

## Incremento de la resistencia al corte de suelos modificados químicamente

Palancar, Telmo C.<sup>1,3</sup>; Daniel Jorajuría.<sup>1</sup>; Paolo Spugnoli.<sup>2</sup>; Laura M. Draghi.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Universidad Nacional de La Plata. 60 y 119. (1900) La Plata. Argentina. <sup>2</sup>Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali (DEISTAF). Facoltà di Agraria e Forestale. Università degli studi di Firenze. Piazzale delle Cascine 18. 50144 Firenze (FI). Italia; <sup>3</sup>telmo@agro.unlp.edu.ar

Palancar, T.C.; D. Jorajuría; P. Spugnoli; L.M. Draghi (2011) Incremento de la resistencia al corte de suelos modificados químicamente. Rev. Fac. Agron. Vol 110 (2): 91- 96.

El sodio en el agua de riego puede generar en el suelo la dispersión de los coloides, deteriorando la estructura y destruyendo los macroporos. El aumento de la arcilla dispersa genera un incremento de la resistencia del suelo. La salinidad en cambio, contrarresta el efecto del sodio. La hipótesis de trabajo es que la salinidad y sodicidad del agua de riego inciden sobre la resistencia al corte del suelo, siendo el objetivo evaluar la resistencia al corte en suelos tratados con soluciones de diferentes niveles de sodicidad y salinidad. Sobre 4 series de suelo se realizaron 3 tratamientos de salinización-sodificación por inmersión. Los suelos se cortaron en una celda de corte directo. El tratamiento de mayor sodicidad presentó mayores valores de tensión de corte. Esto pudo deberse a un incremento de su arcilla dispersa por la presencia de sodio. El reordenamiento poroso (aumento de microporos, disminución de macroporos) también podría haber tenido influencia. La elevada salinidad del agua del tratamiento de mayor sodicidad no pudo contrarrestar el efecto del Na, como lo hizo en el tratamiento intermedio. Existe una relación directa entre salinidad-sodicidad del agua de riego y resistencia al corte. Un contenido salino alto puede compensar el alto contenido de sodio.

**Palabras Clave:** propiedades mecánicas, suelos sódicos, caja de corte, dispersión de arcillas, salinidad

Palancar, T.C.; D. Jorajuría; P. Spugnoli; L.M. Draghi (2011) Increment of shear strength of chemically modified soils. Rev. Fac. Agron. Vol 110 (2): 91- 96.

Sodium added with irrigation water can disperse soil colloids, damaging structure and consequently macropores. An increase of dispersed clay could increment soil strength. Salinity instead, counteracts sodium effect. The working hypothesis is that salinity and sodium present in irrigation water impact on soil shear strength. The objective is to evaluate soil shear strength, on soils treated with different levels of salt and sodium added through immersion in different solutions. Experimental design includes 4 different soil series subject to three different concentrations of salt and sodium. Soils were tested in a direct shear stress box. Treatment enriched with maximum sodium concentration had higher values of shear strength. This could be due to an increase of dispersed clay in the presence of sodium. Pore reordering carried out in the soil frame -increase of micropores and decrease of macropores- could have influenced shear strength. In spite of the high salinity, the effect of added sodium cannot be counteracted, even in the treatment with higher value of sodium enrichment. Nevertheless, it occurred in the treatment with an intermediate value of sodium added. There is a direct relationship between salt and sodium in irrigation water and shear strength. A high salt content can offset the high sodium content.

**Keywords:** mechanical properties, sodic soils, shear box, clay dispersion, salinity

---

Recibido: 07/04/2011

Aceptado: 22/12/2011

Disponible on line: 13/08/2012

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

## INTRODUCCIÓN

Si bien el uso del riego es antiguo, la utilización masiva de agua en agricultura es reciente. El riego se ha transformado en el método más exitoso para poner en producción tierras marginales, aumentando la productividad para dar alimentos a una población mundial en aumento. Sin embargo, un manejo inadecuado del riego puede causar daños en la fertilidad química y especialmente física de los suelos, debido a que todas las aguas de riego contienen sales solubles, en mayor o menor medida. La presencia de sodio puede ocasionar trastornos en la circulación de agua y aire en el suelo, por el deterioro en la estructura que este elemento causa por su naturaleza de dispersante de los coloides (Vázquez, 2003). Asimismo, una alta concentración de sodio incrementa la lixiviación de nutrientes del suelo hacia la napa (Jalali & Ranjbar, 2009).

Es suficiente una pequeña cantidad de sodio adsorbido para aumentar la dispersión de la arcilla. Se ha verificado que el sodio produce una acción negativa en la estructura del suelo, al contrario de la generada por otros cationes como  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  (Quirk & Murray, 1991). Dexter & Chan (1991) sugirieron que los cationes que dan lugar a la mayor dispersión de la arcilla en agua (como el sodio) son los que dan lugar a la mayor resistencia del suelo seco. En estos suelos se conjugan ciertos procesos físicos como contracción, expansión, dispersión, que originan endurecimiento y encostramiento (Qadir *et al.*, 2007).

Es conocido el efecto negativo de la arcilla dispersa sobre la permeabilidad y sobre la formación de costra (Barzegar *et al.*, 1994). La dispersión de la arcilla y su efecto sobre la estructura puede causar un reordenamiento poroso (desaparición de macroporos e incremento de la microporosidad) (Waldrom & Constantin, 1968; Barzegar *et al.*, 1996) de manera que las partículas finas se reordenen, ocupando los espacios vacíos de acuerdo a lo expuesto por Chen & Banin (1975). Chan (1989) demostró la relación directa entre el porcentaje de arcilla dispersa y la resistencia del suelo. Barzegar *et al.* (1995) sugirieron que la cantidad de arcilla dispersa y la capacidad de

intercambio catiónico (CIC) de la arcilla estuvieron altamente relacionadas a la resistencia de los suelos.

Spugnoli & Melani (2005) reportaron que suelos más sódicos tuvieron mayores valores de resistencia a la tracción de los agregados para todos los tamaños estudiados, adjudicando a la arcilla dispersa de los suelos sódicos la responsabilidad de conferir mayor resistencia a la rotura y a la compactación en todos los tamaños de agregados. Barzegar *et al.* (1994) sugirieron que el efecto dispersivo debido a la relación de adsorción de sodio (RAS) en incrementar la resistencia del suelo es modificado por la concentración de electrolitos.

Ayers & Wescot (1976) advierten que si bien a mayor salinidad existiría mayor contenido de sodio en el agua, la incidencia adversa del mismo en el suelo podría estar controlada por el contenido salino. Si bien el mayor efecto perjudicial del sodio es la dispersión de los coloides, la mayor salinidad tiende a flocular estos coloides, compensando el efecto del sodio en mayor medida.

Se plantea como hipótesis de trabajo que los niveles de salinidad y de sodicidad del agua de riego, inciden sobre la propiedad mecánica resistencia al corte, siendo el objetivo de este trabajo evaluar dicha incidencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ensayos, en los que fueron empleadas cuatro series de suelos con la granulometría y clasificación taxonómica (Soil Survey Staff, 2003) detallada en la Tabla 1.

Se trató cada suelo con dos soluciones, obtenidas disolviendo en agua destilada cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) y cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) resultando en dos concentraciones salinas y dos índices de sodicidad distintos: a) Solución 1 con 0,001 mol/L de salinidad y 5 de RAS y b) Solución 2 con 0,1 mol/L de salinidad y 45 de RAS. Estas soluciones simulaban el efecto del riego con aguas de buena y mala calidad respectivamente.

Tabla 1: Contenido de partículas y materia orgánica (%) y clasificación taxonómica de los suelos estudiados

Clase granular	Argese	Cardone	Carpi	Ozzano
Arena total	6,38	8,46	3,06	13,69
Limo	54,96	56,48	53,84	47,68
Arcilla	38,66	35,06	43,13	36,63
Materia Orgánica	1,63	3,39	2,95	1,59
Taxonomía	Haploxeralf típico	Haploxeralf típico	Ustochrepts udértico	Ustochrepts udértico

Para realizar los tratamientos, los suelos se sumergieron en piletas preparadas con estas soluciones, mezclando y dejándolos en contacto con las mismas por 24 horas. El líquido limpio sobrenadante fue decantado y reemplazado inmediatamente con la misma solución por lo que no hubo ciclos de humectación-deseccación. Esta operación fue repetida tres veces en dos de los tratamientos (72 horas de inmersión) y cinco veces en uno de ellos (120 horas de inmersión), totalizando 3 tratamientos:

*Tratamiento A:* Suelo tratado con la solución 1 con tres inmersiones

*Tratamiento B:* Suelo tratado con la solución 2 con tres inmersiones

*Tratamiento C:* Suelo tratado con la solución 2 con cinco inmersiones.

Con el incremento del número de inmersiones en el tratamiento C se buscó aumentar la posibilidad de reemplazo de los cationes del complejo de intercambio por sodio.

Los porcentajes de sodio intercambiable (PSI) y conductividades eléctricas (CE) alcanzados por los tratamientos pueden verse en Tabla 2. La conductividad eléctrica fue determinada por conductimetría del extracto de saturación mientras que el porcentaje de sodio intercambiable fue obtenido determinando el sodio por fotometría de llama y relacionándolo con la CIC del suelo.

El testigo no fue utilizado en las pruebas de corte debido a que al no sufrir inmersiones y percolaciones ni ser molido en las etapas de preparación previa resultó poco comparable mecánicamente a los tratamientos. Se lo menciona en la Tabla 2 con el fin de visualizar las diferencias químicas que representaron los tratamientos con las distintas soluciones.

A continuación los suelos fueron secados, triturados y tamizados con malla de 2 mm. Finalmente, fueron

humidificados con rociador hasta un contenido de agua de 0,2 g/g y se permitió la homogenización durante 24 horas. De los suelos así tratados, se tomaron porciones de 115 g y se colocaron en una celda de compresión-corte cilíndrica de 63,5 mm (2,5") de diámetro. Se realizó el ensayo de corte directo a tres tensiones normales: 60, 240 y 480 kPa. Se realizaron cinco repeticiones para cada tensión normal totalizando 180 ensayos (4 suelos x 3 tratamientos x 3 tensiones normales x 5 repeticiones). Una vez cortadas las probetas se secaron en estufa durante 24 horas a 104° C para determinar el contenido de agua en el momento de corte. Se analizaron estadísticamente los resultados, determinando las medias y realizando el análisis de la varianza por el método de diferencias mínimas significativas (LSD).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de ciclos de humectación con las soluciones ha resultado relevante para que el reemplazo de los cationes existentes en el complejo de intercambio por sodio se hiciera efectivo. Asimismo, el aumento de ciclos humectación-secado derivó en un incremento sustancial de la sodicidad del tratamiento C, no así de su salinidad (Tabla 2).

En todos los suelos y a todas las tensiones normales, el tratamiento C presentó mayores valores de tensión de corte que A estando las diferencias significativas en Argese a 60 y 240 kPa, en Cardone y Ozzano en todas las tensiones normales y en Carpi a 60 y 480 kPa (Tabla 3). El tratamiento intermedio B, presentó un comportamiento intermedio asemejándose en algunas tensiones y suelos al A y en otras al C.

Tabla 2: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) (%) y Conductividad Eléctrica (CE) ( $dS \cdot m^{-1}$ ) relevados en los suelos luego de los tratamientos

Tratamiento	Suelos							
	Argese		Cardone		Carpi		Ozzano	
	PSI	CE	PSI	CE	PSI	CE	PSI	CE
A	0,87	0,14	0,96	0,16	1,43	0,26	0,53	0,14
B	4,94	1,02	4,83	0,92	4,47	1,08	5,21	0,98
C	20,91	1,18	18,41	1,10	19,66	1,52	14,33	1,12
Testigo	0,43	0,14	0,6	0,30	1,38	0,36	0,18	0,03

Tabla 3: Tensión de corte media (kPa) y humedad (% p/p) para los distintos tratamientos a tres tensiones normales. Valores seguidos por distintas letras dentro de la misma columna y para cada serie denotan diferencias significativas al 5% del test de LSD

Suelos / Tratamientos	Tensiones Normales					
	60 kPa		240 kPa		480 kPa	
Argese	Tensión	Humedad	Tensión	Humedad	Tensión	Humedad
A	263,9b	19,6c	352,2a	20,0a	511,8ab	19,7b
B	234,8a	17,9 a	379,7a	19,0a	494,3a	19,2a
C	321,3c	19,2b	453,8b	19,2a	531,2b	19,3a
<b>Cardone</b>						
A	206,0a	19,6a	312,1a	19,9ab	497,4a	19,5a
B	208,2ab	19,8a	302,1a	19,6a	497,5a	19,7a
C	252,7b	19,6a	361,4b	20,0b	539,5b	19,4a
<b>Carpi</b>						
A	184,3a	19,6b	266,3a	20,0b	308,3a	19,7b
B	184,4a	19,3 a	258,2a	19,0a	356,0b	19,2a
C	200,5b	19,7b	272,3a	19,2a	343,8b	19,3a
<b>Ozzano</b>						
A	110,5a	19,4ab	186,6a	19,2b	249,9a	18,9a
B	160,7b	18,9a	235,2b	18,5a	257,3a	18,6a
C	176,9b	19,6b	256,4c	19,3b	299,4b	18,8a

Con respecto al contenido de agua durante el corte se verificaron diferencias en algunos suelos y tratamientos pero no existió una correspondencia clara con la tensión de corte. Estos resultados concuerdan con Spugnoli & Melani (2005) quienes reportaron mayores valores de resistencia de los agregados para suelos más sódicos, responsabilizando por este hecho a la arcilla dispersa. Muchos autores responsabilizan a este factor por el aumento de la resistencia de los suelos sódicos (Chan, 1989; Dexter & Chan, 1991; Barzegar *et al.*, 1995). La mayor tensión cortante del tratamiento C pudo deberse a un aumento de la arcilla dispersa a causa del sodio.

Otra hipótesis explicativa para la mayor resistencia al corte del tratamiento C, es que la dispersión de la arcilla y su efecto sobre la estructura puede haber causado un reordenamiento poroso (aumento de microporosidad, disminución de macroporosidad) (Waldrom & Constantin, 1968; Barzegar *et al.*, 1996) reordenando a las partículas finas en los espacios vacíos de acuerdo a lo expuesto por Chen & Banin (1975) y generando una superficie de corte más resistente al existir menos poros en el área expuesta al esfuerzo cizallante. En el presente trabajo no se realizó la determinación del tamaño de poros de los distintos tratamientos pero es altamente probable que la elevada concentración de

sodio haya generado dispersión en el material tratado originando un reordenamiento poroso.

Según Ayers & Wescot (1976) un contenido salino alto contrarrestaría el efecto adverso del sodio. A pesar de la alta salinidad del agua de riego del tratamiento C el efecto dispersante del sodio se expresó, originando una mayor resistencia al corte. En el tratamiento B el aumento de la sodicidad fue limitado, alcanzando valores similares en salinidad a C. El mayor número de inmersiones redundó en un incremento de la sodicidad pero no de la salinidad, explicando los resultados obtenidos.

La mayor impedancia mecánica relevada en el tratamiento más sodificado implica un mayor gasto energético para la labranza de los mismos. El aumento de la tensión cortante de los suelos afectados por el sodio podría ser asimismo considerado positivo en aspectos tales como transitabilidad, ya que al resistir tensiones cortantes mayores, los suelos sódicos permitirían mayor reacción con la consiguiente disminución del patinamiento. Asimismo, sus características de microporosidad (con microporos ocupados por agua) volverían más resistentes a las compresiones a estos suelos otorgándoles mayor capacidad portante. Si bien estas características pueden resultar positivas para el tránsito resultan muy perjudiciales para el normal crecimiento de los cultivos. La mayor resistencia a las tensiones externas implica una mayor dificultad de las plántulas para la germinación y una mayor dificultad de las raíces para explorar el suelo. Futuros trabajos de investigación deberían indagar acerca de la naturaleza del incremento de las tensiones cortantes provocadas por incrementos de sodicidad en el suelo. De acuerdo a la teoría de Mohr-Coulomb el incremento podría deberse al componente friccional o al cohesivo.

Si no se realizan estudios y análisis de las características químicas del agua a utilizar y del suelo a irrigar, el riego puede originar daños en las propiedades físicas del suelo por salinización y/o sodificación del mismo. La propiedad mecánica resistencia al corte se ve incrementada ante el aumento del porcentaje de sodio intercambiable.

## CONCLUSIONES

La calidad del agua de riego de los suelos influye en la resistencia al corte de los mismos. Los suelos con mayor contenido sódico presentan mayor resistencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayers, R.S. & D.W. Wescot.** 1976. Calidad del agua para la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. N° 29. Roma. 85 p.
- Barzegar, A.R., R.S. Murray, G.J. Churchman & P. Rengasamy.** 1994. The strength of remoulded soils as affected by exchangeable cations and dispersible clay. *Australian Journal of Soil Research*. 32: 185-99.
- Barzegar, A.R., P. Rengasamy & J.M. Oades.** 1995. Effects of clay type and rate of wetting on the mellowing of compacted soils. *Geoderma*. 68: 39-49.
- Barzegar, A.R., J.M. Oades & P. Rengasamy.** 1996. Soil Structure Degradation and Mellowing of Compacted Soils by Saline-Sodic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*. 60: 583-588.
- Chan, K.Y.** 1989. Effect of tillage on aggregate strength and aggregation on Vertisols. *Soil & Tillage Research*. 13: 163-175.
- Chen, Y. & A. Banin.** 1975. Scanning electron microscope (SEM) observations of soil structure changes induced by sodium – calcium exchange in relation to hydraulic conductivity. *Soil Science*. 120: 428-436.
- Dexter, A.R. & K.Y. Chan.** 1991. Soil mechanical properties as influenced by exchangeable cations. *Journal of Soil Science*. 42: 219-226.
- Jalali, M. & F. Ranjbar.** 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma* 153: 194-204.
- Qadir, M., J.D. Oster, S. Schubert, A.D. Noble & K.L. Sahrawat.** 2007. Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. *Advances in Agronomy* 96: 197-247.
- Quirk, J.P. & R.S. Murray.** 1991. Towards a model for soil structural behaviour. *Australian Journal of Soil Research* 29: 829-867.
- Soil Survey Staff.** 2003. Keys to Soil Taxonomy. Ninth Edition. USDA, Natural Resources Conservation Service. 332 p.
- Spugnoli, P. & E. Melani.** 2005. Proprietà meccaniche degli aggregati di un suolo sodicizzato. AIIA 2005. Catania, 27-30 giugno 2005.
- Vázquez, M.** 2003. Evaluación de la alteración de algunas propiedades edáficas bajo riego complementario en suelos de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Waldrom, L.J. & C.K. Constantin.** 1968. Bulk volume and hydraulic conductivity changes during sodium saturation test. *Soil Science Society of America Journal*. 32:175-179