



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**

**INFORME DE TRABAJO FINAL DE CARRERA**

“Evaluación de propiedades físicas en suelos sódicos, en distintas especies forrajeras  
con diferentes aplicaciones de yeso”

**Carrera:** Ingeniería Agronómica

**Alumna:** Laoretani, Erica Anahí

**Nº de Legajo:** 26136/7

**DNI:** 34172481

**Dirección de correo electrónico:** ericalaoretani@gmail.com

**Teléfono:** (221) 15-4982910

**Director:** Dr. Rafael Villarreal. Área de Física Aplicada, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

**Codirector:** Dr. Luis A. Lozano. Área de Física Aplicada, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

**Fecha de presentación:** 21/05/2019

## **1- INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes Generales.**

Los suelos salinos-sódicos están ampliamente distribuidos en todo el planeta. Estadísticas a nivel mundial reflejan que los suelos salinos y sódicos cubren una superficie de 8.369.000 km<sup>2</sup> (FAO, 2011), es decir el equivalente a tres veces la superficie de Argentina. En la República Argentina hay aproximadamente 85.000.000 ha afectadas por exceso de sales y sodio, incluyendo los ambientes áridos y semiáridos del país (Szabolcs, 1979). En la provincia de Buenos Aires, el 24 % de la superficie (7,08 millones de hectáreas) está ocupada por suelos hidrohalomórficos (Natracuoles, Natracualfes, etc.) donde al menos, el 68 % de los mismos (4,75 millones de hectáreas) se hallan en la Pampa deprimida (Miaczynski, 1995).

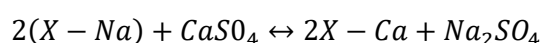
Un suelo se considera sódico desde el punto de vista taxonómico (Soil Survey Staff, 2006) cuando el porcentaje de sodio (Na) intercambiable (PSI) es superior al 15 % respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y su conductividad eléctrica (CE) es menor a 4 mmhos.cm<sup>-1</sup>. En el caso que cumpla con PSI y su CE es mayor a 4 mmhos.cm<sup>-1</sup> son considerados suelos salinos-sódicos. 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 encostramiento superficial, que reduce la infiltración del agua y restringe el establecimiento y crecimiento de las plantas. Es por esto que el estudio de diferentes técnicas de manejo para la mejora de este tipo de suelos es necesario para evaluar el impacto ambiental de la producción agropecuaria en la Región Pampeana Argentina.

### **1.2. Efecto de enmiendas sobre propiedades físicas y químicas del suelo.**

Existen diferentes técnicas de manejo para la rehabilitación de este tipo de suelos. La aplicación de enmiendas químicas, como el yeso o sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), es el método más difundido en el mundo para recuperar suelos sódicos degradados y mejorar varias propiedades físicas del mismo. En estos suelos se utiliza con la finalidad de desplazar al sodio. Es importante destacar que el yeso también se utiliza para recuperar suelos acidificados por pérdida de bases Ca y Mg (Vázquez et al., 2012).

Para lograr una mejora en los suelos sódicos, la incorporación de enmiendas debe cumplir con dos etapas:

- 1º El  $\text{Ca}^{+2}$  del yeso debe reemplazar al  $\text{Na}^+$  intercambiable hacia la solución del suelo, produciéndose la reacción que se detalla a continuación:



Donde X es un coloide intercambiador

- 2º Lavado en profundidad del  $\text{Na}^+$  reemplazado.

Este segundo paso requiere de condiciones de drenaje adecuadas. Generalmente, en nuestra región los suelos sódicos están en las posiciones deprimidas del paisaje, asociados a napas de escasa profundidad y presentan horizontes subsuperficiales con elevada dispersión, lo que hace que el movimiento descendente del agua sea muy dificultoso mostrando bajas tasas de infiltración (Otondo et al., 2015). Son varios los estudios que analizaron el efecto de la adición de yeso y su impacto en las propiedades químicas en suelos de la Región Pampeana. Mendoza y Barberis (1980) realizaron un ensayo sobre un suelo Natracualf de la serie Poblet en el partido de Verónica (Pcia. de Buenos Aires), concluyendo que el agregado de yeso indujo una evolución del suelo sódico a la condición de salino-sódico, disminuyendo su pH, RAS y PSI y aumentando su CE. Estas pruebas fueron realizadas en cilindros plásticos en los que el suelo era drenado con agua desmineralizada. Asimismo, un trabajo realizado por Costa y Godz

(1998) en el cual fue agregado e incorporado yeso en los primeros 10 cm del suelo, bajo condiciones de secano, redujo los valores de sodio superficiales e incrementó la CE a la profundidad en la que el yeso fue mezclado con el suelo; en cuanto al PSI y RAS se observó una reducción significativa en los tratamientos de dosis más elevadas de yeso. Un trabajo similar fue realizado por Lazovich et al. (1985) sobre un suelo Natracuol típico de la localidad de Balcarce. El objetivo del mismo fue evaluar diferentes enmiendas químicas, concluyendo que el yeso fue la más eficiente en desplazar el  $\text{Na}^+$ . Pita (2017) estudió las propiedades físicas de suelos sódicos y su impacto en el crecimiento y absorción radical en el cultivo de maíz; este autor encontró resultados similares a los anteriores, observando una marcada reducción en el PSI, cuyo valor tiende a hacerse asintótico a 2 % frente a distintas cantidades de aumento de yeso, acompañado de un incremento en los valores de conductividad hidráulica saturada ( $K_0$ ).

Por otro lado, las propiedades físicas e hidráulicas son factores claves en lo que respecta a la dinámica del agua y de solutos en el suelo (Malone et al., 2003, Alletto y Coquet, 2009). La medición de las propiedades hidráulicas del suelo, tales como conductividad hidráulica a diferentes presiones de entrega agua ( $h$ ), y la cuantificación de la macro y mesoporosidad conductora de agua ( $\epsilon_{ma}$ ,  $r > 0,5$  mm, y  $\epsilon_{me}$ ,  $0,5\text{mm} > r > 0,25$ ) son importantes para la comprensión del comportamiento físico del suelo, y por lo tanto la mejora en las predicciones de la producción agrícola y el impacto ambiental (Strudley et al., 2008). Cameira et al. (2003) mostraron que la macroporosidad del suelo tiene una gran influencia en el flujo de agua, a pesar de ocupar una pequeña fracción de la porosidad total. Las propiedades de la red de macroporos, es decir su volumen y continuidad, tienen un gran impacto en la infiltración del agua en el suelo (Hillel, 1998). Algunos autores encontraron que el agregado de yeso en suelos sódicos también aumenta la macroporosidad y estabiliza la microestructura de las arcillas (Gardner et al., 1992). Muller et al. (2012) estudiaron los efectos de la aplicación de yeso en superficie sobre la calidad estructural de suelos bajo siembra directa (SD); estos autores

mencionan que cincuenta meses después de la aplicación de yeso, entre 0 y 7,5 cm de profundidad algunos macroporos se convirtieron en microporos, mientras que en el intervalo comprendido entre 7,5 y 15 cm de profundidad la porosidad del suelo se incrementó y la densidad aparente se redujo, lo que representó una ganancia de calidad estructural. En este sentido, la aplicación de yeso disminuye el PSI, mejora la infiltración, reduce la compactación del suelo y, en consecuencia, mejora la producción de cultivos (Abdel-Fattah et al., 2015).

Se ha reportado que la disolución del yeso es más eficaz cuando se incorpora al perfil de suelo a través de la labranza (Frenkel y Gerstl, 1989). Por el contrario, Costa y Godz (1999) estudiaron que la aplicación de yeso en suelos natracuales redujo el contenido de Na<sup>+</sup> en los horizontes subyacentes donde el yeso no se mezcló con el suelo. Costa et al. (2016) estudiaron el impacto de la labranza y la adición de yeso en la infiltración, densidad aparente (DAP), contenido de sodio y rendimiento del cultivo en un suelo correspondiente a una asociación entre un Argiudol y Paleudol petrocálcico, en labranza cero con riego suplementario. Estos autores encontraron menores valores de DAP en los tratamientos con yeso y con labranza, en comparación con tratamientos sin labranza y sin aplicación de yeso. En el caso de la relación de adsorción de sodio tuvieron resultados similares a los de DAP, mientras que la infiltración fue menor en los tratamientos bajo SD en comparación a los suelos labrados. Adicionalmente, estos autores mencionan que bajo SD el rendimiento de girasol fue menor en comparación con los otros tratamientos. Esta disminución de la DAP, debido a la labranza, explica en parte el aumento de la infiltración de los tratamientos de labranza.

Milan y Bonadeo (2017) evaluaron efectos de la aplicación de yeso sobre un suelo sódico, en la provincia de Córdoba. Dichos autores no encontraron diferencias significativas en los valores de DAP ante el agregado de yeso a ninguna de las profundidades estudiadas. Sin embargo, estos autores mencionan que hubo una tendencia a la disminución de la DAP en profundidad, asociada a un aumento de la

macroporosidad. Costa y Godz et al. (1999) en un trabajo de similares características explican que el mejoramiento de la infiltración pudo ser la causa que permitió el lavado de sales generadas por la aplicación de la enmienda.

Por otro lado, varios trabajos han reportado que la oclusión de poros debido a la dispersión de las arcillas en suelos sódicos produce una disminución de la  $K_0$  del suelo (Shainberg et al., 1980; García et al., 1994, Levy et al., 2005) limitando así el movimiento de agua, la aireación y por lo tanto el crecimiento de las plantas (Mitchell y Donovan, 1991; Ahmad et al., 2013). Wuddivira y Camps-Roach (2007) reportaron un aumento significativo de la  $K_0$  en suelos arcillosos, como consecuencia del agregado de enmiendas cálcicas. En este sentido, la aplicación de yeso implica, a través de la acción floculante del calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) junto con la disminución del  $\text{Na}^+$  intercambiable y el aumento de la concentración de electrolitos en solución, una mejora en la estabilidad del sistema poroso (Loveday, 1984). Diversos estudios mencionan que el uso de yeso como enmienda cálcica en suelos salinos-sódicos mejoraron la mayoría de las propiedades químicas y físicas del suelo, incluyendo la  $K$ , que ayudó a un mejor drenaje del exceso de sales y sodio hacia horizontes más profundos (Qadir et al., 2001; Sahin et al., 2003; Makoi y Ndakidemi, 2007). Ahmad et al. (2015) estudiaron el efecto de la aplicación de yeso sobre la  $K_0$  en suelos de diferentes texturas. Estos autores mencionan que el efecto de las distintas dosis de yeso sobre la  $K_0$  dependió de la textura del suelo; suelos franco arcillosos mostraron un menor aumento de la  $K_0$  con respecto a los suelos franco arenoso, a dosis correspondientes al 75 % del requerimiento ideal. En este sentido, a nivel productivo las dosis de aplicación recomendadas resultan muy elevadas y poco viables desde un punto de vista práctico para su realización a campo. Existe poca información disponible sobre el uso de yeso en dosis reducidas con respecto al requerimiento ideal (Ghafoor et al., 1997; Murtaza et al., 1998; Ahmad et al., 2013). Es por esto que resulta importante el estudio del efecto de la adición de diferentes dosis de yeso, incluyendo dosis

relativamente bajas, sobre las propiedades físicas e hidráulicas que describen el movimiento del agua en el suelo.

### **1.3. Efectos sobre especies forrajeras**

En el caso puntual de los suelos sódicos, los de textura franca o aún más fina, presentan características particulares que imponen un techo a la producción y en muchos casos no permiten que determinadas plantas logren alcanzar su madurez fisiológica debido a una muerte prematura. Algunas de ellas son: pH muy elevado (valores cercanos a 10 en algunos casos), escasa oxigenación, fertilidad química lo suficientemente baja como para cubrir los requerimientos de los cultivos y baja fertilidad biológica. Los suelos sódicos en general presentan una gran sensibilidad a la caída en la infiltración debido a los fenómenos de encostramiento y dispersión de arcillas (Pita, 2017).

La adición de yeso, mediante la disminución del PSI, produce 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 (Quinteros et al., 2000). Costa y Godz (1999) comprobaron que el agregado de yeso produjo una mejora en un suelo Natracuol del sudeste de la Pampa Deprimida, favoreciendo la implantación de pasturas y duplicando la producción de materia seca. Bandera (2013) evaluó la aplicación de yeso y diferentes enmiendas biológicas sobre un suelo Natracuol típico de la localidad de Villegas, encontrando mejoras en los parámetros químicos del suelo y un mayor crecimiento de agopiro alargado (*Tinopirum ponticum*) bajo ensayos controlados (columnas de lixiviación); sin embargo, no se encontró efecto sobre las propiedades químicas del suelo en condiciones de campo.

Martin et al. (2012) estudiaron la emergencia de diferentes forrajeras, en un suelo halomórfico tratado con yeso, y su relación con la salinidad y el pH. Estos autores encontraron que el impacto del yeso varió según especie y dosis empleada. En Grama Rhodes (*Chloris gayana*) y meliloto amarillo (*Melilotus officinalis*) la aplicación mejoró la

emergencia, pero sólo la primera respondió positivamente al aumento de las dosis. En agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) y lotus (*Lotus tenuis*) no hubo aumento de la emergencia con el uso de ese correctivo. Los coeficientes de correlación entre la emergencia y los niveles de CE y pH fueron significativamente negativos. El agropiro fue particularmente sensible a la salinidad durante la emergencia. Pacente (2018) investigó y caracterizó cada sub-ambiente y su comunidad vegetal asociada, aplicando prácticas agronómicas específicas que permitan un uso óptimo de los recursos, mediante el manejo sitio-específico. En un lote de pastizal natural, ubicado en el partido de San Pedro, se aplicaron los conceptos de manejo sitio-específico mencionado anteriormente. Dicho pastizal estaba compuesto por festuca alta (*Festuca arundinacea*), raigrás anual (*Lolium multiflorum*)-Sporobolus (*Sporobolus pyramidatus*) y agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). A cada una de las comunidades, se aplicaron tres tratamientos, “control”: No incluyó fertilización fosforada, enmienda ni interseembra de leguminosa, “manejo de bajos insumos”: Se incluyó fertilización fosforada, por el contrario no se incluyó enmienda ni interseembra de leguminosa y “manejo sitio-específico”: todas las comunidades incluyeron fertilización fosforada, para la festuca se aplicó interseembra con trébol blanco sin enmienda, para raigrás-Sporobolus también realizaron interseembra con lotus sin enmienda y para agropiro interseembra con melilotus y se aplicó 3000 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso para disminuir el pH y corregir el porcentaje de sodio intercambiable. La aplicación de yeso agrícola, en el tratamiento manejo sitio-específico de la comunidad de agropiro no resultó efectiva para disminuir el pH, PSI y el contenido de Na respecto al tratamiento control. Resultados similares fueron obtenidos por Martín et al. (2012) utilizando la misma dosis, mientras que usando dosis más altas (7500 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso) logró disminuir el pH de 9,6 a 7,7 en una magnitud similar a la alcanzada por Wong et al. (2009). Costa y Godz (1999) utilizando dosis de 15000, 35000 y 60000 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso lograron reducir los valores de sodio y pH, cuyo efecto duró por alrededor de 10 años. La eficiencia de la corrección por el uso del yeso es baja, del orden de 20 al 30 % lo cual incrementa los costos



(Taboada y Lavado, 2009). En la comunidad de agropiro, la producción forrajera total resultó superior bajo el tratamiento sitio-específico con respecto al de bajos insumos, no diferenciándose estos del tratamiento control.

El cubrimiento del suelo con forrajeras perennes tolerantes en áreas afectadas por sales reduciría la recarga y expansión de la salinidad (Rengasamy et al., 2003; Yunusa y Newton, 2003, en Zabala et al., 2011) y resultaría una de las alternativas más promisorias para rehabilitar áreas salino sódicas (Taboada y Lavado, 2009).

La evaluación de los efectos de distintas dosis de yeso sobre las propiedades físicas de un suelo en la Pampa Deprimida de la provincia de Buenos Aires con problemas de sodicidad, en conjunto con el efecto sobre la producción de materia seca de distintas pasturas, puede aportar información relevante en la materia.

### **Hipótesis**

- 1) La aplicación de enmienda química de yeso en un suelo sódico produce un incremento en la macroporosidad y mesoporosidad, junto con una disminución en la densidad aparente, derivando en mayores tasas de infiltración y mayores valores de conductividad hidráulica.
- 2) La aplicación de yeso produce un aumento en la producción de materia seca de las gramíneas evaluadas.
- 3) La aplicación de yeso en la línea de siembra produce un efecto positivo en las propiedades físicas del suelo.

### **Objetivos**

#### **Objetivos generales**

Aportar información sobre posibles estrategias de rehabilitación de suelos sódicos en la pampa deprimida a través de la aplicación de yeso.

#### **Objetivos Específicos**

- 1) Estudiar el efecto del enyesado sobre la infiltración a distintas tensiones en un suelo sódico con festuca (*Festuca arundinace*) y agropiro (*Thinopyrum ponticum*).
- 2) Evaluar los efectos de la aplicación de yeso sobre la porosidad total y la distribución de tamaño de poros en suelos sódicos en la pampa deprimida.
- 3) Evaluar los efectos del enyesado en la línea de siembra sobre las propiedades físicas y la producción de materia seca de agropiro y festuca.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Ubicación y características del establecimiento.**

Los ensayos se realizaron en la Chacra Experimental Integrada Chascomús (MAA-INTA), ubicada en las cercanías de la localidad de Chascomús, a los 35°44'37,6" de latitud Sur y 58°03'10,22 longitud Oeste. El suelo es un Natracualf típico (Soil Survey Staff, 2006).

El ensayo comenzó en el mes de marzo del año 2016. Se evaluó el efecto de distintas dosis de yeso sobre dos cultivos diferentes: agropiro (A) y festuca (F).

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Se implantaron en lotes separados de agropiro y festuca. En cada uno de los cultivos se aplicaron tres tratamientos: 1) testigo con dosis de 0 kg.ha<sup>-1</sup> (A0 y F0); 2) dosis de 100 kg.ha<sup>-1</sup> incorporada en la línea de siembra (A100 y F100); y 3) dosis de 12000 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso en toda la superficie (A12000 y F12000). Para dichos tratamientos se utilizó CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O granulado, su composición fue de 16,7 % de azufre y un 21 % de calcio.

Se realizó en la superficie destinada al ensayo el 28 de febrero del 2016 una pulverización con glifosato al 66 % con una dosis de 5 l.ha<sup>-1</sup> con el fin de eliminar el pastizal existente. Luego se laboreo (21-3-2016) con una pasada de rastra de discos a 15 cm de profundidad y fresadora (7 cm de profundidad) en todas las parcelas antes de la aplicación de las distintas dosis de yeso. A continuación (29-3-2016) se aplicaron 12000 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso al voleo a las parcelas de los tratamientos A12000 y F12000. Inmediatamente después se pasó la fresadora a todas las parcelas de todos los

tratamientos. Luego se volvió a pasar la fresadora a todas las parcelas y se sembró el 13-5-2016 en todas las parcelas. En el tratamiento correspondiente a  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de yeso la aplicación se realizó en la línea de siembra. La siembra se realizó con sembradora experimental autopropulsada de 6 surcos a 0,15 m entre surcos, con una densidad de siembra de  $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para ambas especies. Siete meses después se aplicaron  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de yeso al voleo en los tratamientos con yeso.

Se realizaron diferentes cortes de plantas a lo largo del ciclo de cultivo, en los diferentes tratamientos, para evaluar materia seca (MS). Dos años después de la implantación de los cultivos se realizaron ensayos de infiltración y toma de muestras indisturbadas para la determinación de diferentes propiedades hidráulicas, que se detallan a continuación. Adicionalmente se tomaron muestras disturbadas para la determinación y caracterización de las propiedades químicas del suelo. En la Tabla 1 se detallan las propiedades generales del suelo para cada cultivo y tratamiento.

(Tabla 1, aquí).

## **2.2. Infiltración a campo**

Se utilizó el infiltrómetro de disco a tensión (Perroux y White, 1988) (Figura 1), con un diámetro de disco de 12,5 cm, para determinar la tasa de infiltración básica.

(Figura 1, aquí).

Los ensayos de infiltración se realizaron todos en el mismo momento. Se realizaron 4 repeticiones en cada cultivo y tratamiento. El sitio fue elegido al azar dentro de cada tratamiento, evitando las hileras de cultivo y huellas visibles de maquinaria. Para considerar únicamente el efecto del manejo, los residuos del cultivo fueron removidos de la superficie. La superficie fue alisada con una espátula y se esparció una fina capa de arena seca, para asegurar un buen contacto hidráulico. Se midió infiltración a tres tensiones de entrega de agua,  $h$  (6, 3 y 0 cm, aplicadas en dicho orden). El uso de diferentes tensiones permite distinguir el aporte de poros de diferentes tamaños al

proceso de infiltración. Se monitoreó el flujo hasta alcanzar el estado estacionario. La infiltración acumulada se registró cada 5 min hasta los 10 min, cada 10 min hasta el fin del ensayo para cada tensión. Cuando la tasa de infiltración no cambió en cuatro mediciones tomadas a 10 min, se asumió flujo estacionario, y la tasa de infiltración básica para cada tensión se calculó en base a estas últimas cuatro mediciones.

La conductividad hidráulica,  $K$ , a diferentes tensiones ( $K_3$ , y  $K_0$ ), fueron calculadas en base a la tasa de infiltración básica usando el método de las cargas múltiples de Ankeny (Ankeny et al., 1991). A partir de los valores de  $K$  ( $h$ ) obtenidos, se determinó la porosidad efectiva. La infiltración a tensiones de 3 y 6 cm excluye poros con diámetros equivalentes mayores a 1 y a 0,5 mm, respectivamente. Se definió macroporosidad grande efectiva ( $\epsilon_{ma}$ ) como aquellos poros drenando a  $h$  mayores que -3 cm ( $r > 0,5$  mm), y mesoporosidad grande efectiva ( $\epsilon_{me}$ ) a los que drenan a  $h$  entre -3 y -6 cm ( $0,5$  mm  $>$   $r > 0,25$  mm) (Lozano, 2014).

### 2.3. Distribución de tamaño de poros

Se extrajeron diez muestras indisturbadas de suelo en cilindros de acero inoxidable de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura (volumen, 98 cm<sup>3</sup>), en cada combinación de cultivo y dosis de yeso. Dichas muestras se saturaron y se las sometió a distintas tensiones (0,1 m, 0,3 m, 0,5 m, 0,7 m y 1 m en mesa de tensión). Se calculó la fracción correspondiente a los macroporos ( $\theta_{ma}$ , diámetro  $>$  60  $\mu$ m) y mesoporos ( $\theta_{me}$ , 30  $\mu$ m  $<$  diámetro  $<$  60  $\mu$ m) como la relación entre la masa de agua retenida en esos poros y el volumen de la muestra (1 g = 1 cm<sup>3</sup>), según la siguiente ecuación:

$$r = \frac{2\sigma\cos(\alpha)}{\rho gh}$$

La función de retención hídrica del agua está dada por van Genuchten (1980):

$$\frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{(1 + |\alpha h|^n)^m}$$

Donde  $\theta_r$  y  $\theta_s$  representan el contenido de agua residual y saturado, respectivamente [ $L^3 L^{-3}$ ], y  $\alpha$  [ $L^{-1}$ ],  $n$ , y  $m$  ( $= 1 - 1/n$ ) son parámetros empíricos (parámetros de VG). Los datos obtenidos se ajustaron utilizando el código RETC (van Genuchten et al., 1991).

#### 2.4. Densidad aparente y porosidad total

Se extrajeron muestras de suelo en cilindros de acero inoxidable de 7,5 cm de diámetro interno y 10 cm de altura. Se determinó la DAP a partir de la siguiente ecuación (Hillel, 1998):

$$dap = \frac{m}{V_T}$$

Donde  $m$  es la masa seca en estufa a 105°C durante 24 horas y  $V_T$  es el volumen de la muestra.

La porosidad total (PT) se estimó en base a los valores de DAP, asumiendo una densidad de partículas ( $dp$ ) igual a 2,65 Mg.m<sup>-3</sup>. Como:

$$PT(\%) = \left( 1 - \left( \frac{dap}{dp} \right) \right) \times 100$$

#### 2.5. Propiedades químicas

El pH del suelo fue determinado con un electrodo utilizando una relación suelo-agua de 1:2,5. Se determinó Conductividad Eléctrica (CE), Porcentaje de sodio intercambiable (PSI), y Relación de Adsorción de Sodio (RAS), siguiendo la metodología SAMLA (SAGPyA, 2004).

#### 2.6. Materia seca

Para la determinación de la MS total, se realizaron cuatro cortes en diferentes estaciones del año; el primero se realizó en primavera el 25 de noviembre del 2016, el segundo corte se desarrolló en verano del año siguiente, el 25 de enero, el tercer corte

en otoño el 25 de mayo y el último corte en primavera del mismo año el 13 de noviembre, todos los cortes se realizaron al ras del suelo en una superficie conocida, abarcando un corte por tratamiento que represente la variabilidad de la vegetación existente en los diferentes cultivos y tratamientos. La MS total se calculó como la suma de los distintos cortes realizados durante el ciclo.

Para determinar la MS del forraje se extrajo toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio (24 h a 105 °C). Se calculó la materia seca como:

$$\text{Materia seca (\%)} = P' / P$$

**P'** = Peso de la muestra después de la desecación.

**P** = Peso de la muestra antes de la desecación.

## **2.7. Análisis estadístico**

Se realizó un ANOVA para determinar el efecto de cada tratamiento con diferentes aplicaciones de yeso, sobre la  $K_0$ , la PT y las fracciones de poros en cada cultivo por separado. Para determinar cuáles medias eran diferentes se realizó un test de medias LSD Fisher ( $P=0,05$ ) (Sokal y Rohlf, 1995).

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Distribución de tamaño de poros y densidad aparente**

Los valores medios de PT,  $\theta_{ma}$ ,  $\theta_{me}$  y DAP para cada tratamiento y cultivo se muestran en la tabla 2.

(Tabla 2, aquí).

Para el caso del agropiro, la DAP no mostró diferencias significativas entre tratamientos, estando de acuerdo con lo reportado por Milan y Bonadeo (2017). Los tratamientos A0 y A100 mostraron los mismos valores con  $1,15 \text{ g.cm}^{-3}$ , mientras que A12000 obtuvo un

pequeño aumento no significativo llegando a  $1,17 \text{ g.cm}^{-3}$ . Muller (2012) reportó que el agregado de yeso no afectó la DAP superficial, produciendo una disminución de la DAP entre los 7 y los 15 cm de profundidad. En cuanto a la PT tampoco se observaron diferencias significativas, notándose una leve disminución para el tratamiento de A12000 (Tabla 2). Con respecto a la  $\theta_{ma}$ , se encontró un aumento en el tratamiento A12000, estando de acuerdo con Gardner et al. (1992) quienes reportaron un aumento de la macroporosidad en superficie en suelos con agregado de yeso. Por otra parte, los tratamientos implantados con festuca tuvieron similares comportamientos tanto para la DAP y la PT a lo observado para agropiro. En el caso de la  $\theta_{ma}$ , se observó una leve mejoría en los tratamientos de F100 con valores de  $0,134 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$  y F12000 con  $0,124 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , respecto al testigo cuyo valor fue de  $0,096 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$  (Tabla 2). En ninguno de los dos cultivos estudiados los valores de  $\theta_{me}$  mostraron diferencias entre tratamientos, probablemente debido a que los efectos inducidos por los distintos manejos generalmente tienen efecto en los poros de mayor diámetro (Cameira et al., 2003, Alletto y Coquet, 2009, Imhoff et al., 2010, Soracco et al., 2010).

De los resultados obtenidos se observa que las propiedades físicas como PT, DAP,  $\theta_{ma}$  y  $\theta_{me}$  en general no fueron afectadas por la aplicación de yeso, presentando valores similares en la mayoría de los tratamientos. Soracco et al. (2015) mencionan que determinaciones estáticas como la PT no son buenos predictores de la dinámica hídrica debido a que dichas variables no consideran la conectividad del sistema poroso, lo cual es crucial para la entrada y distribución del agua en el suelo (Lozano et al., 2013; Villarreal et al., 2017).

### **3.2. Conductividad hidráulica y porosidad conductora de agua**

Los valores medios de las variables derivadas de los ensayos de infiltración a campo para cada cultivo y tratamiento se muestran en las tablas 3.

(Tabla 3, aquí).

Para el caso del agropiro, la  $K_0$  fue mayor en los tratamientos con yeso, observándose mayores valores en A100 y A12000 en comparación con el testigo A0, a pesar que este último no se diferenció estadísticamente (Tabla 3). Los menores valores de  $K_0$  observados en el tratamiento A0 correspondieron con los menores valores de  $\theta_{ma}$ , estando de acuerdo con lo reportado por García (1994). Este autor menciona que cuando la concentración de sales en el agua que percola está por debajo del valor de floculación, la dispersión de las arcillas, el movimiento de las partículas dispersas y su acumulación en el interior de los poros causan oclusión de los mismos siendo estos los principales mecanismos responsables de la reducción de la conductividad hidráulica. Los mayores valores de  $K_0$  en A100 y A12000 podrían explicarse por el aumento en la concentración electrolítica (CE) y/o la disminución de la RAS en la misma profundidad con respecto a A0 (Tabla 1). Estos resultados están de acuerdo con Wuddivira y Camps-Roach (2007) quienes mencionan un aumento de la  $K_0$  ante el agregado de enmiendas cálcicas. Los valores de  $K_3$  no mostraron diferencias significativas en ninguno de los tres tratamientos. En cuanto a los valores de  $\epsilon_{ma}$ , fueron mayores en los tratamientos A100 y A12000 con respecto al testigo A0, correspondiéndose con los aumentos de  $K_0$  de los mismos tratamientos, evidenciando que el agregado de yeso produce un aumento de los poros conductores de agua que facilita la infiltración.

En el caso de la festuca se observó un comportamiento distinto en comparación al observado para agropiro, lo que indica que la influencia de agregado de yeso en las propiedades hidráulicas no solo depende de la dosis aplicada, sino también del cultivo utilizado. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la  $K_0$ . Sin embargo, se observó una tendencia de mayores valores de esta variable para el tratamiento F12000 (Tabla 3). Ahmad et al. (2015) mencionan que el efecto del agregado de yeso sobre la  $K_0$  depende de la textura del suelo, siendo menos eficiente en suelos finos, especialmente a bajas dosis como podría asociarse para  $K_3$  en el caso de F100. Adicionalmente, la ausencia de diferencias en los valores de  $K_0$  entre los



distintos tratamientos en festuca observados en este trabajo puede atribuirse a que la festuca es un cultivo menos adaptado a ambientes sódicos en comparación con el agropiro. Ansín et al. (1998) mencionan que el cultivo de agropiro en un suelo Natracualf de la Pampa Deprimida tuvo la misma biomasa radical en comparación con el pastizal natural adaptado, incluso en profundidad. Por otro lado, la  $\epsilon_{ma}$  y la  $\epsilon_{me}$  tampoco mostraron diferencias significativas para ningunos de los tratamientos en el cultivo de festuca.

De los resultados obtenidos, se pudo observar una leve mejora en la calidad física del suelo ante el agregado de yeso, al observarse un aumento de la macroporosidad derivada de la mesa de tensión, junto con un aumento de los macroporos conductores de agua y la  $K_0$ . Se observó una tendencia de mejora de dichas variables en el tratamiento correspondiente a  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  aplicados en la línea de siembra en ambos cultivos, estando de acuerdo con Costa y Godz (1999); estos autores mencionan que la aplicación de yeso es más efectiva cuando no es incorporada al perfil del suelo. Los resultados del presente trabajo muestran que la práctica de enyesado en suelos sódicos podría ser una alternativa de manejo que mejore la  $K_0$  y la macroporosidad conductora de agua, especialmente en un cultivo que se adapta a estas condiciones como el agropiro.

### **3.3 Materia seca**

Los valores de MS total para los distintos tratamientos y cultivos se muestran en la Figura 2. No se observaron diferencias en la producción de MS entre tratamientos aunque existen diferencias de producción entre las diferentes especies. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en el porcentaje de implantación (datos no mostrados) observándose una mejora con el aumento de la dosis de yeso. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Costa y Godz (1999) en cuanto a la implantación pero no así en lo que hace a producción de MS. Las dosis aplicadas por estos autores fueron aproximadamente el doble a las utilizadas en el presente trabajo.

Para el caso del cultivo de festuca se observó una tendencia de mayores valores de MS total en los tratamientos F100 y F12000, aunque no significativa, estando parcialmente de acuerdo con distintos autores que encontraron un efecto positivo de la adición de yeso en la producción de forraje (Costa y Gordz, 1999, Quinteros et al., 2000, Bandera, 2013). A su vez, los resultados observados en el presente trabajo están de acuerdo con Martín et al. (2012) quienes reportaron un efecto positivo de la adición de distintas dosis de yeso en la emergencia de distintas especies forrajeras.

(Figura 2, aquí).

A pesar no observarse una clara tendencia en cuanto a la producción de MS, se observa en general 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.

#### **4. CONCLUSIONES**

La aplicación de enmienda química de yeso en un suelo sódico produce una leve mejoría de la calidad física del suelo, aumentando los valores de conductividad hidráulica para el cultivo de agropiro y macroporosidad para los cultivos de festuca y agropiro.

La aplicación de distintas dosis de yeso no conduce a un aumento en la producción de MS en los cultivos de agropiro y festuca luego de dos años desde su implantación.

La aplicación de yeso en bajas dosis en la línea de siembra produce una leve mejoría en la calidad física del suelo luego de dos años desde su aplicación.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- **Abdel-Fattah, M.K., Fouda, S., Schmidhalter, U.,** 2015. Effects of gypsum particle size on reclaiming Saline-Sodic soils in Egypt. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1–11 (ahead-of-print).
- **Ahmad S, Ghafoor A, Akhtar ME, Khan MZ.** 2013. Ionic displacement and eclamation of saline–sodic soils using chemical amendments and crop rotation. *Land Degradation & Development* 24: 170–178. DOI: 10.1002/ldr.1117.
- **Ahmad, S., Gafoor, A., Akhtar, M. E., and Khan, M. Z.:** Implication of gypsum rates to optimize hydraulic conductivity for variable-texture saline–sodic soils reclamation, *Land Degrad. Dev.*, 26, 300–310, doi:10.1002/ldr.2208, 2015.
- **Alletto, L., Coquet, Y.,** 2009. Temporal and spatial variability of soil bulk density and near-saturated hydraulic conductivity under two contrasted tillage management systems. *Geoderma*, 152(1-2), 85-94.
- **Ankeny, M. D., Ahmed, M., Kaspar, T. C., Horton, R.,** 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55(2), 467-470.
- **Ansín, O. E., E. M. Oyhamburu, E. A. Hoffmann, M. C. Vecchio y M. C. Ferragine.** 1998. Distribución de raíces en pastizales naturales y pasturas cultivadas de La Pampa Deprimida Bonaerense y su relación con la biomasa forrajera. *Rev. Fac. Agron., La Plata* 103 (2): 141-148.
- **Aparicio, V., Costa, J.L., Echeverría, H., Caviglia, O.,** 2002. Sistemas de labranzas de reciente incorporación en el sudeste bonaerense: evaluación de propiedades edáficas y crecimiento del maíz. *RIA* 31, 55–71
- **Bandera R.** 2013. INTA. Rehabilitación de suelos salinos-sódicos: Evaluación de enmiendas y de especies forrajeras. Tesis de Maestría. EPG Soriano. FAUBA.
- **Cameira, M.R., R.M. Fernando, L.S. Pereira.** 2003. Soil Macropore Dynamics Affected By Tillage And Irrigation For A Silty Loam Alluvial Soil In Southern Portugal. *Soil Till. Res.* 70: 131-140.

- **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, Aparicio VC, Salleses LF, Frolla FD.** Effect of tillage and application of gypsum In a No-Till field under supplementary irrigation with sodium bicarbonate waters. *Agricultural Water Management*. 2016;177(1):291-297.
- **Elisondo, E., Costa, J.L., Suero, E., Fabrizzi, K.P., Garcia, F.,** 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 19, 11–19.
- **Fabrizzi, K.P., Garcia, F.O., Costa, J.L., Piconne, L.I.,** 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses under minimum and no-tillage systems in the southern pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81, 57–69.
- **FAO.** 2011. TERRASTAT: Major soil constraints (Sodicity, Shallowness, Erosion Risk) Disponible en [www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat/](http://www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat/). Verificado: 08/2011.
- **Frenkel, H., Gerstl, Z., Alperovitch, N.,** 1989. Exchange-induced dissolution of gypsum and the reclamation of sodic soils. *J. Soil Sci.* 40 (3), 599–611.
- **Filgueira R.R., C.G. Soracco, G.O. Sarli, L.L. Fournier.** 2006. Estimación de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo estacionario y transitorio. *Ciencia del Suelo* 24: 39-49.
- **García, O.** 1994. Diagnóstico y control de la fertilidad en suelos afectados pro sales y Na. *Fertilidad de suelos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santa Fe de Bogotá. Pp 469-505.
- **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.
- **Ghafoor A, Chaudhry MR, Qadir M, Murtaza G, Ahmad HR.** 1997. Use of agricultural drainage water for crops on normal and salt-affected soils without disturbing biosphere equilibrium, 135 p. Publication No. 176, IWASRI, Lahore, Pakistan.

- **Greene, RSB; P Rengasamy; GW Ford; CJ Chartres & JJ Miller.** 1988. The effect of sodium and calcium on the physical properties and micromorphology of two red-brown earth soils. *Soil Sci.* 39: 639-648.
- **Hillel, D.,** 1998. *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations.* Elsevier
- **Lavandera, J. E., Novarese, A. C., Pacente, E. M., Palacios, N., & Scheneiter, J. O.** (2018). XVIII Reunión Anual de Forrajeras: festuca alta, distribución, utilización y mejoramiento. Ediciones INTA.
- **Lazovich M R, Costa J L, Godz P.** 1985. Efecto de enmiendas y lavado sobre el desplazamiento catiónico y sobre la producción de materia seca de un Natracuol, en invernáculo. *Ciencia del Suelo* 3:95-101.
- **Levy GJ, Goldstein D, Mamedov AI.** 2005. Saturated hydraulic conductivity of semi-arid soils: combined effects of salinity, sodicity and rate of wetting. *Soil Science Society of America Journal* 69: 653–662.
- **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.
- **Lozano, L.A., Soracco, C.G., Cornelis, W.M., Gabriels, D., Sarli, G.O., Villarreal, R.,** 2013. Anisotropy of pore size classes' connectivity related to soil structure under no tillage. *Soil Sci.* 178, 612–627.
- **Lozano, L.A.,** 2014. Desarrollo de estructura laminar del suelo en siembra directa. Factores predisponentes y efectos sobre las propiedades hidráulicas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 167.
- **Makoi JHJR, Ndakidemi PA.** 2007. Reclamation of sodic soils in Rundugai village, Hai District, Kilimanjaro Region, Tanzania, using locally available organic and inorganic resources. *African Journal of Biotechnology* 6: 1926–1931

- **Malone, R.W., S. Logsdon, M.J. Shipitalo, J. Weatherington-Rice, L. Ahuja, L. Ma.** 2003. Tillage Effect On Macroporosity And Herbicide Transport In Percolate. *Geoderma* 116: 191-215.
- **Martín, B.; Sosa, O.; Magra, G.; Zerpa, G. y Besson, P.** 2012. Emergencia de forrajeras en un suelo salinoalcalino tratado con yeso. *Revista Argentina de Producción Animal.* 32(2):157-164.
- **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.
- **Miaczynski C.** 1995. Los suelos hidromórficos e hidrohalomórficas de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agr.* 15: 23-36.
- **Mitchell AR, Donovan TJ.** 1991. Field infiltration of salt loaded soil: evidence of a permeability hysteresis. *Soil Science Society of America Journal* 55: 706–710.
- **Milán, C, Bonadeo, E,** - Ciencia del suelo, 2017 - SciELO Argentina. Efecto de la aplicación de yeso sobre la capacidad productiva de un suelo sódico de alta variabilidad espacial.
- **Müller, M. M. L., Tormena, C. A., Genú, A. M., Kramer, L. F. M., Michalovicz, L. and Caires, E. F.** (2012). Structural quality of a no-tillage red latosol 50 months after gypsum application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 1005-1013.
- **Murtaza G, Ghafoor A, Ranjha AM, Qadir M.** 1998. Calcium losses during reclamation of medium-textured low CEC saline–sodic soils. *Journal Arid Land Studies* 75: 175–178.
- **Otondo J.**2015. Mejora de propiedades físicas por el uso de especies megatérmicas en un suelo sódico templado. *AACS.*
- **Perroux, K.M., White, I.,** 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 (5), 1205-1215.

- **Pita, F.** 2017. Propiedades físicas de suelos sódicos, su impacto en el crecimiento y absorción radical en el cultivo de maíz. Trabajo Final para optar al Grado Académico de Especialista en Producción de Cultivos Extensivos. FCA, UN de Córdoba.
- **Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G.** 2001. Use of saline–sodic waters through phytoremediation of calcareous saline–sodic soils. *Agricultural Water Management* 50: 197–210. DOI: 10.1016/S0378-3774(01)00101-9.
- **Quinteros, C.; Boschetti, N.; Durand Morat, A. y Fettolini, S.** 2000. Recuperación de suelos dispersivos por medio de enmiendas.  
<http://www.fertilizando.com/articulos/recuperación%20de%20suelos>
- **Rengasamy P, Chittleborough D, Helyar K** (2003) Root-zone constraints and plant-based solutions for dryland salinity. *Plant Soil*. 257: 249-260.
- **SAGPyA.** 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMPLA). Versión Electrónica.
- **Sahin U, Oztas T, Anapali O.** 2003. Effects of consecutive application of gypsum in equal, increasing and decreasing quantities on soil hydraulic conductivity of a saline–sodic soil. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science* 166: 621–624. DOI: 10.1002/jpln.200321115.
- **Shainberg I, Oster JD, Wood JD.** 1980. Sodium/calcium exchange in montmorillonite and illite suspensions. *Soil Science Society of America Journal* 44: 960–964.
- **Soil Survey Staff.** 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10th ed. USDA, NRCS. Washington D.C. 341 p.
- **Soracco, C.G., Lozano, L.A., Villarreal, R., Palancar, T.C., Collazo, D.J., Sarli, G. O., Filgueira, R.R.,** 2015. Effects of compaction due to machinery traffic on soil pore configuration. *R. Bras. Ci. Solo* 39, 408-415.

- **Sokal, R.R., Rohlf, F.J.**, 1995. Biometry: the principals and practice of statistics in biological research. WH Freeman and Company, New York.
- **Strudley, M. W., Green, T. R., Ascough, J. C.**, 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Till. Res.* 99(1), 4-48.
- **Szabolcs I.** 1979. Review on Research of Salt Affected Soils. Natural Resources Research XV, UNESCO, Paris.
- **Taboada, M. A. y Lavado, R. S.** 2009. Alteraciones de la Fertilidad de los Suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Taboada, M.A. y Lavado, R. S. Eds. Editorial: Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 160 p.
- **Taher, H., Aparicio, V., Costa, J.L., Puricelli, M.**, 2013. Evaluación de propiedades edáficas en distintos estados del cultivo de soja. *Ciencia del Suelo* 31 (1), 57–66
- **Van Genuchten, M.T., Leij, F.J., Yates, S.R.**, 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898
- **Vázquez, M., Terminiello, A., Casciani, A., Millán, G., Cánova, D., Gelati, P., Guilino, F., Dorronzoro, A., Nicora, Z., Lamarche, L., García, M.**, 2012. Respuesta de la soja (*Glicine max L. Merr*) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del Suelo* 30(1): 43-55.
- **Villarreal, R., Soracco, C.G., Lozano, L.A., Melani, E., Sarli, G.**, 2017. Temporal variation of soil sorptivity under conventional and no-till systems determined by a simple laboratory method. *Soil Till. Res.* 168: 92-98.
- **Walkley, A., Black, I.A.**, 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37 (1), 29-38.



- **West, L.T., Miller, W.P., Langdale, G.W., Bruce, R.R., Laflen, J.M., Thomas, A.W.,** 1992. Cropping system and consolidation effects on rill erosion in the Georgia Piedmont. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56 (4), 1238–1243.
- **Wong, V. N. L.; Dalal, R. C.; Greene, R. S. B.** 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: a laboratory incubation. *Applied Soil Ecology* 41:29-40.
- **Wuddivira and Camps-Roach,** 2007 M.N. Wuddivira, G. Camps-Roach Effects of organic matter and calcium on soil structural stability. *European Journal of Soil Science*, 58 (2007), pp. 722-727.
- **Yunusa IAM, Newton PJ** (2003) Plants for amelioration of subsoil constraints and hydrological control: the primer-plant concept. *Plant Soil* 257:261–281.
- **Zabala JM, Taleisnik E, Giavedoni JA, Pensiero JF, Schrauf GE** (2011) Variability in salt tolerance of native populations of *Elymus scabrifolius* (Doll) J. H. Hunz from Argentina. *Grass Forage Sci.* 66: 109-122.

Tabla 1. Propiedades químicas del horizonte superficial (0-10 cm) del suelo en los tratamientos estudiados.

Tratamiento	pH	CE	RAS	PSI
Unidades	-	dSm	-	%
A0	8,02	0,45	2,05	23,89
A100	7,99	0,24	1,75	20,82
A12000	7,13	0,97	1,09	12,79
F0	8,76	0,41	2,44	27,57
F100	8,12	0,31	2,61	29,06
F12000	7,07	1,04	1,29	16,25

Tabla 2. Valores medios de las distintas propiedades físicas (Densidad aparente, DAP; porosidad total, PT; macroporosidad,  $\theta_{ma}$ ; mesoporosidad,  $\theta_{me}$ ;) para los distintos tratamientos (0, 100 y 12000 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso) y cultivo (Agropiro, A; festuca, F).

Tratamientos	DAP (g.cm <sup>-3</sup> )	PT (%)	$\theta_{ma}$ (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	$\theta_{me}$ (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
A0	1,150 ab*	56,60 ab	0,081 c	0,016 a
A100	1,150 ab	56,60 ab	0,084 c	0,018 a
A12000	1,170 a	55,86 b	0,130 a	0,022 a
F0	1,111 b	58,06 a	0,096 bc	0,021 a
F100	1,102 b	58,43 a	0,134 a	0,023 a
F12000	1,124 ab	57,59 ab	0,124 ab	0,020 a

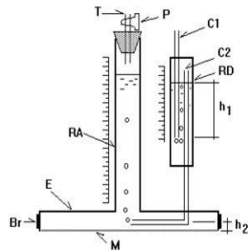
\*letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (p=0,05)

Tabla 3. Valores medios de las distintas propiedades hidráulicas (Conductividad hidráulica saturada,  $K_0$ ; conductividad hidráulica a -3 cm de carga hidráulica,  $K_3$ ; macroporosidad efectiva,  $\epsilon_{ma}$ ; mesoporosidad efectiva,  $\epsilon_{me}$ ).

Tratamientos	$K_0$ (cm.h <sup>-1</sup> )	$K_3$ (cm.h <sup>-1</sup> )	$\epsilon_{ma}$ (%)	$\epsilon_{me}$ (%)
A0	0,76 b*	0,59 a	0,00016 b	0,00084 a
A100	2,22 a	0,60 a	0,00147 a	0,00144 a
A12000	1,67 ab	0,67 a	0,00091 a	0,00111 a
F0	2,23 a	0,66 ab	0,00143 a	0,00119 a
F100	2,10 a	0,40 b	0,00154 a	0,00136 a
F12000	3,08 a	0,98 a	0,00191 a	0,00165 a

\*letras diferentes indican diferencias significativas entre medias ( $p=0,05$ )

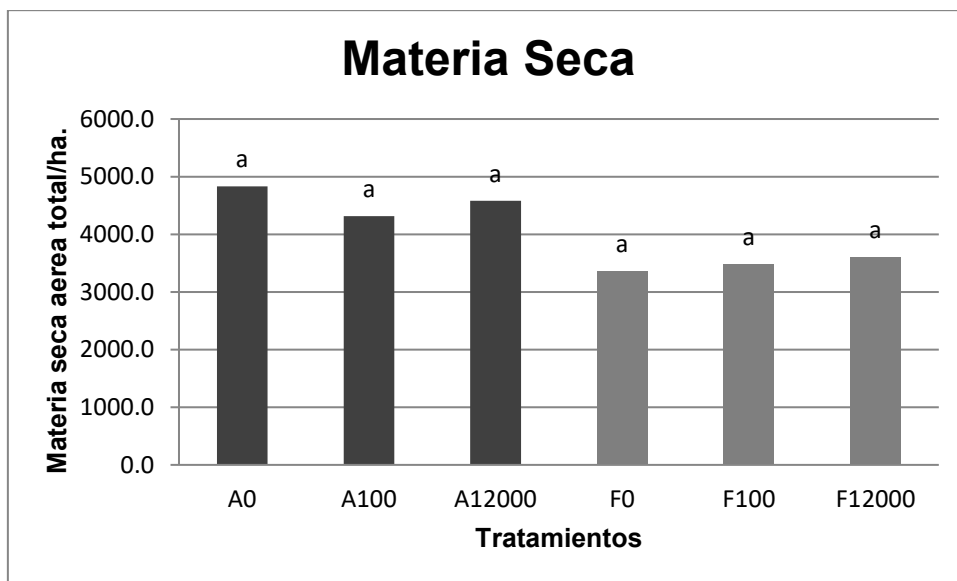
Figura 1. Infiltrómetro de disco a tensión. Esquema mostrando sus partes (izquierda), y fotografía de infiltrómetro durante la medición a campo (derecha).



- RA: depósito de alimentación
- RD: recipiente de burbujeo
- M: malla de poliester de poro micrométrico
- C1: tubo móvil para ajustar el potencial
- C2: capilar de aireación
- T: tubo de llenado
- P: tapón o robinete
- Br: banda para sujetar la malla



Figura 2. Materia seca total por hectárea para los distintos tratamientos y pasturas.



Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para la misma especie.