

Cambios espaciales y volumétricos de horizontes vérticos en enmiendas¹

J. L. Luque*, N. Peinemann**

ABSTRACT

Swelling and dispersion were determined for surface samples of five vertic soils from the lower Chubut valley river, previously subjected to different amounts of gypsum and sulfuric acid applications during the leaching of over a meter of water, in order to quantify these processes during the different treatments.

It was observed that the addition of amendments reduces the swelling capacity of the soils ($H_2SO_4 >$ gypsum), while the differences between treatments were not significant. The swelling susceptibility was better related with the clay content than with the sodicity level of the samples. In equivalent treatments, soils leached with H_2SO_4 showed a smaller dispersion than those with gypsum. It was concluded that dispersion was the main mechanism responsible for differences in soil permeability between treatments with amendments, while swelling was the principal mechanism for the differences observed between the reference with and without amendments, independent of the amounts.

RESUMEN

Se determinaron el hinchamiento y la dispersión sobre muestras superficiales de cinco suelos vérticos del valle inferior del río Chubut, previamente sometidos a diferentes dosis de yeso y H_2SO_4 con lavados de una lámina de agua, superior a un metro, con el objeto de cuantificar estos procesos en los diferentes tratamientos. Se observó que la aplicación de enmiendas disminuyó la capacidad de hinchamiento de los suelos ($H_2SO_4 >$ $CaSO_4$) respecto al testigo, aunque las diferencias entre tratamientos no fueron significativas. La susceptibilidad al hinchamiento estuvo mejor relacionada con la cantidad de arcilla presente que con el nivel de sodicidad. Con tratamientos equivalentes, los suelos lavados con H_2SO_4 tuvieron una menor dispersión que aquellos tratados con yeso. Se concluye que la dispersión es el principal mecanismo responsable de las diferencias en permeabilidad entre los tratamientos con enmiendas, mientras que el hinchamiento lo es de aquellas observadas entre el testigo y el realizado con alguna enmienda, independientemente de la dosis aplicada.

INTRODUCCIÓN

Gupta y Verma (1985) definen al hinchamiento como la deformación de la matriz del suelo durante el humedecimiento. Ello provoca una disminución de la densidad aparente por incremento del volumen del suelo al expandirse las partículas de arcilla por adsorción en varias veces su peso en agua.

Las láminas se encuentran separadas en una arcilla expandible con alto contenido de sodio adsorbido. Pero, cuando se incorpora calcio mediante alguna enmienda, se produce la floculación, formándose tactoides—paquetes de láminas de arcilla. El poder de ligamento del calcio impide la entrada de más de tres capas monomoleculares de agua en el espacio interlamilar, con lo que se impide el proceso de hinchamiento. En un suelo arcilloso parcialmente confinado, el hinchamiento originado por el aumento de sodio intercambiable a baja concentración de sales alterará la distribución del tamaño de poros, reduciendo el tamaño de los macroporos, lo que se

traduce en una reducción de la conductividad hidráulica.

En el valle inferior del río Chubut predominan suelos con elevados contenidos de esmectitas con alta capacidad de expansión y contracción ante diferentes contenidos de agua como consecuencia del riego. En ellos es común la presencia de grietas anchas y profundas y de "slickenside" y la formación de un microrrelieve "gilgai", confiriéndoles un neto carácter vértico.

A medida que el contenido de agua disminuye, estos suelos se agrietan por las cualidades expansibles de las arcillas que los componen, adquiriendo una estructura masiva. De esta manera se forman terrones de gran tamaño, duros y consistentes, que imposibilitan su ruptura para la obtención de una cama de siembra. Cuando se tienen altos contenidos de agua, acercándose al punto de saturación, el suelo arado origina los clásicos "panes" debido a la gran plasticidad de estos suelos.

El principal condicionante para la utilización de los mismos es el mantenimiento de una permeabilidad lo suficientemente alta en la zona radical para controlar la salinidad y dar un nivel adecuado de humedad al cultivo, porque la infiltración en el perfil

¹ Recibido el 5 de setiembre de 1994

* E. E. A., INTA, Trelew, Casilla de Correo 88, 9100 Trelew, Arg.

** Universidad Nacional del Sur - 8000 Bahía Blanca, Arg.

es extremadamente restringida. Pero, los dos factores que más incidirán sobre la conductividad hidráulica inicial y su posterior estabilidad, y que explicarían su comportamiento, son los procesos de hinchamiento y dispersión, según Low y Margheim (1978), Pupisky y Shainberg (1979), Shanmuganathan y Oades (1982) y otros. Frenkel *et al.* (1978) fueron los primeros en describir en detalle el hinchamiento y la dispersión como los mecanismos responsables de la disminución de la permeabilidad del proceso y resaltaron la importancia de la dispersión.

Es así que el objetivo de este trabajo es el estudio cuantitativo de los procesos mencionados, luego de la aplicación de distintas enmiendas durante el lavado de estos suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron cinco horizontes Ap más o menos vérticos de suelos representativos del valle inferior del río Chubut (Cuadro 1).

Estas muestras fueron sometidas a los siguientes tratamientos: testigo sin enmiendas; con aplicación de yeso (3.4; 6.8; 13.7 y 27.3 t/ha); con aplicación de ácido sulfúrico (1300 y 2600 l/ha) y combinación de yeso (3.4 t/ha) más ácido sulfúrico (860 l/ha, equivalente a 6.8 t de yeso por hectárea). Cada uno fue sometido a 1040 mm de agua en ocho lavados.

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos de los ensayos.

Suelo (núm.)	1	2	5	3	4
Profundidad (cm)	0-22	0-33	0-22	0-17	0-23
CE (dS m ⁻¹)	5.6	10.0	30.3	1.0	1.1
pH	8.0	8.2	7.5	8.0	7.9
CIC					
(me/100 g suelo)	65.2	52.1	1.5	50.7	65.6
PSI (%)	16.6	25.1	22.4	5.3	4.1
calcáreo (%)		0.9	1.3	2.9	0.4
materia orgánica (%)	3.1	2.9	1.8	2.6	2.3
arcilla (%)	57.4	35.9	35.9	50.5	49.8
limo (%)	7.5	32.4	10.6	13.1	25.2
arena (%)	35.1	31.7	38.9	34.0	21.6
textura	arc.	arc.	arc.	arc.	arc.

El material seco proveniente de los mismos, molido y tamizado, fue sometido a mediciones de hinchamiento mediante un flexímetro. Este instrumento está compuesto por una aguja sensible al desplazamiento vertical del suelo cuando se humedece y expande, y es cuantificado en una escala de centésimas de milímetro.

El grado de dispersión se midió en las muestras de suelo previamente utilizadas en experimentos de conductividad hidráulica con agua destilada y enmiendas diluidas. Se utilizó el método de la pipeta modificado, a fin de cuantificar el porcentaje de dispersión. La variante consistió en no utilizar dispersantes químicos a fin de evaluar la acción dispersante de los constituyentes naturalmente presentes en cada muestra. La unidad de medida utilizada fue la cantidad de partículas en 100 g de suelo seco (porcentaje de "arcilla" y de "arcilla más limo" dispersos en relación a la cantidad total de partículas de esos tamaños, que contiene cada suelo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de enmiendas, en promedio, disminuyó la capacidad de hinchamiento ($P < 0.01$). Pero su magnitud en los distintos tratamientos fue similar en los diferentes suelos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores medios de hinchamiento en los distintos tratamientos.

	tratamiento	hinchamiento (mm)	(%)
suelos salinos	(1)	6.86	100.0a
	(2)	5.14	74.9b
	(3)	5.76	82.8b
suelos no salinos	(1)	5.79	100.0a
	(2)	5.46	94.3a
	(3)	5.01	86.5b

El hinchamiento en el tratamiento-testigo fue significativamente mayor ($P < 0.01$) que en aquellos con aplicación de yeso o ácido sulfúrico. En cambio no se encontraron diferencias significativas entre enmiendas. Esta afirmación demostraría que ambas causan una disminución en la capacidad de

hinchamiento, de similar magnitud al menos en altas dosis (Cuadro 3).

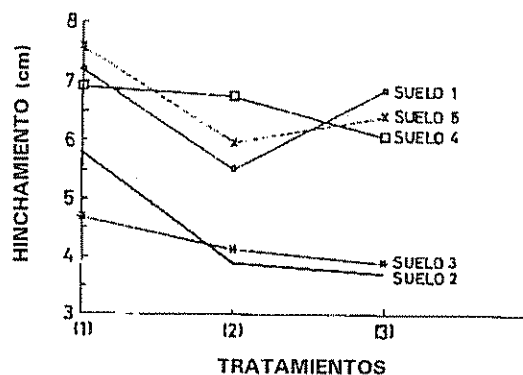
Cuadro 3. Dispersión (Di) de partículas menores a 20 micrones y conductividad hidráulica (K) (cm/h) de los distintos suelos sometidos a los diferentes tratamientos.

		tratamientos							
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
suelos salino-sódicos									
suelo 1	Di	50.6	52.2	42.4	33.6	27.6	41.1	31.1	26.0
	K	0.02	0.10	0.12	0.32	0.52	0.39	0.37	0.61
suelo 2	Di	91.9	50.7	48.8	42.1	39.3	37.2	38.0	27.5
	K	0.02	0.06	0.08	0.14	0.21	0.21	0.19	0.58
suelo 5	Di	78.0	56.0	48.8	42.4	35.4	41.9	49.1	40.6
	K	0.02	0.39	0.60	0.70	0.86	0.95	0.25	0.73
suelos no salinos									
suelo 3	Di	71.7	57.9	50.8	48.3	38.1	42.2	61.3	46.6
	K	0.05	0.16	0.22	0.36	0.40	0.19	0.18	0.22
suelo 4	Di	49.6	41.2	38.0	36.7	29.5	37.1	39.4	35.7
	K	0.05	0.46	0.60	0.80	1.19	0.71	0.34	0.74

Notas: (1) lavado sin enmiendas (testigo); (2) 3.4 t/ha de CaSO_4 ; (3) 6.8 t/ha de CaSO_4 ; (4) 13.7 t/ha de CaSO_4 ; (5) 27.3 t/ha de CaSO_4 ; (6) 3.4 t/ha de CaSO_4 + 1300 l/ha H_2SO_4 ; (7) 1300 l/ha H_2SO_4 ; (8) 2600 l/ha H_2SO_4 .

Al comparar los efectos causados por los distintos tratamientos sobre un suelo (Fig. 1), no se encontraron diferencias en la magnitud del hinchamiento entre el promedio de los tratamientos. La falta de diferencias estaría entre el conjunto de tratamientos y no entre el testigo y los tratamientos. El hinchamiento es mayor en el testigo —lavado con agua y sin enmiendas— que con la aplicación de cualquier corrector ($P < 0.01$).

Como la prueba de interacción resultó no significativa, no se tuvieron evidencias de un comportamiento distinto de los suelos no salinos 3 y 4, al trabajar con un nivel de significancia del 50 por ciento. El agregado de enmiendas modificó, en promedio, el hinchamiento ($P < 0.01$). En general, los valores de hinchamiento, independientemente del tratamiento, fueron mayores en el suelo 4 que en el suelo 3 (Cuadro 2). El hinchamiento en el testigo y con aplicación de yeso resultaron más elevados que con la mayor dosis de ácido sulfúrico ($P < 0.05$) pero no hubo diferencias entre tratamientos (Cuadro 3).



(1) = Testigo (2) = 27.3 t/ha CaSO_4 (3) = 2600 t/ha H_2SO_4

Fig. 1. Hinchamiento (mm) de los suelos posterior a los tratamientos.

La relación real es que a mayor conductividad eléctrica y menor PSI, habrá un menor hinchamiento. En el tratamiento con la mayor aplicación de yeso se obtiene el menor valor de hinchamiento, lo que, a su vez, coincide con el mayor nivel electrofítico final.

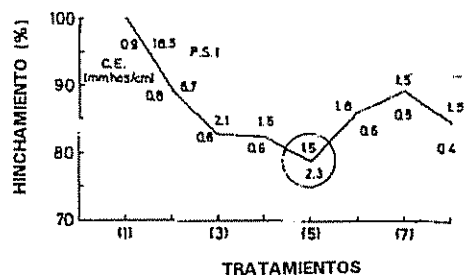
Shainberg *et al.* (1971) mencionan que el hinchamiento es pronunciado sólo si el PSI supera el valor de 20. Pero en los experimentos, aquí descritos, en los suelos normales se obtuvo un hinchamiento similar al de los suelos salinos (Cuadro 2), así el suelo 3 tiene un hinchamiento similar al del suelo 2, mientras que el 4 es similar a los de los suelos 1 y 5.

La susceptibilidad al hinchamiento estaría fuertemente asociada al tipo y cantidad de arcilla y no en forma absoluta al nivel de sodicidad. Una confirmación es que en el suelo 4 con muy poco sodio intercambiable se presenta un mucho mayor hinchamiento que en el suelo 2, aunque este último presente mayores valores de PSI, pero a su vez menores contenidos de arcilla. El lavado del exceso de sales en los suelos salinos, sin el agregado de enmiendas, produce un fuerte hinchamiento por el incremento del sodio en la fase adsorbida. Por esta razón, en el lavado con agua sola se obtuvieron mayores valores de hinchamiento, incrementándose las diferencias entre los tratamientos con enmiendas y el testigo en aquellos casos en que el PSI era elevado.

En los suelos normales usados en este ensayo, con valores de PSI de 5 y 4, tuvo lugar una dispersión que disminuyó a medida que se aumentó la dosis de calcio proporcionado. En el tratamiento-testigo, su magnitud impidió que pudiera completarse la serie de lavados por impermeabilización del mismo como consecuencia del transporte de las partículas de arcilla dispersas depositadas en los poros obturándolos.

Rowell *et al.* (1969) mencionan el estrés mecánico como uno de los factores fundamentales en la susceptibilidad de un suelo a la dispersión. Esta sería una de las principales causas en las diferencias de valores de dispersión entre los suelos no salinos con semejantes valores de PSI y contenidos de arcilla. En este caso, la mayor dispersión se observó en un suelo previamente removido varias veces en comparación con otro cuya superficie permaneció inalterada por más de 10 años con una pastura de buena cobertura.

Con tratamientos equivalentes, los suelos lavados con H₂SO₄ diluido tuvieron una dispersión sensiblemente menor que aquéllos con yeso (Cuadro 5). La causa de esta diferencia es que los suelos tratados con ácido sulfúrico se recuperaron más eficientemente, lo que implica que completaron el tratamiento de ocho lavados, mientras que, en muchos casos, los tratados con yeso se impermeabilizaron antes de la finalización. Con el ácido sulfúrico se posibilitó un mayor nivel electrolítico en el primer lavado (> CE en el percolado), que se tradujo en mayor floculación y, luego, en menor CE como consecuencia de un mayor lavado de sales solubles en menor tiempo.



(1) = Lavado sin enmiendas (testigo)
 CaSO₄ (t/ha); (2) = 3.4 (3) = 6.8 (4) = 13.7 (5) = 27.3
 Mixto; (6) = 3.4 (t/ha) CaSO₄ + 880 t/ha H₂SO₄
 H₂SO₄ (t/ha); (7) = 1300 (8) = 2600

Fig. 2. Hinchamiento relativo, CE y PSI del suelo 5, posterior a los diferentes tratamientos.

Shanmuganathan y Oades (1982) demostraron que existe muy buena correlación entre el porcentaje de "arcilla más limo" dispersos y parámetros tales como hinchamiento, retención de agua, porosidad, salinidad y sodicidad.

Los coeficientes (R²), al medir la dispersión por el método de la pipeta modificado, dieron en promedio 0.89 con un rango entre 0.79, para el suelo 2, y 0.97, para el suelo 4.

En el análisis de regresión lineal simple, cuando la variable independiente es RAS, hubo mejor relación lineal entre la variable dependiente (K) y la independiente (> R²).

$$Y = 11.7 + 2.5 RAS \quad R^2 = 0.93 \text{ suelos 1 y 5}$$

$$Y = -0.41 + 2.2 RAS \quad R^2 = 0.97 \text{ suelo 2}$$

$$Y = 10.1 + 11.8 RAS \quad R^2 = 0.89 \text{ suelos 3 y 4}$$

Se encuentran diferentes criterios en la bibliografía respecto a si el hinchamiento o la dispersión es la mayor causa de reducción de la permeabilidad en los suelos. Shainberg y Caiserman (1971) expresaron que el hinchamiento, en general, no es apreciable en suelos con PSI < 25 - 30. Pero, la dispersión ocurriría en niveles entre 10 y 20 de PSI, siempre que la concentración salina sea menor de 0.1 dS m⁻¹. Gupta y Verma (1985) señalaron que el incremento de la K, resultante de una elevación del nivel de salinidad de la solución, a un bajo RAS, demostraría que el principal mecanismo involucrado en la reducción de aquélla es el hinchamiento de las láminas de arcilla.

Contrariamente Felhender *et al.* (1974), Chen y Banin (1975) y Frenkel *et al.* (1978) opinan que la dispersión más que el hinchamiento constituye el proceso operativo que induce a la disminución de la permeabilidad en suelos expandibles. Este último criterio quedaría demostrado en estos experimentos cuando, a pesar de la disminución sensible del nivel de sodio casi al finalizar los lavados en los tratamientos con menores dosis de enmienda, la K sigue siendo muy baja, por lo que el proceso responsable sería la migración de las arcillas previamente dispersadas. El taponamiento o bloqueo de poros —como resultado de la dispersión y posterior traslocación de las partículas de arcilla— sería el mecanismo responsable de las diferencias en la permeabilidad de los diferentes tratamientos con enmiendas para un mismo suelo, ya que como se

demonstró con anterioridad el grado de hinchamiento fue similar para las distintas dosis utilizadas.

Aparentemente no sólo el hinchamiento tiene un papel dominante sobre la disminución de la permeabilidad del suelo; al lavar un suelo con agua de óptima calidad —aunque el hinchamiento es máximo en los suelos de mayor PSI (suelos 2 y 5)— y a medida que percolaba el agua destilada, la conductividad hidráulica siguió disminuyendo constantemente. Si sólo el hinchamiento fuera responsable de la disminución en la permeabilidad, el proceso sería reversible si se vuelve a aplicar agua con elevados tenores salinos.

Shainberg *et al* (1971) y Pupisky y Shainberg (1979) afirman, también, que el taponamiento de los poros a causa de la dispersión es el principal mecanismo de reducción de la permeabilidad de los suelos con bajo PSI, mientras que el hinchamiento lo es en aquellos con alto PSI. En el presente caso actuaría en los permeámetros, en primera instancia, el hinchamiento a medida que el suelo se va humedeciendo y, luego, comenzaría el proceso de dispersión. Lograda la saturación y a medida que percola la solución de lavado continúa el aumento de la dispersión, el hinchamiento se estabiliza y se produciría la traslocación de las partículas dispersas, obturando los poros.

Por ello se puede inferir que, por lo menos, para suelos con características similares a los de este trabajo, la dispersión y el hinchamiento son fenómenos relacionados entre sí, y ambos son los responsables de la disminución de la K, ya que el hinchamiento reduce el tamaño de los poros mientras que la dispersión facilita su taponamiento. El hinchamiento ocurriría en condiciones de campo; el mecanismo dominante, entre punto de marchitez y capacidad de campo, y tendría incidencia directa sobre la capacidad de infiltración. La dispersión sería el proceso dominante desde el estado de saturación en adelante, o sea, inmediatamente después de la finalización del riego y limitaría la profundidad que alcanzará el agua en el suelo.

CONCLUSIONES

Las mediciones de hinchamiento efectuadas en los diferentes tratamientos mostraron que es más sensible

a la concentración de electrolitos que al PSI del suelo y fuertemente dependiente del contenido de arcilla en el mismo. La dispersión de coloides mostró ser más sensible a las enmiendas aplicadas y estar mejor relacionada con la sodicidad del sistema.

La dispersión es el principal mecanismo responsable de las diferencias en la permeabilidad entre los distintos tratamientos con enmiendas, mientras que el hinchamiento lo es de aquellas observadas entre el testigo y el realizado con alguna enmienda, independientemente de la dosis aplicada.

La aplicación de enmiendas, sea yeso o ácido sulfúrico, disminuyó en forma significativa la dispersión en relación al testigo, y, tanto más, cuanto más elevadas son las dosis empleadas.

LITERATURA CITADA

- CHEN, J.; BANIN, A. 1975. Scanning electron microscope observations of soil structure changes induced by sodium - calcium exchange in relation to hydraulic conductivity. *Soil Science* 120:428-436.
- FELHENDER, R ; SHAINBERG, I ; FRENKEL, H. 1974. Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solution. In *International Congress Soil Science Trans.* (10., Moscú) 1:103-112.
- FRENKEL, H; GOERTZEN, J.; RHOADES, J. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society of American Journal* 42:32-39.
- GUPTA, R.; VERMA, S. 1985. Hydraulic conductivity of a swelling clay in relation to irrigation water quality. *Catena* 12:121-127.
- LOW, P.; MARGHEIM, J. 1978. The swelling of clays: Basic concepts and empirical equations. *Soil Science Society of America Journal* 43:473-481.
- PUPISKY, H.; SHAINBERG, I. 1979. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. *Soil Science Society of America Journal* 43:429-433.
- ROWELL, A ; PAYNE, D ; AHMAD, N. 1969. The effect of the concentration and the movement of solution on the swelling dispersion and movement of clay in saline and alkali soils. *Journal of Soil Science* 20:176-188.
- SHAINBERG, I.; BRESLER, E ; KLAUSNER, J. 1971. Studies on Na/Ca montmorillonite systems. I. The swelling pressure. *Soil Science* 111:214-219.

SHAINBERG, I.; CAISERMAN, A. 1971. Studies on Na/Ca montmorillonite systems. II. The hydraulic conductivity. Soil Science 111:276-281

SHANMUGANATHAN, R.; OADES, J. 1982. Modification of soil physical properties by addition of calcium compounds. Australian Journal of Soil Research 21:451-465