

RECUPERACIÓN DE SUELOS DISPERSIVOS POR MEDIO DE ENMIENDAS QUINTERO C.⁽¹⁾ ; BOSCHETTI N.⁽¹⁾; DURAND MORAT A.⁽²⁾; FETTOLINI S.⁽²⁾

- (1) Cátedra Edafología, Facultad Ciencias Agropecuarias- universidad Nacional de Entre Ríos – Argentina. cquinter@fca.uner.edu.ar
- (2) Egresados Facultad Ciencias Agropecuarias-UNER

Introducción

En la provincia de Entre Ríos existen suelos denominados genéricamente como “barreros”. Se trata de un conjunto de suelos con características similares en cuanto a su comportamiento; después de las lluvias permanecen muy húmedos por un tiempo prolongado y por el pisoteo de los animales se vuelven barrocos y compactos. Tienen un horizonte superficial de textura arcillosa y estructura débil, muchas veces masiva y son de baja productividad. En Entre Ríos se estima que existen aproximadamente 500.000 hectáreas de estos suelos, lo que representa alrededor de un 8% del área total (sin contar el Delta del Río Paraná), a lo que se suma una vasta extensión que es susceptible a degradarse hacia condiciones similares (Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos, 1980). Debido a su baja y poco estable macroporosidad, quedan muy húmedos y encharcados después de las lluvias, pero por otro lado, sufren más rápido la sequía. A un alto contenido de agua durante el período de inundación de la superficie, le continúa una alta tasa de evaporación y secado, seguido del encostramiento de unos pocos centímetros de espesor, que reduce la emergencia de las plántulas y representa una superficie seca donde el movimiento de agua es reducido y predominantemente en forma de vapor, dando como resultado un lento secado del suelo subyacente. Pueden originarse por causas tales como erosión, depositación de material de arrastre, exceso de agua, alto porcentaje de sodio intercambiable o una combinación de estos efectos (Rengasamy y Olsson, 1991; So y Aylmore 1993).

Es conocido que la acumulación de cationes dispersantes como el sodio en la solución del suelo, afecta negativamente algunas propiedades físicas del mismo, tales como la estabilidad estructural, la conductividad hidráulica y la tasa de infiltración, causando una reducción de su capacidad productiva. La corrección de suelos sódicos por la adición de yeso (CaSO_4) es una práctica generalizada en algunos países, sobre todos en aquellos en los que la superficie afectada por este problema es significativa. En nuestro país, esta técnica surge recientemente, generando dudas acerca de sus posibles beneficios y materiales a utilizar. También se conoce poco acerca de la interacción entre la sodicidad y la materia orgánica. En suelos sódicos, la materia orgánica ha mostrado tanto incrementos, como disminución de la dispersión de arcilla (Nelson et al. 1998).

Teniendo en cuenta estos antecedentes es que se planteó como objetivo evaluar el efecto del agregado de yeso y su interacción con la incorporación de materia orgánica y fertilizante químico, sobre distintas características físico - químicas del suelo y sobre la producción de biomasa forrajera en suelo “barrero”.

Materiales y Métodos.

Se realizó un ensayo a campo desde el año 1997 al 1999, en un establecimiento agropecuario del Departamento Tala, provincia de Entre Ríos. Se trabajó sobre un suelo Argiudol vértico, disperso, afectado por sodio, con baja salinidad y pH neutro (Cuadro 1) y de muy baja productividad.

Cuadro 1. Características físico-químicas iniciales del suelo.

pH	M.O. (%)	C.I.C. ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	Na ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	C.E. (dS m^{-1})	P.S.I. (%)	Pe (mg kg^{-1})
7,1	2,32	23,96	2,96	0,68	12,35	10,2

pH (potenciometría) relación suelo:agua 1:2.5; M.O.: materia orgánica (Walkley y Black); C.I.C.: capacidad intercambio catiónico (acetato de amonio 1 N pH = 7 - Jackson 1976); Na: sodio de intercambio (fotometría de llama -Jackson 1976); C.E.: conductividad eléctrica del extracto acuoso con relación 1:5 suelo:agua; P.S.I.: porcentaje sodio intercambiable; Pe: fósforo extraíble (Bray - Kurtz 1).

Se ensayaron 4 dosis de yeso solo (0, 3, 6 y 9 tn ha^{-1}), combinadas con 6 tn ha^{-1} de enmienda orgánica (cama de pollo parrillero) y con 150 kg ha^{-1} de Fertilizantes químicos, configurándose un total de 10 tratamientos (Cuadro 2). Las enmiendas y el fertilizante fosfatado fueron incorporados superficialmente con una pasada de disco de doble acción, aproximadamente 60 días antes de la siembra. Además en los tratamientos con fertilizante fosfatado se aplicaron 150 kg ha^{-1} de urea granulada al boleto al momento de la siembra de cada cultivo.

Cuadro 2: Tratamientos y dosis utilizadas en el ensayo.

Tratamiento Nº	Yeso (kg ha^{-1})	Enmienda orgánica (kg ha^{-1})	Fertilizante (SFT+UREA) (kg ha^{-1})
1	0	0	0
2	3.000	0	0
3	6.000	0	0
4	9.000	0	0
5	0	6.000	0
6	3.000	6.000	0
7	6.000	6.000	0
8	0	0	150+150
9	3.000	0	150+150
10	6.000	0	150+150

El primer cultivo forrajero fue avena amarilla y se sembró el día 05/05/97. En el mismo año, el 15 de noviembre se sembró sorgo forrajero y posteriormente avena consociada con trébol rojo, el día 10/05/98. El primer cultivo se hizo con mínima labranza y los dos siguientes en siembra directa.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completamente aleatorizados, con 3 repeticiones, en parcelas de 5 x 3 m dentro del gran cultivo. Se evaluó la biomasa aérea producida por los tres cultivos forrajeros consecutivos, en un total de 8 cortes, realizados previo al ingreso de los animales a pastorear, a una altura entre 5-7 cm en una superficie de 4.5 m^2 , siendo sometido el ensayo al mismo manejo del resto del lote.

Se tomaron muestras de suelo superficiales (0-20 cm profundidad) al momento de la instalación del ensayo, a los 5 meses, al año y a los 2 años, para hacer un seguimiento de las siguientes variables: pH (relación suelo:agua 1:2.5), contenido de sodio intercambiable (Acetato de amonio 1N), materia orgánica (Walkley y Black), estabilidad estructural (estimada por el índice de percolación [Ks] y estabilidad de agregados en agua, alcohol y benceno de Hènin).

Los análisis de varianza y test de diferencias de medias (LSD al 5%) fueron realizados con el programa InfoStat (2004).

Resultados y Discusión

1. Efecto de los tratamientos sobre las características físicas, químicas y fisico-químicas del suelo

Como resultado de la aplicación de yeso, disminuyó el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo, de 12,4 % a 4,6 % con la dosis más alta, al año de agregado. Esta disminución es atribuida al desplazamiento progresivo del ión sodio del complejo de cambio por el ión calcio y su posterior lixiviación a horizontes profundos. Conjuntamente se observó un incremento de la conductividad eléctrica que pasó de 0,35 a 1,49 dS m⁻¹.

La adición de yeso produjo una mejora de las condiciones físicas del suelo, lo que quedó evidenciado por el cambio producido en los índices de Hènin. Se encontraron diferencias significativas en los valores del índice de precolación (Ks) por efecto del yeso al año de agregado (Cuadro 3) lo que muestra que se produjo una recuperación de la estructura en la capa superficial. El nivel de percolación aumentó marcadamente, pasando de 7,8 a 18,5 cm h⁻¹, lo que indica que el yeso mejoró la entrada y el movimiento del agua en el suelo, favoreciendo así la disponibilidad de la misma para el desarrollo vegetal. Evidentemente la acción floculante del calcio junto con la disminución del sodio intercambiable y el aumento de la concentración de electrolitos en solución, permitieron una mejora en la estabilidad del sistema poroso (Loveday, 1976; Keren et al., 1983; Keren, 1996).

Cuadro 3. Índices de percolación (Ks) obtenidos al año de la aplicación de yeso.

Dosis de yeso (kg. ha ⁻¹)	Valores Ks (cm h ⁻¹)
0	7,8 a
3000	14,6 b
6000	18,5 b
9000	16,6 b

Letras iguales no difieren significativamente (Tukey p<0,05)

Otro indicador de la mejora en la estructura fue el significativo incremento en la cantidad de agregados estables al agua y al alcohol (Figura 1), siendo esta tendencia menos marcada para los agregados estables al benceno aspecto atribuible a que dicha fracción indica estabilidad causada principalmente por efecto de la materia orgánica, la cual disminuyó en los tratamientos con yeso. El aumento de agregados estables al alcohol se atribuye a la floculación y agregación de las partículas dispersas provocada por la adición de calcio.

Como puede observarse en el Cuadro 3 y Figura 1, la dosis de 3.000 kg ha⁻¹ de yeso fue suficiente para lograr altos valores de estabilidad de agregados y buena conductividad hidráulica, sin diferencias significativas con las dosis más altas. Tanto la enmienda orgánica como el fertilizante no tuvieron efectos positivos sobre la condición física del suelo.

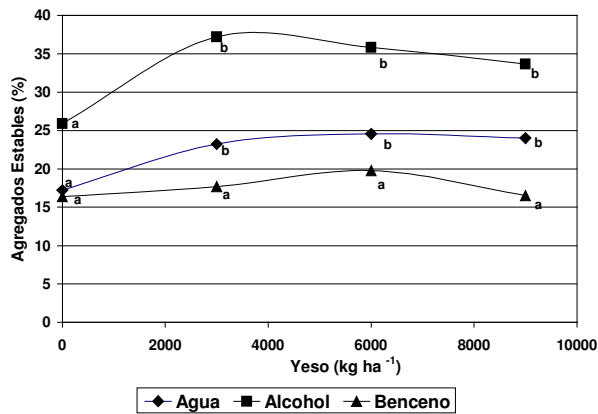


Figura 1. Porcentaje de agregados estables al agua, alcohol y benceno, en función de la dosis de yeso utilizada.

La adición de yeso provocó una disminución significativa del pH a los 5 meses ($P < 0.012$) e incluso al año ($P < 0.111$), indicando la continuidad de la hidrólisis del yeso aplicado, con la consecuente liberación de electrolitos acidificantes a la solución del suelo sin diferencias significativas entre las dosis de yeso utilizadas. A los dos años, la acción de la enmienda cálcica disminuyó marcadamente, posiblemente por un agotamiento de la misma, con la consiguiente disminución de la liberación del anión sulfato principal responsable de la reducción del pH provocada por el agregado de yeso (Figura 2). Rengasamy y Olsson (1991) encontraron que la aplicación de yeso a un suelo sódico neutral, disminuyó el pH entre 0,5 y 1 unidad, debido a efectos de fuerzas iónicas que favorecen la formación de complejos de cationes con el ión SO_4^{2-} , conduciendo a la reducción del pH..

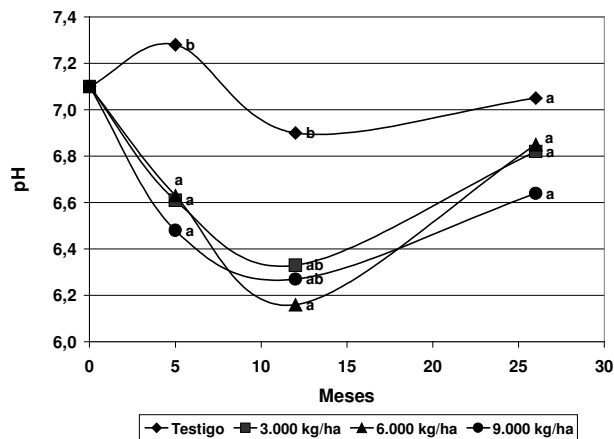


Figura 2. Variación del pH en función del tiempo en la distintas dosis de yeso utilizada. Letras distintas en cada fecha indican diferencias significativas (LSD - $P < 0,05$).

El contenido de materia orgánica al año de aplicado el yeso mostró una tendencia a disminuir, en forma proporcional a la dosis utilizada. El tratamiento testigo presentó un valor de materia orgánica de 3,58% el cual disminuyó significativamente al año de aplicado el yeso, a 2,88 %. Los resultados obtenidos en este trabajo, podrían ser interpretados como la consecuencia de una mejora en las condiciones físico químicas del suelo, las cuales influyen no sólo en la disponibilidad de agua para el cultivo, sino principalmente en el aumento del potencial redox del suelo, que favoreció la mineralización de la materia orgánica. Sin embargo al segundo año los niveles de materia orgánica se recuperaron, sin observarse diferencias significativas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de las dosis de yeso sobre la materia orgánica del suelo.

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas (LSD - $P < 0,05$).

Dosis de Yeso (kg ha ⁻¹)	MO al año (%)	MO al 2 ^{do} año (%)
0	3,58 a	3,05 a
3.000	3,36 ab	3,24 a
6.000	3,25 bc	3,29 a
9.000	2,88 c	3,28 a

2. Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca.

La producción total de materia seca tuvo un incremento significativo respecto del testigo, en respuesta a la dosis de yeso solo o combinado con enmienda orgánica o fertilizante (Cuadro 5), demostrando que la mejora del ambiente edáfico provocada por el yeso permitió una mayor eficiencia en el uso del fertilizante o la enmienda por parte del cultivo. El tratamiento testigo, junto con el fertilizado y la enmienda orgánica sola, produjeron entre 5 a 6 tn ha⁻¹ de materia seca, en un total de 8 cortes. Los tratamientos con yeso solo, alcanzaron entre 8 a 9 tn ha⁻¹, mientras que la combinación de yeso más fertilizante elevó la producción a 13-14 tn ha⁻¹.

Cuadro 5. Producción de materia seca en kg ha⁻¹ por cortes en el período evaluado

Tratam.	Av-1	Av-2	Sg-1	Sg-2	AvTr-1	AvTr-2	AvTr-3	AvTr-4	Total
1	200a	479ab	721a	1.078ab	121a	622a	1.255ab	1.887ab	6.363 ab
2	435ab	815	2.371bc	1.476abc	331ab	779ab	1.191ab	1.604ab	9.001abc
3	396ab	547abc	1.614abc	1.408abc	301ab	746ab	1.302ab	1.858ab	8.172 abc
4	365ab	605abc	1.520ab	1.489abc	345ab	749ab	1.561b	2.372b	9.070 bc
5	377ab	569abc	1.366ab	1.190ab	223ab	369a	464a	559a	5.117 a
6	511bc	689abc	2.032bc	1.246ab	211ab	868abc	1.166ab	1.465ab	8.187 abc
7	424ab	987abc	2.113bc	1.573abc	455b	1.212bc	1.751b	2.289b	10.804 cd
8	538bc	432a	2.808c	930a	288ab	442a	396a	351a	6.184 ab
9	765cd	1.189bc	4.399d	2.136c	290ab	1.336c	1.795b	2.253b	14.162 d
10	904d	1.238c	4.523d	1.873bc	325ab	1.325c	1.500b	1.674ab	13.363 d

Av-1: corte 1 de avena; **Av-2:** corte 2 de avena; **Sg-1:** corte 1 de sorgo; **Sg-2:** corte 2 de sorgo; **AvTr-1:** corte 1 de avena – trébol; **AvTr-2:** corte 2 de avena – trébol; **AvTr-3:** corte 3 de avena – trébol; **AvTr-4:** corte 4 de avena – trébol. Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas (LSD - $P < 0,05$).

Evidentemente los cambios favorables en la estructura y la conformación del sistema poroso producidos por el yeso, con la consecuente mejora en el movimiento de agua y gases en el perfil, contribuyó a la emergencia de los cultivos y al desarrollo radicular, aumentando la producción de materia seca (Cuadro 5). Estos resultados son coincidentes con los encontrados en otras investigaciones, donde se han registrado aumentos en la producción de materia seca, tanto de cereales como de especies forrajeras, producto de la mejora en las condiciones físicas y físico-químicas del suelo producidas por la enmienda con yeso (Mendoza, 1980).

Al acompañarse la enmienda cálcica con la adición de fertilizante, la biomasa forrajera se incrementó aún más, por lo que la eficiencia de utilización del fertilizante (kg MS / kg fertilizante) fue mayor cuando se combinó con yeso (Figura 3). El efecto del yeso se mantuvo hasta el final del período de evaluación, mientras que el agregado de fertilizante químico fue particularmente importante en el primer aprovechamiento del forraje, luego de cada aplicación de urea a la siembra, atribuyendo su efecto a una clara respuesta al nitrógeno adicionado.

En la figura 3 se resalta el aumento en la producción de materia seca que se logró con el agregado de yeso y fertilizante, siendo la combinación de 3.000 kg ha⁻¹ de yeso y 150 kg ha⁻¹ de urea y de superfosfato triple de calcio el tratamiento con el que se obtuvo la mayor producción total.

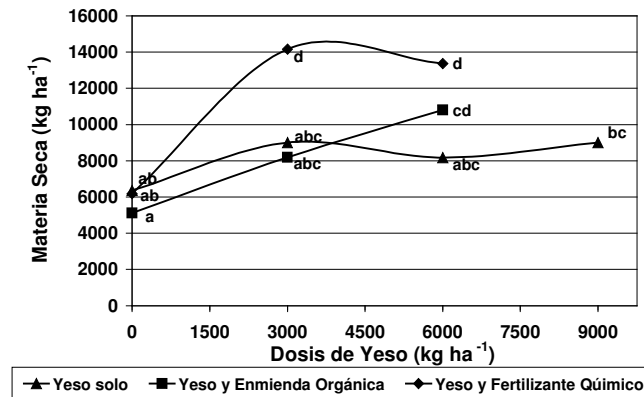


Figura 3. Producción de materia seca total para cada tratamiento, en función de la dosis de yeso utilizada. Letras iguales no difieren significativamente (LSD p<0,05)

Respecto al efecto de la enmienda orgánica (E.O.) sobre la producción, se registró un aumento casi lineal cuando se combinó con yeso, lo que puede atribuirse al aporte de nutrientes contenidos en la misma.

Al observar el impacto del fertilizante y la enmienda orgánica aplicados sin combinación con yeso, podemos ver que no se producen incrementos significativos de producción de materia seca, lo que pone de manifiesto la necesidad primaria de lograr una mejora física del suelo para que las prácticas ensayadas tengan un efecto positivo. Es decir que las limitantes físicas son el principal problema a resolver en un suelo con problemas de sodicidad por lo cual no se observan respuestas a la fertilización ni a la enmienda orgánica.

Conclusiones

- La enmienda con yeso representa una alternativa adecuada para corregir problemas de suelos dispersivos. La adición de yeso, mediante la disminución del Na intercambiable, produjo una recuperación en las condiciones físicas del suelo, repercutiendo en un incremento de la productividad de forraje y posibilitando una mejor utilización del fertilizante por parte del cultivo.
- La mejora del sistema poroso del suelo por adición de yeso quedó evidenciada en el cambio producido sobre la estabilidad estructural del sistema poroso del suelo y por el aumento en la mineralización de la materia orgánica.
- En cuanto a la determinación de la dosis de yeso a utilizar pudo observarse que 3 tn ha⁻¹ de yeso, fue suficiente para producir significativos cambios favorables en las condiciones físicas del suelo,
- Se pudo comprobar que los efectos positivos del yeso en el suelo se mantuvieron a lo largo del tiempo que duró el ensayo (26 meses).
- Sin la corrección de los problemas físicos con el yeso no se obtuvo respuesta a la fertilización ni a la enmienda orgánica.

Bibliografía

- Carlevaro, L.; Sensever, M. R. ; Benavidez, R. A. ; Meléndez, J. (1991). La estabilidad estructural de los suelos como parámetro de los efectos de su laboreo y cultivo. *Gaceta Agronómica*, Vol. XI, 64: 395-405.
- InfoStat (2004). *InfoStat versión 2004*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de
- Hènin S, Monnier G, Combeau A, 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.* 9: 73-92.
- Keren R. (1996). Reclamation of Sodic-Affected soils. In *Soil erosion Conservation and rehabilitation*. 353-374. Publisher information: Mercel Decker Inc.; NY.
- Keren, R.; Shainberg, I.; Frenkel, H.; Kalo, Y. (1983). The effect of exchangeable sodium and gypsum on surface runoff from loess soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:1001-1004.
- Loveday, J. (1984). Relative significance of electrolyte and cation exchange effects when gypsum is applied to a clay soil. *Aust. J. Soil Res.* 14; 361-372.
- Mendoza, R. (1980). Efecto del agregado de yeso a un suelo sódico de la depresión del Río Salado (Buenos Aires, R. Argentina) y su repercusión sobre algunas características fisico-químicas, microbiológicas y de producción de forraje. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. INTA, Buenos Aires, República Argentina. Volumen XV, N° 4.
- Nelson, P. N.; Baldock, J. A.; Oades, J. M. (1998). Changes in dispersible clay content, organic carbon content, and electrolyte composition following incubation of sodic soil. *Aust. J. Soil Res.*, 36, 883-97.
- Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos (1980). *Suelos y Erosión de la Provincia de Entre Ríos Tomo I*. INTA – Gobierno de Entre Ríos. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 1 (1° Edición). p:81-86.
- Rengasamy, P.; Olsson, K.A. (1991). Sodicity and Soil Structure. *Aust. J. Soil Res.* 29:925-32.
- So, H. B.; Aylmore, L. A. (1993). How do Sodic Soils Behave?. The effects of sodicity on soil physical behaviour. *Aust. J. Soil Res.* 31:761-77.