



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

### **EFFECTO DEL ENCALADO SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN UN HAPLUDOL THAPTOÁRGICO DE REGIÓN PAMPEANA**

MACHETTI NATALIA<sup>1\*</sup>, RIBADULLA SANTIAGO<sup>1</sup>, GELATI PABLO<sup>1</sup>, NICORA ZACARIAS<sup>2</sup>, BENARDI DANIEL<sup>1</sup>, DIAZ GOROSTEGUI AGUSTINA<sup>1</sup>, CLAUSI MAURO<sup>1</sup>, COSENTINO DIEGO<sup>3</sup>, VAZQUEZ MABEL<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>) Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Avda 60 y 119. (CP 1900) La Plata, Argentina, (<sup>2</sup>) Escuela María Cruz y Manuel L. Inchausti. Universidad Nacional de La Plata, (<sup>3</sup>) Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires

\* natalia.machetti@agro.unlp.edu.ar

**Palabras claves:** estabilidad estructural, infiltración y retención hídrica, carbono orgánico.

#### **Resumen**

La Región Pampeana Argentina padece procesos de acidificación antrópica. Esta problemática acarrea deficiencias de nutrientes básicos, alteraciones en la dinámica de N, P y Mo, y en condiciones de pH inferior a 5,5 toxicidades por Al, Mn y H<sup>1+</sup>. Los microorganismos del suelo son afectados, modificando su composición y actividad. Otras consecuencias pueden producirse sobre propiedades físicas, tanto estacionarias (retención hídrica a diferentes succiones, estabilidad estructural) como dinámicas (infiltración, conductividad hidráulica). Se ha probado en esta región que el encalado es efectivo para incrementar el rendimiento y la posibilidad de la implantación de ciertas especies. Sin embargo, se desconocen los mecanismos particulares que originan dichos beneficios en estos suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia de diferentes dosis de encalado en un suelo de tipo Hapludol thaptoárgico acidificado de la Región Pampeana sobre propiedades químicas orgánicas (carbono orgánico total (COT) y carbohidratos solubles (CS) y físicas (estabilidad estructural evaluada como 3 diámetros ponderados) y diámetro medio ponderado (DMP), retención hídrica (RH) e infiltración básica (Ib). Las dosis fueron 0, 1.000, 2.000 y 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de dolomita. El agregado de enmiendas básicas contribuiría a favorecer en el corto plazo, conforme a las dosis agregadas, las condiciones de floculación de los coloides y la estabilidad de este proceso, derivando en mejoras de la infiltración y contenido de agua útil. La dosis de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> presentó los resultados más favorables en las propiedades físicas analizadas (DMP, RH e Ib), así como en fracciones orgánicas (COT, CS) respecto del testigo, seguida por la dosis de 3.000 kg ha<sup>-1</sup>. Se encontró correlación entre el contenido de COT y las propiedades físicas (COT/RH, COT/DMP), no evidenciándose igual asociación con la fracción soluble (CS). El aumento progresivo de las dosis no produjo un incremento favorable y proporcional de las variables medidas.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

---

### Introducción

La Región Pampeana Argentina padece procesos de acidificación en algunos suelos por su larga historia productiva y la forma de producción adoptada en las últimas décadas (Casas 2000; Martínez 2002; Gelati y Vázquez 2004, 2008; Vázquez 2007a; García y Vázquez 2012). Ésta implica la transformación de los planteos mixtos de los sistemas productivos en agricultura permanente, con reemplazo de cultivos tradicionales como el maíz (*Zea mays*, L) por otros de mayor atractivo económico como la soja (*Glycine max*, L Merr). Esto trae como consecuencia una menor incorporación de residuos post-cosecha y mayor exportación de bases del suelo. La intensificación de la agricultura en general, el empleo de germoplasma de alto potencial de rendimiento y el incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados son factores determinantes de la problemática a nivel regional (Vázquez y Pagani 2015).

Desde el punto de vista del desarrollo vegetal, la acidificación deriva en múltiples consecuencias directas como las deficiencias de nutrientes secundarios básicos, debido a una disminución de la reserva de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Vázquez 2007a; Vázquez y Pagani 2015) e indirectas, alterando la dinámica de otros nutrientes como N, P y Mo. En condiciones de pH inferior a 5,5 se producen toxicidades como la de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ) y hasta el propio hidrógeno ( $\text{H}^{1+}$ ) en situaciones extremas (FAO, 2015).

Las leguminosas son las especies más afectadas, entre ellas, alfalfa (*Medicago sativa* L) y otros tréboles forrajeros. La implantación, la perdurabilidad y el rendimiento de las pasturas a base de estas especies están seriamente condicionados por el proceso de acidificación creciente, especialmente en suelos de textura gruesa dentro de la región mencionada (Vivas 2004; Vázquez 2007a, 2009; Vázquez *et al.* 2004, 2010). Cultivos de cosecha de leguminosas como la soja también se ven seriamente afectados (González y Gambaudo 2004; Vivas 2004; Dorronsoro *et al.* 2006; García *et al.* 2007, 2008, 2009; Vázquez 2005, 2007a, 2007b, 2009; Vázquez *et al.* 2004, 2010, 2012; Oderiz *et al.* 2012).

Desde el punto de vista microbiológico, esta problemática afecta la composición de la flora y su actividad (Groffman *et al.* 1996). Dicha actividad, responsable de procesos de interés agronómico, puede estar mermada, ya que el tamaño de la biomasa y la diversidad de la flora están reguladas fundamentalmente por factores tales como cantidad y tipo de sustrato, disponibilidad de agua y su dinámica, disturbación del suelo y, particularmente, la oferta nutricional, entre la que cabe mencionar a elementos como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^{1+}$  (Groffman *et al.* 1996; De Luca *et al.* 2006). Algunos trabajos comprobaron una disminución en la presencia de micorrizas y su actividad en situaciones de acidez, así como la posibilidad de su recuperación con el agregado de enmiendas básicas en el área templada argentina (De Luca *et al.* 2006). Dicha modificación de la actividad biológica y su relación con la materia orgánica causada por



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

el encalado podría ser evaluada con indicadores como el contenido de carbono total (COT) y carbohidratos solubles (CS), entre otros.

El proceso de acidificación tiene consecuencias sobre algunas propiedades físicas, tanto estacionarias como dinámicas (estabilidad estructural, aparición de impedancias mecánicas y dinámica del agua) (Alburquerque *et al.* 2003; Vázquez *et al.* 2008, 2009; Nicora *et al.* 2012). La estabilidad estructural es el resultado de complejas interacciones entre procesos biológicos, químicos y físicos (Tisdall y Oades 1982). La complejidad de los procesos depende de factores abióticos, como la mineralogía y el complejo de cambio; bióticos, como el tipo/contenido de materia orgánica y la actividad microbiana, y factores ambientales, como la humedad y temperatura (Chen *et al.* 1998). Magra y Ausillo (2004) afirmaron que los suelos ácidos de ámbitos templados presentan menor agregación, lo que determina una disminución en la permeabilidad y la aireación. Esto se debería a la disminución de los cationes divalentes que actúan a través de puentes como vínculo entre cristales de arcilla y aún entre ellas y otras partículas, de modo que promueven la formación de la estructura. En suelos donde predominan arcillas del tipo 2:1, alrededor del 80% de la capacidad de intercambio catiónica debería estar saturada con  $\text{Ca}^{2+}$  y/o  $\text{Mg}^{2+}$  para manifestar una adecuada estructura. La disminución en la agregación trae como consecuencia, por lo tanto, dificultad mecánica a las raíces para la exploración del sustrato y menor cantidad de poros capaces de suministrar agua y aire a las mismas, redundando en un menor nivel de rendimiento de los cultivos sensibles. Se ha demostrado que el encalado puede afectar la estabilidad estructural en este tipo de suelos, tanto en sentido positivo como negativo. En este último caso, por ejemplo, por propiciar mayor actividad microbiana y con ello la mineralización de la materia orgánica lábil, responsable de la unión de macroagregados (Roth y Pavan 1991; Baldock *et al.* 1994).

La práctica del encalado produciría efectos secundarios sobre los parámetros físicos alterados, y dichos efectos son variables de acuerdo a la dosis de aplicación y estratos del perfil del suelo (Vázquez *et al.* 2009). En suelos con predominio de cargas permanentes de los coloides como los de la Región Pampeana, el encalado puede mejorar la estabilidad de los agregados por mecanismos directos e indirectos. El efecto directo se relaciona con la acción floculante que poseen el  $\text{Ca}^{2+}$  (caliza, cal y dolomita), y en menor medida el  $\text{Mg}^{2+}$  (dolomita). Como efecto indirecto, puede citarse que el encalado incrementa el rendimiento de los cultivos, lo que a su vez aumenta la cantidad de residuos que retornan al suelo y consecuentemente el contenido de materia orgánica. Las moléculas de humus y polisacáridos contribuyen a la formación de agregados (Haynes y Naidu 1998).

Sasal *et al.* (2006) probaron en varias experiencias, que una mayor tasa de infiltración y mayor capacidad de retención de agua a causa del incremento de la estabilidad de agregados, ligado a la creación de bioporos verticales originados por raíces, lombrices y gusanos blancos. Puede suponerse entonces que la modificación de la estabilidad



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

---

estructural causada por el encalado, repercutiría sobre estas propiedades hídricas e hidráulicas.

Vázquez *et al.* (2009) analizaron en un Argiudol típico de la Pradera Pampeana argentina, la estabilidad de los agregados con la prueba semicuantitativa de alcohol:agua, así como la infiltración y escurrimiento con microsimulador de lluvia. Pudieron comprobar que dosis bajas de dolomita/caliza ( $1000 \text{ kg ha}^{-1}$ ) favorecieron estas propiedades. Mediante análisis por imagen de la porosidad pudo apreciarse que las diferencias de infiltración/escurrimiento respondían no sólo a cambios en la estabilidad, sino también, a una modificación de la distribución del tamaño de poros, observándose un incremento de poros de mayor tamaño con dosis de  $2000 \text{ kg ha}^{-1}$ , conforme a lo afirmado por Lamandé *et al.* (2003).

Es probable que otros métodos cuantitativos de análisis de la estabilidad estructural, pudiesen arrojar resultados más esclarecedores de la acción de las enmiendas sobre la estructura. Entre ellos podría citarse el desarrollado por Le Bissonnais (Le Bissonnais *et al.* 2002). De la misma manera, podría hipotetizarse que la evaluación de la infiltración por el método del infiltrómetro de disco a tensión, el cual permite realizar más mediciones por unidad de tiempo, posibilitaría la obtención de un mayor número de datos de la infiltración básica, disminuyendo el elevado error que este tipo de evaluaciones suele conllevar.

### **Objetivos**

Evaluar la incidencia de diferentes dosis de encalado en un suelo de tipo Hapludol thaptoárgico acidificado de la Región Pampeana sobre propiedades químicas orgánicas y físicas, relacionadas con condiciones estacionarias y dinámicas del agua.

### **Hipótesis**

El agregado de enmiendas básicas en el corto plazo contribuye a favorecer, conforme a las dosis agregadas, las condiciones de floculación de los coloides y la estabilidad de este proceso (puentes catiónicos, coloides orgánicos), derivando en mejoras en la infiltración y contenido de agua útil.

### **Materiales y Métodos**

#### **Características del sitio**

El ensayo se llevó a cabo en el partido de 25 de Mayo, prov. de Buenos Aires. El clima es templado, con temperatura media anual de  $15,3 \text{ }^\circ\text{C}$  y precipitación promedio de 910 mm. El suelo es un Hapludol thaptoárgico, Serie Ortiz de Rozas, familia franca, fina, mixta y térmica, con régimen isohigro.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

### Ensayo experimental

Se llevó a cabo mediante un diseño en bloques al azar (3 r) con un factor, dosis de dolomita (0 (T), 1.000 (D1000), 2.000 (D2000) y 3.000 (D3000) kg ha<sup>-1</sup>). EL producto empleado posee una composición equivalente de CaO<sub>2</sub>/MgO<sub>2</sub> 24% y 22%, respectivamente, con la siguiente granulometría <75 µm: 27 %, 75-250 µm: 40,5 %, >250 µm: 32,5 %. Las enmiendas se aplicaron el 7/5/14, al voleo, de manera manual con incorporación mediante pasada de disco. Se fertilizó a la siembra con fosfato monoamónico (100 kg ha<sup>-1</sup>) y se sembró alfalfa (*Medicago sativa* L.) el 23/5/14 variedad WL 1058, a razón de 18 kg ha<sup>-1</sup>, cosechándose 6 veces entre 11/2014 y 11/2015 para posterior evaluación de peso seco a 70°C.

Se determinó

a) sobre muestra disturbada a una profundidad de 0-20 cm (2 submuestras/parcela):

- carbohidratos solubles (CS). (Brink R.H., Dubach P., Lynch D.L., 1960)
- carbono orgánico total (fácilmente oxidable) (COT): micrométodo por vía húmeda, según Walkley y Black modificado. (SAMLA, 2014).
- retención hídrica (RH): a 0,03 (RH 0,03); 0,05 (RH 0,05); 1,013 (RH 1,013) y 1,52 (RH 1,52) MPa. (Richards, 1948).
- agua útil: por diferencia entre el contenido hídrico obtenido a RH 0,03 y RH 1,52 MPa. Profundidad de la muestra: 0-20 cm.
- pH actual: por vía potenciométrica, relación suelo:agua de 1:2,5 (p:v) (SAMLA, SAGPyA 2004).
- Ca y Mg intercambiables: extracción mediante el método del acetato de amonio pH 7 1N, determinación por quelatometría (SAMLA, SAGPyA 2004).

b) sobre muestra no disturbada a una profundidad de 0-10 cm (2 submuestras/parcela):

- diámetro medio ponderado (DMP): promedio de 3 pretratamientos (humectación rápida (HR), desagregación mecánica luego de re-humectación con etanol (DM), humectación lenta por capilaridad (HL)). Profundidad de la muestra: 0-10 cm. (Le Bissonnais et al., 2002)

c) in situ:

- infiltración básica (Ib): con infiltrómetro de disco. (Perroux y White, 1988).

La muestras para determinar CS, COT y realizar los análisis de RH, fueron extraídas el mes 12/2014; y para analizar DMP, pH y cationes intercambiables fueron extraídas en el mes 6/2015, momento en que se realizaron las mediciones de infiltración a campo.

### Análisis estadísticos

Todos los resultados de las variables medidas fueron evaluados estadísticamente mediante ANOVA, previo análisis de supuestos básicos. Se realizaron comparaciones múltiples de medias mediante prueba de LSD Fischer y análisis de regresión (INFOSTAT, 2011).

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

### Resultados y Discusión

El valor de pH al inicio del ensayo (5/2014) fue de 5,45. En la Tabla 1 se observan cambios significativos ( $p < 0,01$ ) en los valores de pH entre los tratamientos luego de 11 meses de realizado el encalado, conforme la dosis aplicada. Con respecto a los cationes intercambiables, no existen diferencias significativas entre los tratamientos aunque existiría una tendencia, de la misma manera, al incremento con la dosis.

Tabla 1. Valores de pH actual (1:2,5) y cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ) ( $T=0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $D1000=1.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $D2000=2.000 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $D3000=3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Dosis	pH	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$
		cmolc $\text{kg}^{-1}$	
T	5,47 c	7,70 a	0,40 a
D1000	5,60 bc	9,20 a	0,76 a
D2000	5,90 ab	9,03 a	1,20 a
D3000	6,18 a	9,80 a	1,63 a

Los resultados de la estabilidad estructural se transcriben en la Tabla 2. De los 3 pretratamientos realizados el que mostró diferencias significativas ( $p < 0,10$ ) según el encalado fue DM. En este pretratamiento D1000 presentó el mayor diámetro ponderado, con diferencia significativa respecto a D2000 y T. Mientras que D3000 solo presentó diferencia significativa con T. Si bien el resto de los pretratamientos no arrojaron diferencias estadísticamente significativas, la tendencia de los valores siguió un mismo patrón de comportamiento.

Los DMP obtenidos a partir de los 3 pretratamientos mostraron, igualmente, diferencias significativas también ( $p < 0,10$ ) entre D1000 (2,1 mm) respecto de D2000 (1,64 mm) y T (1,63 mm) ( $R^2$  0,68). El tratamiento D3000 (1,91 mm) no presentó diferencia significativa con los restantes. Esto permitiría afirmar que las diferencias del DMP obedecen, fundamentalmente, al pretratamiento DM.

Estos resultados coinciden con los hallados por Vázquez *et al.* (2009) en un Argiudol típico de la Pradera Pampeana argentina donde analizaron la estabilidad de los agregados con la prueba de alcohol:agua, la infiltración y el escurrimiento, ambos con microsimulador de lluvia. Los autores pudieron comprobar que dosis bajas ( $1.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ) favorecieron estas propiedades respecto al testigo. Sin embargo, dosis mayores ( $1.500 \text{ kg ha}^{-1}$ ) arrojaban valores similares al testigo. Mediante análisis por imagen de la porosidad, los autores pudieron apreciar que las diferencias de infiltración/escurrimiento respondían no sólo a cambios en la estabilidad, sino también, a una modificación de la distribución del tamaño de poros. Vázquez *et al.* (2009) y Terminiello *et al.* (2006) encontraron que dosis superiores a  $1.500 \text{ kg ha}^{-1}$ , si bien producen mejoras en las propiedades químicas, podrían, a causa de la recristalización de los carbonatos de la propia enmienda en el espacio poroso, afectar negativamente propiedades como la

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

resistencia a la penetración, retención y circulación del agua. El  $\text{CaCO}_3$  como fuente de iones de Ca, interviene en la floculación de los coloides, por lo que confiere estabilidad a los agregados del suelo. Sin embargo, cuando la solución edáfica se sobresatura puede producirse una reprecipitación de la sal ocupando el espacio poroso y paralelamente, otros efectos de tipo cementante. Green *et al.* (1978) mezclaron suspensiones de arcilla del tipo Illita-Ca con soluciones saturadas de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y exceso de  $\text{CaCO}_3$ . Las partículas de illita coagularon rápidamente formando flóculos y dichos flóculos se combinaban en agregados de mayor tamaño por la acción del  $\text{CaCO}_3$ , el que formaba un cemento amorfo con acción física sobre la unión de partículas y agregados. Si bien este fenómeno aumentaría la estabilidad estructural, podría actuar negativamente obturando el espacio poroso, y por ende modificando la retención y circulación del agua. Sin embargo, la descripción de este fenómeno no explicaría las causas de la disminución del DMP en la dosis D2000 y D3000, respecto a D1000. Este hecho pone de manifiesto la complejidad de los procesos químicos, físicos y biológicos que conducen a la estabilidad de la estructura, aun no totalmente dilucidados.

Tabla 2. Diámetro medio ponderado (DMP), obtenido a partir del promedio de 3 pretratamientos: humectación rápida (HR), disgregación mecánica luego de re-humectación con etanol (DM) y humectación lenta por capilaridad (HL), determinado para las distintas dosis ( $T=0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $D1000=1.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $D2000=2.000 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $D3000=3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Dosis	HR	DM	HL	DMP
	mm			
Testigo	0,90 a	1,56 c	2,43 a	1,63 b
D1000	1,23 a	2,22 a	2,86 a	2,10 a
D2000	0,94 a	1,60 bc	2,38 a	1,64 b
D3000	1,09 a	2,07 ab	2,56 a	1,91 ab

Si bien el CS y COT (Tabla 3) no muestran diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ), ambos presentan los menores contenidos en T y los mayores en D1000, coincidentemente con el DMP. El contenido de las fracciones orgánicas es la resultante de un balance entre adiciones y pérdidas. En este ensayo fue evaluado el peso seco de 6 cortes de materia seca (MS) de alfalfa, el cual se incrementó con el aumento de la dosis de enmienda. Los valores obtenidos fueron 3.280,4, 4.106,8, 4791,4 y 4803,6  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente para las dosis T, D1000, D2000, D3000, mostrando un claro beneficio de la enmienda. Por otro lado, la adición de nutrientes y la modificación de la dinámica del aire y del agua son variables que regulan la actividad microbiológica. Dicha actividad juega un rol sustancial tanto en el proceso de humificación como en el de mineralización. La modificación de la MS aportada y de estas actividades microbianas puede ser la causa que produzca que un aumento de la MS no sea acompañado por aumentos posteriores de COT o CS. Es decir, estas fracciones son causa y

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

consecuencia de la dinámica de las enmiendas, por lo que el incremento de una de las variables no siempre sería acompañado por el incremento de otra.

Tabla 3. Contenidos de carbohidratos solubles (CS) y carbono orgánico total (COT) del suelo con distintas dosis de dolomita (T=0 kg ha<sup>-1</sup>, D1000= 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, D2000= 2.000 kg ha<sup>-1</sup> y D3000= 3.000 kg ha<sup>-1</sup>). Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis.

Dosis	CS mg C kg suelo <sup>-1</sup>	COT g C kg suelo <sup>-1</sup>
Testigo	866,67 a	17,3 a
D1000	1066,67 a	20,2 a
D2000	800 a	18,4 a
D3000	933,33 a	18,3 a

En la Tabla 4 se ilustran los resultados de RH, así como su análisis estadístico. A pesar de la ausencia de significancia estadística, los 4 puntos analizados de RH (0,03; 0,05; 1,013 y 1,52 MPa) presentan valores mayores en el tratamiento D1000 (0,2; 0,16; 0,09 y 0,09 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> suelo, respectivamente) y menores en T (0,17; 0,14; 0,08 y 0,07 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> suelo, respectivamente para las diferentes succiones). El contenido de agua útil, de igual manera, no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (T: 0,10, D1000: 0,12, D2000: 0,10, D3000: 0,11 g/g), sin embargo, su tendencia acompaña los valores de DMP.

En la Tabla 5 puede observarse que la regresión lineal entre los valores de RH a las diferentes succiones fue estadísticamente significativa ante los distintos tratamientos. Esto permite evidenciar que el supuesto efecto de la enmienda sobre la RH afectaría los distintos tamaños de poros de la misma manera.

A pesar de la ausencia de diferencias estadísticas en COT y RH según la dosis de la enmienda, la correlación entre ambas variables es significativa para cada succión de RH ( $R^2_{COT/RH\ 0,03}$  0,87;  $R^2_{COT/RH\ 0,05}$  0,87;  $R^2_{COT/RH\ 1,013}$  0,9;  $R^2_{COT/RH\ 1,52}$  0,88, en todos los casos con  $p < 0,01$ ). Por otra parte se presentó correlación significativa entre DMP y COT ( $R^2$  0,58,  $p < 0,05$ ).

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Tabla 4. Retención hídrica a diferentes succiones (0,03, 0,05, 1,013 y 1,52 MPa) y contenido de agua útil para las distintas dosis de corrector (T=0 kg ha<sup>-1</sup>, D1000= 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, D2000=2.000 kg ha<sup>-1</sup> y D3000= 3.000 kg ha<sup>-1</sup>). Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis.

Dosis	MPa				Agua útil
	0,03	0,05	1,013	1,52	
	g H <sub>2</sub> O g <sup>-1</sup> suelo				
Testigo	0,17 a	0,14 a	0,08 a	0,07 a	0,10 a
D1000	0,21 a	0,17 a	0,09 a	0,09 a	0,12 a
D2000	0,18 a	0,15 a	0,08 a	0,08 a	0,10 a
D3000	0,2 a	0,17 a	0,09 a	0,08 a	0,11 a

Tabla 5. Matriz de regresiones lineales entre los valores de retención hídrica (RH) a diferentes succiones (RH 0,03, RH 0,05, RH 1,013 y RH 1,52).

RH (MPa)	0,03	0,05	1,013	1,52
0,03	1	————	————	————
0,05	R <sup>2</sup> = 1 p=<0,0001	1	————	————
1,013	R <sup>2</sup> = 0,95 p=<0,0001	R <sup>2</sup> = 0,96 p=<0,0001	1	————
1,52	R <sup>2</sup> = 0,95 p=<0,0001	R <sup>2</sup> = 0,97 p=<0,0001	R <sup>2</sup> = 0,96 p=<0,0001	1

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

p: probabilidad

En la Tabla 6 se presentan los valores de lb poniendo de manifiesto ausencia de diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, cabe aclarar que el mayor valor corresponde al tratamiento D1000 (0,88 cm h<sup>-1</sup>) y el menor a T (0,72 cm h<sup>-1</sup>), coincidiendo con las variables analizadas previamente.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

Tabla 6. Infiltración básica (Ib) calculada a partir de datos obtenidos a campo para las distintas dosis (T=0 kg ha<sup>-1</sup>, D1000= 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, D2000=2.000 kg ha<sup>-1</sup> y D3000= 3.000 kg ha<sup>-1</sup>). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Dosis	Ib cm h <sup>-1</sup>
Testigo	0,72 a
D1000	0,88 a
D2000	0,78 a
D3000	0,78 a

Generalizando los resultados, se evidencia que el tratamiento D1000 produciría los mayores y T los menores valores de todas las propiedades de interés agronómico analizadas (CS, COT, DMP, RH, Ib). Sin embargo, el aumento de la dosis a 2.000 kg ha<sup>-1</sup> reduciría los efectos favorables obtenidos con D1000, y paralelamente, D3000 se comporta en forma análoga a D1000. Estos resultados coincidirían con los de otros investigadores en suelos del mismo ámbito ya citados en este texto. Diferentes procesos físicos, químicos y microbiológicos están siendo puestos en juego en la determinación de estas variables. Esto podría sugerir que las condiciones óptimas para cada proceso pueden ocurrir con diferentes concentraciones de los carbonatos en la solución del suelo. Por lo tanto, es necesario profundizar acerca de cual es el efecto que las respectivas dosis generan sobre la actividad biológica y las propiedades físicas dinámicas y estáticas evaluadas.

### Conclusiones

El agregado de enmiendas básicas contribuiría a favorecer en el corto plazo, conforme a las dosis agregadas, las condiciones de floculación de los coloides y la estabilidad de este proceso, derivando en mejoras de la infiltración y contenido de agua útil:

- La dosis de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> fue la que presentó los resultados más favorables en las propiedades físicas analizadas (DMP, RH e Ib), así como en fracciones orgánicas (COT, CS) respecto del testigo sin tratar, seguida por la dosis de 3.000 kg ha<sup>-1</sup>.
- Se encontró correlación entre el contenido de carbono total y las propiedades físicas (COT/RH, COT/DMP), no evidenciándose igual asociación con la fracción soluble (CS).
- el aumento progresivo de las dosis no produjo un incremento favorable y proporcional de las variables medidas. Diferentes procesos físicos, químicos y microbiológicos estarían siendo puestos en juego en la determinación de estas variables. Esto podría sugerir que las condiciones óptimas para cada proceso pueden ocurrir con diferentes concentraciones de los carbonatos en la solución del suelo.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

### **Bibliografía**

Albuquerque, JA; C Bayer; PR Ernani; AL Mafra & EC Fontana. 2003. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. Rev. Brs. Ciênc. Solo 27(5): 799-806.

Baldock, JA; M Aoyama; JM Oades; J Susanto & CD Grant. 1994. Structural amelioration of South Australian Red-Brown earth using calcium and organic amendments. Aust. J. Soil Res. 32: 571-594.

Brink, RH; P Dubach & DL Lynch. 1960. Measurement of carbohydrates in soil hydrolysates with anthrone. Soil Sci. 89: 157-166.

Casas R. 2000. La conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Disertación en el acto de entrega del premio Antonio Prego. [www.insuelos.org.ar](http://www.insuelos.org.ar). Consultado 1/2/2016.

Chen Z; S Pawluk & NG Juma. 1998. Impact of variations in granular structures on carbon sequestration in two Alberta Mollisols p. 225-243. En: Soil Processes and Decarbon Cycle. Ed. Lal R. et al. ADV. Soil Sci. CRC Press, Boca Raton.

De Luca L; M García & M Vázquez. 2006. Presencia de micorrizas como índice de remediación en suelos ácidos enclados. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta (trabajo completo): versión electrónica. Acta (resumen): 227.

Dorronzoro A; JP Hernández; A Casciani & M Vázquez. 2006. Efecto de agregado de P y correctores básicos sobre el rendimiento de soja y sus componentes. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta (trabajo completo): versión electrónica. Acta (resumen): 267.

FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/> Consultado 15/01/2016.

García M; M Vázquez; A Terminiello; D Blangeti & J Kostiria. 2007. Datos preliminares del efecto del enclado de alfalfa en el Centro-O de Santa Fe. Ed. Bocco M., Cosiansi J. Avances en Ingeniería Rural 2: 280-285.

García M; A Terminiello; G Ardanaz; A Casciani & M Vázquez. 2008. Respuesta de una pastura base alfalfa al enclado en un tambo del SO de Córdoba. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16/5/08. Potrero de Funes, San Luis. Acta (trabajo completo): versión electrónica. Acta (resumen): 314.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

García M; A Termiello; G Ardanaz.; A Casciani.; J Garcia. & M Vázquez. 2009. Evolución del efecto de las enmiendas básicas sobre una pastura de alfalfa en el S de Córdoba. Simposio Fertilidad. 12-13/5/2009. Rosario, Santa Fe. Actas: 234-239.

García MG & M Vázquez. 2012. Valoración económico-ecológica de la pérdida de nutrientes básicos de los suelos santafesinos. Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica (Revibec) 19: 29-41.

Gelati P & M Vázquez. 2004. Exportación agrícola de nutrientes básicos en la zona N de la pcia. de Buenos Aires y el costo de su remediación. Segundas Jornadas de la Asoc. Argentino Uruguayo de Economía Ecológica (ASAUEE). 12-13/11/2004. Lujan, Argentina. Actas: 28-29.

Gelati P & M Vázquez. 2008. Extracción agrícola de bases en el N de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas. Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica (Revibec) 7: 117-129.

González B & S Gambaudo. 2004. Encalado en Soja. Experiencias en restitución de Calcio magnesio y azufre. Proyecto Fertilizar. INTA. [www.fertilizar.org.ar](http://www.fertilizar.org.ar). Consultado 23/1/2016.

Greene RSB; AM Posner; JP Quirk. 1978. A study of the coagulation of montmorillonite and illite suspensions by calcium chloride using the electron microscope. En: Modification of Soil Structure, 35-40. Eds. WW Emerson; RD Bond; AR Dexter.

Groffman PM; G Howard; AJ Gold & WM Nelson. 1996. Microbially mediated nitrate processing in shallow groundwater in a riparian forest. J. Environ. Qual. 25: 1309-1316.

Haynes RJ & R Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. Nut. Cycl. Agroecosyst. 51: 123-137.

Lamandé M; V Hallaire; P Curmi; G Péres & D Cluzeau. 2003. Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in loamy soil under different agricultural managements. Ed. Elsevier. Rev. Catena 54: 637-649.

Le Bissonnais Y; O Duval & H Gaillard. 2002. Mesure de la stabilité d'agregates de sols pour l'évaluation de la sensibilité à la battance et à l'érosion. Fiche de protocole. INRA Orléans, Unité de Science du Sol.

Magra G & A Ausilio. 2004. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario. 8/2014. Rev. Agromensajes. 5 p.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

Martínez F. 2002. La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II, N° 3.

Nicora Z; F Guilino; A Terminiello; G Millán & M Vázquez. 2012. Efecto del encalado sobre la resistencia mecánica de un Hapludol éntico bonaerense. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16-20/4/12. Mar del Plata, Argentina. Acta: versión digital.

Oderiz A; V Merani; G Millán; E Baridón; A Pellegrini & M Vázquez. 2012. Encalado de alfalfa en un Hapludol éntico de Trenque Lauquen (Buenos Aires). XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino Ciencia del Suelo. 16-20/4/12. Mar del Plata, Argentina. Acta: versión digital.

Perroux KM & I White. 1988. Designs for disc permeameters. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1205-121.

Richards LA. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. Soil Science 66(2): 105-110.

Roth CH & MA Pavan. 1991. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a brazilian Oxisolls. Ed. Elsevier. Geoderma 48: 351-361.

Sasal, M.C., Andriulo, A.E., Taboada, M.A. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. Soil Till. Res. 87: 9-18.

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). Dirección de Producción Agrícola. 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA). CD-room.

Terminiello A; M Vázquez; M García & F Guilino. 2006. Efecto de correctores de acidez sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta (trabajo completo): versión electrónica. Acta (resumen): 393.

Tisdall JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33: 141-163.

Vázquez M. 2005. Acidez Natural y Adquirida de los Suelos. Su Diagnóstico y Tratamiento. Acaecer 346: 6-12.

Vázquez M. 2007a. Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Eds. Echeverría H. y García F. Ed. INTA, 1º Edición, Reimpresión. 8: 161-185. 525 p.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

Vázquez M. Ed. 2007b. Capacitación de productores para la recuperación de suelos degradados de tambos de la cuenca lechera de Bartolomé Bavio. La Plata, Argentina. 31 p.

Vázquez M. 2009. Capacitación para la recuperación de suelos degradados de establecimientos pequeños bonaerenses de Chascomús. Edición papel y CD-rom.

Vázquez M; A Piro; G Millán & J Lanfranco. 2004. Corrección de suelos ácidos de la pampa húmeda para la producción de alfalfa. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS. 23: 14-20.

Vázquez M; P Gelati & Millán G. 2006. Sustentabilidad del riego complementario en suelos Udipsamanet Típico y Hapludol Entico de la Prov. de Buenos Aires, Argentina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10(3): 593-603.

Vázquez M; A Terminiello; A Duhour & C Brussino. 2008. Efecto de correctores de acidez sobre la estructura y porosidad de un Argiudol típico de la Pradera Pampeana. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16/5/08, Potrero de Funes, San Luis. Acta (resumen): 3. Acta (trabajo completo): versión electrónica.

Vázquez M; A Terminiello; A Duhour; M García y F Guilino. 2009. Efecto de correctores de acidez sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico de la pradera pampeana. Ciencia del Suelo 27(1): 67-76.

Vázquez M; A Terminiello; A Casciani; G Millán; P Gelati; F Guilino; J García; Kostiría J & García M. 2010. Evaluación del efecto de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y propiedades edáficas en ámbitos templados argentinos. Cienc Suelo 28(2): 131-140.

Vázquez M; A Terminiello; A Casciani; G Millán; D Cánova; P Gelati; F Guilino; A Dorrnzoro; Z Nicora; L Lamarche & M García. 2012. Respuesta de la soja (*Glycine max* L. Merr) a enmiendas básicas en algunos suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Rev. Ciencia del Suelo 30(1): 43-56.

Vázquez M & A Pagani. 2015. Calcio y magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas en: fertilidad de suelos y fertilización de cultivos 2º edición. Editores Echeverría E. y García F. Ed. INTA Argentina, p. 317-350. 904 p.

Vivas HS. 2004. Fertilización con fósforo y azufre para la producción de Alfalfa en el centro de Santa Fe. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 22-25/6/2004. Entre Ríos, Paraná.