



RESPUESTA QUÍMICA, FÍSICA Y BIOLÓGICA DE SUELOS SÓDICOS TRATADOS CON YESO

De Majo, N.¹, S. Podestá¹, M. Rollhauser¹, F.D. Guilino¹, L.M. Draghi¹, D. Jorajuría¹, R. Villarreal¹, L. Lozano¹, C.G. Soracco¹, T.C. Palancar^{1*}

¹CISSAF (Centro de Investigación en Sustentabilidad de Suelos Agrícolas y Forestales) Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata; 60 y 119. La Plata, (1900), Prov. de Buenos Aires, *telmo@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN: Los suelos sódicos ocupan una extensa proporción de la Depresión del Salado. El sodio aumenta el pH y provoca la dispersión de las arcillas generando modificaciones en la estructura de los suelos que perjudican el crecimiento de los cultivos al reducir su porosidad y su infiltración. La aplicación de yeso puede mejorar las características de los suelos sódicos. Se realizó un ensayo en el que se aplicaron tres dosis de yeso: A) 0kg (testigo); B) 100kg (en la línea de siembra) y C) 12000kg (en cobertura total). Se replicó el ensayo usando dos cultivos: Agropiro y Festuca. En los distintos tratamientos se midieron propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable y carbono orgánico), físicas (resistencia a la penetración, resistencia al corte, densidad aparente e infiltración) y biológicas (% de implantación y productividad primaria neta). El yeso redujo el pH, aumentó la conductividad eléctrica y redujo el PSI. Además no modificó la resistencia al corte del suelo pero si aumentó su capacidad portante en una situación de elevada humedad y mejoró su conductividad hidráulica. Si bien todos estos cambios mejoraron el porcentaje de implantación de ambos cultivos no se modificó la producción de materia seca.

PALABRAS CLAVE: infiltración, resistencia a la penetración, alcalinidad.

INTRODUCCION

Un 60 % de la superficie de la Depresión del Salado presenta exceso de sodio (Na⁺) lo que deteriora sus propiedades físicas y químicas, elevando el pH y la relación de absorción de sodio (RAS), Qadir & Schubert, 2002). Esto deteriora la estructura del suelo y sus propiedades hidráulicas reduciendo la cobertura vegetal (Chi & Wang, 2010). El sodio dispersa las arcillas, endurece la superficie del suelo y reduce la porosidad y la germinación (Barzegar et al., 1994). Wong et al. (2006) sostienen que los suelos sódicos se dispersan al humedecerse, formando estructuras endurecidas masivas cuando se secan. Palancar et al. (2006) encontraron mayores resistencias al corte en suelos sódicos. Otondo et al. (2015) valoraron la capacidad portante de suelos sódicos utilizando un penetrómetro Proctor. Shainberg & Letey (1984), Jayawardane & Chan (1994), Lebron et al. (1994), demostraron que altos niveles de sodio causan hinchamiento y dispersión de las arcillas, reduciendo la infiltración y el crecimiento de las plantas. Costa & Aparicio (2000) encontraron que la conductividad hidráulica saturada se redujo con el aumento del sodio. Barzegar et al. (1994) demostraron que el incremento de sodio dispersa las arcillas e incrementa la resistencia del suelo. Varallyay (2002) afirma que el sodio modifica la porosidad y la compactabilidad de los suelos. Palancar et al. (2006) y Spugnoli & Melani (2005) hallaron menor susceptibilidad a la compresión de los suelos sódicos. El efecto de las tensiones externas es mayor sobre las estructuras floculadas que sobre las dispersas (Mitchell, 1976) ya que los poros de mayor tamaño son comprimidos más fácilmente (Delage y Lefebvre, 1984; Griffiths y Joshi, 1989). Costa & Godz (1999) aplicaron yeso en un Natracuol, favoreciendo la implantación de pasturas y la producción de materia seca. Mendoza & Barbieris (1980) aplicaron yeso a un Natracualf disminuyendo su pH y su

RAS y aumentando su conductividad. Bandera (2013) aplicó yeso sobre un Natracuol típico, mejorando los parámetros químicos del suelo y el crecimiento de agropiro. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dos dosis de yeso en un suelo Natracualf en parámetros químicos, físicos y biológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en la Chacra Experimental Integrada Chascomús INTA-MAIBA, en las proximidades de las coordenadas 35°44'06,5"S y 58°03'11,22"O. El suelo utilizado fue un Natracualf típico. El ensayo se llevó a cabo en parcelas totalmente aleatorizadas y constó de dos tratamientos con dos especies perennes: 1) Festuca arundinacea (F) y 2) Tinopirum ponticum (A) (Agropiro) y a su vez se realizaron tres subtratamientos: A: 0 kg/ha de yeso; B: 100 kg/ha de yeso en la línea de siembra y C: 12.000 kg/ha de yeso en cobertura total. Cada subtratamiento se realizó en parcelas de 6m x 0,9m, totalizando 18 parcelas.

La superficie destinada al ensayo fue primero pulverizada con Glifosato con el fin de eliminar el pastizal existente. Posteriormente se realizó el laboreo mediante rastra de discos (2 pasadas) y arado rotativo y se aplicó el yeso al voleo en las parcelas correspondientes al subtratamiento C para inmediatamente realizar una nueva pasada de arado rotativo a todo el ensayo con el fin de incorporar el yeso aplicado. En 2016 se realizó la siembra, con sembradora experimental de 6 surcos a 0,15m entre surcos, de Festuca y Agropiro con una densidad de 40 kg/ha para ambas especies.

Las variables evaluadas fueron:

1. Químicas: pH y conductividad eléctrica de 0 a 5 cm de profundidad y de 0 a 15 cm de profundidad, Porcentaje de Sodio de Intercambio de 0 a 15 cm de profundidad (PSI). A su vez se realizaron dos muestreos en diferentes momentos del ensayo, el primero en 2016 (inicial) junto con el conteo de plantas y el segundo en 2018 (final). También se determinó el % de Carbono orgánico (CO)
2. Físicas: Resistencia a la penetración (RP) mediante penetrómetro de cono electrónico SC900 Soil Compaction Meter Fieldscout, construido bajo Norma ASAE S.313, con principio de medición de profundidad por ultrasonido. Los valores de índice de cono fueron agrupados en rangos de profundidad de 10 cm y se registraron hasta los 35 cm de profundidad. Se efectuaron 15 repeticiones por cada rango de profundidad y por cada tratamiento y subtratamiento. Densidad aparente con un cilindro de 307,7 cm³ de 0 a 10cm de profundidad (Hillel, 1998). Se efectuaron 3 repeticiones por cada tratamiento y subtratamiento. Tasa de infiltración (K) mediante un infiltrómetro de disco a tensión (Perroux & White, 1988), con un diámetro de disco de 12,5 cm, para determinar la tasa de infiltración básica. Se realizaron 4 repeticiones en cada tratamiento y subtratamiento. Resistencia al corte en superficie mediante torquímetro de mano (τ). Se efectuaron 5 repeticiones por tratamiento y subtratamiento. Humedad edáfica gravimétrica (H^o) en tres estratos (0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm). La humedad gravimétrica se obtuvo por diferencia de peso de muestras de suelo húmedo y seco. El secado se realizó en estufa a 105°C durante 24hs (hasta peso constante). Se realizaron 3 repeticiones para cada tratamiento, subtratamiento y profundidad.
3. Biológicas: % de Implantación (Im) y Productividad primaria neta (PPN) en kgMS/ha.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se observa que la dosis mayor de yeso ha reducido el pH y el porcentaje de sodio intercambiable tanto inicial como final y ha aumentado la conductividad eléctrica inicial (Tabla 1 y Tabla 2). La conductividad final se ha reducido quizás por el lavado de las sales. Estos resultados son análogos a los encontrados por Mendoza & Barbieris (1980).

Los datos de reducción de pH en el estrato 0-15cm a partir de la incorporación de yeso serían coincidentes con los obtenidos por Mendoza & Barberis (1980) que encontraron una reducción en el pH, RAS y PSI y un aumento de la conductividad eléctrica de suelos tratados con yeso. También Costa & Godz (1999) encontraron incrementos de CE y reducciones de PSI y RAS en suelos enyesados.

Tabla 3: pH, conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) iniciales en el estrato 0-5cm y 0-15cm.

Subtratamiento	pHi (0-5cm)	CEi (0-5cm)	pHi (0-15cm)	CEi (0-15cm)	PSIi (0-15cm)
		p: <0,0001	p: <0,0001	p: <0,0001	p: <0,0001
A (0)	8,12b	0,34a	8,65b	0,59a	23,11b
B (100)	8,09b	0,31a	8,78b	0,55a	24,32b
C (12000)	7,15a	0,98b	7,91a	1,09b	16,63a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias mínimas significativas entre tratamientos mediante el Test de LSD ($p < 0,05$)

Tabla 4: pH, conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) finales en el estrato 0-5cm y 0-15cm.

Subtratamiento	pHf (0-5cm)	CEf (0-5cm)	pHf (0-15cm)	CEf (0-15cm)	PSIf (0-15cm)
		p: 0,038	p: 0,1882	p: 0,0033	p: 0,0200
A (0)	8,36b	0,46a	8,20b	1,16ab	28,26b
B (100)	8,30b	0,49a	8,23b	1,29b	28,85b
C (12000)	7,95a	0,39a	7,80a	0,98a	19,06a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias mínimas significativas entre tratamientos mediante el Test de LSD ($p < 0,05$)

En resistencia al corte no se han encontrado diferencias entre subtratamientos al analizar los datos al interior de los tratamientos (Tabla 5). Esta falta de variabilidad en la resistencia al corte entre tratamientos no coincidiría con lo encontrado por Palancar et al. (2006), Barzegar et al. (1994), Wong et al. (2006) quienes manifiestan mayores impedancias en los suelos en mayor medida afectados por sodio.

Tabla 5: Resistencia al corte (kg/cm^2) de los tratamientos y subtratamientos

Subtratamiento	Tratamiento Agropiro (kg/cm^2)	Tratamiento Festuca (kg/cm^2)
	A (0)	2,30a
B (100)	2,60a	2,80a
C (12000)	2,70a	3,00a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias mínimas significativas entre tratamientos mediante el Test de LSD ($p < 0,05$)

En el parámetro resistencia a la penetración, se encontró una mayor impedancia en los subtratamientos con yeso en los horizontes superficiales (0-10 y 10-20) mientras que en los más profundos el subtratamiento sin yeso tiene mayor impedancia (Tabla 6). Esto podría deberse al agregado e incorporación superficial del yeso mientras que los estratos inferiores podrían haber recibido el sodio desplazado en el estrato superior y el comportamiento fuese el contrario al observado superficialmente. La mayor impedancia superficial en los tratamientos enmendados con yeso no coincidiría con lo encontrado por Barzegar et al. (1994) en cuanto a una mayor resistencia de los suelos sódicos o a la formación de sustancias endurecidas cuando secas como sostienen Wong et al. (2006). La humedad media al momento de la medición rondó el 37% (Tabla 7), cercano a capacidad de campo, lo que se corresponde con los bajos valores de resistencia a la penetración hallados, en general por debajo del megapascal. En esta condición límite de tan alta humedad una mayor resistencia a la penetración sería un indicador de una mejor capacidad portante, sinónimo de una mejor estructura.

Otondo et al. (2015) encontraron una menor capacidad portante de suelos sódicos como consecuencia de la utilización de especies megatérmicas. Atribuyeron este comportamiento a

una reducción en la densidad de los tratamientos con estas especies, que habrían aflojado el suelo causando un mejor ambiente para el enraizamiento durante el verano. En el presente ensayo no hubo diferencias de densidad entre los tratamientos que pudieran explicar diferencias en la resistencia a la penetración.

Tabla 6: Resistencia a la penetración (kPa) de los tratamientos y subtratamientos en los distintos estratos evaluados

Tratam. Agropiro	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-35 cm
A (0)	488,08a	929,08ab	817,4c	1035,92a
B (100)	547,68a	1018,68b	738b	936,44a
C (12000)	595,68a	887,12a	654,48a	949,68a
Tratam. Festuca	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-35 cm
A (0)	372,68a	626,68a	665,48a	987,92b
B (100)	519,48b	788,52b	660,92a	830,68a
C (12000)	597,48b	971,6c	734,28b	1003,92b

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias mínimas significativas entre tratamientos mediante el Test de LSD ($p < 0,05$)

No se observaron diferencias significativas entre subtratamientos en la humedad gravimétrica que pudieran explicar las diferencias registradas en la impedancia mecánica (Tabla 7).

Tabla 7: Humedad gravimétrica relevada en los distintos estratos.

Subtratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
(kg/ha)			
A (0)	34,85a	33,80a	44,13a
B (100)	36,20a	37,18a	41,00a
C (12000)	32,85a	32,58a	40,90a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias mínimas significativas entre tratamientos mediante el Test de LSD ($p < 0,05$)

En el parámetro densidad aparente (Tabla 8) se observa un valor ligeramente mayor en el tratamiento de mayor dosis de yeso. Esto podría ser explicado por la mayor compresibilidad que tendrían estos tratamientos que tendrían una mayor cantidad de macroporos más fácilmente compresibles en coincidencia con lo manifestado por Spugnoli & Melani (2005), Varallyay (2002), Delage y Lefebvre (1984); Griffiths y Joshi (1989) y Palancar et al. (2006). La mayor infiltración observada en los tratamientos con yeso también coincidiría en confirmar la existencia de poros de mayor tamaño en estos tratamientos como lo afirman Mitchell (1976), Barzegar et al., (1994) y Varallyay (2002). La menor cantidad de sodio encontrada en estos tratamientos explicaría la mejora en su conductividad hidráulica (Costa & Aparicio, 2000; Barzegar et al., 1994, Wong et al. (2006), Shainberg & Letey (1984), Jayawardane & Chan (1994), Lebron et al. (1994), Chi & Wang, (2010).

Tabla 8: Conductividad hidráulica (K0), Densidad aparente (DAP), Carbono Orgánico (CO) de los tratamientos y subtratamientos evaluados

Tratamiento	Subtratamiento	K0	DAP	CO
		(cm/hora)	(g/cm3)	(%)
Agropiro	A (0)	0,76a	1,15ab	1,86ab
	B (100)	2,22b	1,15ab	1,99c
	C (12000)	1,67ab	1,17b	1,72ab
Festuca	A (0)	2,23b	1,11a	1,61b
	B (100)	2,10b	1,10a	2,01c
	C (12000)	3,08b	1,12ab	1,09a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias mínimas significativas entre tratamientos mediante el Test de LSD ($p < 0,05$)

No se observan diferencias en la producción de materia seca entre tratamientos (Tabla 9) pero si se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de implantación observándose una mejora con el aumento de la dosis de yeso. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Costa & Godz (1999) en cuanto a la implantación pero no así en lo que hace a producción de materia seca tanto por estos autores como por Bandera (2013). Las dosis aplicadas por Costa & Godz (1999) fueron aproximadamente el doble a las utilizadas en el presente trabajo.

Tabla 9: Porcentaje de implantación (%) y producción de materia seca (kg/ha) de los distintos subtratamientos

Subtratamiento	Implantación (%)	Producción MS (kg/ha)
	p: 0,0141	p: 0,6452
A (0)	21,85a	5135a
B (100)	26,63ab	4898a
C (12000)	32,93b	5248a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias mínimas significativas entre tratamientos mediante el Test de LSD ($p < 0,05$)

A pesar de no observarse una clara tendencia en cuanto a la producción de MS, se observa una incidencia positiva del agregado de yeso en las propiedades físicas de los suelos, estando de acuerdo a lo reportado por Otondo et al. (2015). La alternativa de la incorporación de yeso en la línea, si bien no resulta tan efectiva en los cambios provocados en los suelos, es técnica y económicamente más viable. Resulta interesante poder evaluar en ensayos de mayor duración la evolución de dichas propiedades físicas y su impacto en la producción de forraje en distintas especies adaptadas.

CONCLUSIONES

El agregado de yeso aumenta la infiltración y la capacidad portante de los suelos sódicos. Las mejoras en las propiedades de los suelos sódicos producto del enyesado son percibidas en la etapa inicial (implantación de los cultivos) pero no en la materia seca total producida.

BIBLIOGRAFIA

- Bandera, R 2013. Rehabilitación de suelos salino-sódicos: evaluación de enmiendas y de especies forrajeras. Tesis de maestría. Buenos Aires. Argentina. No publicada.
- Barzegar, AR; GJ Murray; GJ Churchman & P Rengasamy. 1994a. The strength of remoulded soils as affected by exchangeable cations and dispersible clay. *Australian Journal of Soil Research*. 32: 185-199.
- Chi, CM & ZC Wang, 2010. Characterizing salt-affected soils of Songnen Plain using saturated paste and 1:5 soil-to-water extraction methods. *Arid Land Research and Management*. 24 (1): 1–11.
- Costa, JL & P Godz. 1999. Aplicación de yeso a un natracuol del sudeste de la pampa deprimida. *Ciencia del suelo* 17: 21-27.
- Costa, JL & V Aparicio. 2000. Efecto del sodio en la degradación de los suelos del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 11ava Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo. 22 al 27 de Octubre de 2000. Buenos Aires. Argentina.
- Delage, P & G Lefebvre. 1984. Study of the structure of a sensitive Champlain clay and of its evolution during consolidation. *Canadian Geotechnical Journal*. 21, 21-35.
- Griffiths, FJ & RC Joshi. 1989. Change in pore size distribution due to consolidation of clays. *Geotechnique*, 39, 159-67.
- Hillel, D 1998. *Environmental Soil Physics. Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. Academic Press. Pp. 771. ISBN: 9780123485250.

- Jayawardane, NS & KY Chan. 1994 The management of soil physical properties limiting crop production in Australian sodic soils. A review. *Austr. J. of Soil Res.* 32 (1): 13-44.
- Lebron, I; DL Suarez & F Alberto. 1994. Stability of the Calcareous Saline-Sodic Soil During Reclamation. *Soil Sc. Soc. of Am. J.* 58: 1753 – 1762.
- Mendoza RE & LA Barberis. 1980. Efecto del agregado de yeso y el lavado a un suelo sódico de la depresión del Río Salado y su repercusión sobre la producción de *Lolium perenne* L. *Rev. de Inv. Agrop.* 15(2): 297-304.
- Mitchell, JK 1976. *Fundam. of Soil Behaviour.* pp.222-223. Wiley: New York.
- Otondo, J; EJ Jacobo & MA Taboada. 2015. Mejora de propiedades físicas por el uso de especies megatérmicas en un suelo sódico templado. *Ciencia del suelo.* 33(1): 119-130.
- Palancar, T; L Draghi; M Vázquez; P Spugnoli & E Soverini. 2006. Resistencia al corte de suelos salinizados y sodificados por riego artificial. Resumen en Actas e In extenso en CD-Rom del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 1ra Reunión de Suelos de la Región Andina. Salta y Jujuy. 19 al 22 de septiembre de 2006.
- Perroux, KM & I White. 1988. Design for disc permeameters. *Soil Sc. Soc. of Am. J.*, 52, 1205-1215.
- Qadir, M & S Schubert. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation and Development.* 13 (4), 275–294.
- Shainberg, I & J Letey. 1984. Response of soils to sodic and saline condition. *Hilgardia* 52: 1 – 57.
- Spugnoli, P & E Melani. 2005. Proprietà meccaniche degli aggregati di un suolo sodicizzato. AIIA2005. Catania. L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterránea. Codice Lavoro: 1006.
- Varallyay, G 2002. Environmental stresses induced by salinity/alkalinity in the Carpathian Basin (Central Europe) Symposium N° 33 Paper N° 1570. 17th World Congress of Soil Sciences. 14-21 de agosto 2002. Tailandia.
- Wong, VNL; RSB Greene; RC Dalal; BW Murphy; S Mann. 2006. Carbon dynamics in salt-affected soils. 18th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.