

Aplicación de sulfato de calcio a un suelo con alta concentración de sodio de origen natural

Application of calcium sulfate to a soil with a high concentration of sodium of natural origin

Johana Ballester¹, Amabelia del Pino¹, Mónica M. Barbazán¹

¹Universidad de la República, Uruguay

Autor de correspondencia: mbarbaz@fagro.edu.uy

Recibido: 25/09/2022. Aceptado: 7/08/2023

Publicado el 20 de diciembre de 2023

Resumen

La aplicación de enmiendas como sulfato de calcio (yeso agrícola) es una de las alternativas propuestas para mejorar algunas propiedades físico-químicas de suelos afectados por altos niveles de Na⁺. Para evaluar el efecto del yeso en un suelo con alto contenido de Na⁺ de origen natural se instalaron dos experimentos sobre una pastura de *Festuca arundinacea*: en el Experimento 1 se evaluaron cuatro dosis (0, 1, 2 y 3 Mg ha⁻¹) de dos presentaciones comerciales de yeso agrícola y en el Experimento 2, tres presentaciones comerciales de yeso y una fuente de azufre (S). En el Experimento 1, luego de 420 días de aplicados los tratamientos, se observó que el Na intercambiable se redujo un 22% mientras que el Ca intercambiable aumentó un 10% en los suelos con yeso en los primeros 20 cm del perfil. Además en estas parcelas el suelo presentó mayor penetrabilidad y humedad y la pastura rindió un 50% más de materia seca que las parcelas sin yeso. En tanto en el Experimento 2, la pastura presentó mayor la absorción de S en el suelo con enmiendas (yeso o S), respecto a las parcelas testigo, pero no se observaron diferencias entre enmiendas. Se concluye que el yeso agrícola fue efectivo en disminuir el Na intercambiable en la profundidad de suelo estudiada, aumentar el rendimiento y mejorar la calidad de la pastura.

Palabras clave: enmienda, macroporosidad, penetrabilidad, Na intercambiable, sulfato de calcio.

Abstract

Alternatives to improve some physical-chemical properties of soils affected by high levels of Na⁺. To evaluate the effect of gypsum in a soil with a high Na⁺ content of natural origin, two experiments were installed on a pasture of *Festuca arundinacea*: in Experiment 1, four rates were evaluated (0, 1, 2 and 3 Mg ha⁻¹) from two commercial sources of agricultural gypsum and in Experiment 2, three commercial sources of gypsum and one source of sulfur (S). In Experiment 1, after 420 days of applying the treatments, exchangeable Na decreased by 22% while exchangeable Ca increased by 10% in plots with gypsum in the first 20 cm of the profile. In addition, in these plots the soil presented greater penetrability and humidity and the pasture yielded 50% more dry matter than the plots without gypsum. While in Experiment 2, the pasture presented greater absorption of S in the soil with amendments (gypsum or S), compared to the control plots, but no differences were observed among the amendments. It is concluded that agricultural gypsum was effective in reducing exchangeable Na in the soil depth studied, increasing yield and improving pasture quality.

Keywords: amendment, macroporosity, penetrability, exchangeable Na, calcium sulfate

Introducción

Altas concentraciones de Na⁺ en los suelos producen dispersión de los coloides y pérdida de la macroporosidad, dificultando la germinación de semillas y exploración de las raíces. Además, específicamente en los tejidos vegetales el ion Na⁺ ocasiona perturbación en la membrana celular y deficiencia de iones como el potasio (K); incluso puede llegar a niveles tóxicos afectando el metabolismo de las plantas (Imbellone *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2011; Provin y Pitt, 2012; Alcaraz, 2012). En Uruguay los suelos con excesos de Na⁺ se atribuyen al material de origen como producto de las últimas transgresiones marinas y pueden encontrarse asociados a suelos de alta a mediana fertilidad (Durán y García, 2007). Las zonas donde se encuentran estos suelos con Na⁺ en exceso son generalmente improductivas, lo que implica una disminución del área aprovechable para los cultivos.

El yeso (Ca₂SO₄·2H₂O) como fuente de iones calcio (Ca⁺⁺) es la enmienda más comúnmente empleada para mejorar las propiedades físico químicas de los suelos afectados por Na⁺, ya que el Ca⁺⁺ desplaza al Na⁺ en el complejo de intercambio catiónico y promueve la floculación de los agregados (Costa y Godz, 1999; Sahin y Anapali, 2005; Brady y Weil, 2008; Bonadeo *et al.*, 2014). Polak (2011) observó que después de seis meses de aplicado yeso agrícola a un suelo, el nivel de Na⁺ intercambiable disminuyó de 1,10 a 0,25 cmol_c Na kg⁻¹ en los primeros 20 cm, siendo este uno de los pocos trabajos documentados en un suelo con alto nivel de Na⁺ de origen natural en Uruguay.

En este estudio se planteó evaluar el efecto de la aplicación de yeso sobre un suelo con un alto nivel de Na⁺ de origen natural y cuantificar el efecto sobre la producción de una pastura ya instalada en experimentos de campo dentro de una

región húmeda y templada.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El estudio fue realizado en un área ubicada dentro del campo de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (32°22'38''S - 58°2'52''W) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (Paysandú, Uruguay), sobre suelos donde predominan condiciones de fertilidad media a alta, de texturas finas como Argiudols y Hapludols que presentan Natrudols como suelos asociados (Durán y García, 2007). En la Tabla 1 se presenta las propiedades del suelo en el área seleccionada.

Tratamientos aplicados

Se instalaron dos experimentos contiguos sobre un área de aparente uniformidad de pendiente, vegetación y condiciones de pastoreo. El Experimento 1 se instaló en invierno (agosto de 2013) en parcelas con una dimensión de 18 m² y se evaluó por 420 días. Adjunto al Experimento 1, en la primavera (noviembre de 2013) se instaló el Experimento 2, en parcelas de igual tamaño, el cual se evaluó por 300 días.

El yeso agrícola (CaSO₄·2H₂O) utilizado presenta 23-24% de Ca, 18,6% de S y una solubilidad de 2,5g L⁻¹. Para este experimento se evaluaron tres presentaciones comerciales de yeso, denominadas A (yeso molido), B (yeso peleteado) y C (yeso en polvo). En el Experimento 1 se aplicaron los yesos A y B en las dosis de 1, 2 y 3 Mg ha⁻¹, dejando una parcela sin yeso (parcela testigo o control). En el Experimento 2 se emplearon las tres presentaciones de yeso en la dosis de 3 Mg ha⁻¹ y un tratamiento con azufre (99% S) en polvo, en una dosis equivalente a la cantidad de S aplicado con el yeso.

Tabla 1. Caracterización de las propiedades físico – químicas del suelo en los primeros 20 cm del perfil

Parámetro químico	Profundidad del suelo (cm)			Método
	0 - 5	5 - 15	15 - 20	
pH – agua	6.73	7.66	8.13	Relación suelo:agua 1:2.5
pH – KCl	5.52	6.23	6.62	Relación suelo:KCl 1:2.5
P (mg kg ⁻¹)	6.02	1.43	1.09	Bray -1
MO (%)	2.83	1.93	1.87	Walkley-Black
K (cmol _c kg ⁻¹)	0.87	0.84	0.96	Acetato de Amonio pH 7
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	2.33	2.73	3.70	Acetato de Amonio – pH 7
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	10.57	14.78	19.02	Acetato de Amonio – pH 7
Na (cmol _c kg ⁻¹)	2.30	3.40	5.87	Acetato de Amonio – pH 7
CE* (dS m ⁻¹)	0.38	0.71	1.41	Relación suelo: agua 1:1

* Promedio del análisis por triplicado de la muestra de suelo.

* Conductividad eléctrica.

En ambos experimentos, las enmiendas se aplicaron manualmente al voleo, en superficie sin incorporar en el suelo, sobre una pastura instalada de *Festuca arundinacea*.

La precipitación tuvo un promedio de 138 mm mensual durante el período del estudio, que lo ubica por encima del promedio mensual histórico (125 mm) en los últimos 15 años.

Muestreo de suelo y biomasa área de la pastura

En el Experimento 1 se realizaron muestreos de suelos a los 90 y 420 días luego de la aplicación del yeso, tomando con un calador automático muestras compuestas de suelos de cada parcela desde los estratos 0-5, 5-15 y 15-20 cm. En el Experimento 2 no se hizo muestreo de suelo.

El muestreo de la pastura se realizó por triplicado cortando toda la biomasa aérea de las plantas por encima de los 2,5 cm de altura desde el suelo, utilizando un marco rectangular de 24 x 45 cm. En el Experimento 1 el muestreo de la pastura se hizo a los 210 y a los 420 días luego de la aplicación de los tratamientos, mientras que en el Experimento 2 dicho muestreo se hizo a los 300 días de aplicados los tratamientos.

Procesamiento y análisis de las muestras

Las muestras de suelo se secaron en estufa a 40 °C para luego ser molidas hasta un tamaño < 2 mm, mientras que las de pastura se secaron a 60 °C y posteriormente se molieron hasta un tamaño < 0,5 mm.

En las muestras de suelo se determinó el pH por potenciometría (relación 1:2,5 suelo: agua o KCl) y los cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na) se extrajeron con acetato de amonio 1N a pH 7. En el muestreo de suelos realizado a los 420 días se determinó el contenido de humedad (por diferencia de peso) y la profundidad de penetración a presión constante empleando un penetrómetro.

El rendimiento de la pastura se estimó a través de la materia seca (MS) de las muestras de biomasa. La concentración de los cationes (Ca, Mg, K, Na) en la biomasa se determinó a través de la técnica de digestión seca. Para la determinación de S en planta, las muestras se enviaron al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA-Uruguay). En esas muestras se determinó el S total mediante detección por infrarrojo del SO₂ generado de la combustión de la muestra a 1350 °C.

Los cationes, tanto en las muestras de suelo como de biomasa, se determinaron a través de un Espectrómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 3300 (Ca y Mg por absorción atómica; K y Na por emisión atómica).

Análisis estadístico

En ambos experimentos se empleó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las comparaciones de medias entre tratamientos fueron realizadas con la prueba de Tukey. También se realizaron contrastes ortogonales. El programa estadístico utilizado fue Rstudio.

Resultados

Luego de 90 días de aplicados los tratamientos, las parcelas con yeso presentaron un nivel de Na intercambiable significativamente menor que las parcelas testigo en los primeros 5 cm del perfil y en la profundidad de 15 a 20 cm. En tanto, en el muestreo realizado luego de 420 días de aplicados los tratamientos el nivel de Na intercambiable fue significativamente menor en las parcelas testigo tanto a 5 a 15, como a 15 a 20 cm (Figuras 1a y 1b). No hubo diferencias entre los dos tipos de yeso en ninguna de las profundidades y muestreos analizados.

La aplicación de yeso al suelo generó un desequilibrio en el sistema y con el paso del tiempo se da un nuevo equilibrio (Armstrong *et al.*, 2015). Así, Milan y Bonadeo (2017) explican que el efecto del agregado de yeso se lo registra con evaluación a largo plazo. En el presente estudio se observa una disminución del Na intercambiable en el segundo muestreo al compararlo con el primer muestreo. El desequilibrio en el sistema suelo se produce debido a que los iones Ca⁺⁺ en la solución del suelo (provenientes de la disolución del yeso) sustituyen iones Na⁺ en el complejo de intercambio catiónico (Khan *et al.*, 2010).

Por otro lado se observó una mayor concentración de Ca intercambiable en las parcelas con yeso (Figuras 1c y 1d). A los 90 días de aplicar los tratamientos, en los primeros 5 cm del perfil se observó que el Ca intercambiable fue 20% mayor en las parcelas con yeso que en las parcelas testigo, mientras que a los 420 días esa diferencia fue menor (10%). En tanto, los valores de K y Mg intercambiables permanecieron constantes en los 20 cm del perfil del suelo en todos los tratamientos durante ambos muestreos (Tabla 2).

Las diferencias observadas en las concentraciones de Na y Ca intercambiable evidencian que el efecto de una única aplicación de yeso puede ser efectiva en los primeros 20 cm del perfil del suelo, aun siendo aplicado en superficie (sin incorporar). Los suelos con altos contenidos de Na intercambiable suelen presentar estructura prismática, lo que podría haber influido en el desplazamiento del yeso dentro del suelo en esa profundidad. Por debajo de los 20 cm los suelos con altos niveles de Na suelen presentar una capa poco permeable. Sharma (1971) y Longo *et al.* (2005) proponen la posibilidad de una readsorción del Na⁺ desplazado, dado que la presencia de dicha capa impide el lavado del Na⁺ a zonas más profundas del perfil.

Las dosis aplicadas pueden haber sido bajas en comparación con lo que se hubiera requerido según el valor promedio de Na intercambiable. Varios trabajos que obtuvieron una disminución mayor de Na intercambiable utilizaron dosis de yeso agrícola más altas. Por ejemplo Khan *et al.* (2010) utilizaron dosis de yeso de 8,5 a 15,3 Mg ha⁻¹. La posibilidad de readsorción del Na dentro del perfil del suelo, dosis relativamente bajas aplicadas y el tiempo de evaluación pueden haber sido determinantes para que el efecto de la

aplicación de yeso en este estudio no haya sido tan acentuado.

En relación a los cambios en el pH, el contenido de humedad y penetrabilidad del suelo en el muestreo realizado a los 420 días luego de la aplicación del yeso los resultados son promisorios.

El pH tendió a disminuir en las parcelas con yeso, aunque el efecto no fue significativo (Figura 2b). En tanto, el contenido de humedad del suelo fue mayor en las parcelas con yeso (Figura 2a) que en las parcelas testigo.

La penetrabilidad fue cuatro veces mayor en las parcelas

con yeso que en el tratamiento testigo, y además se observó mayor penetrabilidad en las parcelas con las dosis más altas de yeso (Figura 3).

La disminución del pH puede asociarse con los efectos de fuerzas iónicas que promueven la formación de complejos con el sulfato proveniente del yeso (Rengasamy y Olsson, 1991). Además, este efecto sobre el pH es constante en el tiempo hasta que la reserva del sulfato agregado se agota (González, 2006).

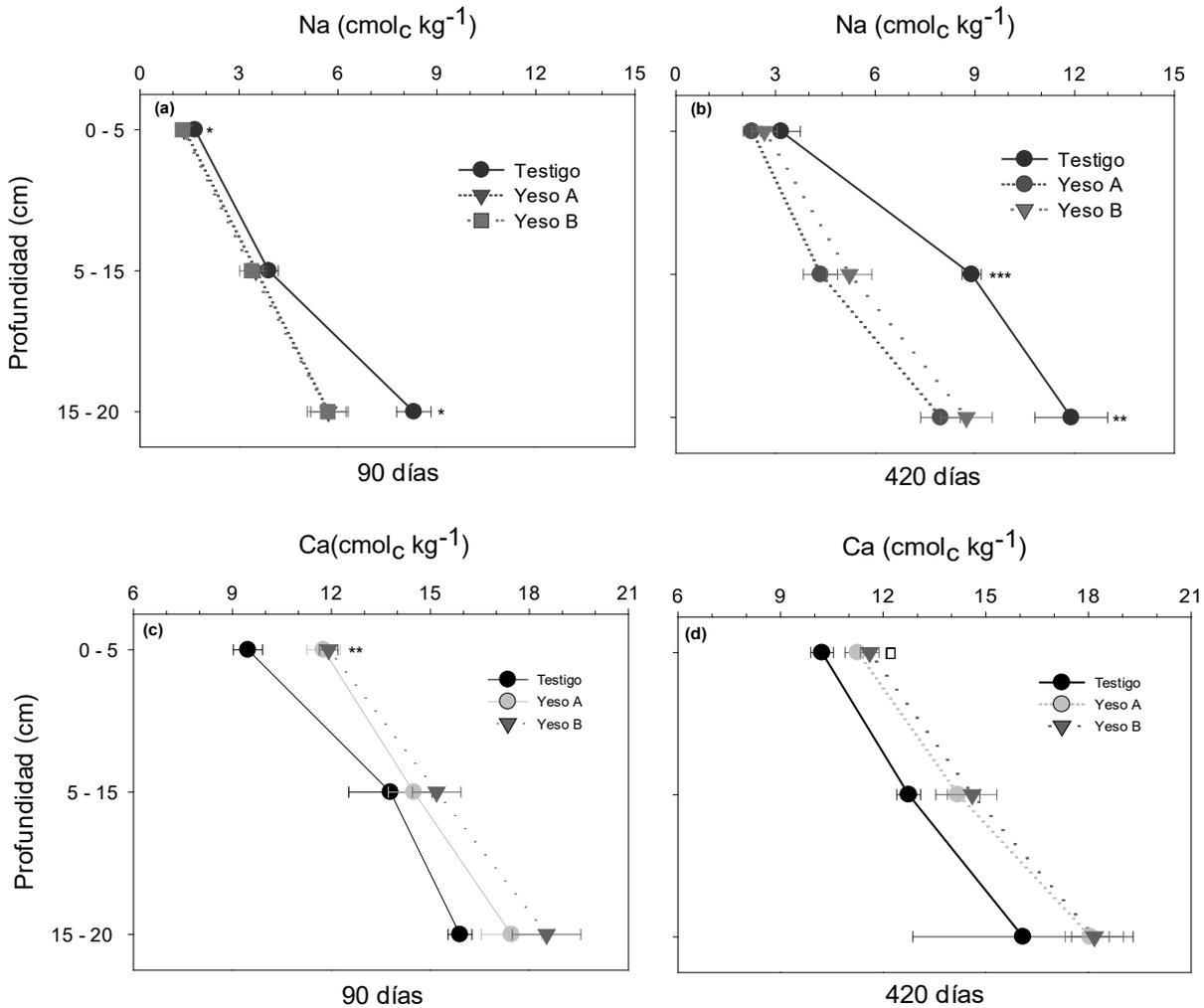


Figura 1. Cationes Na⁺ (a, b) y Ca⁺⁺ (c, d) intercambiables a los 90 y 420 días de aplicados los tratamientos, en función de la profundidad en el Experimento 1. Las barras indican el desvío estándar. ** indica diferencias significativas entre tratamientos en la profundidad indicada *** P < 0.001; ** P < 0.01; * P < 0.05; • P < 0.10

Tabla 2. Potasio y Magnesio intercambiables a los 90 y 420 de aplicados los tratamientos

Profundidad (cm)	Tratamiento	Muestreo a los 90 días		Muestreo a los 420 días	
		K	Mg	K	Mg
cmol kg⁻¹					
0-5	Yeso A	0.87	2.11	0.77	2.31
	Yeso B	0.74	2.10	0.83	2.25
	Testigo	0.84	2.14	0.91	2.58
5-15	Yeso A	0.85	2.58	0.82	3.23
	Yeso B	0.81	2.79	0.81	3.01
	Testigo	0.83	2.47	0.88	3.47
15-20	Yeso A	1.00	3.22	1.01	3.07
	Yeso B	1.02	3.39	0.94	2.90
	Testigo	1.06	3.53	1.10	2.30

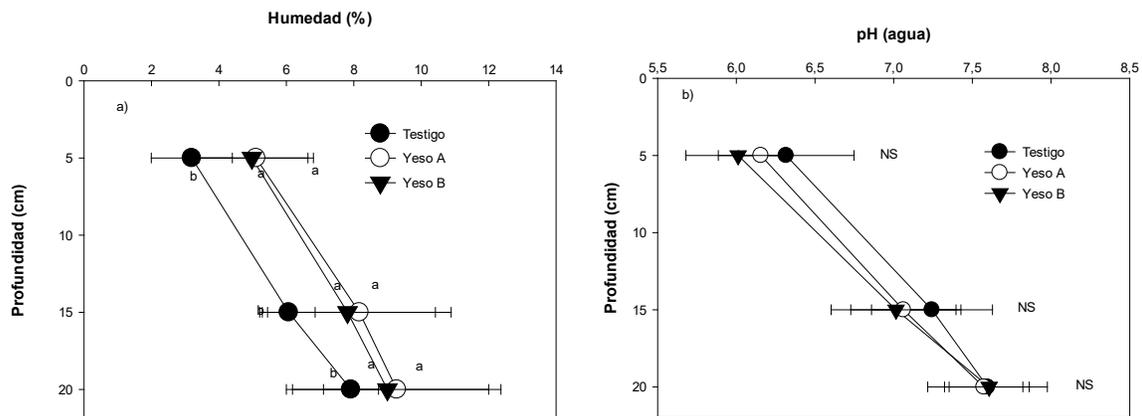


Figura 2. Contenido de humedad del suelo (0 a 20 cm) (a) y pH (b) con y sin con yeso luego de 420 días de aplicados los tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas en las medias de cada tratamiento ($P < 0.1$)

El desplazamiento del Na intercambiable por Ca genera una mejora en la estructura y la macroporosidad del suelo, que podría ser la razón del aumento en la penetrabilidad y el contenido de humedad (Lebron *et al.*, 2002). Además se produce una mayor exploración radicular, producto del alto rendimiento de la pastura. Sin embargo, para encontrar una mejora estructural del suelo por la aplicación del yeso se requeriría realizar una evaluación durante un plazo mayor al abarcado en este estudio.

El rendimiento acumulado de la pastura en las parcelas con yeso fue aproximadamente 50% mayor que en las parcelas sin yeso (Figura 4). En los dos cortes realizados, la absorción de K y de Mg fue similar para todos los tratamientos, incluyendo el testigo (Tabla 3).

En los dos cortes (a los 210 y a los 420 días de aplicados los tratamientos) la concentración de Na en la pastura fue mayor en las parcelas testigo y en la dosis baja de yeso, mientras que las concentraciones de Ca, si bien tendieron a ser mayores en las dosis altas de yesos, no llegaron a mostrar diferencias significativas. En las cantidades absorbidas, en cambio, no se observaron diferencias entre tratamientos en Na pero sí en las de Ca, donde en el primer corte se observó una mayor absorción de Ca en los tratamientos con yeso respecto al testigo (Tabla 3).

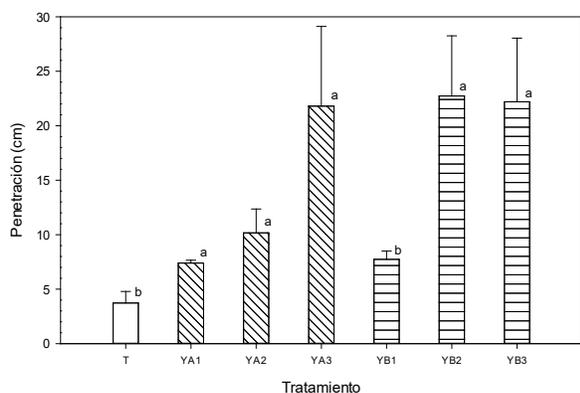


Figura 3. Penetrabilidad del suelo en el Experimento 1, luego de 420 días de aplicados los tratamientos: YA, YB: Yeso A y Yeso B; T: testigo. Los números representan las dosis de yeso aplicadas: 1, 2 y 3 Mg ha⁻¹. Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (P>0.10). Las barras indican el desvío estándar

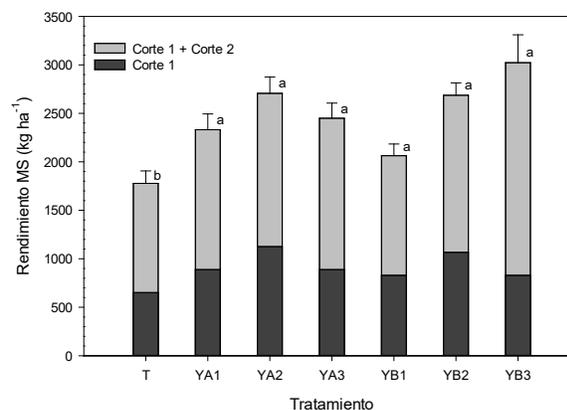


Figura 4. Rendimiento acumulado de *Festuca arundinacea* en el Experimento 1, a los 210 días (Corte 1) y 420 días (Corte 2) de aplicados los tratamientos: YA, YB: Yeso A y Yeso B; T: testigo. Los números representan las dosis de yeso aplicadas: 1, 2 y 3 Mg ha⁻¹. Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (P>0.10). Las barras indican el desvío estándar

Tabla 3. Concentración y absorción de K, Mg, Ca y Na en materia seca de *Festuca arundinacea* a los 210 y 420 días de aplicados los tratamientos

	Primer corte (210 días)				Segundo corte (420 días)			
	Concentración en materia seca (%)				Concentración en material seca (%)			
	K	Mg	Ca	Na	K	Mg	Ca	Na
YA1	1.20 bc	0.13 a	0.27 a	0.33 ab	1.13 a	0.18 a	0.59 a	0.27 ab
YA2	1.23 bc	0.10 a	0.27 a	0.20 c	0.94 a	0.11 a	0.50 a	0.17 b
YA3	1.23 bc	0.10 a	0.33 a	0.27 abc	1.08 a	0.16 a	0.62 a	0.22 b
YB1	1.03 c	0.10 a	0.40 a	0.20 c	0.97 a	0.14 a	0.61 a	0.20 b
YB2	1.03 c	0.10 a	0.37 a	0.23 bc	1.08 a	0.15 a	0.66 a	0.23 ab
YB3	1.37 bc	0.10 a	0.27 a	0.23 bc	0.95 a	0.12 a	0.58 a	0.18 b
T	1.73 a	0.13 a	0.33 a	0.37a	1.00 a	0.18 a	0.58 a	0.43 a
	Absorción (kg ha ⁻¹)				Absorción (kg ha ⁻¹)			
	K	Mg	Ca	Na	K	Mg	Ca	Na
YA1	12.5 a	1.1 a	2.5 b	2.2 a	15.6 a	2.4 a	8.0 a	3.8 a
YA2	13.8 a	1.3 a	3.2 ab	2.3 a	14.7 a	1.8 a	7.8 a	2.9 a
YA3	14.2 a	1.2 a	3.3 ab	2.9 a	15.1 a	2.3 a	9.1 a	3.1 a
YB1	9.4 a	0.9 a	3.4 ab	1.8 a	11.1 a	1.6 a	6.9 a	2.4 a
YB2	12.7 a	1.3 a	4.6 a	2.3 a	17.7 a	2.5 a	10.5 a	3.7 a
YB3	12.4 a	1.0 a	2.6 b	2.1 a	19.5 a	2.5 a	11.9 a	3.7 a
T	11.9 a	1.1 a	2.2 b	2.5 a	11.6 a	2.0 a	6.2 a	4.8 a

YA, YB: Yeso A y Yeso B; T: testigo. Los números representan las dosis de yeso aplicadas: 1, 2 y 3 Mg ha⁻¹. Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (P>0.10)

Los altos valores en el rendimiento de la materia seca y la mejora en la calidad de las pasturas es producto del aumento en los niveles disponibles de Ca y S (como sulfato) provenientes del yeso (Arévalo *et al.*, 2009; Rasouli *et al.*, 2013), y al consecuente aumento de la disponibilidad de otros nutrientes como el K (Yazdanpanah *et al.*, 2013). La absorción del Ca disponible reduce el Na en la pared celular y mejora el funcionamiento de la membrana plasmática (Chi *et al.*, 2012), mientras que la escasa absorción del Na está dada por la selectividad de las plantas (Bandera, 2013) y la disminución de la disponibilidad en el suelo.

Experimento 2

El rendimiento de las pasturas en las parcelas tratadas fue 80% mayor que las de las parcelas testigo (Figura 5). El rendimiento promedio de las parcelas con yeso (las tres fuentes) fue 6% mayor al de las parcelas a las cuales se agregó solamente S.

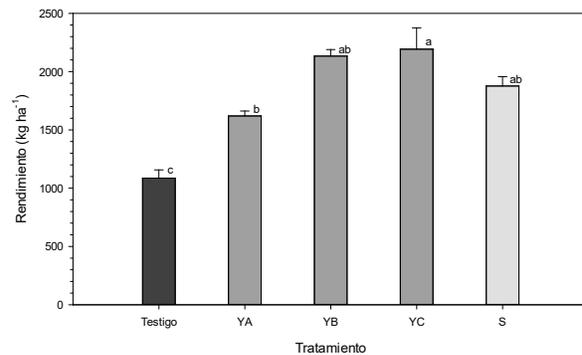


Figura 5. Rendimiento de la pastura de *Festuca arundinacea* en el Experimento 2 luego de 300 días de aplicados los tratamientos: YA, YB y YC: Yeso A y Yeso B y Yeso C; T: testigo; S: fertilizante azufrado. Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas ($P>0.10$). Las barras indican el desvío estándar

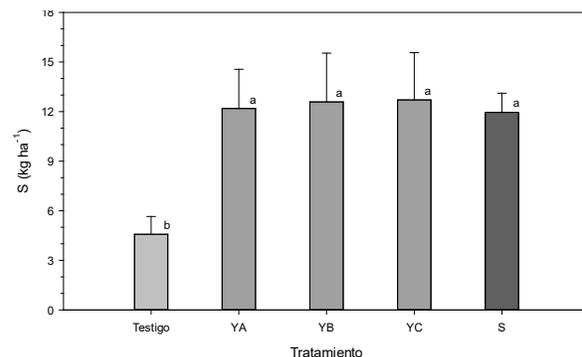


Figura 6. Absorción de S por la pastura de *Festuca arundinacea* en el Experimento 2 luego de 300 días de aplicados los tratamientos: YA, YB y YC: Yeso A y Yeso B y Yeso C; T: testigo; S: fertilizante azufrado. Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas ($P>0.10$). Las barras indican el desvío estándar

La absorción de S por parte de las pasturas fue tres veces mayor en las parcelas con yeso o con el fertilizante azufrado que en las parcela testigo (Figura 6), pero no hubo diferencias entre los tratamientos.

Al comparar los rendimientos obtenidos por la aplicación del fertilizante azufrado con los del yeso, es posible inferir que el yeso no solo actúa solo como mejorador de las condiciones del suelo, sino que, además, aporta el S necesario para mejorar la productividad de las plantas. La presencia del sulfato en el suelo a partir de la disolución del yeso probablemente tuvo un efecto de fertilizante que influyó en el rendimiento, de acuerdo a Longo *et al.* (2005).

Los resultados engloban una tendencia a la mejora tanto en las condiciones del suelo como en el comportamiento de los cultivos, lo que es reflejo del efecto positivo que produjo la aplicación del yeso (Loveday, 1976; Rasouli *et al.*, 2013).

Es importante destacar que la mayoría de las investigaciones sobre suelos afectados por Na^+ ha sido realizada en regiones áridas o semiáridas y esa condición del suelo generada por actividades antrópicas, mientras que este trabajo se realizó en un suelo con altos niveles de Na^+ de origen natural dentro de una región húmeda y templada.

Conclusiones

El agregado de yeso agrícola a un suelo con una pastura ya instalada de *Festuca arundinacea* disminuyó significativamente los valores de Na intercambiable. Este efecto fue observado hasta luego de 420 días de aplicados los tratamientos aun cuando el yeso no fue incorporado y mezclado con el suelo. Además, el agregado de yeso causó una mejora en la calidad y en la cantidad de la pastura, la cual aumentó la producción de materia seca hasta en un 80%. Por otro lado, sobre la base de los hallazgos observados en el presente estudio, se sugiere evaluar la aplicación de yeso agrícola por un plazo mayor y posiblemente con dosis más altas, así como también estudiar el destino del Na eliminado del complejo de intercambio catiónico.

Referencias bibliográficas

- Alcaraz, F.J. (2012). Salinidad y Vegetación. *Geobotánica: Universidad de Murcia*. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema18.pdf>
- Arévalo, E., Bonadeo, E., Lara, F., Amengual, C., Cerruti, A., y Milan C. (2009). Aplicación de calcio y magnesio sobre la producción de alfalfa en suelos "manchoneados" del centro de Córdoba. *Argentina: Agromercado: cuadernillo clásico de forrajeras* (149), 16 – 17. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/112-manchoneados_17.pdf
- Armstrong, R.D., Eagle, C., y Flood, R. (2015). Improving grain yields on a sodic clay soil in a temperate, medium-

- rainfall cropping environment. *Crop & Pasture Science*, 66, (5), 492 – 505. <https://doi.org/10.1071/CP14210>
- Bandera, R. (2013). *Rehabilitación de suelos salino – sódicos: evaluación de enmiendas y especies forrajeras* [tesis de magister, Universidad de Buenos Aires]. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5880>
- Bonadeo, E., Moreno, I., Baranda, A., y Milan, C. (2014). Changes in a sodic soil after gypsum application under dryland conditions. *European Scientific Journal*, 10 (27), 367 – 377. <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n27p%25p>
- Brady, N., y Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. New Jersey, Estados Unidos: Pearson Education INC.
- Chi, C.M., Zhao, C.W., Sun, X.J., y Wang, Z.C. (2012). Reclamation of saline – sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China. 2012. *Geoderma*, 187 – 188, 24 – 30. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.04.005>
- Costa, J.L., y Godz, P. (1999). Aplicación de yeso a un natracuol del sudeste de la pampa deprimida. *Ciencia del Suelo*, 17 (2), 21 – 27. http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_17n2/costa_21-27.pdf
- Durán, A., y García, F. (2007). *Suelos del Uruguay. Origen, clasificación, manejo y conservación*. Volumen I. Montevideo, Uruguay: Editorial Hemisferio Sur.
- González, A.P. (Ed.). (2006). *Bases para la Conservación de Suelos y Aguas en la Cuenca del Río Paraná*. Santa Fe, Argentina: Universidad de Entre Ríos.
- Imbellone, P.A., Giménez, J.E., y Panigatti, J.L. (2010). *Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/suelos-de-la-region-pampeana.-procesos-de-formacion>.
- Khan, J.M., Jan, M.T., Khan, A.U., Arif, M., y Shafi, M. (2010). Management of saline sodic soils through cultural practices and gypsum. *Pakistan Journal of Botany*, 42 (6), 4143 – 4155. <http://www.pakbs.org/pjbot/>
- Lebron, I., Suarez, D.L., y Yoshida, T. (2002). Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of American Journal*, 66 (1), 92 – 98. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.9200>
- Longo, A., Ferratto, J., Mondino, M., y Grasso, R. (2005). Incorporación de azufre y yeso en suelo salino – sódico: su efecto sobre el rendimiento y calidad de lechuga bajo invernadero. *Revista FAVE – Ciencias Agrarias*, 4 (1 – 2), 31 – 36. <https://doi.org/10.14409/fa.v4i1/2.1311>
- Loveday, J. (1976). Relative significance of electrolyte and cation exchange effects when gypsum is applied to a sodic clay soil. *Australian Journal of Soil Research*, 14 (3), 361 – 371. <https://doi.org/10.1071/SR9760361>
- Martínez-Villavicencio, N., López-Alonzo, C.V., Pérez-Leal, R., y Basurto-Sotelo, M. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia Chihuahua*, 5 (3), 156 – 161. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/694>
- Milan, C., y Bonadeo, E. (2017). Efecto de la aplicación de yeso sobre la capacidad productiva de un suelo sódico de alta variabilidad espacial. *Ciencia del Suelo (Argentina)*, 35 (2), 315 – 323. <https://ojs.suelos.org.ar/index.php/cds>
- Polak, G. (2011). *Agricultura de precisión para la corrección de ambientes con elevado valor de sodio intercambiable* [Tesis de Especialista en Fertilidad de Suelos y Fertilización, Universidad de Buenos Aires]. <http://repositorioub.sisbi.uba.ar/>
- Provin, T.; Pitt, J.L. (2012). Managing soil salinity. *Texas Agrilife Extension Service Publication*, E – 60 (5), 3 – 12. <http://soiltesting.tamu.edu/publications/E-60.pdf>
- Rasouli, F., Pouya, A., y Karimi, N. (2013). Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma*, 193 – 194, 246 – 255. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.001>
- Rengasamy, P., y Olsson, K.A. (1991). Sodicity and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, 29 (6), 935 – 952. <https://doi.org/10.1071/SR9910935>
- Sahin, U., y Anapali, O. (2005). A laboratory study of effects of water dissolved gypsum application on hydraulic conductivity of saline – sodic soil under intermittent ponding conditions. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 44 (2), 297 – 303. <https://www.jstor.org/stable/25562554>
- Sharma, M.L. (1971). Physical and physico – chemical changes in the profile of a sodic soil treated with gypsum. *Australian Journal of Soil Research*, 9 (2), 73 – 82. <https://doi.org/10.1071/SR9710073>
- Yazdanpanah, N., Pazira, E., Neshat, A., Mahmoodabadi, M., y Rodríguez, L. (2013). Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (II): Impact on nitrogen, phosphorous and potassium redistribution and on microbial respiration. *Agricultural Water Management*, 120, 39 – 45. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.08.017>