

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN SUELOS VERTICOS DEL VALLE INFERIOR DEL RIO CHUBUT FRENTE A LA APLICACION DE DIFERENTES ENMIENDAS

J L LUQUE¹, N PEINEMANN²

¹EEA INTA Trelew - CC 88, 9100 Trelew, Argentina. ²Universidad Nacional del Sur - 8000 Bahía Blanca, Argentina.

HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF VERTIC SOILS IN THE LOWER CHUBUT RIVER VALLEY DURING THE APPLICATION OF DIFFERENT AMENDMENTS

The soils of the lower Chubut River Valley with high montmorillonite contents are difficult to manage under irrigation. In this work chemical correctors in different amounts were applied with the objective to improve the hydrophysical properties of the soils. The hydraulic conductivity in permeameters with different applied amounts of gypsum, sulfuric acid or both together was determined for two soil samples. They are from Ap horizons with clayey texture and similar composition, being one soil saline and the other non saline. It was observed that continuous and prolonged leachings produced a decrease in the hydraulic conductivity at any amendment application level independent of the initial salt level and exchange sodium percentage. The hydraulic conductivity became lower at small sodium adsorption ratio values (< 5) if the electrical conductivity was less than 2 dS m⁻¹. Therefore it can be concluded that independently of the initial situation there is a need for a relatively high salt concentration to maintain permeable these soils.

Key words: Vertic soils- Salinity- Hydraulic conductivity

INTRODUCCION

El valle inferior del Río Chubut constituye una planicie aluvial en la cuál se depositaron a lo largo del tiempo sedimentos finos como consecuencia de bajas energías de acarreo de sus aguas. Esta capa sedimentaria dió origen a suelos de textura arcillosa cuyos minerales predominantes son expansibles y por lo tanto presentan una alta capacidad de expansión y contracción ante variaciones en su contenido de humedad (Laya 1981). La situación geográfica de este valle, su posición geomorfológica, como así también la abundancia de agua proveniente del río son factores que han contribuido a que desde hace más de un siglo se practicara en él agricultura bajo riego.

Debido a limitaciones naturales que estos suelos ofrecen al movimiento del agua ($K < 0,1 \text{ cm h}^{-1}$) rápidamente se produce un marcado ascenso de la capa freática la que conduce a procesos de salinización y alcalinización, donde por dispersión de coloides se agrava de tal modo la situación, que obligó en el pasado al abandono de grandes áreas.

La conductividad hidráulica de un suelo depende fundamentalmente de la distribución del tamaño de los poros y del grado de saturación más que del volumen de poros (Dane, Klute 1977, Hillel 1980) lo que implica que es afectada tanto por la textura como por la estructura. A su vez la distribución del tamaño de los poros es

alterada considerablemente por los cambios en el grado de saturación de agua por la susceptibilidad de la matriz del suelo a deformarse durante el humedecimiento.

Los rápidos e intensos ingresos de agua de riego, causan el rápido humedecimiento superficial del suelo con lo que las grietas formadas durante periodos secos se cierran y hacen que el agua penetre unos pocos centímetros en la capa arable, quedando el resto del perfil seco. La consecuencia de ello para los cultivos es que raramente es alcanzado el potencial almacenamiento de agua de estos suelos, siendo crítica la cantidad de agua aprovechable.

Lamentablemente tanto los suelos normales como aquellos salinizados con propiedades hidrofísicas tan limitadas acotan seriamente sus posibilidades de utilización y/o rehabilitación. Por ello el objeto de este trabajo en la búsqueda de soluciones alternativas al problema planteado es evaluar la magnitud de la conductividad hidráulica bajo distintas dosis y tipos de enmiendas.

MATERIALES Y METODOS

Para este estudio se seleccionaron los horizontes superficiales de dos suelos vérticos característicos del valle mencionado, del tipo Torrerite típico, familia fina, muestreados en mayo de 1988. Uno bajo buena producción de pasturas (festuca y trébol blanco) (chacra 150) y el segundo bajo influencia de una capa freática alta y

vegetación tolerante a las sales (agropiro alargado y *Suaeda divaricata*) (chacra 96). Ambos casos se encuentran hace más de diez años sometidos al manejo descripto. Estos suelos presentan un perfil A/C con horizonte subsuperficial arcilloso y tienen una importante distribución dentro de la llanura de inundación. Los análisis por difracción de rayos X de ambos suelos revelaron que el mineral de arcilla predominante es la montmorillonita (Luque 1992). La conductividad hidráulica (K) se evaluó en laboratorio mediante el uso de permeámetros con carga de agua constante, utilizándose para tal fin muestras disturbadas secas al aire y tamizadas por 2 mm. Se efectuaron determinaciones de K en los siguientes tratamientos: 1) testigo sin enmiendas, 2) aplicaciones de yeso en suspensión del agua de lavado en las siguientes dosis equivalentes a: 3,4; 6,8; 13,7 y 27,3 Mg ha⁻¹, 3) aplicaciones de ácido sulfúrico diluido en el agua de lavado en las siguientes dosis: 1300 y 2600 l ha⁻¹ (equivalentes a 3,4 y 6,8 Mg yeso ha⁻¹ respectivamente), 4) aplicación simultánea de 3,4 Mg yeso ha⁻¹ y 860 l H₂SO₄ ha⁻¹. En todos los tratamientos con enmiendas, éstas fueron suspendidas y/o disueltas en el primer lavado. Por cada tratamiento y suelo se hicieron tres repeticiones, y se aplicaron 8 lavados utilizando agua destilada equivalentes a 1040 mm de lámina. Se adoptó el criterio de dar por finalizada la experiencia en los tratamientos en los cuales K < 0,03 cm h⁻¹ por carecer estos valores de significación práctica.

Los resultados obtenidos fueron sometidos al siguiente tratamiento estadístico: mediante en análisis de la varianza de clasificación doble se compararon los valores de conductividad hidráulica inicial (1° lavado), media (4° lavado), final (8° lavado) y promedio con los diferentes tratamientos de enmiendas. Para la comparación de pares de medias se utilizó el test de Tukey y los contrastes posibles se hicieron por el método de Scheffé.

RESULTADOS

Los suelos utilizados en este trabajo (Tabla 1) presentan analogías en las texturas (contenidos de arcilla similares y sólo diferencias en los contenidos de limo y arena), contenidos de materia orgánica y calcáreo (moderados), CIC (elevada como consecuencia del alto contenido de coloides), pH (débilmente alcalino), densidad aparente (media a baja) y grandes diferencias en contenido de sales (CE) y sodio (PSI). Los valores de K inicial (1° lavado), media (4° lavado) y final (8° lavado) de los distintos tratamientos se presentan en la Tabla 2. En ambos suelos se encontraron diferencias de K estadísticamente significativas con la aplicación de diferentes enmiendas (P < 0,01). En el tratamiento con agua sin enmiendas se produjo la dispersión y consiguiente

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos utilizados en los ensayos

Suelo	Suelo 1	Suelo 2
Profundidad (cm)	0-23	0-22
C.E. (dS m ⁻¹)	1,1	30,3
pH	7,9	7,5
CIC (me 100g ⁻¹ suelo)	65,6	61,5
PSI (%)	4,1	22,4
calcáreo (%)	2,8	2,9
materia orgánica (%)	2,3	1,8
arcilla (< 2μ) (%)	53,2	50,5
limo (2-50μ) (%)	25,2	10,6
arena (> 50μ) (%)	21,6	38,9
textura	arcillosa	arcillosa
densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,17	1,18

impermeabilización al flujo de agua a poco de haber iniciado el primer lavado. Ello concuerda con los resultados obtenidos por Seo Park y O'Connor (1980) en una experiencia similar.

En general los tratamientos con yeso (especialmente a elevadas dosis) tuvieron una mayor K que los de ácido sulfúrico. Especialmente eficiente resultó la mezcla de enmiendas teniendo en cuenta la constancia de valores obtenidos a lo largo de los lavados sobre el suelo salino sódico. Debe hacerse notar que si se comparan los diferentes tratamientos entre sí, en los dos suelos se observan valores promedio de K similares, por lo que puede inferirse que a las dosis utilizadas el contenido de sales presentes no constituyen un obstáculo para su rehabilitación.

Lavados continuos y prolongados de un suelo resultaron frecuentemente en una reducción de K a cualquier nivel de aplicación de enmiendas e independientemente del nivel inicial de sales y PSI. La excepción a esto lo constituye la mayor dosis aplicada de yeso donde se observa un constante incremento de K a medida que transcurren los lavados. El análisis de la varianza de los resultados de conductividad hidráulica resultantes de la aplicación de yeso y/o ácido sulfúrico indican diferencias altamente significativas (P < 0,01) entre los suelos, atribuibles al contenido de sales y sodio ya mencionadas y que afectan sensiblemente esta propiedad. La comparación de medias indica que el tratamiento con mayor dosis de yeso (5) presenta una K promedio mayor (P < 0,01) que cualquier otro tratamiento, pero en general todos tienen un efecto significativo (P < 0,01) respecto a tratamientos similares en dosis menores (Tabla 2). De menor a mayor valor de K promedio en el suelo no salino se pueden distinguir tres

vegetación tolerante a las sales (agropiro alargado y *Suaeda divaricata*) (chacra 96). Ambos casos se encuentran hace más de diez años sometidos al manejo descripto. Estos suelos presentan un perfil A/C con horizonte subsuperficial arcilloso y tienen una importante distribución dentro de la llanura de inundación. Los análisis por difracción de rayos X de ambos suelos revelaron que el mineral de arcilla predominante es la montmorillonita (Luque 1992). La conductividad hidráulica (K) se evaluó en laboratorio mediante el uso de permeámetros con carga de agua constante, utilizándose para tal fin muestras disturbadas secas al aire y tamizadas por 2 mm. Se efectuaron determinaciones de K en los siguientes tratamientos: 1) testigo sin enmiendas, 2) aplicaciones de yeso en suspensión del agua de lavado en las siguientes dosis equivalentes a: 3,4; 6,8; 13,7 y 27,3 Mg ha⁻¹, 3) aplicaciones de ácido sulfúrico diluido en el agua de lavado en las siguientes dosis: 1300 y 2600 l ha⁻¹ (equivalentes a 3,4 y 6,8 Mg yeso ha⁻¹ respectivamente), 4) aplicación simultánea de 3,4 Mg yeso ha⁻¹ y 860 l H₂SO₄ ha⁻¹. En todos los tratamientos con enmiendas, éstas fueron suspendidas y/o disueltas en el primer lavado. Por cada tratamiento y suelo se hicieron tres repeticiones, y se aplicaron 8 lavados utilizando agua destilada equivalentes a 1040 mm de lámina. Se adoptó el criterio de dar por finalizada la experiencia en los tratamientos en los cuales K < 0,03 cm h⁻¹ por carecer estos valores de significación práctica.

Los resultados obtenidos fueron sometidos al siguiente tratamiento estadístico: mediante en análisis de la varianza de clasificación doble se compararon los valores de conductividad hidráulica inicial (1° lavado), media (4° lavado), final (8° lavado) y promedio con los diferentes tratamientos de enmiendas. Para la comparación de pares de medias se utilizó el test de Tukey y los contrastes posibles se hicieron por el método de Scheffé.

RESULTADOS

Los suelos utilizados en este trabajo (Tabla 1) presentan analogías en las texturas (contenidos de arcilla similares y sólo diferencias en los contenidos de limo y arena), contenidos de materia orgánica y calcáreo (moderados), CIC (elevada como consecuencia del alto contenido de coloides), pH (débilmente alcalino), densidad aparente (media a baja) y grandes diferencias en contenido de sales (CE) y sodio (PSI). Los valores de K inicial (1° lavado), media (4° lavado) y final (8° lavado) de los distintos tratamientos se presentan en la Tabla 2. En ambos suelos se encontraron diferencias de K estadísticamente significativas con la aplicación de diferentes enmiendas (P < 0,01). En el tratamiento con agua sin enmiendas se produjo la dispersión y consiguiente

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos utilizados en los ensayos

Suelo	Suelo 1	Suelo 2
Profundidad (cm)	0-23	0-22
C.E. (dS m ⁻¹)	1,1	30,3
pH	7,9	7,5
CIC (me 100g ⁻¹ suelo)	65,6	61,5
PSI (%)	4,1	22,4
calcáreo (%)	2,8	2,9
materia orgánica (%)	2,3	1,8
arcilla (< 2μ) (%)	53,2	50,5
limo (2-50μ) (%)	25,2	10,6
arena (> 50μ) (%)	21,6	38,9
textura	arcillosa	arcillosa
densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,17	1,18

impermeabilización al flujo de agua a poco de haber iniciado el primer lavado. Ello concuerda con los resultados obtenidos por Seo Park y O'Connor (1980) en una experiencia similar.

En general los tratamientos con yeso (especialmente a elevadas dosis) tuvieron una mayor K que los de ácido sulfúrico. Especialmente eficiente resultó la mezcla de enmiendas teniendo en cuenta la constancia de valores obtenidos a lo largo de los lavados sobre el suelo salino sódico. Debe hacerse notar que si se comparan los diferentes tratamientos entre sí, en los dos suelos se observan valores promedio de K similares, por lo que puede inferirse que a las dosis utilizadas el contenido de sales presentes no constituyen un obstáculo para su rehabilitación.

Lavados continuos y prolongados de un suelo resultaron frecuentemente en una reducción de K a cualquier nivel de aplicación de enmiendas e independientemente del nivel inicial de sales y PSI. La excepción a esto lo constituye la mayor dosis aplicada de yeso donde se observa un constante incremento de K a medida que transcurren los lavados. El análisis de la varianza de los resultados de conductividad hidráulica resultantes de la aplicación de yeso y/o ácido sulfúrico indican diferencias altamente significativas (P < 0,01) entre los suelos, atribuibles al contenido de sales y sodio ya mencionadas y que afectan sensiblemente esta propiedad. La comparación de medias indica que el tratamiento con mayor dosis de yeso (5) presenta una K promedio mayor (P < 0,01) que cualquier otro tratamiento, pero en general todos tienen un efecto significativo (P < 0,01) respecto a tratamientos similares en dosis menores (Tabla 2). De menor a mayor valor de K promedio en el suelo no salino se pueden distinguir tres

Tabla 2. Evolución de la conductividad hidráulica (cm h^{-1}) a lo largo de diferentes tratamientos

		tratamientos							
lavado		1	2	3	4	5	6	7	8
s u e l o 1	1°	0,05	0,69 ab	1,06 cd	0,89 bc	1,30 d	1,00 c	0,55 a	0,69 ab
	4°	-	0,49	0,69 a	0,92 bc	1,12 c	0,80 ab	0,27	0,77 ab
	8°	-	0,16 a	0,16 a	0,56	1,34	0,27	0,16 a	0,67
	Prom.	0,05	0,46 ab	0,60 bc	0,80 d	1,19 e	0,71 cd	0,34 a	0,74 cd
s u e l o 2	1°	0,02	0,73 a	1,20 b	0,90 ab	0,95 ab	1,05 ab	0,40	0,71 a
	4°	-	0,01	0,57 a	0,67 ab	0,74 b	1,02 c	0,16	0,97 c
	8°	-	-	0,39 a	0,59 b	1,08	0,89	0,22	0,52 ab
	Prom.	0,02	0,37	0,60 a	0,70 a	0,86 bc	0,95 c	0,25	0,73 ab

Tratamientos con letras iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,01$) en el lavado correspondiente

Referencias: 1): lavado sin enmiendas
 CaSO_4 (t ha^{-1}) = 2): 3,4; 3): 6,8; 4): 13,7; 5): 27,3
 mixto = 6): $3,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaSO}_4 + 860 \text{ l H}_2\text{SO}_4$
 H_2SO_4 (l ha^{-1}) = 7): 1300; 8): 2600

niveles de respuesta: baja (7,2,3), media (3,6,8,4) y alta (5). En el lavado inicial el rango de valores es amplio pero en general los tratamientos con yeso son un 28 % mayores a los con H_2SO_4 lo que estadísticamente resultó significativo (contraste de Scheffé). El contraste de los tratamientos con yeso entre sí muestra que las dosis mayores presentan valores de K promedio 87 % mayores.

Cuanto más alto fué el RAS en el primer lavado y mayor se mantuvo en los lavados sucesivos, más ineficiente fué la enmienda para aumentar la K respecto al suelo sin enmiendas. Lo inverso ocurrió con el nivel de Na soluble, porque cuánto mayor eficiencia, mayor resultó el valor de Na y Ca del percolado (Tabla 3).

Durante el proceso de lixiviación de las sales se

Tabla 3. Variación de los contenidos de Na y Ca (me l^{-1}) en los percolados de diferentes tratamientos efectuados al suelo salino

s u e l o	CaSO_4				$\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$		H_2SO_4	
	6,8 t ha^{-1}		27,3 t ha^{-1}		3,4 $\text{t ha}^{-1} + 860 \text{ l ha}^{-1}$		2600 l ha^{-1}	
N°	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺
1	89,6	34,3	118,8	40,6	120,7	51,7	123,4	54,7
2	21,3	3,9	22,5	10,5	11,7	6,8	3,7	13,4
3	2,8	2,6	2,1	14,6	1,1	1,5	0,6	1,8
4	0,9	0,9	1,0	11,2	0,6	1,1	0,8	1,3
5	1,3	0,6	0,5	9,8	0,4	0,9	0,8	1,0
6	1,0	0,4	0,4	10,6	0,3	0,9	0,7	1,1
7	0,9	0,4	0,3	9,7	0,3	0,9	0,2	0,9
8	0,9	0,5	0,2	8,4	0,4	1,0	0,2	0,9
total	118,4 n.s.	44,0 *	144,8 n.s.	115,2 *	135,2 n.s.	64,8 *	130,4 n.s.	75,2 *

n.s. = diferencias estadísticamente no significativas

* = diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$)

Tabla 4. Conductividad eléctrica (dSm⁻¹) y RAS en los percolados de los tratamientos con 6,8 t ha⁻¹ de yeso y su equivalente de 2600 l ha⁻¹ de ácido sulfúrico en los suelos estudiados

lavado	suelo 1				suelo 2			
	trat. (3)		trat. (8)		trat. (3)		trat. (8)	
	CE	RAS	CE	RAS	CE	RAS	CE	RAS
1	2,4	3,8	4,7	2,7	11,0	17,9	13,0	19,9
2	1,4	0,9	1,5	0,5	1,9	12,8	1,9	1,2
3	0,7	0,3	0,5	0,7	0,6	2,1	0,3	0,5
4	0,4	0,2	0,3	0,5	0,2	1,3	0,3	0,9
5	0,4	0,2	0,1	0,6	0,2	2,2	0,3	1,0
6	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	1,0	0,3	0,8
7	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1	0,9	0,3	0,3
8	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,9	0,2	0,2

observaron tres diferentes etapas caracterizadas por cambios notables en la concentración total y en las relaciones iónicas de las sales en el percolado: Primera etapa: el RAS y el Ca del percolado son altos. Esto es

indicativo de un predominio de Na entre los cationes intercambiables. Esta etapa transcurre entre el 1° y el 2° lavado. Segunda etapa: se caracteriza por un brusco descenso en la concentración de Na y Ca en el efluente; ocurre aproximadamente entre el 3° y 4° lavado. Tercera etapa: lixivian cantidades mínimas de iones tendiéndose a la estabilización del sistema.

En el caso del tratamiento con 27,3 t ha⁻¹ CaSO₄ las concentraciones de Ca se mantienen elevadas en los percolados de todos los lavados debido a que por la baja solubilidad del yeso no se agota la dosis aplicada con los lavados efectuados. En síntesis, hubo un rápido desplazamiento inicial de Na inmediatamente después de aplicar la enmienda en suspensión.

En el suelo 2 el mantenimiento de un RAS de 18 (segundo lavado del tratamiento con 3,4 Mg yeso ha⁻¹) a una CE de 1,7 dSm⁻¹ habría producido una dispersión tal de los coloides del suelo que en este caso lo hizo impermeable al agua, mientras que a similar CE (1,9 dSm⁻¹) pero con una disminución de RAS a 12,8 (segundo lavado del tratamiento con 6,8 Mg yeso ha⁻¹) se mantuvo la K.

Tabla 5. Conductividad hidráulica (K), pH, CE, PSI, cationes solubles e intercambiables de los suelos después de los tratamientos de lavados con enmiendas

Tratamiento	K final (cm h ⁻¹)	pH	CE (dSm ⁻¹)	cationes solubles (me l ⁻¹)			cationes intercambiables (me 100g ⁻¹)			PSI
				Na+	Ca++	Mg++	Na+	Ca++	Mg++	
				s u e l o 2						
1	0,01	7,9	0,6	3,6	2,1	1,5	2,7	43,9	18,6	4,1
2	0,16	7,9	0,5	0,9	2,7	2,4	0,7	55,5	16,8	1,1
3	0,16	8,0	0,4	0,8	3,7	1,2	0,4	55,7	16,4	0,6
4	0,56	7,6	0,5	0,8	4,0	2,6	0,7	55,9	13,8	1,1
5	1,34	7,7	1,1	0,9	11,6	3,3	0,7	58,2	6,5	1,1
6	0,27	7,9	0,4	0,7	2,2	1,4	0,7	49,4	15,4	1,1
7	0,16	7,3	0,3	0,6	1,6	1,1	1,0	45,1	19,7	1,5
8	0,67	6,9	0,8	0,6	1,4	1,6	0,7	46,1	16,4	1,1
s u e l o 2										
2	0,01	8,4	0,8	6,5	3,0	1,1	4,1	46,5	9,7	6,7
3	0,39	8,3	0,6	2,8	4,4	2,0	1,3	54,4	6,4	2,1
4	0,60	8,2	0,6	2,3	4,6	2,3	0,9	59,9	5,1	1,5
5	1,08	8,1	2,3	1,5	27,5	6,8	0,9	65,2	9,3	1,5
6	0,89	7,9	0,6	1,7	3,4	2,9	1,1	42,5	18,5	1,8
7	0,22	7,7	0,5	1,6	2,5	1,4	0,9	47,9	9,4	1,5
8	0,52	7,5	0,4	1,3	1,5	1,1	0,9	41,6	8,2	1,5

Referencias:

- | | |
|--|--|
| 1 lavados sin enmiendas | 5 27,3 t ha ⁻¹ de CaSO ₄ |
| 2 3,4 t ha ⁻¹ de CaSO ₄ | 6 3,4 t ha ⁻¹ de CaSO ₄ + 1300 l ha ⁻¹ H ₂ SO ₄ |
| 3 6,8 t ha ⁻¹ de CaSO ₄ | 7 1300 l ha ⁻¹ H ₂ SO ₄ |
| 4 13,7 t ha ⁻¹ de CaSO ₄ | 8 2600 l ha ⁻¹ H ₂ SO ₄ |

Del análisis del percolado en los tratamientos con diferentes enmiendas (Tabla 4) surgen las siguientes diferencias más notables: el H_2SO_4 dió lugar a una conductividad eléctrica muy alta en el primer lavado en comparación a su equivalente en yeso para luego ser similar en los restantes. Con H_2SO_4 el RAS pasa de un valor elevado en el primer lavado a uno muy pequeño a partir del segundo lavado, mientras que con yeso aún se mantienen valores de RAS más altos sobre todo en el suelo 2. Con H_2SO_4 durante el primer lavado hubo mayor concentración de sodio, calcio y sales en el percolado, que con $CaSO_4$, pero luego del segundo lavado los valores de estos parámetros fueron algo menores. En cuanto al RAS, tuvieron similares valores los ensayos con ambas enmiendas en el primer lavado, pero luego en los tratamientos con ácido sulfúrico descendieron bruscamente a valores entre 1 y 3 mientras que en aquellos tratados con yeso comenzó su mayor descenso en el tercer lavado. De lo expresado se deduce que a dosis equivalentes (1300 l H_2SO_4 3,4 Mg yeso ha^{-1}) la recuperación ha sido más rápida con ácido sulfúrico. Los tratamientos con 3,4 y 6,8 Mg yeso ha^{-1} no se completaron por impermeabilización de los suelos, hecho que no tuvo lugar en los tratamientos con H_2SO_4 (1300 y 2600 l ha^{-1}) cuyo efecto fué de mayor duración y persistencia en el tiempo. El H_2SO_4 fué más efectivo como enmienda ya que necesitó una menor cantidad de tiempo para extraer el Na y producir mayor concentración de Ca disponible (mayores concentraciones de Na y Ca en el percolado de los dos primeros lavados). El tiempo necesario para extraer todo el Na fué considerablemente más corto con las enmiendas combinadas (3,4 Mg yeso ha^{-1} + 860 l H_2SO_4 ha^{-1}) que su equivalente de 6,8 Mg yeso ha^{-1} (Tabla 3). La mayor diferencia entre los tratamientos se reflejó en la conductividad hidráulica (Tabla 5), lo que estuvo asociado con mayores valores remanentes de sales (CE).

DISCUSION

El yeso es una sal de baja solubilidad y por ende liberación lenta de Ca^{++} y $SO_4=$ (Keren, Shainberg 1981) previniendo de este modo la dispersión de la fracción arcilla. A medida que se agota la reserva de esta sal y son lixiviadas las restantes sales anteriormente presentes en el suelo, entonces también disminuye la K. Por otro lado al reaccionar el H_2SO_4 con $CaCO_3$ presente en el suelo se produce un rápido suministro de Ca que produce un mayor aumento inicial de K.

En función de los resultados presentados se puede inferir para los suelos bajo estudio que la principal causa de disminución de la permeabilidad en forma constante a lo largo del tiempo fué la remoción temprana de

electrolitos, con la constante dispersión y posterior reacomodamiento de partículas de arcilla, ocasionando una reducción de tamaño de los poros conductores. Shainberg *et al.* (1971) y Shainberg (1984) indican que por debajo de cierta concentración crítica, cuyo valor es diferente para cada suelo, se produce la dispersión de las partículas.

En el suelo salino sódico la disminución de la K durante los lavados comienzan a valores de RAS < 5 si la CE es menor a 2 $dS\ m^{-1}$. En el suelo sin sales se observó que en los tratamientos testigo con agua y sin enmiendas un muy bajo nivel electrolítico, el que se tradujo en mínimos valores de K que culminaron con la impermeabilización del suelo en el permeámetro antes de completar la serie de lavados a pesar del bajo valor de PSI que tenía el mismo.

Wilding y Puentes (1988) expresaron que en sistemas de baja concentración electrolítica las arcillas pueden dispersarse con un PSI de 5 o menos. Esto concuerda con lo sucedido en el suelo 1, ya que cuando agregamos una enmienda se incrementó la CE de la solución percolante y en consecuencia aumentó K. En este caso el intercambio fué mínimo debido a los bajos contenidos de sodio intercambiable presentes.

Frenkel *et al.* (1978), Shainberg y Gal (1982), Talsma (1985) y otros investigadores mencionaron un efecto electrolítico positivo con una CE menor a 1,0 $dS\ m^{-1}$ sobre suelos sódicos pero es evidente que no contemplaron el efecto del hinchamiento porque los suelos de los trabajos citados no tenían arcillas expansibles. En general se puede concluir que la K de un suelo sódico con arcillas del tipo esmectitas expandibles puede ser mantenida mientras que la CE del agua percolante esté por encima de la concentración crítica. Pero cuando se aplica agua de baja concentración salina es suficiente un PSI de 5 o 6 para producir una drástica disminución en la K. Esta observación coincide plenamente con Mc Intyre *et al.* (1979).

Si bien en estos ensayos se usó agua destilada y la única fuente de sales fueron las presentes en el suelo y las provenientes de las enmiendas aplicadas, en la práctica el agua utilizada para el riego de estos suelos proveniente del río Chubut tiene una concentración media de sales solubles de 0,4 $dS\ m^{-1}$ lo que produciría efectos similares.

El valor del PSI en el cuál ocurren los cambios en la estructura y por lo tanto en la permeabilidad es motivo de algunas controversias entre distintos autores. Los investigadores australianos indican un PSI de 6 o mayor (Gupta, Verma, 1985) mientras que los americanos 15 o más (Shainberg *et al.*, 1971; Laboratorio de Salinidad del USDA, 1974). La discrepancia provendría fundamentalmente en el nivel electrolítico que es tenido en cuenta en cada caso, y porque en la situación australiana la dispersión

se asocia con abundantes arcillas finas y falta de compuestos solubles para mantener una mínima concentración salina en la solución del suelo a lo largo del tiempo. En el caso de los australianos se estudiaron suelos de tipo Vertisol y soluciones con concentraciones salinas próximas a las del agua desionizada, mientras que los suelos estadounidenses abarcan un más amplio rango de tipos utilizando concentraciones mayores en las soluciones.

Nuestros suelos arcillosos se comportan de un modo análogo a los descritos por Gupta y Verma (1985), motivo por el cuál necesitan una concentración salina alta para mantenerse permeables a diferencia de otros tipos de suelos cuyos requerimientos en este sentido son menores.

Prather *et al.* (1978), Alawi *et al.* (1980) y Camilion y Lavado (1983) obtuvieron resultados más favorables con ácido sulfúrico que con yeso. La utilización del ácido sulfúrico no tendría efectos adversos sobre la estructura del suelo. Camilion y Lavado (1983) consignaron además que un tratamiento con H_2SO_4 produce una alteración de escasa importancia en los minerales de arcilla ya que debería ser eliminada más del 80 % de la alúmina de la montmorillonita para que su red cristalina comience a destruirse.

El uso combinado de yeso con ácido sulfúrico presenta la ventaja respecto a dosis equivalentes de cualquiera de las dos enmiendas puras que permiten una mejor penetración inicial del agua en el suelo y recuperación inicial promovido por el H_2SO_4 , mientras que el $CaSO_4$ logra la subsiguiente reducción del PSI. El ácido aporta un elevado nivel electrolítico inicial, que en la mayoría de los casos es similar a la máxima dosis ensayada de yeso ($27,3 \text{ Mg ha}^{-1}$). Combinado $CaSO_4$ con H_2SO_4 pueden mejorarse apreciablemente el tiempo y la eficiencia de lavado comparado a la utilización de las enmiendas en forma separada, resultando también un apreciable ahorro en la cantidad a ser aplicada para producir tales efectos.

El ácido sulfúrico es más efectivo en incrementar la conductividad hidráulica que el yeso a dosis equivalentes. Este efecto se contrapuso con la lenta solubilidad del yeso, que produjo un menor aporte de electrolitos en el primer lavado, dando como resultado un menor incremento en la conductividad hidráulica. Se puede inferir de lo anterior que el ácido sulfúrico en la recuperación de los suelos vérticos del valle inferior del Río Chubut será más eficiente que el yeso comparando dosis equivalentes.

Finalmente puede deducirse que los suelos con alta capacidad de expansión del valle, independientemente de sus propiedades fisicoquímicas, necesitan una concentración salina relativamente alta para mantenerse permeables. Esto hace que su proceso de recuperación sea altamente ineficiente ya que es necesario aplicar una gran cantidad de yeso para mantener una concentración electrolítica adecuada perdurable en el tiempo. Esta cantidad es sensible-

mente mayor que la requerida para desplazar el sodio intercambiable. Quizás el uso de un floculante más enérgico pueda simplificar las tareas propuestas si resulta económicamente compatible con el sistema de producción, lo que sería objeto de otro estudio.

REFERENCIAS

- Alawi B, Stroehlein J, Hanlon E, Turner F. 1980. Quality of irrigation water and effects of sulfuric acid and gypsum on soil properties and sudangrass yields. *Soil Sci.* 129 : 315 - 319
- Camilion M, Lavado R S, 1983. Efecto del tratamiento con ácido sulfúrico sobre la fracción arcilla de un Natracualf. *Ciencia del Suelo* 1 : 105 - 108
- Dane J, Klute A, 1977. Salt effects on the hydraulic properties of a swelling soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41 : 1043 - 1049
- 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 Sci. Soc. Am. J.* 42 : 32 - 39
- Gupta R, Verma S, 1985. Hydraulic conductivity of a swelling clay in relation to water quality. *Catena* 12 : 121 - 127
- Hillel D, 1980. *Fundamentals of soil physics.* Academic Press Inc. Florida. 414 p.
- Keren R, Shainberg I, 1981. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45 : 103 - 107
- Laboratorio de Salinidad del USDA. 1974. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.* Ed. Limusa. México. 172 p.
- Laya HA, 1981. Levantamiento semidetallado de suelos. *Formulación de un plan integral de manejo hídrico para el valle inferior del río Chubut.* CFI-Pcia. del Chubut, convenio VIRCH. Trelew, 340 pag.
- Luque J L, 1992. Evaluación de propiedades hidrofísicas del valle inferior del Río Chubut durante la aplicación de diferentes enmiendas. Tesis Magister en Ciencias del Suelo, U.N.S., 187 pag.
- Mc Intyre D, Cunningham R, Vatanakul V, Stewart G, 1979. Measuring hydraulic conductivity in clay soils: methods, techniques and errors. *Soil Sci.* 128 : 171 -183
- Prather R, Goertzen J, Rhoades J, Ferenkel H, 1978. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43 : 782 - 786
- Seo Park Ch., O'Connor G, 1980. Salinity effects on hydraulic properties of soils. *Soil Sci.* 130 : 167 -174
- Shainberg I, Bresler E, Klausner J, 1971. Studies on Na/Ca montmorillonite systems. I. The swelling pressure. *Soil Sci.* 111 : 214 - 219
- Shainberg I, Gal M. 1982. The effect of lime on the response of soils to sodic conditions. *J. Soil Sci.* 33 : 489 - 498
- Shainberg I, 1984. Reclamation of sodic soils. In: Shainberg - Shalhevet eds. *Soil salinity under irrigation: processes and management.* Ecological studies 51. Springer Verlag. Berlin. pp 221 - 236
- Talsma T, 1985. Prediction of hydraulic conductivity from soil water retention data. *Soil Sci.* 140 : 184 - 188
- Wilding I, Puentes R, 1988. Vertisols: their distribution, properties, classification and management. Texas University Press. 193 p.