EFECTOS DE ENMIENDAS BÁSICAS SOBRE TRES SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

Machetti, N.E.[1*], A.E. Pellegrini[1], S. Ribadulla[1], G. Bruballa[1], N.M. Gutierrez[1], R. Giraudo, y D.J. Cosentino[2]

[1] Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata; [2] Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires; [*]Avenida 60 y 119 S/N. La Plata. Argentina. natalia.machetti@agro.edu.ar

RESUMEN El proceso de acidificación en los suelos agrícolas de la región pampeana se está expandiendo y agudizando debido a su historia productiva y tecnología. Es necesario conocer los efectos del encalado, proceso remediador, sobre propiedades químicas, físicas y orgánicas en distintos suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la incidencia de diferentes dosis y combinaciones de enmiendas básicas sobre el pH, complejo de cambio, contenido de carbono orgánico, calcio intercambiable y estabilidad estructural en tres suelos agrícolas de la Región Pampeana. Se trabajó sobre un *Hapludol thapto-árgico*, un *Argiudol vértico* y un *Paleudol típico*. En el *Hapludol* los tratamientos estuvieron constituidos por dosis equivalentes a 0, 1000, 2000 y 3000 kg ha^{-1} de dolomita, con 0 (TSY, D1SY, D2SY D3SY) y 200 kg ha^{-1} de yeso (TCY, D1CY, D2CY, D3CY). En el Argiudol y en el Paleudol a los tratamientos mencionados se adicionó otro con dosis equivalente a 4000 kg ha^{-1} de dolomita (D4SY y D4CY). Las enmiendas se aplicaron al voleo de manera manual. Se analizó hasta 10 cm de profundidad: pH actual; capacidad de intercambio catiónico; contenido de calcio intercambiable, carbono orgánico total y estabilidad estructural. Las enmiendas básicas incrementaron el pH en los tres suelos bajo estudio. En el Hapludol con 1000 kg ha^{-1} de dolomita aumentó la capacidad de intercambio catiónica y el carbóno orgánico relacionándose ambas variables entre sí. En el Argiudol el contenido de carbóno orgánico total fue variable según la dosis y el contenido de calcio se incrementó conforme a esta. En el Paleudol el contenido de calcio se incrementó con dosis altas de dolomita. Las enmiendas y dosis estudiadas no afectaron a la estabilidad estructural.

PALABRAS CLAVE: pH, complejo de cambio, estabilidad estructural.

INTRODUCCION

La región pampeana argentina presenta procesos de acidificación acelerada de sus suelos por su historia productiva y la tecnología aplicada en las últimas décadas (Casas, 2000). La acidificación tiene consecuencias sobre algunas propiedades físicas del suelo, tanto estacionarias como dinámicas (Nicora *et al.,* 2012). La acidificación puede ser tratada mediante encalado, agregado al suelo de caliza, dolomita o cal, entre otros. Algunos autores han propuesto la aplicación de dolomita o caliza, en forma conjunta con yeso ($CaSO_4.H_2O$) (Hernández *et al*., 2003) por poseer este compuesto mayor solubilidad constituyendo un suministro inicial de Ca^{+2} generando la floculación de las arcillas, mientras se produce la disolución paulatina de los carbonatos. En suelos de la región pampeana el encalado puede mejorar la estabilidad de los agregados por la acción floculante que poseen el Ca^{2+} y el Mg^{2+}, contenido en las enmiendas. Gambaudo (2003) y Meloni (2012) han mostrado, en suelos de la provincia de Buenos Aires y la región central de Santa Fe, efectos positivos del encalado sobre el pH del suelo y la saturación de bases. Thompson (1988) menciona que en suelos de Estados Unidos con sistemas de cultivos mal llevados el encalado es un estimulante, produce buenas cosechas los años inmediatos a costa de un gradual empobrecimiento del suelo,

debido a que aumenta la exportación de nutrientes cuando se recogen grandes cosechas, favorece la actividad microbiana y acelera la descomposición de la materia orgánica. El proceso de acidificación se está expandiendo y agudizando en suelos de uso agrícola, por lo que es necesario conocer los efectos de su remediación sobre las propiedades químicas, físicas y orgánicas en distintos suelos.
El objetivo del presente trabajo fue evaluar la incidencia de diferentes dosis y combinaciones de enmiendas básicas sobre el pH, complejo de cambio, contenido de carbono orgánico total y estabilidad estructural en tres suelos agrícolas de la Región Pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de ensayo y tratamientos

Los suelos seleccionados fueron: *Hapludol thapto-árgico*, *Argiudol vértico* y *Paleudol típico*.
El *Hapludol thapto-árgico*, familia franca fina, mixta perteneciente a la serie Ortiz de Rosas (Geo INTA, 2019), ubicado en la Escuela Inchausti (UNLP), partido 25 de Mayo, superficialmente poseía 5,5 de pH, 11,6 $cmol_c\ kg^{-1}$ de CIC, 17,3 g carbono kg^{-1} y 7,7 $cmol_c\ kg^{-1}$ de Ca^{+2}.
El *Argiudol vértico*, familia arcillosa fina, illitica térmica, perteneciente a la serie Bombeador (Lanfranco JW, 1988), situado en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, partido de La Plata, provincia de Buenos Aires se caracteriza por presentar en superficie 5,8 de pH, 20,2 $cmol_c\ kg^{-1}$ de CIC, 22,8 g carbono kg^{-1} suelo y 10,2 $cmol_c\ kg^{-1}$ de Ca^{+2}.
El *Paleudol típico*, familia fina, illitica térmica, perteneciente a la Serie Etcheverry (GeoINTA, 2019), se encuentra situado en el Establecimiento Don Joaquín de la UNLP, partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires. En superficie presentó 5,65 de pH, 24,7 $cmol_c\ kg^{-1}$ de CIC, 31,63 g carbono kg^{-1} suelo y 12,1 $cmol_c\ kg^{-1}$ de Ca^{+2}. El diseño experimental en los tres sitios de ensayo fue en bloques completamente al azar con 3 repeticiones y arreglo factorial. Las parcelas experimentales fueron de 5 x 10 m, separadas por calles de 2 m.
En los 3 ensayos la enmienda principal, dolomita, poseía una composición de 58/60% de $CaCO_3$ y 38/40% de $MgCO_3$ con una granulometría <35 µm. El yeso tenía granulometría de 10,3 % > 1000 µm, 33,5% 1000µm-500µm; 35,5 % 500µm -210 µm; 14,2 % 210 µm-105 µm, 3,7% 105 µm-53 µm y 2,8 % <53 µm. En el *Hapludol* los tratamientos estuvieron constituidos por distintas dosis equivalentes a 0, 1000, 2000 y 3000 kg ha^{-1} de dolomita ($CaCO_3$) (T, D1, D2, D3), con 0 (TSY, D1SY, D2SY D3SY) y 200 kg ha^{-1} de yeso ($CaSO_4 2H_2O$) (TCY, D1CY, D2CY, D3CY). En el Argiudol y en el Paleudol a los tratamientos mencionados se adicionó otro con dosis equivalente a 4000 kg ha^{-1} (D4) de dolomita, con 0 (D4SY) y 200 kg ha^{-1} de yeso (D4CY). Las enmiendas se aplicaron al voleo de manera manual.

Determinaciones y análisis estadístico

Se realizo muestreo compuesto de de 0-10 cm en cada tratamiento y se analizó pH actual (por vía potenciométrica, relación suelo:agua de 1:2,5 (p:v); capacidad de intercambio catiónico (CIC) (por el método del acetato de amonio 1M); contenido de calcio (Ca^{+2}) intercambiable (por quelatometría con EDTA) y carbono orgánico total (COT) (por vía húmeda, micrométodo según Walkley & Black modificado) (SAMLA-SAGPyA, 2004). La estabilidad estructural se analizó a partir del diámetro medio ponderado (DMP), pre-tratamiento humectación rápida, Le Bissonnais et al., (1996).
Los momentos de la toma de muestras se detallan a continuación:
Hapludol: encalado 07-05-2014, muestreo 12-2014 (8 meses). *Argiudol:* encalado 7-09-2015 muestreo 03-2016 (7 meses). *Paleudol:* encalado 07-10-2015, muestreo 08-2016 (9 meses).
Los resultados de las variables medidas fueron evaluados estadísticamente conforme a los diseños utilizados (ANOVA) y cuando se encontraron diferencias significativas las medias se compararon a través de comparaciones múltiples (Tukey, $p<0,05$). Previo al análisis de los datos, se realizaron las pruebas de homogeneidad de las varianzas y normalidad. En los casos donde no se cumplieron estos supuestos se realizaron las transformaciones correspondientes. Si la heterogeneidad, a partir de las transformaciones, no pudo ser corregida se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (Statistica, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Hapludol pH y COT, en el Argiudol la CIC, COT y DMP y en el Paleudol el DMP presentaron heterogeneidad de varianzas, la cual no pudo ser corregida a partir de transformaciones por lo que se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis.
En el Hapludol el pH a partir del análisis no paramétrico presentó diferencia significativa para la interacción dosis-yeso ($p<0,05$). Los tratamientos D2CY y D3CY a los 8 meses posteriores al encalado tuvieron mayor pH que TSY, TCY y D1SY. Los tratamientos D2CY y D3CY presentaron un incremento de 0,7 y 0,9 unidades de pH respecto a TSY. Este incremento se debería al mayor aporte de dolomita y a que el yeso una vez aplicado se disocia en Ca^{2+} y SO_4^{2-}, el Ca^{+2} remplaza cationes en la fase de intercambio y libera a la solución del suelo Al^{+3}, Mg^{+2}, K^+ y $H3O^+$ (Espinoza & Molina, 1999). A partir de la liberación de H_3O^+, el yeso, en su calidad de sal de ácido fuerte, favorecería la disolución del Ca CO_3 y del Mg CO_3 adicionados como dolomita (Hernández et al., 2006) (Figura 1a).

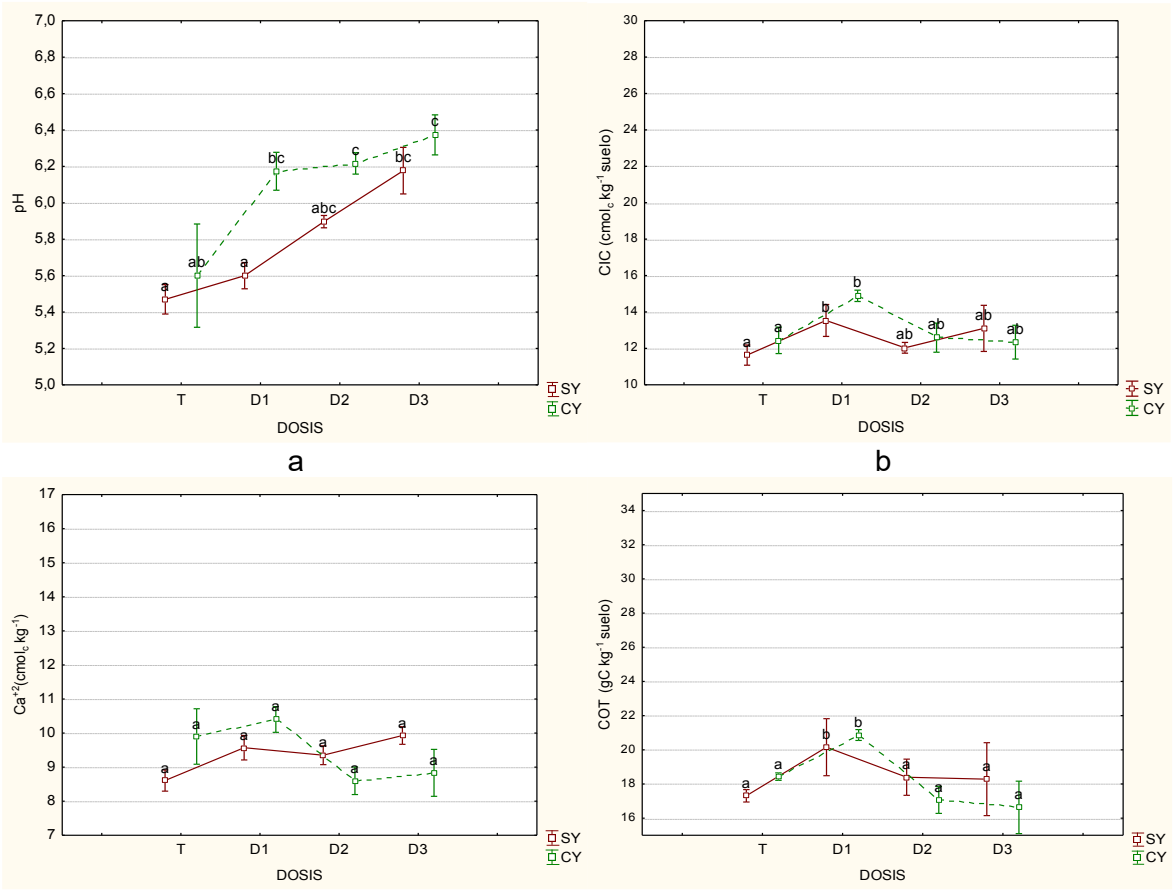
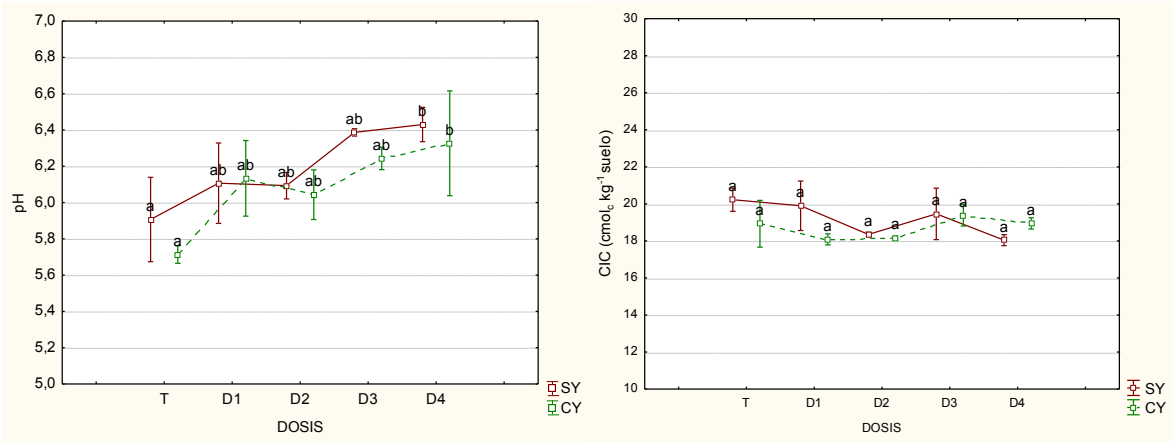


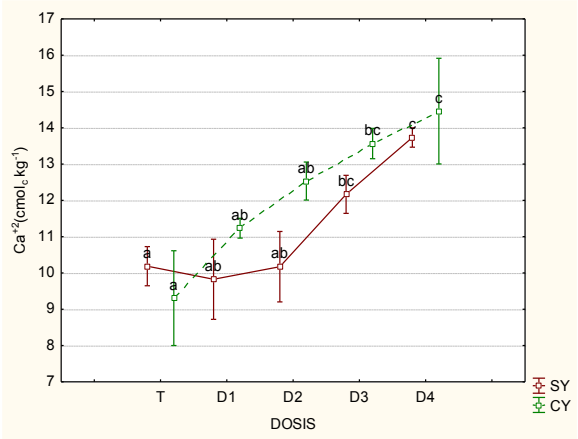
Figura 1a:-pH actual (1:2,5 suelo/H_2O); 1b-capacidad de intercambio catiónico (CIC, $cmol_c$ kg^{-1}); 1c-contenido de calcio (Ca^{+2}, $cmol_c$ kg^{-1}); 1d-carbono orgánico total (COT, g C kg^{-1} suelo); según tratamiento aplicado T=0 kg ha^{-1}, D1=1000 kg ha^{-1}, D2=2000 kg ha^{-1} y D3=3000 kg ha^{-1} de dolomita con adición de 200 kg ha^{-1} de yeso y sin adición en un suelo Hapludol. En pH letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción dosis-yeso. En el resto de las variables letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis. Las barras representan el error estándar.

En el Argiudol el pH presentó incremento significativo en D4 respecto a T de 0,6 puntos de pH ($p<0,05$) y no se modificó con la adición de yeso ($p<0,05$) (Figura 2a).

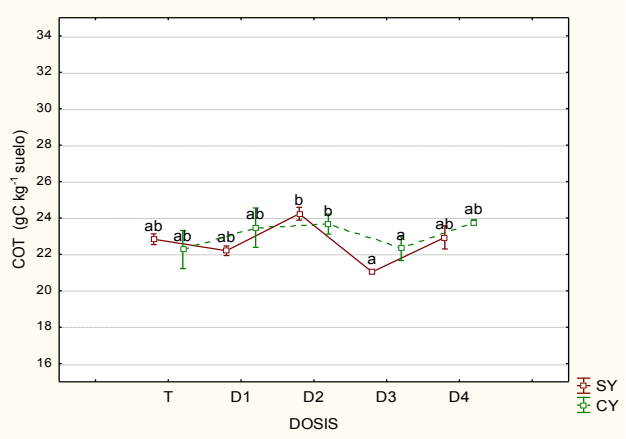


a

b



c



d

Figura 2a-pH actual (1:2,5 suelo/H2O); 2b-capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmolc kg-1); 2c-contenido de calcio (Ca+2, cmolc kg-1); 2d-carbono orgánico total (COT, g C kg-1 suelo); según tratamiento aplicado T=0 kg ha^{-1}, D1=1000 kg ha^{-1}, D2=2000 kg ha^{-1}; D3=3000 kg ha^{-1} y D4=4000 kg ha^{-1} de dolomita con adición de 200 kg ha^{-1} de yeso y sin adición en un suelo Argiudol. Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis. Las barras representan el error estándar.

En el Paleudol el pH aumentó con la adición de dolomita y no presentó respuesta al agregado de yeso ($p<0,05$). El tratamiento D4 presentó incremento de pH respecto a T, D1 y D2 de 0,7; 0,6 y 0,4 puntos; y D3 presentó incremento de pH respecto a T y D1 de 0,6 y 0,5 puntos (Figura 3a). Estos aumentos de pH obtenidos en los tres suelos con la adición de enmiendas coinciden con lo hallado por numerosos autores (Millán, 2010; Carrizo, 2014).

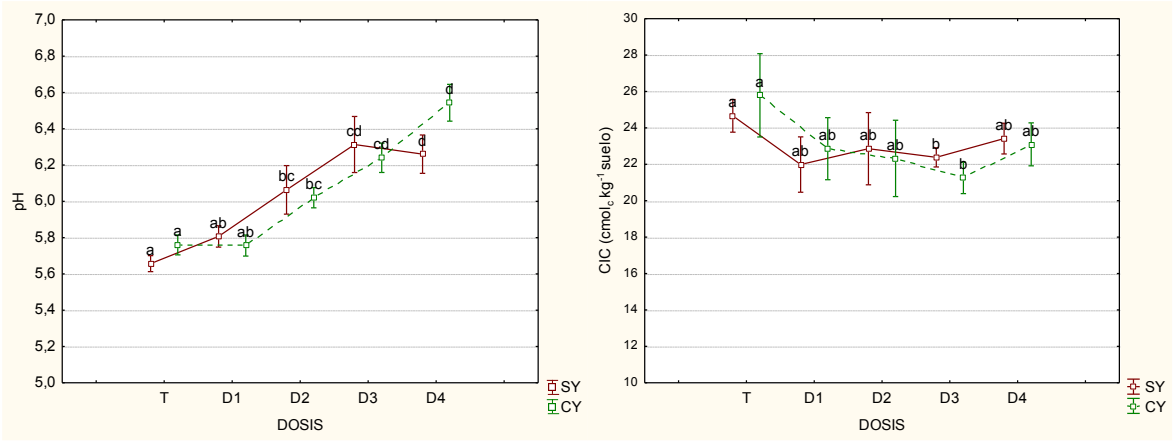


Figura 3a-pH actual (1:2,5 suelo/H2O); 3b-capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmolc kg-1); 3c-contenido de calcio (Ca+2, cmolc kg-1); 3d-carbono orgánico total (COT, gC kg-1 suelo); según tratamiento aplicado T=0 kg ha^{-1}, D1=1000 kg ha^{-1}, D2=2000 kg ha^{-1}; D3=3000 kg ha^{-1} y D4=4000 kg ha^{-1} de dolomita con adición de 200 kg ha^{-1} de yeso y sin adición en un suelo Paleudol. Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis. Las barras representan el error estándar.

La CIC en el Hapludol se incrementó significativamente en D1, 18% respecto a T ($p<0,05$) (Figura 1b), en el Argiudol no presentó respuesta ante el agregado de dolomita y yeso ($p<0,05$) (Figura 2b) y en el Paleudol la CIC disminuyó 13,6% en D3 respecto a T sin presentar respuesta a la adición de yeso ($p<0,05$) (Figura 3b). Según Vázquez et al. (2005) el aumento de pH incrementaría la capacidad de intercambio catiónica (CIC), debido a las cargas dependientes del grado de acidez. Sin embargo, en este estudio no se observo dicha relación. Resultados similares a este trabajo obtuvieron Pellegrini et al. (2015), quienes hallaron que la capacidad de intercambio bufferada (CIC) y no bufferada (CICnb) carecen de capacidad diagnóstica sobre la dosis de enmiendas aplicadas al suelo.
El COT en el Hapludol presentó un aumento del 15% en D1 respecto a T ($p<0,05$) (Figura 1c), en el Argiudol se incrementó en D2 respecto a D3 10,6% ($p<0,05$) (Figura 2c) y en el Paleudol no presentó respuesta a las diferentes dosis de dolomita ($p<0,05$) (Figura 3c). En ninguno de los tres suelos el contenido de COT se modificó con la adición de yeso ($p<0,05$). Estos resultados variables entre suelos se deberían a que no están completamente definidos los efectos del encalado sobre el contenido de materia orgánica. Por un lado la aplicación de enmiendas mejora la respuesta a la aplicación de fertilizantes en suelos ácidos, debido a que mejora la exploración del suelo por las raíces que permite que la planta absorba los nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo, incrementando los rendimientos del cultivo y aumentando así la eficiencia de los mismos, incidiendo indirectamente en la cantidad de residuos y posterior balance de materia orgánica (León, 1998). Sin embargo, otros autores

demostraron que el encalado produciría mayor actividad microbiana y con ello aumentaría la mineralización de la materia orgánica lábil (Thompson, 1988). Este último mecanismo podría explicar que en el Hapludol las dosis más altas al generar mayor incremento de pH respecto a la dosis de 1000 kg ha-1, habrían favorecido la disminución de materia orgánica. Por otra parte se observó que en el Hapludol y Paleudol la CIC estuvo relacionada con el contenido de COT (r=0,81 y r=0,73 respectivamente), y no con los incrementos de pH como menciona Vázquez et al. (2005).

En el Hapludol el contenido de Ca^{+2} no presentó respuesta a la dolomita y al yeso en el tiempo evaluado ($p<0,05$) (Figura 1d). En el Argiudol se observó incremento conforme a la dosis. El tratamiento D4 presentó mayor contenido respecto a T, D1 y D2, con un incremento del 44,6%, 33,9% y 24,22%; y D3 aumentó en un 32,3% respecto a T. Los tratamientos CY tendieron a presentar un 9% más contenido de Ca^{+2} que los tratamientos SY ($p<0,056$) (Figura 2d). En el Paleudol el Ca^{+2} aumentó en D4 respecto a D1 y D2 en un 21% y 18% respectivamente ($p<0,05$) y no se modificó con la adición de yeso ($p<0,05$) (Figura 3d).

El DMP no presentó respuesta significativa ante el agregado de enmiendas en ninguno de los tres suelos ($p<0,05$) coincidiendo con Henin (1958) quien en ensayos en parcelas encaladas encontró mejora general en propiedades físicas del suelo en relación con la capacidad de infiltración del suelo, pero la estabilidad estructural no fue suficientemente sensible para mostrar dicha mejora.

CONCLUSIONES

Se concluye que las enmiendas básicas incrementaron el pH en los tres suelos bajo estudio. En el Hapludol con 1000 kg ha^{-1} de dolomita aumentó la capacidad de intercambio catiónica y el carbóno orgánico relacionándose ambas variables entre sí. En el Argiudol el contenido de carbóno orgánico fue variable según la dosis y el contenido de calcio se incrementó conforme a esta. En el Paleudol el contenido de calcio se incrementó con dosis altas de dolomita. Las enmiendas y dosis estudiadas no afectaron a la estabilidad estructural. El yeso combinado con dolomita produjo incremento de pH en el Hapludol.

BIBLIOGRAFIA

Carrizo, ME, C.A. Alesso, H. Billoud & M.A. Pilatti. 2014. Comparación del poder de neutralización de enmiendas calcáreo-magnésicas en suelos de la Pampa llana santafesina. Rev. FCA UNCUYO. 2014. 46(2): 73-82. ISSN (en línea) 1853-8665.

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. Consultado 28/11/2019.

Espinoza, J. & E. Molina.1999. Acidez y encalado de suelos. Impofos primera edición. 42p.

Gambaudo S. 2003. La acidez del suelo en la Región Pampeana. En: Nielson, H.; Surudiansky, R. (Ed.). Fertilizantes y enmiendas de origen mineral. Argentina. Panorama Minero. 193-216.

GeoINTA. geointa.inta.gov.ar/visor/. Consultado 16/10/2019.

Hénin, S, G. Monnier & A. Combeau. 1958. Méthode pour l´étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. 9: 73-92

Hernández J.C., D.L. Orihuela, S. Pérez-Mohedano, L. Marijuan & N.R. Furet. 2003. Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en columnas de suelos calizos. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo 4: 99-104.

Hernández, JP, M. Vázquez, A. Terminiello & M. García. 2006. Movimiento descendente de bases en un suelo tratado con correctores de la acidez y yeso. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina.

Lanfranco J.W. 1988. Carta de suelos de la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la FCAyF/UNLP, Inédito.

Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science 47: 425-437.

León, R.J.C., D. Bran, M. Collantes, J.M. Paruelo & A. Soriano 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia. Ecología Austral8: 125-144.
Meloni DA. 2012. Respuestas fisiológicas a la suplementación con calcio de plántulas de vinal (Prosopis ruscifolia G.) estresadas con NaCl. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 44(2): 79-88.
Millán, G., M. Vázquez, A. Terminiello, & D. Santos Sbuscio. 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. Ciencia del Suelo 28(2): 131-140.
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 Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. Acta digital.
Pellegrini, A. E., Sucunza, F. A., Millán, G., & Vázquez, M. E. 2016. Comparación de metodologías analíticas para diagnosticar suelos con enmiendas básicas en el ámbito templado argentino. Ciencia del suelo, 34(1): 1-12
SAGPyA. Dirección de Producción Agrícola. 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA). CD-room.
StatSoft Inc. 2005. STATISTICA version 7.1. www.statsoft.com.
Thompson LM & R Troeh. 1988. Los suelos y su fertilidad. Ed. Reverte 661 páginas
Vázquez M. 2005. Calcio y Magnesio del suelo. Cap.8:161-185. En Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Echeverría H., García F. (Eds).INTA, Bs As, Argentina 525 p.
Vázquez M. 2009. Capacitación para la recuperación de suelos degradados de establecimientos pequeños bonaerenses de Chascomús. Edición papel y CD-rom.