



*Ings. Agrs. Luciano Mieres, Rubén Campos, German Oprandi, Facundo Colombo, Fernando Rotella y Maria Ines Parodi (INTA Reconquista)
Ing. Agr. Sebastián Gambaudo (INTA EEA Rafaela)*

Los suelos halomórficos se caracterizan por presentar exceso de sales solubles. Grandes extensiones de estos “ambientes” se encuentran en los bajos submeridionales y en suelos planos del departamento 9 de julio, Santa Fe. Generalmente son de baja productividad y están asociados a la presencia de napas cercanas a la superficie y subsuelos salinos. También pueden presentarse afloramientos halomórficos en sectores de suelos agrícolas de mayor productividad, como es el estudio de caso que presentamos en este artículo.

Se denomina **suelos salinos** a los que poseen una predominancia de Cloruros y Sulfatos. En cambio cuando posee una alta proporción de Sodio intercambiable (PSI) se denomina **sódico**. En estas condiciones solo algunas especies vegetales adaptadas sobreviven debido a que la salinidad dificulta la absorción de agua y la sodicidad genera degradación estructural del suelo, deficiencias de algunos nutrientes y exceso de otros, presentando desbalances a plantas cultivadas (Lavado y Taboada, 2009)

Para rehabilitar estos suelos existen distintas técnicas que difieren en su grado de efectividad y nivel de inversión. La aplicación de altas dosis de **Sulfato**

de Calcio ha demostrado ser efectiva para disminuir el PSI del horizonte superficial en suelos sodicos, (Costa y Godz, 1998), mejorando la infiltración y la estabilidad estructural del suelo (Sasal et al., 2000), pero para una mayor factibilidad práctica y económica es necesario realizar una adecuada caracterización y diagnóstico de la situación.

Una herramienta para la caracterización de la variabilidad del suelo es la rastra Veris 3100 que, a través de un sistema de posicionamiento global (GPS) permite almacenar información georeferenciada resultante de la transmisión de corriente eléctrica por la fase líquida y sólida del suelo, censando la conductividad eléctrica aparente (CEa).

Este artículo presenta resultados de la utilización de la CEa como indicador de la heterogeneidad espacio-temporal del halomorfismo, su relación con determinaciones analíticas realizadas en laboratorio sobre muestras extraídas en 2010 en sitios específicos y, los cambios ocurridos en 2012 sobre dichos parámetros luego de la aplicación de distintas dosis de sulfato de calcio como práctica de rehabilitación de los ambientes afectados por sales.

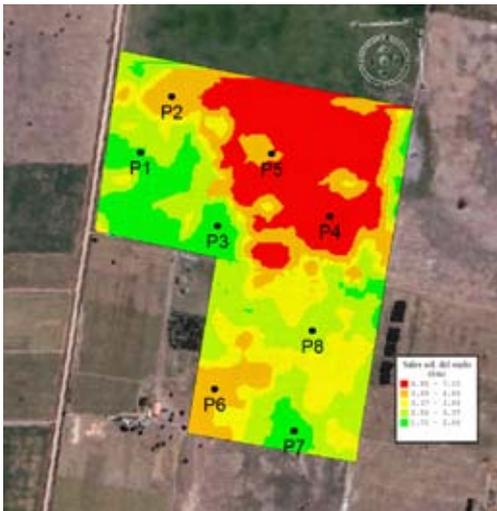


Figura 1: Mapa de CEa y Puntos de muestreo sitio específicos para la caracterización de ambientes.



Figura 2: Muestreo sitio específico del horizonte superficial en Punto 5.

Campo Andreu en el distrito Cuatro Bocas. 2010. Diagnóstico y caracterización

El establecimiento dedica 81 ha a la producción de pasturas de alfalfa y otros cultivos que son la base forrajera para la producción lechera. Los suelos son una asociación de subgrupo Hapludol típico (60%) y Hapludol éntico (40%) y poseen capacidad productiva alta. (Giorgi et al. 2009).

En un principio los suelos del establecimiento presentaban zonas con problemas para la implantación de cultivos, donde prospera el “Jume” (*Salicornia ambigua*) y otras especies, adaptadas a condiciones salino-sódicas.

El mapa de conductividad eléctrica aparente (CEa) generado de 0 a 30 cm de profundidad (Figura 1), permitió zonificar ambientes que luego fueron muestreados (Figura 2) y analizados en laboratorio obteniéndose información (Tabla 1) de varios parámetros químicos de suelo.

Tres ambientes con diferente condición (mejor, intermedia, peor) fueron diagnosticados. A juzgar por lo valores de materia orgánica (MO), nitrógeno orgánico total (Nt) fósforo extraíble (P), pH, capacidad de intercambio (CIC, los tres ambientes poseen fertilidad alta, media alta y media, respectivamente; sin embargo el ambiente peor, comparado con los otros ambientes descritos, posee mayores limitantes para el crecimiento de los vegetales, indicados por alta Conductividad Eléctrica y Sodio intercambiable (Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros químicos del suelo en los tres ambientes delimitados. Materia orgánica (MO), nitrógeno orgánico total (Nt) fósforo extraíble (P), pH, capacidad de intercambio (CIC), cationes intercambiables: Calcio (Ca), Sodio (Na), saturación de bases (SB) y conductividad eléctrica aparente (CEa) registrada con sonda veris de 8 sitios específicos de muestreo.

Ambiente	MO (%)	P (ppm)	C.E. (dS/m)	pH	CIC (meq/100)	Ca (meq/100)	Na (meq/100)	SB %	CEa Veris (meq/100)
Mejor									
Punto 1	3	77	0,6	6,1	15,9	9 (56%)	0,4 (2%)	82	2.7
Punto 3	3,6	72	1,2	6,0	17,4	10 (56%)	0,4 (2%)	83	2.4
Punto 7	3	95	1,0	6,5	14,4	9 (56%)	0,4 (2%)	84	2.6
Intermedio									
Punto 6	2,5	96	5,3	6,4	19,8	12 (59%)	1,2 (6%)	88	4.2
Punto 8	2,7	87	6,5	6,1	20,8	12 (59%)	1,1 (5%)	86	3.2
Peor									
Punto 2	2,08	108	21,8	5,8	34,3	18 (51%)	8 (22%)	90	4.6
Punto 4	2,8	127	38,7	7,3	42,7	27 (62%)	8 (19%)	98	6.7
Punto 5	2,5	96	16,8	5,8	33,9	21 (61%)	4 (11%)	90	4.4

Estas variables junto a la saturación de bases, analizadas en laboratorio, se relacionaron lineal y positivamente con la conductividad eléctrica aparente del suelo medida con sonda veris a campo ($R^2 = 0.97$; 0.89 y 0.77 respectivamente). Estos resultados permiten aseverar que la información de CEa del suelo, generada por sonda veris, es un indicador altamente fiable, apto para la caracterización espacial del halomorfismo en suelos molisoles del noroeste santafecino.

De similar manera para ambientes del centro de Santa Fe, Fontanetto et. al (2008) y Gambaudo et al. (2009) reportaron relaciones de la CEa y propiedades químicas del suelo, valorando su utilidad para la caracterización de la variabilidad espacial, y el posterior manejo por ambientes.

Las necesidades teóricas totales de aplicación de Sulfato de Calcio (100% de pureza) como corrector de suelos halomórficos se pueden determinar utilizando el siguiente modelo matemático, que se basa en el PSI inicial determinado en análisis de suelo y PSI objetivo:

$$\text{Kg yeso/ha} = 10,75 \times E \times Dap \times [(PSI_{in} - PSI_{obj}) / CIC]$$

Donde E es la profundidad del suelo en cm, Dap es la densidad aparente del suelo (1.1 a 1.5 g/cm^3), PSI_{in} es el porcentaje de sodio intercambiable inicial, PSI_{obj} es el objetivo y CIC es la Capacidad de Intercambio Catiónico.

Para esta experiencia se estimó necesidades de aplicación de 6600 kg/ha para la peor zona, 2300 kg/ha en la intermedia y 1000 kg/ha en la mejor. Factores operativos y financieros llevaron a recomendar la aplicación de dichos volúmenes de manera gradual en 6 años, con aplicaciones sucesivas de

1000 , 350 y 150 kg/ha año respectivamente para cada ambiente, realizando monitoreo de parámetros de suelo para caracterizar su evolución.

En el año 2010, se realizó la aplicación de dosis preestablecidas por ambiente (Figura 3). Para ello se generó, con los límites de ambientes del mapa de CEa, un nuevo mapa de prescripción de dosis de yeso. Este fue interpretado automáticamente por un sistema computacional de dosificación variable (Nitro 7200; DyE) instalado en la tolva boleadora de arrastre (Fértil 3000; Fertec) que mediante GPS interpreta la ubicación y trayectoria del equipo.

2011 y 2012. Monitoreo y evolución

Como puede observarse en tabla 2, los resultados del monitoreo de los parámetros realizado en 2011 en la peor zona (puntos 4 y 5) resultaron altamente satisfactorios ya que luego de un año de la aplicación de 1000 kg/ha de yeso, se encontró una disminución interanual del 90% del Sodio intercambiable, con valores muy inferiores a los críticos ($PSI < 7$) para especies vegetales no adaptadas (Pizarro, 1985). Así también en la zona intermedia donde luego de la aplicación de 350 kg/ha , el sodio intercambiable disminuyó 53% (puntos 6 y 8).

La segunda y tercer aplicación (2011-12) de la peor zona consistió en una sub dosificación acumulada de 700 kg/ha . Los parámetros de monitoreo medidos permiten interpretar un incremento de los niveles de sodio en los puntos 4 y 5. Sin embargo estos niveles se mantuvieron muy por debajo de los encontrados en 2010 al inicio de la experiencia.



Figura 3: Aplicación de sulfato de calcio en dosis variable.

Considerando los resultados encontrados en 2011 vs 2012, resulta importante a futuro sostener los niveles de aporte de Sulfato de Calcio considerados en el plan de rehabilitación para mantener bajos valores de PSI que permitan incrementar la infiltración y la estabilidad estructural del suelo, entre otras propiedades del suelo. Para reforzar estas acciones se considera importante realizar otras complementarias, como la implantación de especies que generen cobertura y disminuyan la evaporación directa de agua, ya que esto podría esta generar ascenso de sales a la superficie del suelo y contrarrestar las mejoras obtenidas. Resulta relevante para este proceso realizar estudios regionales que permitan determinar que especies vegetales son las más aptas para realizar dicha función.

Consideraciones finales

La utilización de la CEa se presentó como un correcto indicador de la heterogeneidad espacial del halomorfismo. Parámetros como la Saturación de bases, la conductividad eléctrica de suelo y el sodio intercambiable mostraron estrecha relación con el indicador (CEa) censado con la rastra.

La aplicación de dosis bajas de sulfato de calcio en el ambiente peor e intermedio, disminuyo los elevados niveles de Sodio Intercambiable a valores inferiores a los considerados críticos para las plantas cultivadas.

Bibliografía consultada:

Costa J L., Godz P. 1998. *The effects of gypsum applied to a natraquoll of the Flooding Pampas of Argentina. Soil Use and Managment* 14:246-247.

Fontanetto, H. ; Gambaudo S.; Albretch J.; Sosa N.; Boschetto H.; Meroi G. y Rufino P. 2009. *El Manejo sitio específico para la caracterización y manejo de suelos halomórficos. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Jornada Nacional de Agricultura de Precisión: Integrando tecnologías para una agricultura sustentable. 1ª ed. – Buenos Aires: Ediciones INTA 2009 (ISBN978-987-1623-21-1): 79-88.*

Gambaudo, S.; Fontanetto, H.; Albrecht, J.; Beccaria, G.; Boretto, D. y Boschetto, H. 2009. *Recuperación de suelos halomórficos mediante la agricultura de precisión. AFA Gacetilla del Departamento Técnico. Número 12:52-55.*

Lavado R. y M. Taboada. 2009. *Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez y las inundaciones. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires*

Pizarro, F. 1985. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 2da Edición. Ed. Agrícola Española S. A. 541 p.*

Sasal, C.; Andriulo, A.; Galetto, M.; Ferreyra, C.; Abrego, F.; Bueno, M.; Rimatori, F.; De La Cruz, M.A. 2000. *Efecto de la cobertura y de dos niveles de yeso sobre un suelo sodificado por riego complementario. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 8 p. Trabajo en CD.*

Tabla 2: Evolución del Sodio intercambiable (Na) de 2010 a 2012, en 8 sitios específicos de muestreo agrupados dentro de tres ambientes de manejo diferencial de la aplicación de sulfato de calcio como enmienda. (↓ = disminuye; ↑ = incrementa).

Ambiente	Na inicio (meq/100gr)	Yeso aplicado (kg/ha)		Na medido (meq/100gr)		Tendencia del problema		
		2010	2011-12	2011	2012	2010 vs 2011	2010 vs 2012	2011 vs 2012
Mejor								
Punto 1	0,4 (2%)	150	-	-	0,24 (1,6%)	-	↓	-
Punto 3	0,4 (2%)	150	-	-	0,29 (1,8%)	-	↓	-
Punto 7	0,4 (2%)	150	-	0,53 (1,2%)	0,3 (1,9%)	↓	↓	↑
Intermedio								
Punto 6	1,2 (6%)	300	400	0,56 (2,9%)	0,33 (2,1%)	↓	↓	↓
Punto 8	1,1 (5,3%)	300	400	0,53 (2,6%)	0,32 (1,9%)	↓	↓	↓
Peor								
Punto 2	8 (22%)	1000	700	-	2,79 (10,5%)	-	↓	-
Punto 4	8 (19%)	1000	700	0,36 (1,8%)	2,09 (7,7%)	↓↓	↓	↑