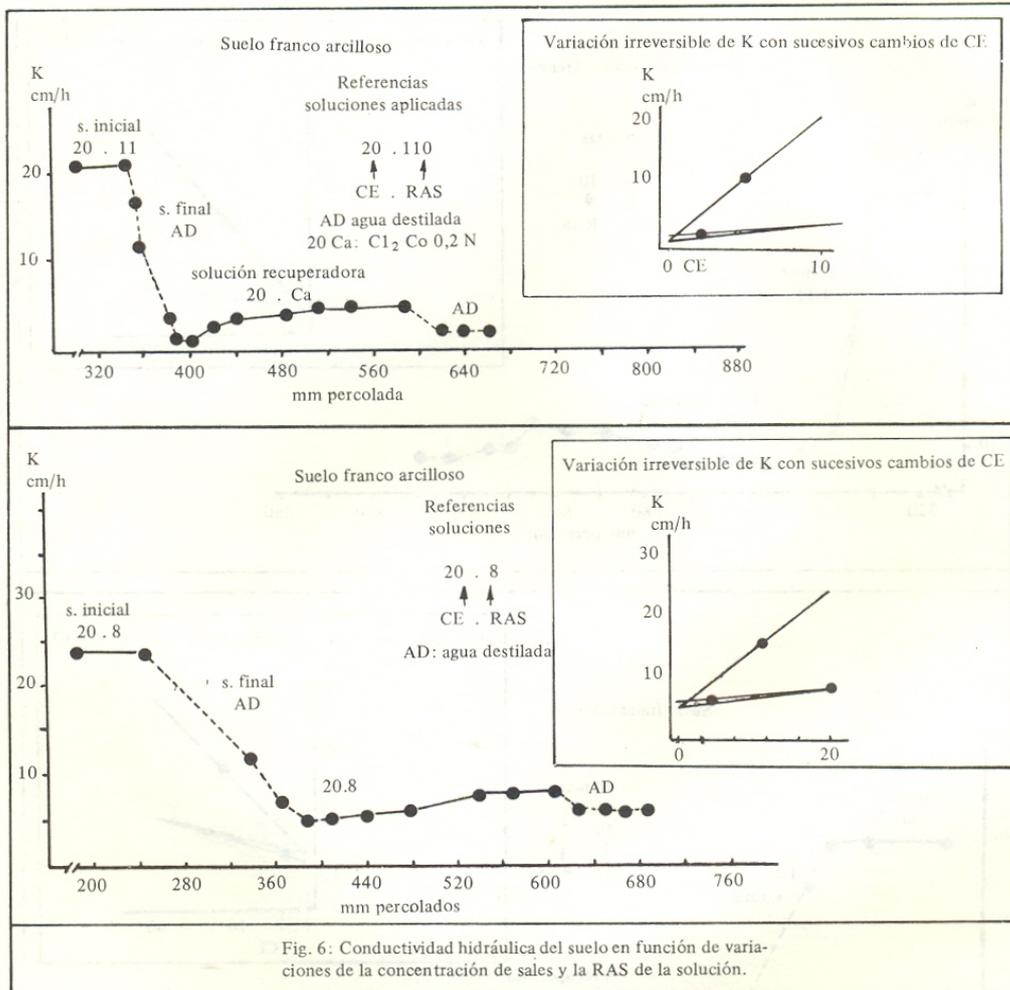


Fig. 5: Variación de la K del suelo en función de variaciones de la concentración de sales y la RAS de la solución.



medida y no se presentan cambios en el efluente se considera que tanto el hinchamiento como la migración a corta distancia han sido responsables de esta disminución.

b) Efecto de una concentración de sales creciente sobre K: Con la finalidad de analizar el grado de reversibilidad de los suelos cuya K había sido disminuída en la experiencia anterior, estas fueron tratadas con una solución de 20 dS m⁻¹ y RAS 8. Como se observa en la Fig. 5 y 6 la degradación sufrida por el suelo no puede ser reestablecida en forma satisfactoria por estos medios, por lo que se confir-

ma que cuando tuvo lugar hinchamiento y dispersión de la fracción coloidal será problemático el mejoramiento de la conductividad hidráulica. Por lo tanto es muy importante determinar hasta que punto puede continuar el lavado de sales, para considerar que se ha logrado disminuir la presión osmótica de la solución sin perjudicar la conductividad hidráulica del suelo.

c) Determinación del punto final de los lavados: La "concentración umbral" (disminución de K en 15-25%) es el elemento de juicio para establecer el momento en que se logra una situación de mínimo

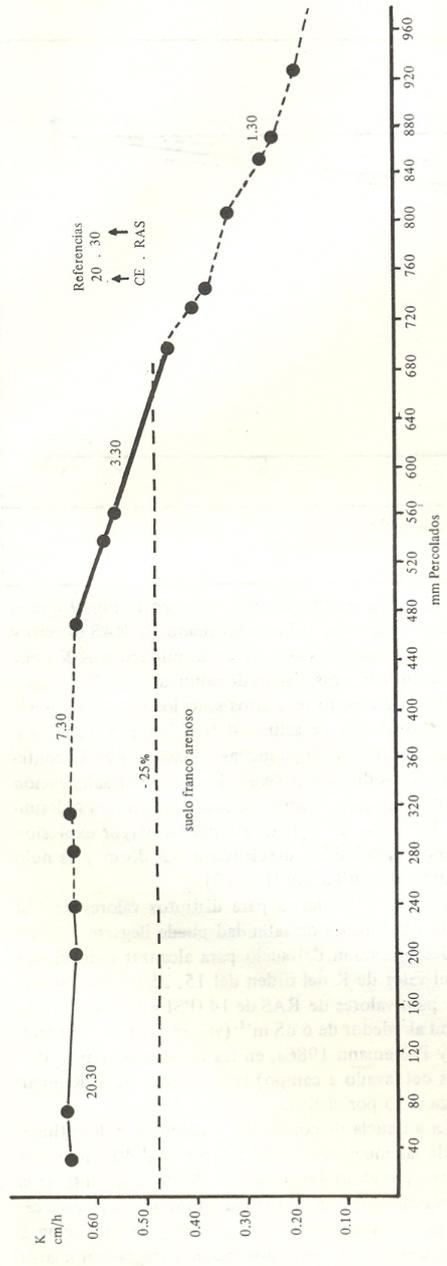


Fig. 7: Variación de la conductividad hidráulica de un suelo franco arenoso al aplicar una sucesión de soluciones de salinidad decreciente.

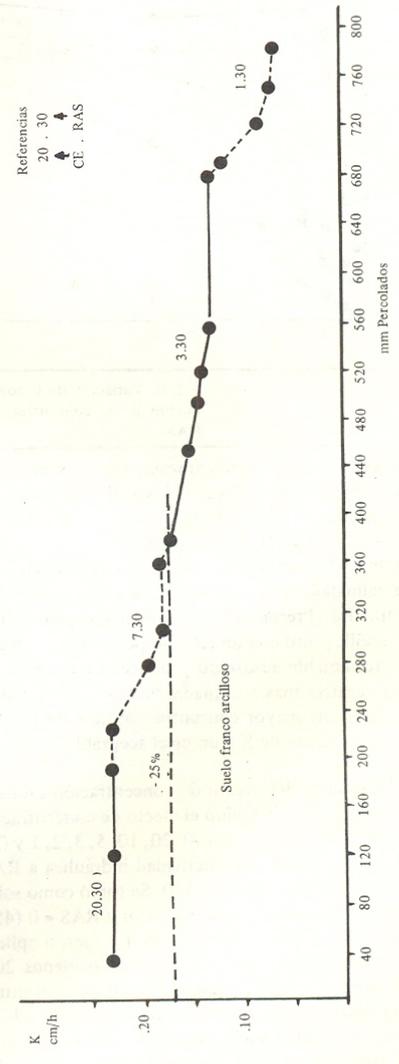


Fig. 8: Variación de la conductividad hidráulica de un suelo franco arcilloso al aplicar una sucesión de soluciones de salinidad decreciente.

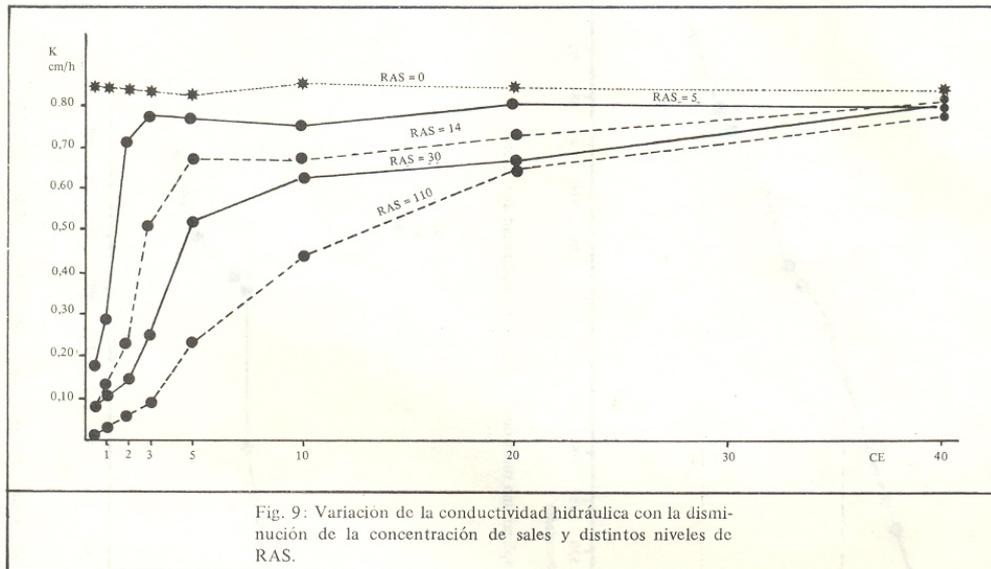


Fig. 9: Variación de la conductividad hidráulica con la disminución de la concentración de sales y distintos niveles de RAS.

perjuicio durante la desalinización de un suelo. Con este objeto fueron lavados los suelos con soluciones de 20, 7, 3 y 1 dS m^{-1} manteniendo la RAS constante en 30 (Figs. 7 y 8). Se observa que el suelo de textura más gruesa soporta un nivel más bajo de salinidad sin que se deteriore su conductividad hidráulica. Presumiblemente el mayor contenido de arcilla junto con un elevado porcentaje de sodio intercambiable adsorbido produce una reacción física negativa más acentuada, motivo por el cual se necesita una mayor concentración de sales para el mantenimiento de K a un nivel aceptable.

- d) Interrelación del efecto de concentración salina y RAS sobre K: Se evaluó el efecto de concentraciones salinas decrecientes (40, 20, 10, 5, 3, 2, 1 y 0,5 dS m^{-1}) sobre la conductividad hidráulica a RAS de 0, 5, 14, 24, 30, 46 y 110. Se tomó como solución de referencia una de 40 dS/m y RAS = 0 (450 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$; KR = 100%) y fueron aplicadas porciones de lixiviado de por lo menos 200 mm antes de pasar a cada solución de concentración decreciente, haciéndose mediciones cada 1 - 2 horas. Se utilizó suelo de textura franco arenosa.

En presencia de altas concentraciones de sodio tiene lugar una notable disminución de la conductividad hidráulica a menor contenido de sales, efecto que no se manifiesta cuando se elimina el sodio del sistema

(RAS = 0). Así puede observarse en la Fig. 9 que el efecto de la salinidad es nulo cuando la RAS es cero y máximo cuando es de 110. La disminución de K tiene lugar en más altos niveles de salinidad y en forma más acentuada cuanto más altos sean los niveles de RAS. A bajos niveles de salinidad (CE 0,5 y 1 dS m^{-1}) y RAS (entre 0 y 5) pequeñas variaciones en el contenido de sodio en el suelo durante la desalinización produce grandes efectos en su conductividad hidráulica. El efecto de la RAS alcanza su mayor expresión cuando la salinidad desciende a 0,5 dS/m y es nulo cuando es de 40 dS/m (Fig. 10).

La Fig. 11 muestra para distintos valores de PSI hasta qué niveles de salinidad puede llegarse durante la desalinización del suelo para alcanzar reducciones en el valor de K del orden del 15, 25 y 50%. Nótese que para valores de RAS de 14 (PSI = 16%) y de salinidad alrededor de 6 dS m^{-1} (valores hallados por Iruiria y Peinemann 1986a, en las capas más críticas después del lavado a campo) la reducción de la K no alcanza al 25 por ciento.

La ausencia de coloración y turbidez en los efluentes de las muestras de PSI inferiores al 40% induce a pensar que el principal mecanismo determinante de la depresión de la conductividad hidráulica es en esos casos el hinchamiento de las arcillas y la migración a corta distancia y no la dispersión y migración a larga distancia.

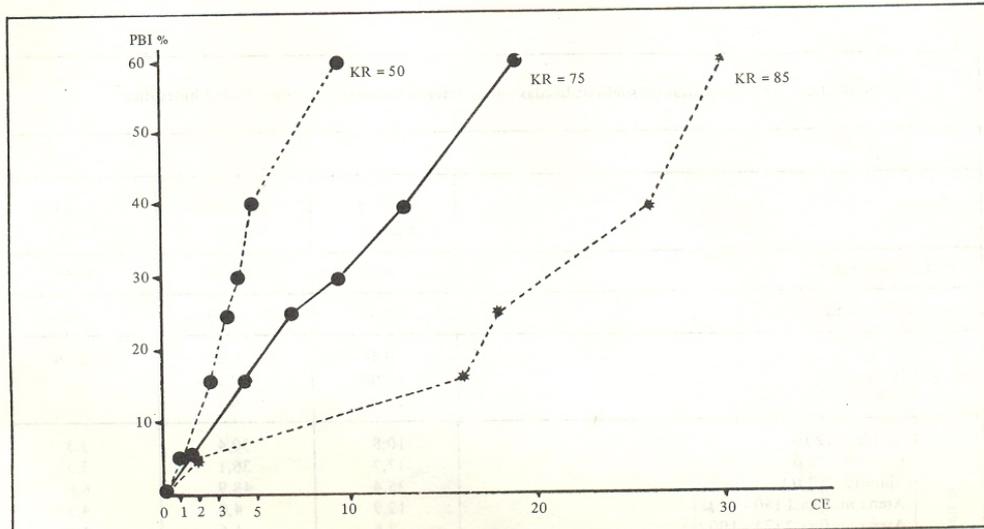


Fig. 10: Efecto de la variación de la RAS y la concentración de sales de la solución sobre la conductividad hidráulica del suelo.

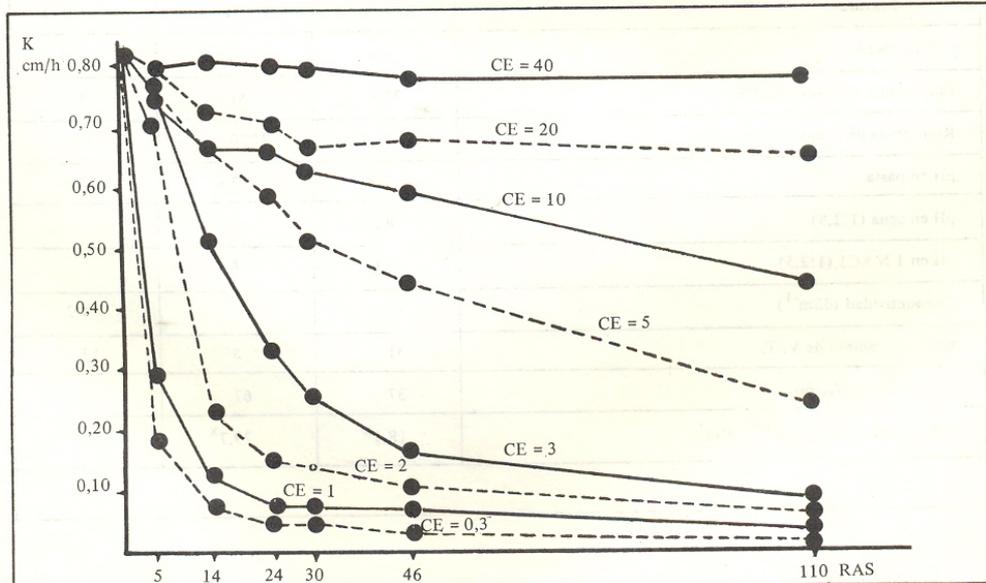


Fig. 11. Concentración de sales (CE) necesaria para alcanzar una determinada conductividad hidráulica relativa (KR), según el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) del suelo.

Propiedades de las muestras de suelo utilizadas en las determinaciones de conductividad hidráulica				
Muestra		Perfil 2 Capa 1	Perfil 2 Capa 2	Perfil 1 Capa 2
Profundidad (cm)		0-15	35-53	36-65
Factor de humedad		1,03	1,03	1,01
Mat. org.	C (%)	0,46	1,07	0,36
	N (%)	0,045	0,123	
	C/N	10,2	8,7	
Textura en %	Arcilla (< 2 μ)	10,8	30,4	3,3
	Limo (2 - 20 μ)	17,7	36,1	3,3
	Limo (2 - 50 μ)	35,4	48,9	6,6
	Arena m. fina 1 (50 - 74 μ)	12,9	4,0	4,5
	Arena m. fina 2 (74 - 100 μ)	7,6	1,6	4,3
	Arena fina (100 - 250 μ)	25,4	4,8	50,3
	Arena media (250 - 500 μ)	3,3	0,7	30,6
	Arena gruesa (500 - 1000 μ)	—	—	—
Arena m. gruesa (100 - 2000)	—	—	—	
Textura	F. aren.	F. arc.	arena F.	
CaCO ₃ (%) V		4,6	9,6	0,4
Equivalente de humedad (%)		22,4	31,6	5,3
Resistencia de la pasta (0hms/cm)		257	1820	
pH en pasta		7,9	7,6	7,8
pH en agua (1:2,5)		8,2	8,2	
pH en 1 N KCl (1:2,5)		7,6	6,9	
Conductividad (dSm ⁻¹)		13,7	—	4,2
%Na ⁺ en cambio de V. T.		31	5	13
% Agua de saturación		37	67	11
Valor T (m. e./100) NH ^{X+} oNa ⁺		18,1 ^X	29,7 ^X	7,3 ^X

CONCLUSIONES

Los suelos provenientes de las capas de textura franco arcillosa y franco arenosa reducen en forma similar sus valores de K cuando se los desaliniza manteniendo valores de RAS entre 14 y 110. En ambas texturas la K se hace prácticamente cero cuando la RAS es 110.

El suelo de la capa de textura arenosa franca por el contrario aumenta la K en esas condiciones, al migrar el material coloidal de la muestra. No obstante debe considerarse que este material puede obtener poros en capas subyacentes de textura más fina disminuyendo

la permeabilidad de todo el perfil.

La caída irreversible de K en estos procesos fisicoquímicos, señala la gravedad del error que puede cometerse si durante el lavado de un suelo salino se dispersa alguna capa sódica del subsuelo por excesiva eliminación de sales.

Si bien esta experiencia de laboratorio demuestra con claridad que las capas de textura franco arenosa y franco arcillosa pueden tornarse impermeables, al desalinizarlas en niveles altos de RAS, las características particulares de los perfiles tratados impiden que ello ocurra durante el lavado a campo, debido principalmente a que presentan reservas cálcicas que evitan la elevación de la RAS.

REFERENCIAS

- Bodman, C. B. y M. Fireman, 1950. Changes in soil permeability and exchangeable cations status during flow of different irrigation waters. *Int. Congr. Soil Sci., Tras. 4th (Amsterdam)* 1:397-400.
- Dane, H. J. y A. Klute, 1977. Salt effects on the hydraulic properties of a swelling soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 1043-1049.
- Emerson, W. W. y A. C. Bakker, 1973. The comparative effect of exchangeable Ca, Mg y Na on some physical properties of red brown earth subsoils. The spontaneous dispersion of aggregates in water. *Aust. J. Soil Res.* 11:151-157.
- Frenkel, H., J. O. Goertzen y J. D. Rhoades, 1978. Effects on clays type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:32-39.
- Irurtia, C. B., 1985. Influencia de la relación sodio/cloro y la salinidad en las propiedades físicas de un suelo salino durante su recuperación. Universidad Nacional del Sur. Tesis Magister Ciencias del Suelo.
- Irurtia, C. B. y N. Peinemann, 1986a. Ensayo de recuperación a campo de un suelo salino mediante el uso de enmiendas. *Rev. Invest. Agropecuarias* (en prensa).
- Irurtia, C. B. y N. Peinemann, 1986b. Ensayo de lavado en columnas de suelos salinos. Aplicación de yeso sobre la serie El Fortín (Valle Inferior del Río Colorado). *Rev. Invest. Agropecuarias* (en prensa).
- Mc Neal, B. L. y N. T. Coleman, 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 308-312.
- Personal del Laboratorio de Salinidad de los E. U. A., 1973. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Manual N° 60 del Departamento de Agricultura de los E.U.A. Editorial Limusa. México. Sexta edición en español.
- Pupisky, H. e I. Shainberg, 1979. Salt effects on the Hydraulic Conductivity of a sandy soil. *Soil Sc. Soc. Am. J. Vol.* 43, 429-433.
- Quirk, J. P. y R. K. Schofield, 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.* 6: 163-178.
- Shainberg, I., 1984. Chemical Reaction and Control of Soil Physical Properties. The effect of the electrolyte concentration on the hydraulic properties of sodic soils, Chapter 3. *Ecological Studies S1. Soil salinity under Irrigation. Processes and Management.* Edited by I. Shainberg and J. Shalhevet. Springer Verlag. Berlín, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Shainberg, I., E. Bresler y Y. Klausner, 1971. Studies on Na/Ca montmorillonite systems: I. The swelling pressure. *Soil Sci.* 111: 214-219.
- Shaw, D. J., 1970. Introducción a la química de superficies y coloides. Liverpool. Editorial Alhambra, S. A.
- Soil Survey Staff, 1975. *Soil Taxonomy. A basic system for making and interpreting soil surveys.* SCS-USDA, Agric. Handbook N° 436, Washington D. C. USA, 754 pp.
- Suárez, D. L., J. D. Rhoades, R. Lavado and C. M. Grieve, 1984. Effect of pH on Saturated Hydraulic Conductivity and Soil Dispersion. *Soil Sci. Am. J.* 48:50-55.
- Velasco-Molina, H. A., A. R. Swoboda y C. L. Godfrey, 1971. Dispersion of soils of different mineralogy in relation to SAR and electrolyte concentration. *Soil Sci.* 11: 282-287.
- Waldrom, L. J. y C. K. Constantin, 1968. Bulk volume and hydraulic conductivity changes during sodium saturation test. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 175-179.