

APLICACION DE YESO A UN NATRACUOL DEL SUDESTE DE LA PAMPA DEPRIMIDA

J L COSTA, P GODZ

INTA-Balcarce C.C. 276 (7620) Balcarce, Bs. As. Argentina. E-mail jcosta@inta.gov.ar

GYPSUM APPLICATION TO A NATRAQUOLL OF THE ARGENTINE FLOODING PAMPAS

Sodic soils produce a poor soil-water-air relationship, which affects plant growth and makes tillage difficult in both humid and dry environments. Gypsum is the calcium source most widely used in sodic soils reclamation. The application of gypsum to a Natraquoll (Guido series, fine, illitic thermic) under pasture was evaluated in the humid Flooding Pampas of Argentina in a field experiment carried out with a complete randomized block design. Treatments included gypsum application of 0, 15, 35, and 60 Mg ha⁻¹. Gypsum applications of 35 and 60 Tn ha⁻¹ reduced significantly the sodium content in the underlying horizons, where the gypsum was not mixed with the soil. Depth of soil reclamation was higher with higher gypsum applications. Dry matter yields were higher in all gypsum treatments than in the control. This results, associated with a better pasture implantation, makes of gypsum application a possible practice for sodic soil in the flooding Pampas. The use of this technology by farmers will mainly depend on gypsum costs, which are directly linked to the existence of natural sources of gypsum near the application place.

Key words: Sodic soil. Reclamation. Gypsum. Ammendment. Salinity.

INTRODUCCION

Los suelos sódicos generalmente mantienen una pobre relación suelo-agua-aire la cual afecta el crecimiento de las plantas y hace dificultoso el laboreo del suelo tanto en condiciones de alta humedad como de sequía.

Bajo condiciones de alto pH, exceso de sodio intercambiable y baja concentración de electrolitos, las arcillas tienden a dispersarse produciendo costras superficiales que reducen la infiltración del agua y restringen el establecimiento y crecimiento de las plantas. El nivel crítico de sodio intercambiable que separa suelos con tendencia a la dispersión no está aún bien precisado y depende del tipo de suelo (Shainberg, Letely 1984; Shainberg *et al.* 1989).

El yeso aumenta la concentración de electrolitos a un nivel que permite el floculado del suelo manteniendo una adecuada infiltración del agua. Cuando se aplica yeso a un suelo la reacción de dilución-intercambio toma calcio de la solución del suelo lo que produce una disolución adicional de yeso, esta disolución está en función lineal con el contenido de sodio del suelo (Oster 1982; Costa, Godz 1998).

Si la concentración del suelo es baja en electrolitos el yeso previene el

encostramiento superficial. Frenkel *et al.* (1989) encontraron que la mayor disolución efectiva de yeso, la menor cantidad de agua para el lavado y la mayor conductividad hidráulica se obtuvieron cuando el yeso fue mezclado con todo el espesor del suelo que se deseaba recuperar. El yeso también aumenta la macroporosidad, estabiliza la microestructura de las arcillas (Gardner *et al.* 1992) y al reducir la formación de costras superficiales previene la erosión en surcos (Zhang 1996). Toogood, Cairns (1978) señalaron que aplicando yeso y mezclándolo con el horizonte A mejoraban las propiedades químicas de los horizontes A y Btn de suelos solonetz de Alberta, Canadá.

Mendoza, Barberis (1980) señalaron que al agregar yeso a un Natracualf de la serie Poblet Partido de Magdalena (Pcia. de Bs. As.), disminuyó el pH, la relación de absorción de sodio (RAS) y el PSI y aumentó la CE, y que la producción de materia seca a igual dosis de yeso estuvo en función de la intensidad de lavado. Lazovich *et al.* (1985) hallaron que el yeso fue la enmienda más eficiente para desplazar el sodio en un Natracuol de la serie Guido de Balcarce.

Los objetivos de este ensayo fueron: 1) evaluar el efecto de la aplicación de yeso al

suelo en la producción primaria de forraje y las propiedades químicas del suelo, y 2) verificar si el yeso aplicado en superficie y mezclado con el suelo puede mejorar las condiciones del horizonte nátrico.

MATERIALES Y METODOS

En un ensayo en bloques al azar completamente aleatorizado con cuatro repeticiones en un Natracuol Típico de la serie Guido se aplicaron los siguientes tratamientos: 0, 15, 35, 60 Mg ha⁻¹ de yeso todos con una base de fósforo equivalente a 50 kg ha⁻¹ de pentóxido de fósforo, los que llamaremos de aquí en adelante testigo, Y15, Y35, y Y60. Se utilizó yeso de cantera proveniente de la localidad de Juan N. Fernández Pcia. de Bs. As., con 80% de pureza. En marzo de 1982, las parcelas fueron aradas y disqueadas y en octubre del mismo año se aplicó el yeso, esparciéndolo a mano sobre las parcelas, e incorporándolo con rotobacter a 10 cm de profundidad. El contenido inicial de fósforo de este suelo fue de 5.2 mg kg⁻¹. Antes de iniciar el ensayo, en marzo de 1982, se tomaron muestras de suelo de 20 parcelas (50 m²) a cuatro profundidades, 0-10; 10-20; 20-30 y 30-45 cm de profundidad. Cada muestra fue compuesta por la mezcla de tres submuestras. En las muestras de suelo se determinaron conductividad eléctrica (CE), pH y cationes solubles en el extracto de saturación (Rhoades 1982), capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la solución saturante de acetato de amonio (pH=7) y el amonio desplazado con acetato de sodio (Chapman 1965). Los cationes intercambiables fueron desplazados con acetato de amonio (pH=7) (Thomas 1982). Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ de la solución fueron determinados con espectrofotómetro de adsorción atómica y Na⁺ y K⁺ con fotómetro de llama.

Los datos de RAS fueron ordenados de mayor a menor. De acuerdo a este orden se asignaron los bloques. Una vez asignadas las parcelas a los bloques, se calculó la necesidad de yeso para desplazar estequiométricamente todo el sodio de los 15 cm, 30 cm y 45 cm de suelo.

Durante el transcurso del experimento se realizaron muestreos del suelo hasta los 45 cm de profundidad en los años 1983, 1985, 1988, 1990 y 1993. En estas muestras se repitieron los análisis químicos mencionados anteriormente.

Se instaló un freatómetro a cuatro metros de profundidad y a 10 m del ensayo, con el cual se realizaron lecturas semanales de la profundidad del acuífero freático desde 1982 hasta 1993.

Después de aplicar la enmienda se mantuvo el ensayo en barbecho durante 10 meses, del 15/10/82 al 9/8/83, fecha en la cual se sembró una

pastura de raygrass perenne y trébol rojo. En el año 1991 se volvió a arar el ensayo y se sembró una pastura de agropiro y alfalfa. La producción de materia seca, tanto de la pastura de raygrass y trébol rojo como la de agropiro y alfalfa, se obtuvo cosechando 7 m² tomados del centro de cada parcela con segadora mecánica, a una altura mínima de 0,07m.

Los datos fueron analizados utilizando Statistical Analysis Systems (SAS. Institute, Inc. 1985). El análisis de varianza se determinó utilizando el procedimiento General Linear Model (GLM). La separación de medias entre tratamientos fue obtenida por el test de Least Significant Difference (LSD).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se detalla la CE del perfil en cuatro fechas de muestreo. La CE se incrementó a la profundidad en la que el yeso fue mezclado con el suelo (Costa, Godz 1998). En el año 1983 con 1100 mm de lluvia acumulada desde el momento de aplicación de la enmienda, el pico salino, producto del mezclado de yeso con el suelo, se desplazó de la superficie hasta los 15 cm de profundidad, detectándose a esta profundidad diferencias significativas entre los tratamientos Y35 e Y60 y el testigo. Estas diferencias se mantuvieron para las otras profundidades lo que demuestra que hubo lavado de sales que continuó en el muestreo del año 1985, con 2800 mm de lluvia acumulada. En el año 1988, después de haberse acumulado 6500 mm de agua de lluvia, el testigo alcanzó valores de CE superiores a los tratamientos con yeso hasta los 20 cm de profundidad. El mejoramiento de la infiltración producido por el yeso pudo ser la causa que permitió el lavado de sales generadas por la aplicación de yeso. Mantener una concentración de electrolitos suficientemente alta es de crucial importancia, dado que favorece la circulación de agua de la que depende el proceso de recuperación (Oster 1993). En el año 1993, con 10700 mm de lluvia acumulada, la totalidad de las sales (generadas por la aplicación de yeso) fueron lavadas de los primeros 45 cm del suelo.

Durante los 11 años de ensayo la CE del testigo fluctuó entre 1,48 y 3,19 dS m⁻¹ el valor máximo se registró en el año 1988 y el mínimo en 1993. Estas variaciones se debieron al balance entre precipitación y evapotranspiración lo cual a su vez condicionó la altura

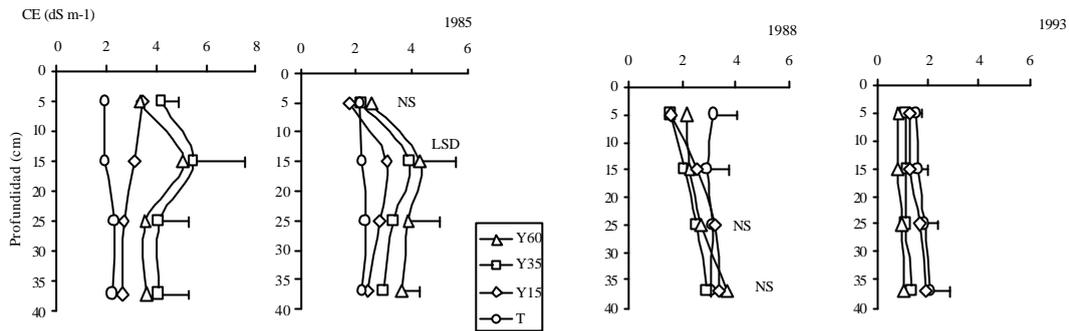


Figura 1. Conductividad eléctrica (CE) del suelo con el agregado de 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) y 60 (Y60) Mg ha⁻¹ de yeso. Letras distintas indican diferencias significativas (p<0.05).

Figure 1. Soil electrical conductivity (EC) with 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) y 60 (Y60) Mg ha⁻¹ of applied gypsum. Different letters indicate significantly differences (p<0.05).

del acuífero freático. Desde diciembre de 1987 a junio de 1988 el acuífero freático disminuyó de 30 a 100 cm de profundidad (Figura 2).

Este período de descarga evaporativa generó una concentración de sales en

superficie (CE=3,19 dS m⁻¹). Similares resultados se observaron en marzo de 1989, época en que el acuífero presentó los registros más bajos y la CE del testigo fue de 2,54 dS m⁻¹, coincidiendo también con un período de

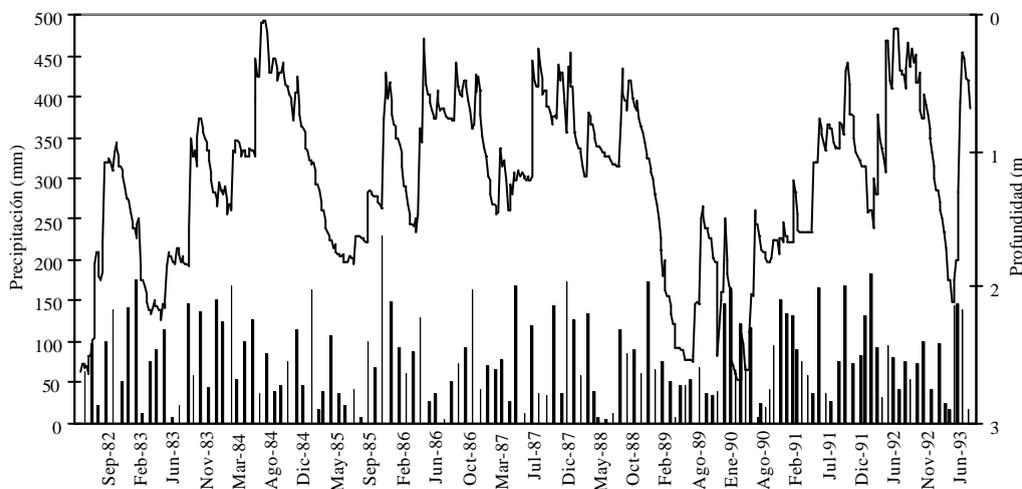


Figura 2. Profundidad del acuífero freático en el sitio del ensayo durante el período 1982-93.

Figure 2. Water table depth for the 1982-83 period measured in the place of the trial.

descarga. El muestreo del año 1993 coincidió con un período de recarga y se obtuvo el menor valor de CE (1,48 dS m⁻¹). Lavado, Taboada (1987), mencionan también disminuciones del contenido salino del horizonte A causadas por lluvias e incrementos de salinidad causados

por sequía en lotes bajo pastoreo en la localidad de Pila Pcia. de Bs. As.

En el año 1983 el pH de los tratamientos con yeso fue significativamente menor al del tratamiento testigo sólo a la profundidad de 10-20 cm, coincidiendo con

el pico de CE. En el año 1988 hubo diferencias significativas en los primeros 20 cm de todos los tratamientos con respecto al testigo y con valores por debajo de pH=8. En el año 1993 todos los tratamientos aumentaron sus valores de pH por encima de 8 (Figura 3).

De acuerdo a la ecuación: $pH = 5.983 - \log P_{CO_2} + \log \gamma_{HCO_3^-} - \log \gamma_{Ca^{2+}}$

(Ponnamperuma 1972) donde γ es coeficiente de actividad, al disminuir la concentración de calcio disminuye el pH y al aumentar los bicarbonatos aumenta el pH para un valor constante de presión parcial de CO_2 . Gupta, Abrol (1990) también sugieren que el pH de la solución de un suelo sódico puede cambiar en una unidad cuando la fracción molar de

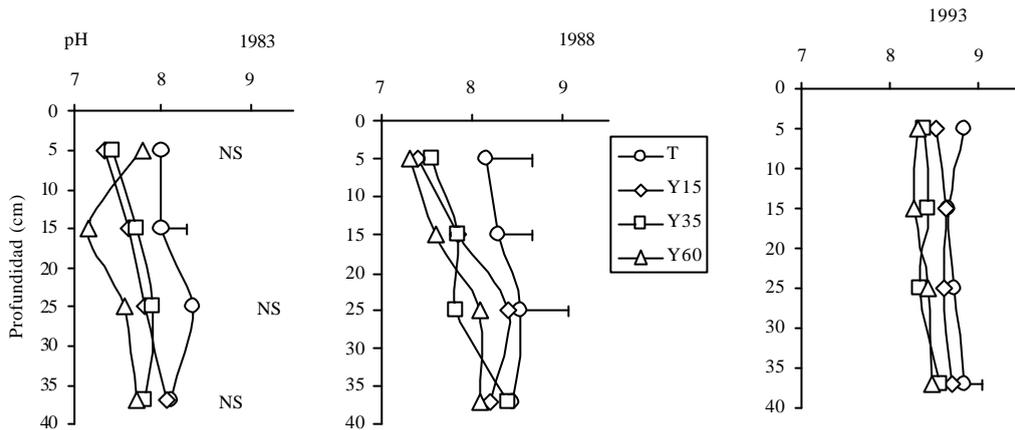


Figura 3. Valores de pH del suelo con el agregado de 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) y 60 (Y60) Mg ha⁻¹ de yeso. Barras horizontales indican desvío estándar.

Figure 3. Soil pH values with 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) and 60 (Y60) Mg ha⁻¹ of applied gypsum. Horizontal bars indicate standard deviation.

calcio intercambiable varía de 0,4 a 0,1. En nuestro caso, por ejemplo para el año 1988, el calcio en el extracto de saturación fue de 6,4 mmol_c l⁻¹ para el tratamiento Y60 y 0,4 mmol_c l⁻¹ para el testigo. En los tratamientos con yeso los sulfatos predominan entre los aniones debido al yeso aún presente, en cambio sabemos que el anión dominante en el testigo es el bicarbonato (INTA 1991), esto también explicaría las diferencias de pH entre tratamientos. Los valores altos medidos en el año 1993 pueden atribuirse a la completa disolución de yeso y lavado de sulfatos, la cual, una vez ocurrida hizo que sea el bicarbonato nuevamente el anión predominante.

Los valores de PSI del testigo sufrieron variaciones en los distintos muestreos, especialmente en los primeros 20 cm del suelo (Figura 4). En el año 1983 los tratamientos Y35 e Y60 tuvieron una reducción significativa del PSI hasta los 30 cm de profundidad y el tratamiento Y15 se diferenció

del testigo hasta los primeros 20 cm de profundidad. En general podemos concluir que el tratamiento Y60 siempre se diferenció del testigo sin enmienda hasta los 45 cm de profundidad, Y35 hasta los 30 cm e Y15, en 1988 y 1990, hasta los 20 cm de profundidad. Estos resultados indican que, para desplazar parte del sodio del horizonte nátrico, hay que agregar más de 30 Tn ha⁻¹ de yeso en superficie y mezclarlo con los primeros centímetros de suelo. Similares resultados se obtuvieron cuando se analizó el RAS en profundidad (Costa, Godz 1998). En el año 1993, si bien los valores de PSI del testigo aun eran significativamente diferentes de los tratamientos con agregado de yeso en los primeros 20 cm de profundidad, el PSI de las parcelas con yeso aumentó con respecto al año 1993, indicando, posiblemente, el agotamiento del yeso y el comienzo de la reversión del proceso de recuperación. Esto puede explicar también al aumento del pH registrado ese

mismo año.

Al implantar la pastura de raygrass perenne y trébol rojo, una rápida recuperación de la superficie del suelo permitió que la emergencia de plántulas fuese normal para los tratamientos con yeso. En cambio la

emergencia de plántulas en el testigo fue nula. Una lluvia intensa después de la asociada al alto contenido de sodio superficial en el testigo (PSI=40), produjo el encostramiento de la superficie del suelo. También se pudo observar que el suelo del tratamiento testigo se secaba

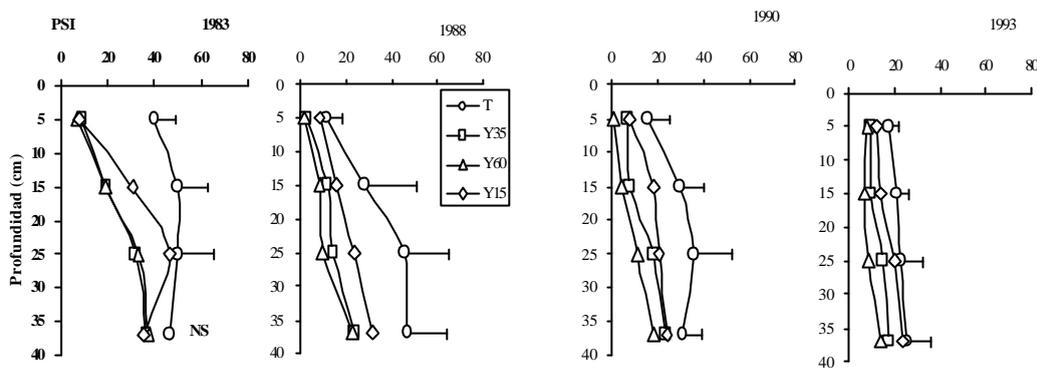


Figura 4. Porcentaje de sodio de intercambio (PSI) del suelo con el agregado de 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) y 60 (Y60) Mg ha⁻¹ de yeso. Barras horizontales indican desvío estándar.

Figure 4. Soil exchangeable sodium percentage (ESP) with 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) and 60 (Y60) Mg ha⁻¹ of applied gypsum. Horizontal bars indicate standard deviation.

en superficie (1 cm), lo cual fue un impedimento para la emergencia de las plántulas. En los tratamientos con yeso (PSI=9) las condiciones de la cama de siembra fueron óptimas y la emergencia fue normal. Similares resultados han sido mencionados en la literatura, por ejemplo en Australia, para mejorar la emergencia de trigo en suelos sódicos con tendencia a dispersarse (Howell 1987).

En la Figura 5 se muestran los rendimientos promedios de cada una de las seis campañas de las cuales cinco corresponden a la pastura de ray grass y trébol rojo y la campaña de 1992 a 93 a la de agropiro y alfalfa. Con excepción de la campaña 1992-93 en las restantes se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos con yeso y el testigo. Esto pudo deberse a dos razones: por un lado esa fecha coincide con el comienzo de la reversión del proceso de recuperación y por otro a que la nueva pastura implantada tuvo en su composición al agropiro, especie adaptada a condiciones de sodicidad. En dos campañas consecutivas, 1985-86 y 1986-87, hubo,

además, diferencias entre las dosis de 15 y 60 Mg ha⁻¹ de yeso.

CONCLUSIONES

El agregado e incorporación de yeso en los primeros 10 cm del suelo, bajo condiciones de secano, redujo los valores de sodio superficiales. Con 15 Mg ha⁻¹ se mejoraron los primeros 20 cm de suelo. Con dosis más elevadas (35 y 60 Mg ha⁻¹) fue posible reducir significativamente los contenidos de sodio en los horizontes subyacentes, donde el yeso no fue mezclado con el suelo. Para alcanzar a reducir el sodio hasta los 45 cm de profundidad fue necesario aplicar 60 toneladas de yeso por hectárea. Después de 10 años se comenzó a revertir el efecto del enyesado. La mejora del suelo inducida por el agregado de yeso favoreció la implantación de pasturas y duplicó la producción primaria de forraje. La incorporación de esta tecnología dependerá, fundamentalmente, del costo de aplicación del yeso, que está estrechamente ligado con la disponibilidad yacimientos de este compuesto en las cercanías del lugar de aplicación.

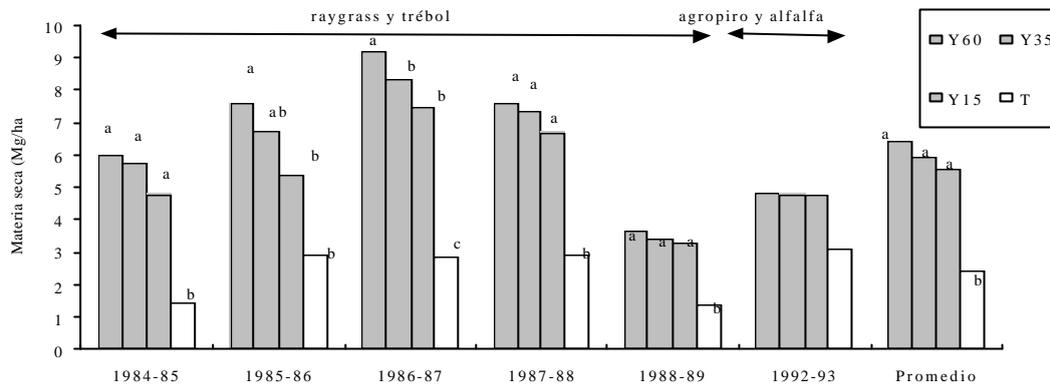


Figura 5. Rendimiento promedio anual de materia seca (MS) y promedio total de seis campañas de dos pasturas que recibieron los siguientes tratamientos: 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) y 60 (Y60) Mg ha⁻¹ de yeso. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Figure 5. Annual average yield of dry matter (MS) and overall average of the six pasture cutting seasons which received the following treatments: 0 (T), 15 (Y15), 35 (Y35) and 60 (Y60) Mg ha⁻¹ of applied gypsum. Different letters stand for significant difference ($\alpha = 0.05$).

AGRADECIMIENTOS

Nuestro especial agradecimiento a M. Latorraca por su colaboración en el análisis de las muestras de suelo y a L. Alonso por su colaboración en la toma de muestras y el seguimiento del ensayo a campo.

REFERENCIAS

- Chapman H D. 1965. Cation exchange capacity. En: C. A. Black *et al.* (ed.). Methods of soil analysis. Agronomy 9:891-901. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wis.
- Costa J L., Godz P. 1998. The effects of gypsum applied to a natraquoll of the Flooding Pampas of Argentina. Soil Use and Management 14:246-247.
- Frenkel H, Gerstl Z, Alperovitch N. 1989. Exchange-induced dissolution of gypsum and the reclamation of sodic soils. Soil Sci. 40:599-611.
- Gardner W K, Fulton M C., Flood R G. 1992. Reclamation of failed subsurface drainage system on unstable clay soil. Austr. J. Exp. Agric. 31:93-97.
- Gupta R K, Abrol I O. 1990. Salt-affected soil: their reclamation and management for crop production. Advances in Soil Sci. 11:224-288.
- Howell M. 1987. Gypsum use in the wheat belt. J. Agric. W. Aus. 28:40-43.
- INTA. 1991. Cartas de suelo de la República Argentina. Hoja 3757-31-2, Balcarce.
- Lavado R S, Taboada M A. 1987. Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland

soil in the Flooding Pampa of Argentina. Soil Use and Management 3:143:148.

- Lazovich M R, Costa J L, Godz P. 1985. Efecto de enmiendas y lavado sobre el desplazamiento cationico y sobre la producción de materia seca de un Natracuol, en invernáculo. Ciencia del Suelo 3:95-101.
- Mendoza R E, Barberis L A. 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. RIA 2:397:304.
- Oster, J D. 1982. Gypsum use in irrigated agriculture: a review. Fertilizer Research 3:73-79.
- Oster J D. 1993. Sodic soil reclamation. En: Towards the rational use of high salinity tolerant plants (Ed. H. Leith, A. Al Marsoom). Kluwer Academic Publisher. The Netherland 1:485-490.
- Ponnamperuma F N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron 24:29-96.
- Rhoades J D. 1982. Soluble Salts. En: Page, A. L., R.H. Miller, D. R. Keeney (ed.) Methods of soil analysis, Agronomy 9 Part 2, pag.167-178.
- SAS Institute, Inc. 1985. SAS user's guide. Statistics. Version. 5th ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Shainberg I, Letey J. 1984. Response of soil to sodic and saline conditions. Hilgardia 52.
- Shainberg I, Summer M E, Miller W P, Farina M P, Pavan M A., Fey M V. 1989. Use of gypsum on soil: a review. En Stewart B. A.(Ed.) Adv. Soil Sci. 9:1-101.

- Thomas G W. 1982. Exchangeable cations. p.159-165. En: A. L. Page et al. (Eds.) *Methods of soil analysis, Part 2*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Toogood J A, Cairns R R (Eds.). 1978. *Solonetzic soils technology and management*. Bull. B-78-1, Univ. Alberta, Edmonton Canadá, pag 82-84.
- Zhang X C, Miller W P. 1996. Physical and chemical processes affecting runoff and erosion in furrows. *Soil Sci. Am. J.* 60:860-865.