

El proceso de recuperación de dos suelos salinos de la Depresión Media del Ebro

I. Evolución de la conductividad eléctrica, conductividad hidráulica y pH durante el lavado

por R. Aragüés y F. Alberto

C.R.I.D.A.-03 - I.N.I.A. - ZARAGOZA
Estación Experimental de Aula Dei. ZARAGOZA

Recibido el 28-IV-1978

A B S T R A C T

ARAGÜÉS, R. y ALBERTO, F., 1978.— Reclamation of two saline soils of the middle Ebro Valley (Spain). I. Evolution of the electrical conductivity, hydraulic conductivity and pH during the leaching process. *An. Aula Dei*, **14** (1/2): 230-244.

Variations in electrical conductivity (EC), hydraulic conductivity (K) and pH during the leaching process —with deionized water—, of two soils of the middle Ebro valley (Spain), were studied in the laboratory. The gypsum content of these soils (1,3 and 2,1 %, respectively) was responsible for the maintainance of a soil flocculated state such that the salts remaining in the soil after the leaching process were adequate for most plants. The number of pore volume displacements needed to achieve an EC of 2 mmho/cm. in the percolation waters (being the initial EC = 18 mmho/cm.) was 4,5 and 7,5 (or 2,6 and 4,1 cm. water/cm. soil), respectively.

I N T R O D U C C I O N

La productividad agrícola en muchas regiones áridas o semi-áridas, está seriamente limitada por los efectos adversos que la salinidad y/o la alcalinidad del suelo tienen sobre las propiedades físicas y químicas del mismo, y sobre el crecimiento de las plantas a través principalmente de la disminución del potencial osmótico de la solución del suelo, la presencia de iones tóxicos y los desequilibrios nutricionales. El problema de la salinidad en la depresión

media del Ebro (D. M. E.) es de importancia, como lo demuestra la presencia de unas 160.000 Ha. de suelos más o menos afectadas por sales*. Se hace, por lo tanto, necesario un estudio global sistemático de estos suelos para su adecuado aprovechamiento agrícola.

En el estado actual de nuestros conocimientos, la recuperación de los suelos salinos se realiza a través del lavado de las sales del mismo, que son transportadas hacia los horizontes inferiores del suelo, y finalmente arrastradas por las aguas subterráneas. A veces es necesario el establecimiento de drenajes que favorezcan esta operación.

El lavado de las sales de un suelo conlleva la modificación de algunas de sus propiedades físicas y químicas, debido a que el suelo es un sistema coloidal en el que las sales tienen una influencia grande. En condiciones naturales, este lavado conduce, en ocasiones, a la destrucción de la estructura del suelo; así, es típica la secuencia genética Solonchack-Solonetz-Solod, a través de la cual el progresivo lavado de las sales desflocula las partículas coloidales, originando su desplazamiento hacia capas más profundas en las que se forman horizontes texturales, compactos, de baja permeabilidad al aire, al agua y a las raíces, y que confieren al suelo escasa o nula productividad.

En los procesos de recuperación por lavado, los cambios que se originan en la estructura del suelo como consecuencia de la desfloculación de las partículas coloidales, conducen con frecuencia a procesos casi irreversibles de desertización. Por consiguiente es imprescindible conocer cómo, por qué y en qué proporción se modifican las propiedades del suelo al lavarlo, pues una falta de conocimientos adecuados en este campo, dificultará o impedirá el proceso de su recuperación.

En este sentido, es útil la experiencia que se puede obtener en laboratorio, pues es posible fijar unas condiciones ideales que permiten el estudio de las variables que interesa conocer. Es indudable que estas condiciones no se darán luego en el campo, pero los conocimientos obtenidos ayudarán a interpretar los fenómenos que tendrán lugar bajo condiciones de campo, facilitando la decisión de la metodología y de la realización de inversiones en la modificación de las características más importantes en el proceso de lavado.

* ALBERTO, F., MACHÍN, J., CUCHÍ, J. A. Trabajo cartográfico no publicado.

En este trabajo, parcial dentro de los objetivos señalados más arriba, se aborda el estudio de la variación de la conductividad eléctrica (CE), conductividad hidráulica (K) y pH, durante el proceso de lavado de dos suelos salinos ligeramente yesosos, con agua desionizada, y en condiciones de laboratorio.

MATERIAL Y METODOS

Se tomaron dos muestras superficiales de dos zonas salinas de la D. M. E. (Cortes de Navarra y Remolinos). Estos suelos, por la presencia simultánea de carbonato cálcico y yeso corresponden a salinos representativos de la región. Además, los valores en yeso de estos suelos equivalen con cierta aproximación a las Tm/Ha de $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ que, a veces, se añaden como coadyuvantes a suelos salino-sódicos para su recuperación.

Ambos suelos se dejaron secar al aire, se molieron y tamizaron por tamiz de 2 mm. de luz. Las características de ambos suelos se detallan en el cuadro 1.

CUADRO 1.—Características de los suelos CU (Cortes de Navarra), y HN (Remolinos).

Granulometría	CU	HN
20-0,63 mm.	0,04	0,06
0,63-0,2 mm.	0,1	0,5
0,2-0,063 mm.	0,7	2,4
63-20 μ	4,4	10,5
20-6,3 μ	15,7	19,4
6,3-2,0 μ	28,3	27,3
< 2,0 μ	50,9	39,9
Textura	Arcilla franca	Franco-arcillo-limoso
Densidad real (ρ_p) g/cm ³	2,71	2,70
Densidad aparente (ρ_b) g/cm ³	1,27	1,38
Porosidad (E) %	53	49
Ca CO ₃ (%)	26,5	27,6
Yeso (%)	1,3	2,1
CE (extr. sat.) mmho/cm. a 25 °C	7,9	11,6
ESP (% Na intercambiable)	15,4	25,3
pH (extr. sat.)	8,06	8,11
pH en agua (1 : 2,5)	8,15	8,20
pH en solución 1 N KCl (1 : 2,5)	7,75	7,80
Materia orgánica (%)	1,6	1,8

El experimento se planteó del siguiente modo:

A un cilindro de las dimensiones señaladas por el U. S. Salinity Laboratory (RICHARDS, 1954), se añadieron 200 g. de suelo para CU y 100 g. para HN, y se compactaron del mismo modo señalado en esa publicación. En razón de la necesidad de comprobar el efecto del agua desionizada libre de aire o saturada en él, se modificó el dispositivo de mantenimiento de la altura hidráulica, utilizando el diseñado por CHRISTIANSEN (1944), y puesto que en los percolados se debían de determinar las sales se modificó el sistema de saturación, saturando la muestra a vacío con agua libre de aire. De esta forma, se eliminó también el efecto que el aire ocluido («entrapped air») tiene sobre los valores de conductividad hidráulica, obtenidos durante el proceso de lavado (CHRISTIANSEN, 1944; PILLSBURY y APPELMAN, 1945).

Los percolados se recogieron en fracciones de 25 ml., sobre las que se determinaron aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} y HCO_3^-), cationes (Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++}), pH y CE, empleando los métodos químicos citados por RICHARDS (1954), excepto sulfatos, que se determinaron por colorimetría (método de Nemeth). La conductividad hidráulica se dedujo de la ecuación de Darcy una vez fijados el gradiente hidráulico y el tiempo necesario para llenar cada fracción de 25 ml. durante el lavado. Todas las experiencias se realizaron por duplicado, en habitación termostatzada a $20 \pm 0,5$ °C.

RESULTADOS, DISCUSION Y CONCLUSIONES

1. *Estudio de la variación de la CE por el lavado del suelo*

La conductividad eléctrica (CE) de una solución, expresada en mmhos/cm/25 °C es función del número de especies iónicas presentes, y de la movilidad y carga de cada ion. Por consiguiente, la medida de la CE de una solución es una forma indirecta adecuada para estimar la concentración total de las especies iónicas con carga de esa solución. Así, de forma aproximada, la concentración (meq/l) de una solución es unas diez veces el valor de su CE expresada en mmhos/cm. (RICHARDS, 1954).

Los factores principales de los que depende el gradiente de CE de las aguas de percolación, obtenido durante el proceso de la-

vado de las sales de un medio poroso, son: *a*) la dispersión hidrodinámica —debida a la complejidad y distribución de los poros en el suelo—; *b*) la presencia o ausencia de agua estagnante debida a poros ciegos u ocluidos por aire; *c*) la velocidad de percolación y las variaciones en la distribución de la velocidad del agua en los poros del suelo; *d*) el número de sales presentes en el suelo —incluyendo las reacciones químicas y de intercambio—; *e*) la difusión molecular —debida al movimiento intrínseco molecular causado por gradientes de actividad—, y *f*) las adsorciones de tipo físico por partículas sólidas. Como se deduce de lo anterior, la complejidad del proceso es grande.

La figura 1 muestra los resultados obtenidos para los dos suelos (CU y HN) y tratamientos (agua libre de aire y agua saturada en aire) utilizados. Puede observarse que, en las condiciones experimentales en que se realizó el lavado las diferencias entre ambos tratamientos no son en general significativas. En los cuatro casos presentados el proceso de lavado es continuo, sin puntos de inflexión; lo que indica que las variables que pueden afectarlo, y de forma especial la velocidad de percolación, no ha sufrido tampoco un cambio brusco en el total del proceso, como comprobaremos más adelante.

La forma de las curvas obtenidas para los suelos difieren sustancialmente y en especial en sus últimos tramos. Aparentemente el yeso presente en el suelo juega un papel preponderante en la pendiente de las curvas, cuando el resto de las sales han sido lavadas. Por ello la parte final de la curva para el suelo CU tiene un gradiente más abrupto, mientras la del suelo HN es más asintótica, reflejo de la mayor cantidad de yeso presente en HN (ver cuadro 1). Así, después de pasar unos 1.500 ml. de agua (correspondientes a unas 60 fracciones de percolado), la CE de las aguas de lavado del suelo CU era 0,34 mmho/cm., en comparación con los 0,69 mmho/cm. del suelo HN. Como se verá más adelante al realizar el cómputo de sales (parte II de este trabajo), se observa que el yeso en el percolado del suelo CU ha desaparecido prácticamente hacia la fracción de percolado número 28, mientras que en HN todavía mantenía valores próximos a los 25 mg/100 g. Mientras para el suelo CU el proceso más importante que caracteriza el tramo final de la curva podría atribuirse al mecanismo de difusión de solutos entre el agua «móvil» y «no móvil», para el

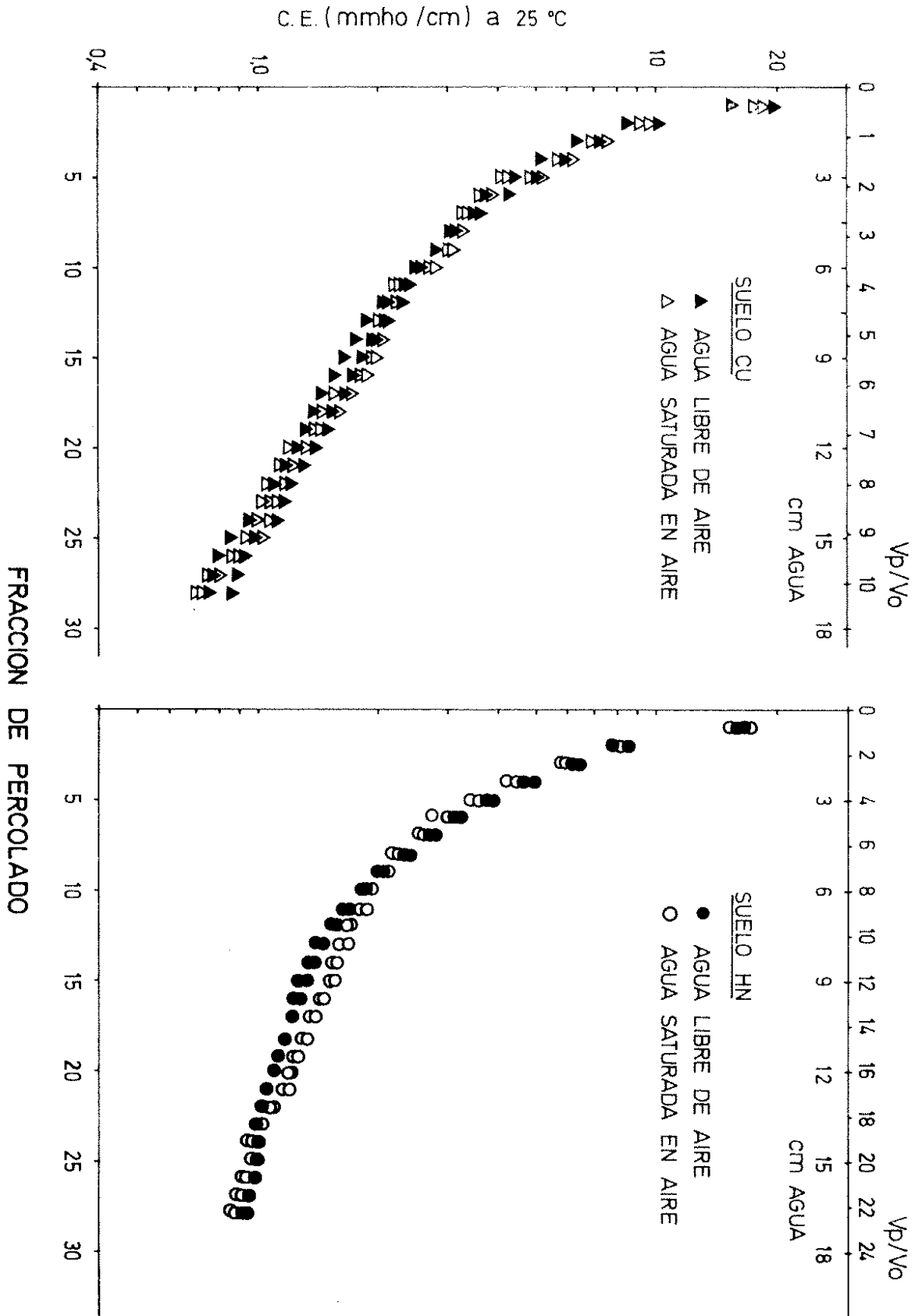


FIG. 1. Variación de la CE del percolado durante el proceso de lavado. Cada fracción de percolado es de 25 ml. En el eje superior de las abscisas se representa el volumen de poros lavados, V_p/V_o , y simultáneamente los centímetros de agua percolados.

suelo HN la presencia de yeso sería el factor más importante que caracteriza la forma final de la curva.

Es interesante relacionar la forma de las curvas con el número de volúmenes de poros del suelo (V_p/V_o abcisa superior) desplazados por el agua, donde V_p es el volumen de percolado y V_o es la capacidad volumétrica de agua de la columna de suelo al nivel de compactación alcanzado al comienzo del experimento. En este caso particular, dado que el experimento se realizó a saturación, el volumen de poros ocupados por agua equivale a la porosidad del suelo en cuestión multiplicado por el volumen de la columna de suelo. Así, los valores correspondientes de V_o para CU y HN fueron $68,4 \text{ cm}^3$ y $29,5 \text{ cm}^3$ respectivamente. Por lo tanto, cuando $V_p = V_o$, se habrá desplazado con agua un volumen de poros. De esta manera, se observa más claramente que la efectividad del lavado es mayor en el suelo CU que en el suelo HN. Esto es, para el mismo valor V_p/V_o , la CE del percolado del suelo CU es menor que la del HN. En general, los valores obtenidos para CU coinciden con la bibliografía, mientras que los de HN demuestran una clara ineficiencia relativa del método utilizado para el lavado. Así, GARDNER y BROOKS (1957) concluyen que el número de volúmenes de poro (V_p/V_o) desplazados por el agua infiltrante necesarios para reducir la salinidad en un 80 % varía entre 1,5 y 2. Hay que mencionar que los suelos utilizados en su trabajo estaban en todos los casos libres de iones sodio. Los valores correspondientes obtenidos para CU y HN son respectivamente 2,3 y 4,3. REEVE *et al.* (1955) demuestran que el contenido en sales del suelo se redujo a un 20 %, añadiendo un centímetro de agua por cada centímetro de suelo. La reducción correspondiente para los suelos CU y HN fue 24 % y 42 % respectivamente.

La razón de las diferencias en comportamiento de ambos suelos frente al lavado debe atribuirse, en parte, al elevado ESP del suelo HN (25,3 %), frente al relativamente moderado del CU (15,4 %), lo cual confiere propiedades adversas al suelo, como se detalla más adelante.

Parece lógico pensar que, especialmente para el suelo HN, el proceso de su recuperación deberá realizarse a través de otra metodología, en aquellos casos en que exista una limitación de tiempo y/o agua. Así, el método de diluciones sucesivas de aguas inicialmente muy salinas («high salt water dilution method», REEVE y DOE-

RING, 1966), y el de inundaciones intermitentes (MILLER *et al.*, 1965), se han mostrado eficaces para reducir, respectivamente, el tiempo y la cantidad de agua necesarios en la recuperación de suelos afectados por sales.

2. *Estudio de la variación de la conductividad hidráulica (K) por el lavado del suelo*

El término conductividad hidráulica (K) puede definirse de la ecuación de Darcy ($q = K \partial\psi/\partial X$), como «el flujo q de agua que resulta de un gradiente unidad $\partial\psi/\partial X$ del potencial hidráulico ψ , para el suelo y agua particulares en consideración». Frecuentemente, se ha utilizado el término permeabilidad como sinónimo del de conductividad hidráulica (K) en un sentido cualitativo, esto es, como la facilidad con la que un medio poroso transmite el agua u otro fluido. Cuantitativamente, cuando la permeabilidad se expresa en cifras (con dimensiones de L^2), es necesario calificarla con un adjetivo como «intrínseca». El término permeabilidad intrínseca (k) está relacionado con la conductividad hidráulica K a través de la ecuación $K = k \cdot f$ (donde f es la fluidez), y es función única del suelo y no del fluido que lo atraviesa. El término velocidad de infiltración (definido como la velocidad de entrada del agua en la superficie del suelo), se ha confundido también con K , debido a que, para tiempos largos, ambos términos coinciden.

En términos generales, la conductividad hidráulica es una función de la textura y estructura del suelo (porosidad total, distribución del tamaño de poros, tortuosidad de los poros y canalículos...), del contenido de agua del suelo, del aire ocluido en el suelo, de la temperatura, y de la solución del suelo. En este trabajo se intentó que la K fuera función única del tipo y calidad del fluido que la atravesaba; por ello, la experiencia se realizó a saturación, en habitación termostatazada, y la saturación del suelo se realizó a vacío, para evitar el efecto del aire ocluido en la K (CHRISTIANSEN, 1944). Sin embargo, es importante mencionar la extraordinaria importancia que el método de compactación y empaquetamiento de las columnas de suelo tienen sobre los valores obtenidos de K , así como la baja reproducibilidad de las determinaciones físicas en general (FIREMAN, 1944; HARTGE, 1963). Frecuentemente, la correlación entre la K calculada en el laboratorio y la obtenida en el campo, es baja. A pesar de ello, en el estudio de los valores relativos de K

obtenidos en el laboratorio que sean función de los cambios químicos del suelo, los valores obtenidos describen aceptablemente el comportamiento relativo en el campo y en condiciones similares (REEVE y TAMADDONI, 1965; MCNEAL, 1974). Por otra parte, la K del suelo calculada en el laboratorio con muestras alteradas tiene un alto valor significativo como indicadora de la estabilidad de la estructura del suelo.

Es un hecho conocido que cuando un suelo afectado por sales se lava con agua de buena calidad, su K disminuye más o menos acusadamente (QUIRCK y SCHOFIELD, 1955).

La razón principal de este descenso es el efecto que en la estructura del suelo ejerce el fluido al atravesarlo:

- a) Dispersión de las partículas minerales del suelo. El «hinchamiento osmótico», o hidratación de los iones en la doble capa, origina un debilitamiento e incluso ruptura de las uniones entre las partículas del suelo, con lo que estas partículas abandonan sus posiciones primitivas, y se hacen más o menos independientes entre sí, produciendo el desmoronamiento o dispersión del suelo. La migración de estas partículas y la subsiguiente oclusión de parte de los poros y canalículos del suelo, origina el descenso de su K. Además el aumento de volumen de las partículas y la expansión de la doble capa (que reduce la movilidad efectiva del agua del suelo) disminuyen el diámetro efectivo de los poros. Como es bien conocido, la expansión de la doble capa y la dispersión de las partículas minerales viene favorecida por bajas concentraciones y altos SAR de la solución del suelo (VAN OLPHEN, 1963).
- b) Dispersión de la materia orgánica, que origina a veces los suelos alcalinos negros de Hilgard, aunque no existe evidencia definitiva de que la dispersión de la materia orgánica origine un descenso de penetración del agua o incrementalmente la dispersión de las partículas minerales en los suelos sódicos (MCNEAL, 1974).
- c) La estabilidad de los agregados, relacionada fundamentalmente con el ESP.
- d) La formación de una costra superficial, debida a la dispersión de las partículas minerales y a factores de tipo mecánico (lluvia, viento...).

La variación teórica de la K de un suelo salino al lavarlo viene descrita por una curva descendente de forma más o menos parabólica (PANÍN, 1959). El efecto del aire ocluido en el suelo, que enmascara en parte este descenso al tender a aumentar la K del suelo hasta en 30 veces conforme este aire se va disolviendo (PILLSBURY y APPLEMAN, 1945), ha sido prácticamente eliminado en la experiencia (fig. 2), al saturar las columnas en vacío y con agua libre de aire. El hecho aparente de que la K de los tratamientos en que se utilizó el agua saturada en aire, es menor que en las que se utilizó agua libre de aire, puede atribuirse en parte a la oclusión de los poros del suelo por el aire liberado procedente del disuelto en el agua, aunque esto no puede explicar las diferencias iniciales de K (ya que la saturación a vacío se realizó en ambos casos con agua libre de aire), atribuibles a diferencias en empaquetamiento entre las columnas del suelo.

Con todo, se observa que los valores de K para CU son, en general, más altos que los de HN, especialmente para las primeras fracciones de lavado, lo cual se puede atribuir en parte al mayor ESP del suelo HN (cuadro 1). Sin embargo, el descenso relativo de K durante el lavado es mayor para CU que para HN (la K del suelo CU desciende en promedio aproximadamente un 70 %, mientras que la del HN lo hace en un 50 %). Ello puede ser debido a la mayor fracción arcilla del suelo CU y a las mayores reservas en yeso del suelo HN, que aporta iones calcio a la solución, con lo que el efecto negativo sobre la estructura del suelo queda en parte aliviado. De cualquier forma, los descensos en conductividad hidráulica fueron relativamente moderados en ambos suelos, sin duda debido al efecto del yeso antes mencionado. Por ejemplo, GARDNER *et al.* (1959), concluyen que cuando la concentración de la solución de un suelo sódico ($ESP = 20\%$), disminuye de 300 a 3 meq/l., se produce una disminución de la difusividad de hasta mil veces su valor inicial.

El hecho de que las sales de sodio sean en general más solubles que el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), se hace notar en la forma de las curvas de carácter más asintótico en sus tramos finales. En nuestro caso concreto, la disminución de la K de ambos suelos debe atribuirse a la reducción de la conductividad eléctrica de la solución del suelo y no sólo al efecto desfavorable del sodio. Queda así globalmente reflejado el efecto beneficioso del yeso en los procesos de recuperación de suelos salino-sódicos.

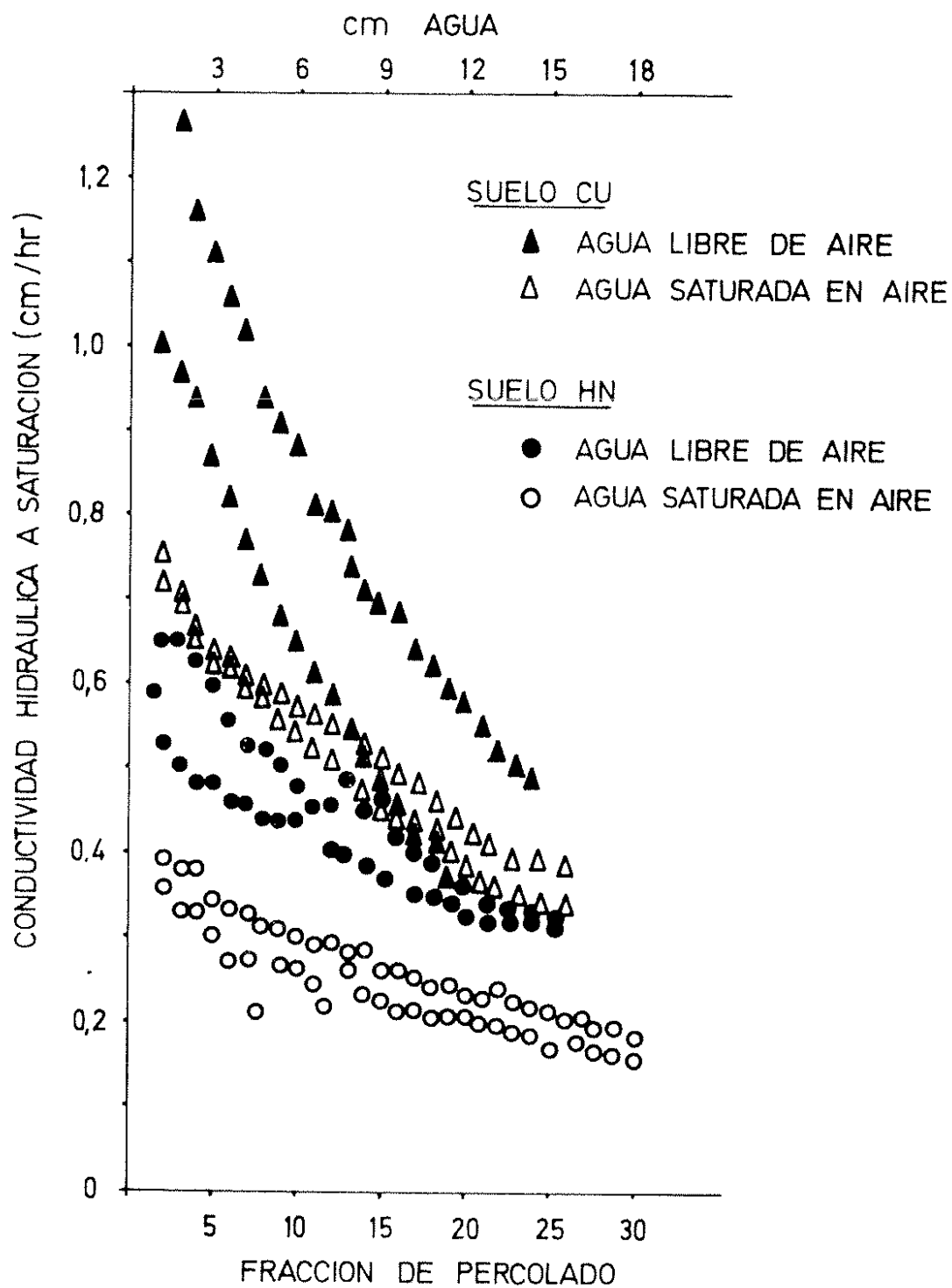


FIG. 2. Variación de la K del suelo durante el proceso de lavado. Cada fracción de percolado es de 25 ml. En el eje superior de las abscisas se representan los centímetros de agua percolados.

3. Estudio de la variación del pH por el lavado del suelo

La medida del pH es una de las determinaciones más frecuentes para caracterizar un suelo; la formación de minerales, la estructura del suelo —incluyendo la dispersión de las partículas coloidales (arcillas y materia orgánica)—, la solubilidad de los compuestos minerales, la actividad de los microorganismos y la asimilación de los nutrientes por las plantas son, en mayor o menor medida, función del pH del suelo.

De forma general, en el proceso de lavado conforme la concentración de la solución del suelo disminuye, el pH de la suspensión del suelo tiende a aumentar, debido a la expansión de la doble capa (RUSSELL, 1973). Este aumento del pH no es cuantitativamente importante si se le compara con los incrementos de pH, que por otro camino pueden alcanzarse durante la recuperación de suelos sódicos. En ellos, la extracción de las sales por el lavado aumenta la hidrólisis de las arcillas sódicas, el pH alcanza valores de 9 y mayores y la dispersión de las partículas origina las propiedades desfavorables típicas de estos suelos (BALBA, 1968; SHARMA, 1971). Sin embargo, si la presencia de yeso es suficiente, la reacción (1)



impide el aumento del pH, debido a la baja solubilidad del carbonato cálcico formado (FAO-UNESCO, 1967).

Los valores de pH de las aguas de percolación (fig. 3) muestran claramente el efecto del yeso antes mencionado. Así el pH obtenido para el suelo HN alcanzó valores de 7,5 al final de la experiencia. Para el suelo CU, el aumento relativo de pH en las últimas fracciones de percolado (hasta 8,3-8,4) está relacionado con la disminución apreciable de iones calcio (ver parte II de este trabajo), que condicionan que parte de los radicales carbónico (en forma de bicarbonato a este pH) queden en solución, lo que se comprueba experimentalmente por el aumento de iones bicarbonato en las aguas de percolación del suelo CU para el final de la experiencia (parte II de este trabajo). De cualquier forma, la presencia de iones calcio en el complejo de cambio, impide la presencia en solución de cantidades apreciables de CO_3 y HCO_3 (FAO-UNESCO, 1967), por lo que el pH de las aguas de percolación se mantuvo siempre por debajo de 8,5.

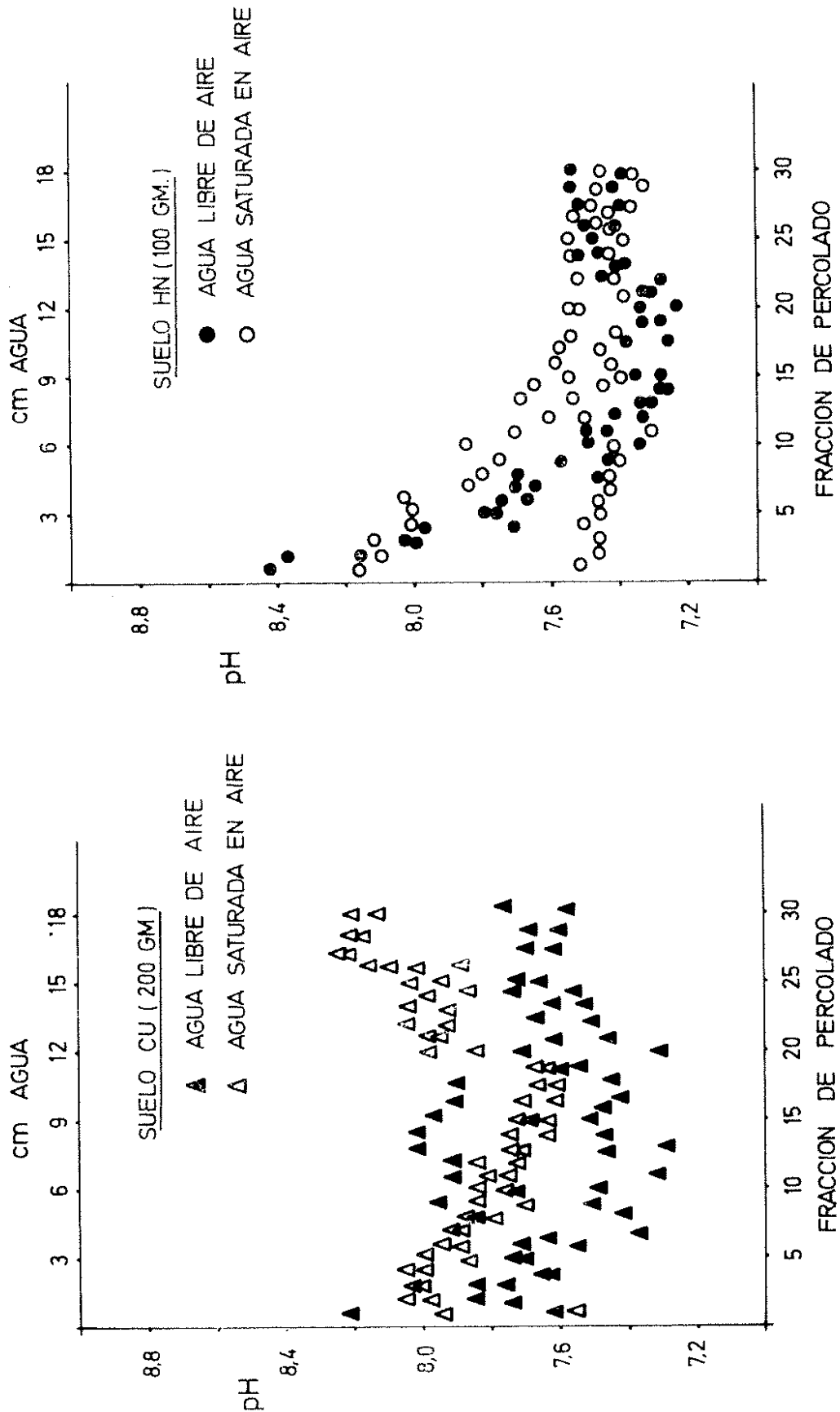


FIG. 3. Variación del pH del percolado durante el proceso del lavado. Cada fracción de percolado es de 25 ml. En el eje superior de las abscisas se representan los centímetros de agua percolados.

En conclusión, podemos decir que suelos de características semejantes, que tengan estos niveles de yeso, pueden ser recuperados con las aguas de los grandes embalses de riego de la región (incluyendo las de muy baja C. E.), por los procedimientos tradicionales de inundación, con la condición de que no haya restricciones de agua, tiempo o geomorfología (drenaje).

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la evolución de la conductividad hidráulica (K) del suelo, y de la conductividad eléctrica (C. E.) y pH de las aguas de percolado (en condiciones de laboratorio), de dos suelos salinos de la Depresión Media del Ebro, durante el proceso de su recuperación por lavado con agua desionizada. Los niveles de yeso inicialmente presentes (1,3 y 2,1 %) han sido suficientes para limitar la aparición de procesos que provoquen la desfloculación de las partículas coloidales e impidan la eliminación de sales hasta niveles convenientes para la mayoría de los cultivos. El número de volúmenes de poros desplazados por el agua infiltrante, necesarios para reducir la CE de las aguas de lavado desde valores de 18 mmho/cm. a 2 mmho/cm. fue 4,5 y 7,5 para los suelos estudiados (2,6 y 4,1 cm. agua/cm. suelo, respectivamente).

REFERENCIAS

BALBA, A. M.

- 1968 A laboratory study of the leaching process of a saline alkali soil from the North of the Nile delta. *J. Soil. Sci. Un. Arab. Repub.*, 8: 87-97.

CHRISTIANSEN, J. E.

- 1944 Effect of entrapped air upon the permeability of soils. *Soil Sci.* 58 (5): 355-365.

FAO-UNESCO

- 1967 Irrigation and Drainage of Arid Lands in relation to salinity and alkalinity. Draft Edition. FAO-UNESCO. Roma. 663 pp.

FIREMAN, M.

- 1944 Permeability measurement of disturbed soil samples. *Soil. Sci.*, 58 (5): 337-353.

- GARDNER, W. R., BROOKS, R. H.
1956 A descriptive theory of leaching. *Soil Sci.*, **83** (4): 295-304.
- GARDNER, W. R., MAY, UGH, M. S., GOERTZEN, J. O., BOWER, C. A.
1959 Effect of electrolyte concentration and exchangeable sodium percentage on diffusivity of water in soils. *Soil Sci.*, **88** (3): 270-274.
- HARTGE, K. H.
1963 Bodenkundliche Auswertungsmöglichkeiten der Permeabilitätswerte by Messung an Stechzylinderproben. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.*, **103**: 197-209.
- MCNEAL, B. L.
1974 Soil salts and their effects on water movement. En «Drainage for Agriculture». Agronomy n.º 17. Amer. Soc. of Agron., Inc. Madison, Wisconsin USA.
- MILLER, R. J., BIGGAR, J. W., NIELSEN, D. R.
1965 Chloride displacement in panoche Clay Loam in relation to water movement and distribution. *Water Resour. Res.* **1** (1): 63-73.
- PANIN, P. S.
1959 (Cambios en la percolación de suelos salinos durante el lavado). *Pochvovedenie* **5**: 48-53.
- PILLSBURY, A., APPLEMAN, D.
1945 Factors in permeability changes of soil and inert granular material. *Soil. Sci.*, **57** (2): 115-123.
- QUIRCK, J. P., SCHOFIELD, R. M.
1955 The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil. Sci.*, **9** (2): 163-178.
- REEVE, R. C., PILLSBURY, A. F., WILCOX, L. V.
1955 Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. *Hilgardia* **24** (4): 69-91.
- REEVE, R. C., TAMADDONI, G. H.
1965 Effect of electrolyte concentration on laboratory permeability and field intake rate of a sodic soil. *Soil. Sci.* **99** (4): 261-266.
- REEVE, R. C., DOERING, E. J.
1966 The high salt water dilution method for reclaiming sodic soils. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, **30**: 498-504.
- RICHARDS, L. A.
1954 Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA. Agric. Handbook*, **60**: 160 pp.
- RUSSELL, E. W.
1973 Soil conditions and plant growth. 10th edition. Longman. London. 849 pp.
- SHARMA, M. L.
1971 Physical and physico-chemical changes in the profile of a sodic soil treated with gypsum. *Aust. J. Soil Res.*, **9**: 763-771.
- VAN OLPHEN, H.
1963 An introduction to Clay Colloid Chemistry John Wiley and Sons. New York. 301 pp.