

Comparación del poder de neutralización de enmiendas calcáreo-magnésicas en suelos de la Pampa llana santafesina

Comparison of neutralization power of amendment based on calcium and magnesium in soils of flat pampas of Santa Fe

María Eugenia Carrizo, Carlos Agustín Alesso, Hernán Billoud, Miguel Ángel Pilatti

Originales: Recepción: 27/08/2013 - Aceptación: 02/07/2014

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue comparar el poder de neutralización de enmiendas calcáreo- magnésicas y evaluar su efecto sobre el complejo de intercambio catiónico en suelos de la pampa llana santafesina. Para ello, se aplicaron tres enmiendas (caliza, dolomita y enmienda mezcla) a dos dosis (neutralización del 100% y 150% del hidrógeno de intercambio). Se evaluó: pH actual, pH potencial, hidrógeno, calcio y magnesio intercambiable luego de 60 días de incubación. El pH actual no mostró diferencias entre dosis, mientras que el incremento de pH de las enmiendas fue caliza > dolomita > mezcla. El pH potencial fue más sensible al tipo de enmienda y dosis. Todos los tratamientos redujeron el nivel de insaturación, aunque ninguno neutralizó la totalidad del hidrógeno intercambiable. En relación con el calcio intercambiable, todos los tratamientos produjeron aumentos y la mayor saturación cálcica se obtuvo con la aplicación de caliza o enmienda mezcla con la dosis necesaria para neutralizar 1,5 veces el hidrógeno intercambiable. En cuanto al magnesio, las enmiendas dolomita y mezcla aumentaron significativamente el contenido independientemente de la dosis. La información aquí presentada es de utilidad para la prescripción de enmiendas calcáreo- magnésica en los suelos de la Pampa llana santafesina.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare the neutralization power of amendments based on calcium and magnesium and to assess their effects on the cation exchange complex in soils of flat Pampas of Santa Fe. Three amendments (lime, dolomite and mixture amendment) at rates calculated to neutralize 100% and 150% of exchangeable hydrogen were applied to samples from soils incubated for 60 days. The responses on actual and potential pH, and hydrogen, calcium and magnesium exchangeables were assessed. The increment of actual pH showed differences between amendments and the order of response was lime > dolomite > mixture amendment. No difference between the applied rates were observed. The potential pH was more sensitive to the type and of rates amendment. All treatments reduced the level of unsaturation, although the full neutralization was not achieved with the tested rates. Increments of exchangeable calcium were observed in all treatments and the greatest calcium saturation was obtained when lime or mixture amendment were applied at the highest rate. Dolomite and mixture amendment significantly increased the content of magnesium regardless of the rate. The information presented here is useful for prescribing magnesian-calcareous amendments in soils of the flat Pampas of Santa Fe.

Palabras clave

dolomita • suelos ácidos • encalado

Keywords

dolomite • acid soils • liming

INTRODUCCIÓN

La acidez del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de elementos tóxicos, la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana, el proceso de fijación biológica de nitrógeno, y propiedades físicas del suelo (1). El pH es usado comúnmente como indicador de esta propiedad y por lo tanto está asociada directa o indirectamente al crecimiento y la producción de los cultivos (11). Es por ello que resulta necesaria la corrección de la acidez del suelo mediante la aplicación de enmiendas para elevar el pH a niveles cercanos a la neutralidad (24).

Los productos más utilizados en la actualidad para corregir la acidez del suelo son la caliza (CaCO_3) y la dolomita (CaCO_3 / MgCO_3) (23). Sin embargo, la escasa solubilidad de estos materiales, en particular cuando no son incorporados al suelo, comprometen la eficiencia de utilización en el mediano a corto plazo. Para solucionar este inconveniente se ha propuesto la combinación de las enmiendas citadas con productos tales como el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que incrementa la solubilidad del calcio de dichas fuentes.

Estudios recientes realizados en la región central de Santa Fe indican que los suelos manifiestan un progresivo descenso en los valores de pH y una significativa pérdida de bases intercambiables (3, 5, 9, 17). Este proceso responde principalmente a causas antrópicas, entre éstas se pueden mencionar: (i) la elevada exportación de bases a través de la producción agrícola y pecuaria, (ii) la prolongada aplicación de fertilizantes nitrogenados de reacción ácida y (iii) la acumulación de materia orgánica superficial en sistemas de siembra directa (2, 19).

Las experiencias de encalado realizadas en esta región han mostrado efectos positivos y variados sobre el aumento de pH suelo y saturación de bases así como la respuesta en los rendimientos de los cultivos agrícolas (7, 12, 21, 22). Es por ello que en los últimos años esta práctica ha tenido una amplia difusión y adopción. No obstante, existen pocos estudios comparativos sobre las diferentes características de los productos correctores, como su solubilidad, poder de neutralización, velocidad de reacción y su interacción con el complejo de cambio del suelo, que permitan ajustar los criterios para la elección del corrector más apropiado en cada situación de manejo.

Se hipotetiza que las diferencias de calidad y composición de las enmiendas cálcico-magnésicas influyen de manera diferencial sobre los niveles de pH y la composición del complejo de intercambio catiónico, y que estos cambios dependen de la dosis aplicada. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue comparar el poder de neutralización de tres enmiendas calcáreo-magnésicas y el efecto sobre el complejo de intercambio catiónico en suelos Argiudoles de la Pampa Llana Santafesina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó con muestras de suelo de nueve Argiudoles del centro de Santa Fe (Argentina) que se encontraban bajo historias agrícola-ganaderas de diferentes intensidades y duración. Los lotes fueron seleccionados por sus niveles de acidificación a partir de los resultados obtenidos en Carrizo *et al.* (2011) (figura 1). Dichos suelos son de origen loésico o limo-loésico, con un horizonte A de 29 a 37 cm de espesor cuya granulometría varía de 65 a 70% de limo, 18 a 25% de arcilla y porcentajes de arena inferiores al 5%.

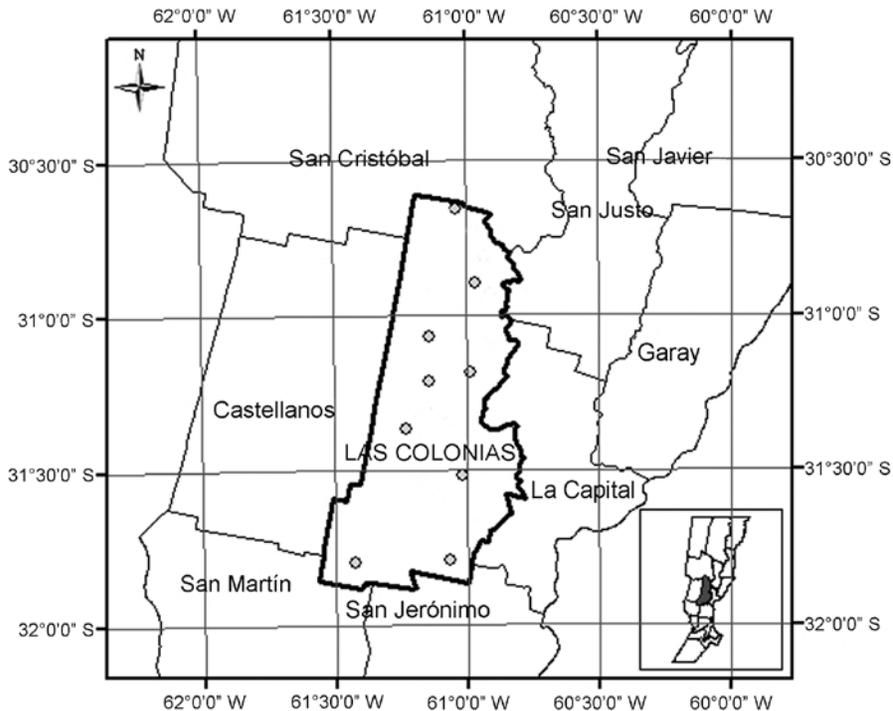


Figura 1. Mapa de la región central de Santa Fe con la localización geográfica de los sitios de muestreo.

Figure 1. Map of the central region of Santa Fe with the geographical localization of the sampling places.

Con el material extraído correspondiente a los primeros 15 cm del horizonte superficial se realizó un ensayo de incubación de 60 días de duración. Para ello el material fue secado al aire y tamizado por malla de 2 mm y se colocó en envases plásticos a 500 g de suelo.

Los tratamientos se aplicaron a los nueve suelos ($n = 9$) y consistieron en tres enmiendas calcáreo-magnésicas a dos dosis y un control sin aplicar. Las enmiendas utilizadas fueron:

- (i) caliza (99% CaCO_3).
- (ii) dolomita (33% OCa y 20% OMg).
- (iii) una enmienda mezcla (24% OCa, 15% OMg y 17% SO_4Ca), con un poder relativo de neutralización total (PRNT) de 99, 88 y 67% respectivamente.

Las dosis aplicadas se calcularon para cada suelo siguiendo el procedimiento sugerido por Conti *et al.* (1983) para neutralizar el 100% y 150% del hidrógeno de intercambio (tabla 1). Durante el periodo de incubación las macetas se mantuvieron a capacidad de campo y se conservaron bajo condiciones controladas de temperatura (25°C).

Tabla 1. Listado de los tratamientos evaluados con el rango de dosis, expresadas en kg ha^{-1} , aplicadas a la muestra de suelos estudiados.

Table 1. List of the treatments assessed with the range of applied dose expressed in kg ha^{-1} in the sample of soils.

Tratamiento	Dosis de Enmienda equivalente en kg ha^{-1}		
	media	min	máx
Testigo	0	0	0
Caliza100	2877	2300	3200
Caliza150	4316	3450	4800
Dolomita100	5280	4220	5872
Dolomita150	7920	6330	8807
Mezcla100	4878	3898	5424
Mezcla150	7316	5847	8136

Al finalizar el ensayo de incubación se realizaron las siguientes determinaciones químicas según el Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis (18): pH actual (relación de suelo:agua 1:2,5), pH potencial (relación suelo:KCl 1:2,5); CIC y bases intercambiables: método del acetato de amonio 1 N pH 7 y post-determinación del amonio por destilación Kjeldahl; calcio y magnesio intercambiable (Ca y Mg) por complexometría con EDTA; hidrógeno intercambiable (H) (16). La respuesta a la aplicación de los tratamientos se modeló mediante un modelo mixto considerando los lotes como bloques aleatorios. Para ello se utilizó el software estadístico R (15) y el módulo nlme (14). El efecto de las distintas enmiendas se evaluó mediante ANOVA ($\alpha = 0,05$) y las medias se contrastaron por el procedimiento de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 (pág. 77) se presentan las estadísticas descriptivas de los niveles de pH y los componentes del complejo de intercambio catiónico para los suelos

estudiados. A excepción del Mg cuya variación fue moderada ($CV \approx 20\%$), el resto de los parámetros estudiados presentó niveles de variación bajos acordes a lo reportado en la bibliografía (20).

Los valores de pH actual y potencial observados evidencian un proceso de acidificación moderado a fuerte para estos suelos así como un alto potencial de acidificación. La CIC de estos suelos es intermedia con saturación cálcica bajas a moderadas (entre 44% y 57%). De acuerdo con Fassbender y Bornemisza (1994), la proporción de Mg presente en el complejo es adecuada para estos suelos ya que representó entre el 8 y 15% de la CIC. La valoración directa del H indicó niveles de insaturación elevados entre 16 y 27% lo cual sugeriría marcadas respuestas al agregado de enmiendas.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas correspondientes a los niveles de pH actual y potencial, capacidad de intercambio catiónico (CIC), insaturación y bases intercambiables de los suelos estudiados.

Table 2. Descriptive statistics for levels of actual and potential pH, cationic exchange capacity (CEC), unsaturation and exchangeable bases the soils stud.

Atributo	n	Media	Desvío	Mínimo	Máximo
pH actual	9	5,3	0,1	5,2	5,5
pH potencial	9	4,8	0,12	4,6	4,9
CIC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	9	13,5	1,12	11,9	15,4
Ca ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	9	7,1	0,29	6,3	8,0
Mg ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	9	1,6	0,55	1,3	2,1
H ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	9	2,9	0,33	2,3	3,2

Efecto sobre la reacción actual y potencial del suelo

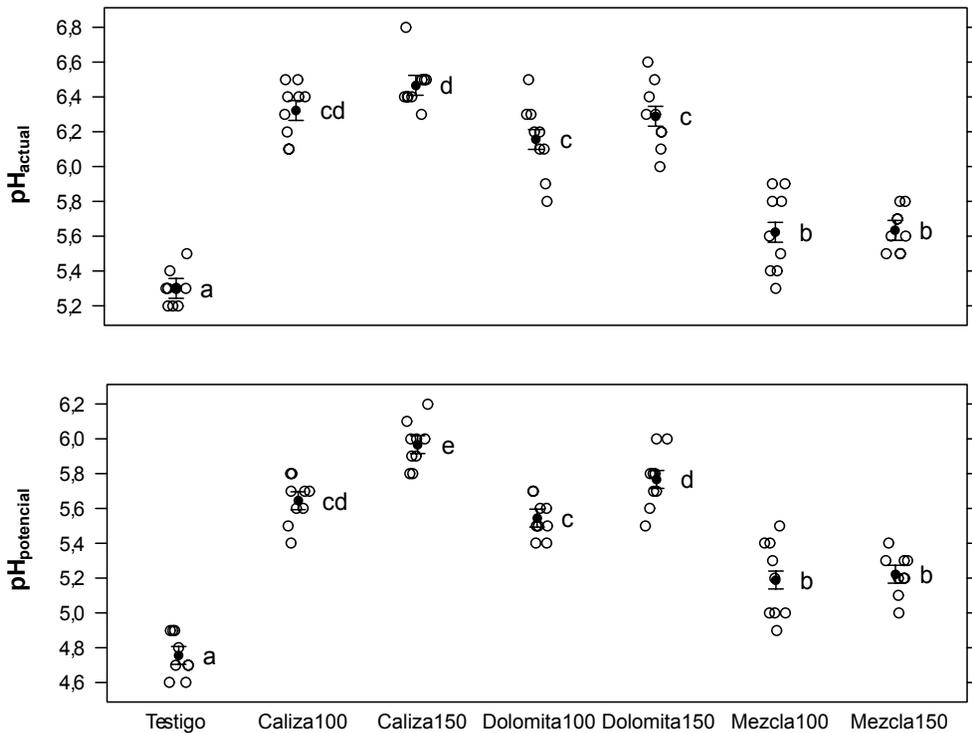
Los tratamientos evaluados resultaron en aumentos significativos de los niveles de pH actual y potencial en relación con el Testigo, y se observaron diferencias en la respuesta a los tipos de enmienda aplicadas con una proporción de variación significativa debido a las diferencias entre los lotes estudiados (LRT, $P < 0,001$). Los menores aumentos de pH actual o potencial se observaron con la enmienda mezcla independientemente de la dosis, mientras que las máximas respuestas se observaron con la aplicación de caliza a dosis equivalentes para neutralizar el 150% de la insaturación. La dolomita registró un comportamiento intermedio entre ambos. En el caso del pH actual, tanto para caliza como para dolomita mostraron respuestas similares para ambas dosis, mientras que el pH potencial fue más sensible a la dosis aplicada (figura 2, pág. 78).

Estos resultados son consistentes con los reportados en la bibliografía y corroboran la hipótesis planteada sobre la influencia de la calidad y dosis de enmienda en la reacción del suelo. Vázquez *et al.* (2009) verificaron que el agregado de dolomita fue menos efectivo que la conchilla para lograr aumentos significativos en el pH actual, y no obtuvieron efectos debido a las diferentes dosis de corrector en un Argiudol típico ubicado en la región pampeana. Millan *et al.* (2010) encontraron sobre Argiudoles y Hapludoles de la pradera pampeana que la aplicación de caliza fue más efectiva que la dolomita en la corrección del pH y sostienen que si bien la dolomita presenta mayor poder neutralizante que la caliza, al ser un carbonato menos soluble, su ventaja respecto de la caliza sólo se manifiesta en condiciones de mayor posibilidad de solubilización.

La menor respuesta de la enmienda mezcla se explica por su contenido de sulfatos los cuales reducen su poder de neutralización de los hidrógenos presentes en la solución de suelo. Es por ello que para corregir los niveles de pH de estos suelos, las enmiendas de este tipo son menos efectivas y convendría aplicarlas en combinación con dolomita o caliza ya que incrementan la solubilidad de estas últimas y durante las reacciones de neutralización provocan aumentos significativos de pH.

Efecto sobre la insaturación, Ca y Mg intercambiable

Al igual que lo observado para pH, se observaron diferencias en la respuesta a los tipos de enmienda aplicadas con una proporción de variación significativa debido a las diferencias entre los lotes estudiados (LRT, $P < 0,001$).



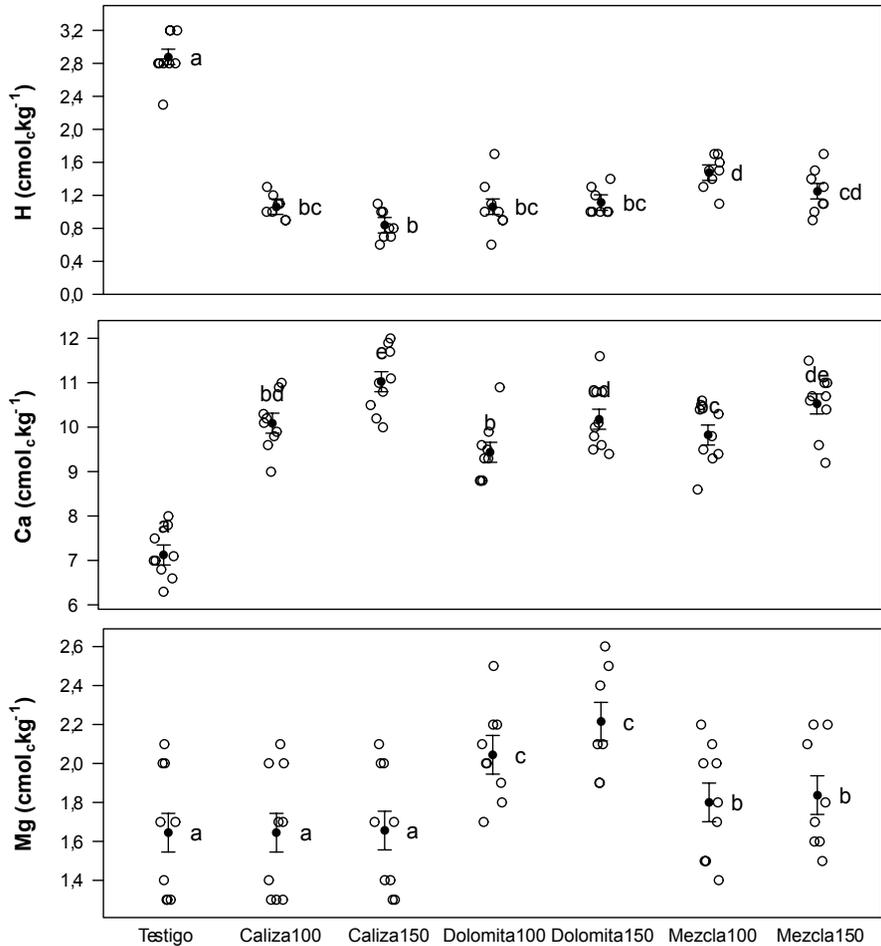
Círculos abiertos muestran la respuesta individual de los lotes estudiados y círculos llenos representan la respuesta media con su respectivo error estándar (barras verticales). Letras distintas indican diferencias significativas según test de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Open symbols display individual response of each field and filled circles with their vertical bars represents the mean response for each treatment and its standar error. Different letters indicate statistically significant differences between mean after Tukey test ($\alpha = 0.05$).

Figura 2. Respuesta del pH actual y potencial a la aplicación de enmiendas calcáreo- magnésicas en Argiudoles del centro de Santa Fe.

Figure 2. Response of actual and potential soil pH to the application of amendment based on calcium and magnesium in Argiudolls of the center of Santa Fe.

En la figura 3 se observa que todos los tratamientos aplicados redujeron significativamente el nivel de insaturación del complejo. No obstante, ninguno de ellos permitió neutralizar la totalidad el H intercambiable, incluso en las dosis calculadas para neutralizar 1,5 veces la insaturación. La reducción de este catión con la aplicación de enmienda mezcla fue ligeramente menor a la obtenida con caliza y dolomita, cuyas respuestas fueron similares independientemente de la dosis.



Círculos abiertos muestran la respuesta individual de los lotes estudiados y círculo lleno representa la respuesta media con su respectivo error estándar (barras verticales). Letras distintas indican diferencias significativas según test de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Open symbols display individual response of each field and filled circles with their vertical bars represents the mean response for each treatment and its standar error. Different letters indicate statistically significant differences between mean after Tukey test ($\alpha = 0.05$).

Figura 3. Respuesta del H, Ca y Mg intercambiable a la aplicación de enmiendas calcáreo-magnésicas en Argiudoles del centro de Santa Fe.

Figure 3. Response of exchangeable H, Ca and Mg to the application of amendment based on calcium and magnesium in Argiudolls of the center of Santa Fe.

En cuanto a la respuesta del Ca, todos los tratamientos evaluados resultaron en aumentos significativos del contenido de este catión en comparación al Testigo sin aplicar luego de los 60 días de incubación. Las mejores respuestas se obtuvieron con la aplicación de caliza o enmienda mezcla en una dosis equivalente a la necesaria para neutralizar 1,5 veces el H de intercambio. Dichos tratamientos representaron un aumento del contenido de Ca de 3,9 y 3,4 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ respecto al Testigo. Así mismo, para cada tipo de enmienda la respuesta fue mayor con la dosis 150 respecto 100 (figura 3, pág. 79). Estos resultados reflejan la diferente solubilidad de las enmiendas.

Aunque la caliza presenta mayor proporción de calcio en su composición, la mayor solubilidad de la enmienda mezcla logra equiparar la concentración de calcio en el complejo de cambio. No obstante, la duración del ensayo de incubación fue insuficiente para observar claramente los efectos de cada enmienda sobre la saturación cálcica del suelo por lo que sería necesario repetir los tratamientos en ensayos de larga duración.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo y las experiencias realizadas por otros autores (8, 9, 21, 23) confirman que la aplicación de diferentes dosis y tipos de correctores mejoran la oferta de este nutriente en la solución del suelo para los cultivos. Sin embargo, Vazquez *et al.* (2010), en suelos de similares características a los estudiados, no observaron cambios en el contenido de calcio luego de la adición de caliza/conchilla y dolomita.

Las enmiendas dolomita y mezcla aumentaron significativamente el contenido de Mg en el complejo de intercambio independientemente de las dosis evaluadas. El tratamiento con caliza no difirió del testigo sin aplicar lo cual era esperable debido a su composición (no contiene Mg). Si bien se registraron diferencias entre el efecto de la dolomita y mezcla, no hubo diferencias entre las dosis aplicadas (figura 2, pág. 78). En promedio dichas enmiendas representaron un incremento de 4,5 y 1,8 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ respectivamente. Gambaudo y Micheloud (2013) encontraron variaciones de menor significancia al aplicar una enmienda granulada dolomítica en un suelo de la región este en la provincia de Santa Fe.

Por otra parte, Vazquez *et al.* (2009) no encontraron cambios significativos en el Mg ante el agregado de diferentes dosis de conchilla y dolomita. Similarmente en otro estudio, Vazquez *et al.* (2010) al aplicar menores dosis de caliza/conchilla y dolomita que las utilizadas en este estudio sobre un Argiudol típico no hallaron diferencias en el contenido de magnesio intercambiable.

CONCLUSIONES

La calidad de los materiales utilizados para la corrección de la acidez de los suelos es un aspecto muy importante ya que determina el efecto de la enmienda sobre el pH y composición del complejo de intercambio catiónico. Por lo tanto, los resultados aquí presentados representan un avance en el conocimiento de los factores que afectan la respuesta del suelo a esta práctica y constituyen información relevante

para la prescripción de enmiendas calcáreo-magnésica en los suelos de la Pampa Llana Santafesina. Asimismo, estos resultados señalan la necesidad de realizar estudios a largo plazo para profundizar la comprensión de la dinámica de la acidez del suelo en respuesta a esta práctica agronómica así como ajustar metodologías de diagnóstico y corrección a los problemas de acidez en estos suelos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brady, N. C.; Weil, R. R. 2008. 14th ed. The nature and properties of soils. Pearson Prentice Hall, 960 p.
2. Burle, M. L.; Mielniczuk, J.; Focchi, S. 1997. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant and Soil*. 190: 309-316.
3. Carrizo, M. E.; Pilatti, M. A.; Alesso, C. A.; Imhoff, S. 2011. Atributos químicos de suelos argiudoles cultivados y no cultivados del departamento Las Colonias (Santa Fe). *Ciencia del Suelo* 29: 173-179.
4. Conti, M.; Maccarini, G.; González, M. 1983. Método rápido de corrección de suelos ácidos. *Ciencia del Suelo*. 1: 15-20.
5. Cruzate, G. A.; Casas, R. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas*. 6: 7-14.
6. Fassbender, H. W.; Bornemisza, E. 1994. 2° ed. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 420 p.
7. 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.
8. Gambaudo, S.; González, B. 2000. Efecto del encalado sobre el rendimiento de sorgo granífero y algunas propiedades químicas del suelo. *Actas XXIV Reunión brasilera de fertilidad del suelo y nutrición de las plantas*. Santa María, Río Grande do Sul, Brasil.
9. Gambaudo, S.; Zampar, A.; Tomatis, L.; Quaino, O. R. 2001. Respuesta de la alfalfa a la aplicación de dos enmiendas calcáreas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 12:4-6.
10. Gambaudo, S.; Micheloud, H. 2003. Momento de aplicación de una dolomita para corregir la acidez edáfica. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2002/a2002_p157.htm. Consultado Agosto 2013.
11. Malhi, S.; Nyborg, M.; Harapiak, J. 1998. Effect of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and bromegrass. *Soil & Tillage Research*. 48: 91-101.
12. Meloni, D. A. 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.
13. Millán, G.; Vázquez, M.; Terminiello, A.; Santos Sbuscio, A. 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*. 28: 131-140.
14. Pinheiro, J. C.; Bates, D. M.; DebRoy, S.; Sarkar, D. R Development Core Team. 2013. nlme: Linear and Nonlinear mixed effects models. Ed. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria.
15. R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. Ed. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria.
16. Ritcher, M.; Conti, M.; Maccarini, G. 1982. Mejora en la determinación de cationes intercambiables, ácidos intercambiables y capacidad de intercambio catiónico en suelos. *Revista Facultad de Agronomía*. 3: 145-155.
17. Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.; Angelini, H. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del Suelo*. 29: 29-37.
18. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMPLA). 2004. CD-room.
19. Vázquez, M. 2005. Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. En: Echeverría, H.; García, F. (Eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 161-185.
20. Vázquez, M.; Piro, A.; Millán, S. G. de; Lanfranco, J. 2003. Corrección de suelos ácidos de La Pampa húmeda para la producción de alfalfa. *Rev. Arg. Prod. Animal*. 23: 69-80.
21. Vázquez, M.; Terminiello, A.; Duhour, A.; García, M.; Guilino, F. 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. Asociación con propiedades químicas. *Ciencia del Suelo*. 27: 67-76.

22. Vázquez, M.; Terminiello, A.; Casciani, A.; Millán, G.; Gelati, P.; Guilino, F.; García Díaz, J.; Kostiria, J.; García, M. 2010. Influencia del agregado de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en ámbitos templados argentinos. *Ciencia del Suelo*. 28: 141-154.
23. 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 (*glycine max* L. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del Suelo*. 30: 43-55.
24. Whalen, J.; Chang, C.; Clayton, G.; Carefoot, J. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:962-966.