

EFFECTO DEL ENCALADO SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO Y SOBRE EL RENDIMIENTO DE SOJA (GLYCINE MAX)

NATALIA MACHETTI*¹⁻²; ANDREA EDITH PELLEGRINI¹⁻²; NICOLÁS MARÍA GUTIÉRREZ²;
RAFAEL ANDRÉS GIRAUDO²; FRANCISCO TROPEANO²; FEDERICO FERNÁNDEZ²;
MABEL ELENA VÁZQUEZ²; DIEGO JULIÁN COSENTINO³

Recibido: 20/6/2019

Recibido con revisiones: 20/8/2019

Aceptado: 22/8/2019

RESUMEN

La región pampeana argentina padece acidificación acelerada de sus suelos por su historia productiva y tecnología aplicada en las últimas décadas, derivando en consecuencias sobre los cultivos de cosecha. Experiencias de encalado en Buenos Aires y Santa Fe mostraron efectos variados sobre el aumento de pH y saturación de bases, mejorando propiedades físicas y rendimiento. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la incidencia de diferentes dosis de enmiendas básicas sobre el pH, carbono orgánico, dinámica del agua, densidad aparente, resistencia a la penetración, rendimiento de soja y sus componentes. Los ensayos se realizaron en dos suelos de la Pampa Ondulada, un Argiudol con pH 5,66 y un Paleudol con pH 5,44, en bloques completamente al azar con 3 repeticiones. Los tratamientos fueron 0 (TCY), 1000(D1CY) y 4000(D4CY) kg ha⁻¹ de dolomita todos con 200 kg ha⁻¹ de yeso. Se sembró soja 3 meses y 1 mes posteriores al encalado en el Argiudol y Paleudol respectivamente. Las variables evaluadas fueron pH, carbono orgánico (COT), infiltración básica (Ib), densidad aparente (Dap), resistencia a la penetración (RP), rendimiento (R) y sus componentes: plantas/hectárea (PL ha⁻¹), vainas/planta (V PL⁻¹), granos/vaina (G V⁻¹), granos/planta (G PL⁻¹) y peso de 1000 granos (P 1000G). En el Argiudol y Paleudol, el tratamiento D4CY produjo aumento del pH respecto a TCY. El COT no presentó diferencias entre los tratamientos. La Ib aumentó para los dos suelos con D4Y respecto a TCY. La Dap disminuyó con D4CY en el Argiudol. La adición de dolomita produjo disminución de PL ha⁻¹ e incremento del resto de los componentes, lo que produjo incremento del rendimiento del 45% con D4CY en el Paleudol.

Palabras clave: acidez antrópica, dolomita, enmiendas

EFFECT OF LIMING ON SOIL CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES AND ON SOYBEAN YIELD (GLYCINE MAX)

ABSTRACT

The Argentine Pampean region suffers an accelerated acidification of its soils as consequence of its productive history and the technology applied in recent decades. Liming experiences in Buenos Aires and Santa Fe showed variable effects on the increase of pH and saturation of bases, improving physical properties and crops performance. The objective of the present study was to evaluate the incidence of different doses of basic liming on pH, organic carbon, water dynamics, bulk density, resistance to penetration, yield of soybean and its components. The tests were carried out in two soils of the Rolling Pampa, an Argiudoll with pH 5.66 and a Paleudoll with pH 5.44, in completely random blocks with 3 repetitions. The treatments were 0 (TCY), 1000 (D1CY) and 4000 (D4CY) kg ha⁻¹ of dolomite all with 200 kg ha⁻¹ of gypsum. Soybeans were planted 3 months and 1 month after liming in the Argiudoll and in the Paleudoll respectively. The evaluated variables were pH, total organic carbon (TOC), basic infiltration (Bi), bulk density (BD), resistance to penetration (PR), yield (R) and its components: plants/hectare (PL ha⁻¹), pods/plant (V PL⁻¹), grains/pod (G V⁻¹), grains/ plant (G PL⁻¹) and weight of 1000 grains (P 1000G). In the Argiudoll and Paleudoll, the D4CY treatment produced an increase in pH with respect to TCY. The TOC did not show differences between the treatments. The Bi increased for the two soils with D4CY with respect to TCY. The BD decreased with D4CY in the Argiudoll. The addition of dolomite produced a decrease in PL ha⁻¹, an increase in the rest of the components and resulted in an increase in yield of 45% with D4CY in Paleudoll.

Key words: anthropic acidity, dolomite, liming

1 CISSAF (Centro de Investigaciones de Suelos para la Sustentabilidad Agropecuaria y Forestal); UNLP (Universidad Nacional de La Plata)

2 Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales; UNLP.

3 Facultad de Agronomía; UBA.

* Autora de contacto: natiem0345@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

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; Gelati & Vázquez, 2008; García & Vázquez, 2012). Dentro de esta región se encuentra la Pampa Ondulada, angosta franja que se extiende desde el río Carcarañá en Santa Fe hasta Punta Indio en Buenos Aires. Las condiciones climáticas de la Pampa Ondulada, que por un lado generaron horizontes B con distinto grado de desarrollo, y otro, permiten que los cultivos posean adecuado abastecimiento de agua y encuentren condiciones óptimas para su desarrollo y regularidad en los rendimientos, hizo que estos suelos sean los más productivos del país en trigo, maíz, girasol y soja (Imbellone *et al.*, 2010). En estos suelos la intensificación de la agricultura, el empleo de germoplasma de alto potencial de rendimiento e incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados, son factores determinantes de la problemática a nivel regional (Vázquez & Pagani, 2015). La transformación de planteos mixtos de los sistemas productivos en agricultura permanente, con reemplazo de cultivos tradicionales como maíz (*Zea mays*, L) por otros de mayor rentabilidad como soja (*Glycine max*, L Merr), trae como consecuencia una menor incorporación de residuos post-cosecha y mayor exportación de bases del suelo (Vázquez & Pagani, 2015). Esta sub-región es maicera por excelencia pero cada vez es más frecuente la secuencia soja-soja en siembra directa la que deja una cobertura de rastrojo muy pobre, que en muchos casos no pasa del 40% (Imbellone *et al.*, 2010).

Herrera *et al.* (2017), realizaron una caracterización general de la fertilidad de los suelos pampeanos en base a datos de análisis de suelos llevados a cabo desde el 2000 hasta el 2015 inclusive (16 años) por el Laboratorio SUELO-FERTIL, perteneciente a la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) comprendiendo más de 500 localidades distribuidas en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa. Observaron valores bajos de pH (menores a 6,0), límite para varias especies de relevancia regional, principalmente en el área núcleo

de producción de granos: NE y N de Buenos Aires, S de Santa Fe, SE de Córdoba y O de Entre Ríos. Si se comparan estos resultados con los de Sainz Rozas *et al.* (2011), puede deducirse que el área con pH inferior a 6,0 en el centro y este de la región pampeana, se ha extendido.

Desde el punto de vista del crecimiento vegetal, la acidificación deriva en múltiples consecuencias directas nutricionales, como las deficiencias de nutrientes secundarios básicos debido a una disminución de la reserva de Ca^{2+} y Mg^{2+} (Vázquez & 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 las de aluminio (Al) y manganeso (Mn) (FAO, 2019). Cultivos de cosecha de leguminosas como la soja, se ven seriamente afectados (González & Gambaudo, 2004; Dorronsoro *et al.*, 2006; García *et al.*, 2009; Vázquez *et al.*, 2012). Se ha señalado como valores de pH óptimo y crítico para esta especie, 6,4 y 5,8, respectivamente, reportándose valores de disminución de rendimiento del 20% para pH de 5,7 (Magra & Ausilio, 2004).

La acidificación del suelo también tiene consecuencias sobre algunas propiedades físicas, tanto estacionarias como dinámicas (Albuquerque *et al.*, 2003; Vázquez *et al.*, 2009; Nicora *et al.*, 2012). Desde el punto de vista microbiológico, la acidez del suelo afecta la composición y actividad de los microorganismos (Groffman *et al.*, 1996), responsables de procesos de alto interés agronómico. El tamaño de la biomasa y su diversidad están regulados por factores tales como cantidad y tipo de sustrato, disponibilidad de agua y su dinámica, disturbio del suelo y, particularmente, la oferta nutricional, entre la que cabe mencionar a elementos como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ (Groffman *et al.*, 1996; De Luca *et al.*, 2006).

La acidificación puede ser tratada mediante la práctica del encalado, enmienda que consiste en el agregado al suelo de caliza, dolomita y cal, entre otros. 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 la acción floculante que poseen el Ca^{2+} y en menor medida el Mg^{2+} , contenido en las enmiendas (Vázquez *et al.*,

2009). Dicha mejora en la estabilidad estructural genera disminución de la densidad aparente (Khaleel *et al.*, 1981; Clapp *et al.*, 1986; Tester, 1990), mejora en las tasas de infiltración de agua y la conductividad hidráulica (Felton *et al.*, 1995) (en Civeira & Lavado, 2006). Algunos autores han propuesto la aplicación de dolomita o caliza, en forma conjunta con yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Hernández *et al.*, 2003; Vázquez *et al.*, 2013). Este compuesto tiene la ventaja de poseer mayor solubilidad, pudiendo así constituir un suministro inicial de Ca generando la floculación de las arcillas, en tanto se produce la disolución paulatina de los carbonatos para aumentar el pH. Varios autores han indicado que los rendimientos de los cultivos leguminosos se pueden incrementar con la aplicación de yeso (CaSO_4), debido al aporte adicional de azufre (Alfaro *et al.*, 2006; Torres Duggan *et al.*, 2012).

Gambaudo (2003); Meloni (2012) y Vázquez *et al.* (2010) han mostrado, en suelos de la provincia de Buenos Aires y la región central de Santa Fe, efectos positivos del encalado sobre el aumento de pH del suelo, la saturación de bases y en la respuesta de los rendimientos de cultivos agrícolas. Roth & Pavan (1991) y Baldock *et al.* (1994) comprobaron que el encalado, en algunos suelos, propició mayor actividad microbiana y con ello la mineralización de la materia orgánica lábil, responsable de la unión de macroagregados. Haynes & Naidu (1998), observaron un incremento en el rendimiento de los cultivos, aumentando la cantidad de residuos que retornan al suelo afectando el contenido de materia orgánica.

Debido a que el proceso de acidificación se está expandiendo y agudizando en los suelos de permanente uso agrícola, es necesario conocer los efectos de su remediación en las propiedades del suelo y en el rendimiento de especies vegetales sensibles a la problemática, ya sea por la incidencia directa del producto o por los cambios edáficos que puedan generarse.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la incidencia de diferentes dosis de enmiendas básicas sobre el pH, contenido de carbono orgánico, la dinámica del agua, densidad aparente, resistencia a la penetración, rendimiento de soja

y sus componentes en dos suelos agrícolas de la Pampa Ondulada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de ensayo y tratamientos

Los suelos seleccionados fueron: un Argiudol típico y un Plaeudol típico.

El Argiudol típico, familia arcillosa fina, illítica 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, 73,1% de saturación de bases, 22,8 g carbono kg^{-1} suelo y 1,1 g cm^{-3} de densidad aparente. En su descripción morfológica presenta un horizonte A_p de 0-14 cm y un A de 14-25 cm ambos con textura franco limosa a franco; a partir de los 25 cm presenta 2Bt1 con textura arcillosa.

En el Argiudol el 7 de septiembre de 2015 se aplicó la enmienda, posteriormente se realizó control químico de malezas con glifosato 2-4D y el 28 de diciembre de 2015 se sembró soja inoculada variedad DM 4612 (grupo 4 indeterminada) con un distanciamiento de 35 cm entre hileras y 22 semillas por metro con sembradora neumática. No se fertilizó con fósforo y durante el cultivo no se realizaron labores de control mecánicas ni químicas. La soja fue cosechada en marzo de 2016, posteriormente hasta la toma de muestras y determinaciones a campo, el lote se mantuvo clausurado y sin control de malezas.

El Paleudol típico, familia fina, illítica térmica, perteneciente a la Serie Etcheverry (GeoINTA, 2019), se encuentra situado en el Establecimiento Don Joaquín partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires. Se caracteriza por presentar en superficie 5,65 de pH, 77,2% de saturación de bases, 31,63 g carbono kg^{-1} suelo y 0,96 g cm^{-3} de densidad aparente. En su descripción morfológica presenta un horizonte A_p de 0-10 cm con textura franco-limosa, un A de 10-30 cm con textura franco arcillo limosa a franco limosa, un AB de 30-46 cm con textura franco arcillo limosa y a partir de los 46 cm presenta un Bt1 con textura arcillosa.

En el Paleudol el 7 de octubre de 2015 se aplicó la enmienda. El 15 de noviembre de 2015 se sembró soja inoculada variedad DM 4200, con un distanciamiento de 42 cm entre hileras y 16 semillas por metro lineal y se realizó una fertilización fosforada con 50 kg ha⁻¹ de súper fosfato triple. En diciembre de 2015 se aplicó herbicida, y en enero y febrero de 2016 se realizaron aplicaciones para control de chinche. La soja fue cosechada en marzo de 2016 y posteriormente el suelo permaneció en barbecho desnudo hasta la toma de muestras.

En los dos sitios se realizaron parcelas experimentales de 5 x 10 m con diseño en bloques completamente al azar con 3 repeticiones.

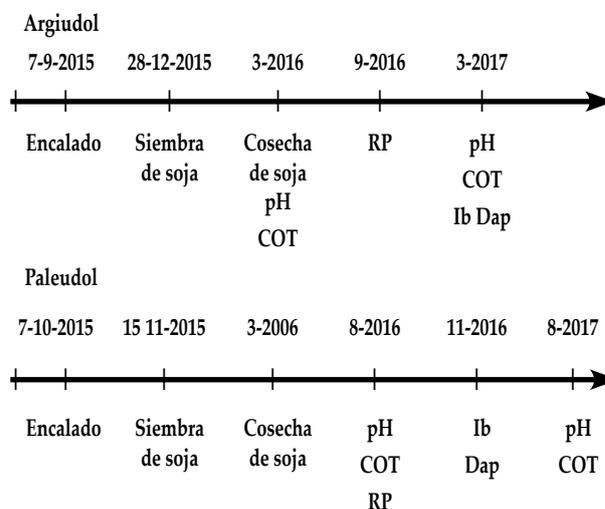
La enmienda principal fue dolomita. Esta poseía una composición de 59% de CaCO₃ y 39% de MgCO₃ con una granulometría <35 μm. El yeso tenía 10,3 % > 1000 μm, 34,5% <1000μm, 36,5 % < 500μm, 14,2 % < 210 μm, 3,7% <105 μm, y 2,8 % <53 μm. Las enmiendas se aplicaron al voleo de manera manual, consistiendo en testigo (sin dolomita) y cantidades equivalentes a 1000 y 4000 kg ha⁻¹ de dolomita con la adición de 200 kg ha⁻¹ de yeso (TCY, D1CY y D4CY respectivamente). En todos los tratamientos se realizaron pasadas de disco. La menor dosis aplicada es similar a la recomendada para la región por Vázquez *et al.* (2009) y Millan *et al.* (2010). Además, se adicionó una dosis mayor a las citadas para evaluar un posible comportamiento progresivo.

Determinaciones y análisis estadístico en el suelo y el vegetal

Se analizó hasta 10 cm de profundidad el pH actual (por vía potenciométrica, relación suelo:agua de 1:2,5 (p:v)); carbono orgánico total (COT) (por vía húmeda, micrométodo según Walkley & Black modificado) (SAMLA-SAGPyA, 2004); infiltración básica (Ib) (infiltrómetro de disco (Perroux & White, 1988)); densidad aparente (Dap) (método del cilindro, se evaluó de 0-10 cm de profundidad (Blake & Hartge 1986, en SAMLA-SAGPyA, 2004)); y hasta 40 cm, cada 10 cm de profundidad, resistencia a la penetración (RP) con pe-

netrómetro de cono según Norma ASAE S.313.3 (ASAE, 1993).

Los momentos de la toma de muestras y mediciones a campo se detallan a continuación:



El pH y el COT se determinaron en dos momentos, tiempo 1 (T1) y un año después, tiempo 2 (T2) en ambos suelos.

La cosecha se realizó de forma manual en 6 m lineales por parcela. El material vegetal se llevó a laboratorio y se secó en estufa a 60° hasta peso constante. Se determinó el rendimiento (R) de soja y sus componentes plantas/hectárea (PL ha⁻¹), vainas/plantas (V PL⁻¹), granos/vaina (GR V⁻¹), granos/planta (GR PL⁻¹) y peso de 1000 granos (P 1000G).

Todos los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante ANOVA, previo análisis de supuestos básicos. Las diferencias entre medias se analizaron a través de test LSD (p<0,05) con el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinaciones en el suelo

En el Argiudol en T1 (**Figura 1A**) la adición de enmienda no produjo cambios significativos en el pH (p>0,05), mientras que en T2 (**Figura 1B**) D4CY presentó incremento de pH respecto a TCY y D1CY de 0,9 y 0,3 puntos (p<0,05). En D1CY se observó mayor pH que en TCY. En el Paleudol en T1 y T2 el pH aumentó con D4CY respecto a TCY y a D1CY (p<0,05). El incremento de pH entre D4CY y TCY fue de 0,8 y 1 punto de pH para T1 y T2 respectivamente.

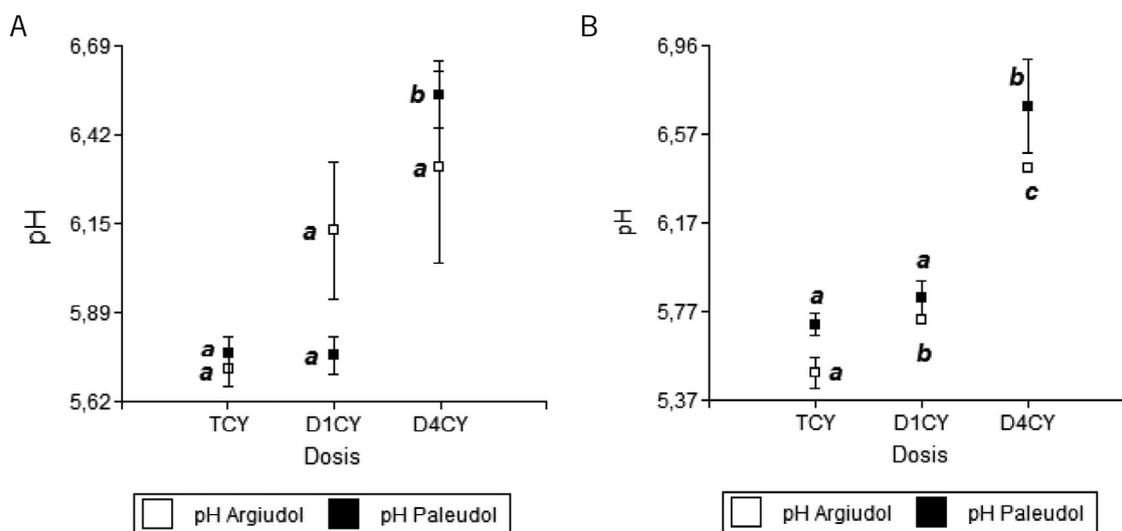


Figura 1A y 1B. pH actual según tratamiento aplicado: TCY=0 kg ha⁻¹, D1CY= 1 000 kg ha⁻¹ y D4CY= 4 000 kg ha⁻¹ de dolomita con 200 kg ha⁻¹ de yeso en los 3 casos, para dos suelos de la Pampa Ondulada en dos momentos luego del encalado (1A: 5/6 meses luego del encalado y 1B: un año más tarde). Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) entre tratamientos dentro de T1 y de T2 para cada suelo. Líneas verticales indican el desvío estándar respecto de la media.

Figure 1A and 1B. Actual pH according to the treatment applied: TCY = 0 kg ha⁻¹, D1CY = 1 000 kg ha⁻¹ and D4CY = 4 000 kg ha⁻¹ of dolomite with 200 kg ha⁻¹ of gypsum in the 3 cases, for two soils of the Rolling Pampa in two moments after liming (1A 5/6 months after liming and 1B a year later). Different letters indicate significant differences (p < 0.05) between treatments within T1 and T2 for each soil. Vertical lines indicate the standard deviation from the average.

En la Pampa Ondulada no se han reportado ensayos con dosis de 4000 kg ha⁻¹. Heredia *et al.* (1997) con dosis menores, 2500 kg ha⁻¹ de dolomita, hallaron en un Argiudol típico en la provincia de Buenos Aires, aumento de 1 unidad entre el testigo y el tratamiento con la enmienda al cabo de un año. Por otra parte Torella *et al.* (2007) sobre muestras de suelo Argiudol típico adicionaron 2000 y 4000 kg ha⁻¹ de caliza en laboratorio con 30 días de incubación y hallaron aumentos de pH, de 5,7 en el testigo a 6,8 y 7,7 para los 2000 y 4000 kg ha⁻¹, respectivamente. Si bien las condiciones del ensayo son en laboratorio y con tiempos menores, esta evaluación podría dar indicios del incremento de pH observado con la dosis de 4000 kg ha⁻¹ en nuestro trabajo.

Thompson (1988) sostiene que la reacción entre el suelo y la enmienda aplicada se distribuye a lo largo de muchos años. Durante el primer y segundo año, la reacción es más rápida, más tarde declina gradualmente. Generalmente el pH máximo resultante del encalado no se alcanza hasta los dos años de la aplicación. Esto coincide con lo hallado en el Argiudol donde el pH no mostró efecto hasta la segunda determinación

que se realizó a los 20 meses posteriores al encalado. Thompson sugiere que después de ese tiempo, la reacción es más lenta que la velocidad de lavado y el pH desciende gradualmente hasta el nuevo encalado y podrían ser suficientes las aplicaciones con periodicidad entre 4 y 8 años.

El contenido de COT en el Paleudol y el Argiudol, no presentó diferencias significativas (p > 0,05) entre los tratamientos en ninguno de los dos sitios y tiempos analizados (datos no mostrados), aunque se observó una leve tendencia a la disminución del contenido de COT en ambos suelos cuando se adicionó la mayor dosis de enmienda.

En el Argiudol y en el Paleudol la Ib se incrementó significativamente con adición de D4CY en un 48 % y 186 % respectivamente (p < 0,05). (**Figura 2**)

El incremento de la Ib con D4CY en los dos suelos, podría deberse al poder coagulante de los cationes divalentes agregados (Chan & Heenan, 1998). Coincidiendo con nuestros resultados Gambaudo *et al.* (1998) comprobaron, a partir de diferentes experiencias en Santa Fe y Córdoba, que la estructura del suelo se ve beneficiada,

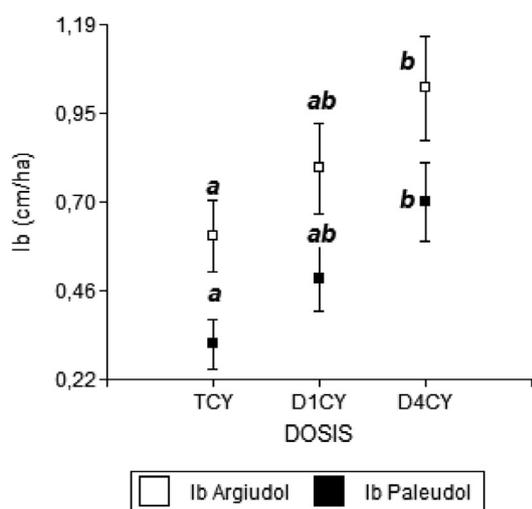


Figura 2. Infiltración básica (cm h^{-1}) según tratamiento: TCY=0 kg ha^{-1} , D1CY=1000 kg ha^{-1} , D4CY=4000 kg ha^{-1} de dolomita con 200 kg ha^{-1} de yeso en los 3 casos, para dos suelos de la Pampa Ondulada. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada suelo. Líneas verticales indican el desvío estándar respecto de la media.

Figure 2. Basic infiltration (cm h^{-1}) according to treatment: TCY = 0 kg ha^{-1} , D1CY = 1000 kg ha^{-1} , D4CY = 4000 kg ha^{-1} of dolomite with 200 kg ha^{-1} of gypsum in the 3 cases, for two soils of the Rolling Pampa. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments for each soil. Vertical lines indicate the standard deviation from the average.

pues el calcio adicionado a través de la enmienda calcárea mejora las uniones divalentes-coloides y incrementando la cohesión del suelo. Ya fue mencionado que mejoras en la estructura, incrementan las tasas de infiltración de agua y la conductividad hidráulica (Felton *et al.*, 1995).

El comportamiento de la Dap entre tratamientos fue distinto en ambos suelos. En el Argiudol disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en D4CY respecto a TCY, mientras que D1CY no se diferenció de ninguno de los dos tratamientos (**Figura 3**).

Estos resultados coinciden con Chan *et al.* (2007) quienes hallaron disminución de Dap evaluada hasta los 5 cm adicionando dosis crecientes de enmienda. El poder estructurante del calcio además de incrementar la infiltración, podría ser el responsable de la disminución de la Dap en este suelo con la mayor dosis.

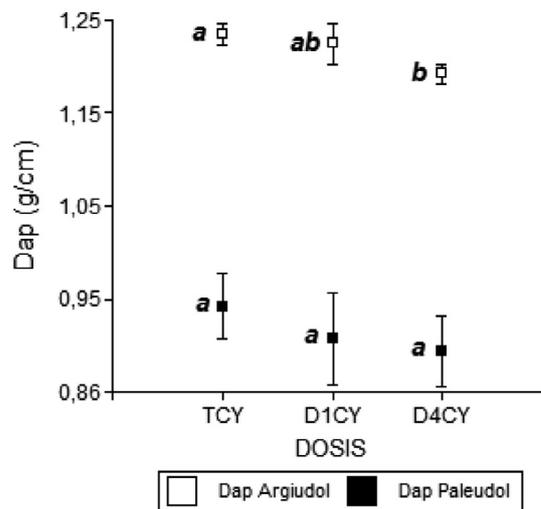


Figura 3. Densidad aparente (g cm^{-3}) según tratamiento: TCY=0 kg ha^{-1} , D1CY=1000 kg ha^{-1} , D4CY=4000 kg ha^{-1} de dolomita con 200 kg ha^{-1} de yeso en los 3 casos, para dos suelos de la pampa ondulada. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada suelo. Líneas verticales indican el desvío estándar respecto de la media.

Figure 3. Bulk density (g cm^{-3}) according to treatment: TCY = 0 kg ha^{-1} , D1CY = 1000 kg ha^{-1} , D4CY = 4000 kg ha^{-1} of dolomite with 200 kg ha^{-1} of gypsum in the 3 cases, for two soils of the Rolling Pampa. Different letters indicate significant differences between treatments for each soil. Vertical lines indicate the standard deviation from the average.

En el Paleudol, la Dap no se diferenció significativamente ($p > 0,05$) entre los tratamientos, aunque presentó un comportamiento similar al Argiudol, descenso con incremento de la dosis. La ausencia de efectos sobre la Dap en el Paleudol coincide con Vázquez *et al.* (2009) quienes evaluaron la incidencia del agregado de 1000 kg ha^{-1} y 2000 kg ha^{-1} de dolomita dos años posteriores a la aplicación sobre la infiltración medida con simulador de lluvia y la densidad aparente de un suelo Argiudol típico de la pradera pampeana, encontrando que la dosis de 1000 kg ha^{-1} aumentaba la infiltración, sin modificar la Dap. Si bien la Ib se incrementó con el encalado por modificación de la porosidad, estos cambios no serían manifestados por la Dap, ya que es una variable poco sensible frente a prácticas como el encalado.

La resistencia a la penetración y el contenido de humedad en los suelos analizados evaluados de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), presentando un comportamiento análogo a la Dap en el Paleudol.

Diferentes resultados a los de nuestro trabajo hallaron Nicora *et al.* (2012) en un Hapludol donde aplicaron manualmente al voleo en forma pulverulenta 700, 1500 y 2000 kg ha⁻¹ de dolomita, incorporándolas por medio de rastra de disco y observaron *reducción de la* resistencia a la penetración, con *dosis de 700-1500 kg ha⁻¹* principalmente hasta los 10 cm de profundidad, respecto al testigo y al tratado con 2000 kg ha⁻¹ a los 10 meses posteriores al encalado. A los 18 meses del encalado, las tendencias se repetían, pero no había diferencia significativa entre los tratamientos.

En el Paleudol (**Figura 4 B**) de 20 a 30 cm de profundidad se observó incremento significativo

($p < 0,05$) de la RP en el tratamiento D1CY respecto a TCY y D4CY, pero debido a que no hay una hipótesis razonable para pensar que D1CY induzca mayor RP que D4CY no consideramos que sea un efecto real del tratamiento. El Argiudol (**Figura 4 A**) presentó un comportamiento análogo hasta los 30 cm pero sin mostrar diferencias significativas entre los tratamientos. De 30 a 40 cm la resistencia a la penetración en ambos suelos no se vio afectada por los tratamientos. (**Figura 4 A y 4 B**).

Pese a que han sido verificados en la bibliografía procesos de disolución y recristalización de la dolomita (Imbellone, 1996; Jacks & Sharma, 1995) que podrían dar lugar a aumentos de la RP en profundidad, esta variable no parece responder a los tratamientos sino más a un endurecimiento antrópico por el pasaje de maquinarias o a un efecto del cambio de textura en profundidad, ya que en el Argiudol y Paleudol a partir de los

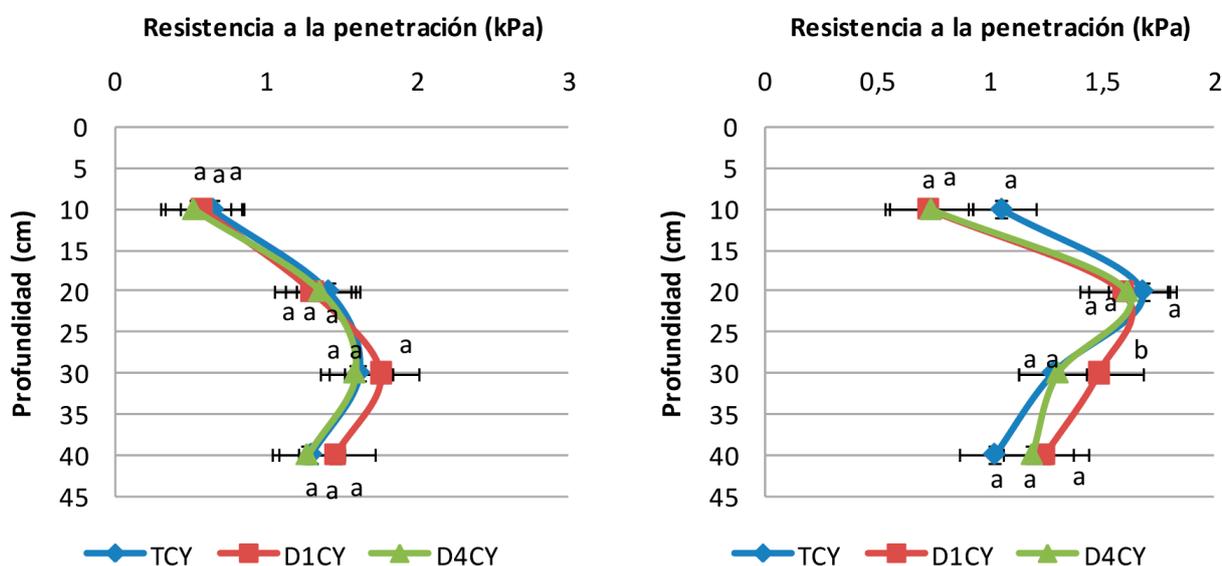


Figura 4A y 4B. Resistencia a la penetración (kPa), en un suelo Argiudol (4A) y Paleudol (4B) según tratamiento aplicado: TCY=0 kg ha⁻¹, D1CY= 1000 kg ha⁻¹ y D4CY= 4000 kg ha⁻¹ de dolomita con adición de 200 kg ha⁻¹ de yeso a los 12 meses posteriores al encalado. Letras diferentes indican diferencia significativa entre dosis para una misma profundidad ($p < 0,05$). Líneas horizontales indican el desvío estándar respecto de la media.

Figure 4A and 4B. Resistance to penetration (kPa), in an Argiudoll (4A) and Paleudoll (4B) according to the treatment applied: TCY = 0 kg ha⁻¹, D1CY = 1000 kg ha⁻¹ and D4CY = 4000 kg ha⁻¹ of dolomite with addition of 200 kg ha⁻¹ of gypsum at 12 months after liming. Different letters indicate significant difference between doses for the same depth ($p < 0,05$). Horizontal lines indicate the standard deviation from the average.

25 cm y 40 cm respectivamente, se incrementa el contenido de arcillas.

Estos factores no causaron la disminución de lb debido a que la metodología utilizada evalúa hasta aproximadamente hasta 10 cm de profundidad (Messing & Jarvis, 1993; Logsdon & Jaines, 1993).

EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE SOJA Y SUS COMPONENTES.

El rendimiento y todos sus componentes mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el Paleudol. En el Argiudol, el rendimiento y sus componentes no presentaron diferencias entre los tratamientos ($p > 0,05$) (Tabla 1).

En el Paleudol las plantas por hectárea (PL ha⁻¹) disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) en un 42,3 % en D1CY y en un 38,4% en D4CY respecto a TCY. Las vainas por planta (V PL⁻¹) mostraron incremento significativo ($p < 0,05$) de 70% V PL⁻¹ en D1CY y de 65% V PL⁻¹ en D4CY respecto a TCY. Los granos por vaina (G V⁻¹) también presentaron aumento significativo ($p < 0,05$) en D4CY respecto a TCY. Como consecuencia del incremento de V PL⁻¹ y G V⁻¹, los granos por planta (G PL⁻¹) presentaron incremento significativo con D4CY ($p < 0,05$). El peso de los 1000 granos (P 1000G) disminuyó con D1CY en este suelo. Finalmente el rendimiento en el Paleudol se incrementó un 45% (1,4 t ha⁻¹) con D4CY y un 36,9% (1,2 t ha⁻¹) con D1CY respecto a TCY (3,1 t ha⁻¹) ($p < 0,05$). En el Argiudol, en cambio no se obser-

varon efectos del encalado sobre los componentes y ni sobre el rendimiento ($p > 0,05$) (Tabla 1).

Al igual que en el Paleudol, otros autores también obtuvieron incrementos de rendimiento en soja con aplicación de dolomita variables según dosis y tipo de enmienda, especie vegetal y características edafo-climáticas del sitio de ensayo. Gambaudo *et al.* (2007) en el centro y norte de Santa Fe verificaron incremento de rendimiento de 0,4 t ha⁻¹ de soja aproximadamente con 1100-1450 kg ha⁻¹ de dolomita. Barbieri *et al.* (2015) en el INTA Balcarce evaluaron rendimiento de soja con 6,2; 5,3; 4,6 y 3,1 t ha⁻¹, en las campañas 2006-2007, 2007-2008, 2009-2010, y 2013-2014 respectivamente y hallaron que el rendimiento se incrementó significativamente un 7% en promedio de todos los años.

La disminución de las PL ha⁻¹ con la adición de dosis crecientes de dolomita en el Paleudol, podría deberse al corto periodo de tiempo transcurrido entre el encalado y la siembra (1 mes), ya que en el corto plazo, el encalado puede dar como resultado la dispersión de coloides de arcilla y la formación de costras superficiales. A medida que aumenta el pH, la carga negativa de la superficie en los coloides de arcilla aumenta y las fuerzas repulsivas entre las partículas dominan. Sin embargo, a largo plazo, las concentraciones de Ca²⁺ y la fuerza iónica en la solución del suelo aumentan causando la compresión de la doble capa eléctrica y renovando la floculación, beneficiando la estructura del suelo (Haynes *et al.*, 1998). Este efecto beneficioso en la estructura

Tabla 1. Efectos del encalado sobre el rendimiento de soja y sus componentes.

Table 1. Effects of liming on the yield of soybean and its components.

Argiudol	Pl ha ⁻¹	V Pl ⁻¹	G V ⁻¹	G Pl ⁻¹	P1000G	R (t)
TY	780952,1 a	24,6 a	5,3 a	131,1 a	190,3 a	2,9 a
D1Y	657142,7 a	27,9 a	5,2 a	146,7 a	197,9 a	3,1 a
D4Y	395238 a	56,8 a	6,1 a	385,8 a	206 a	3,2 a
Paleudol	Pl ha ⁻¹	V Pl ⁻¹	G V ⁻¹	G Pl ⁻¹	P1000G	R (t)
TY	199404,6 b	67,9 a	1,2 a	75,6 a	207,4 b	3 a
D1Y	115079,3 a	115,5 b	1,4 ab	159 b	199,2 a	4,1 b
D4Y	123015,7 a	112,2 ab	1,6 b	176,2 b	210,2 b	4,4 b

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada suelo.

Different letters indicate significant differences ($p < 0,05$) between treatments for each soil.

se evidencio a partir del aumento de la Ib en los dos suelos y la disminuci3n de la Dap en el Argiudol. Dichas variables fueron evaluadas a mayores plazos que los considerados para que se produzca la emergencia del cultivo.

Adem1s de producir estas mejoras f1sicas, la adici3n de dolomita y yeso, incorporan Ca^{+2} , Mg^{+2} y S, generan incremento de pH que aumenta la disponibilidad de nutrientes como N, P y Mo para las plantas. Andrade *et al.* (1996) se1alaron que el n1mero de semillas por individuo se determina principalmente durante la fijaci3n de vainas (R3 a R6) y es funci3n de la tasa de crecimiento de la planta durante esta etapa. Por lo tanto, este componente del rendimiento se afecta en respuesta a tratamientos que modifican el crecimiento de la planta hasta R6.

Posiblemente, a pesar de la disminuci3n de las PL ha^{-1} , el poder de compensaci3n que posee la soja, (Vega & Andrade, 2000; Ferraris *et al.*, 2003; Rillo *et al.*, 2010) al encontrar estas mejoras f1sica y qu1micas en las condiciones ed1ficas durante el crecimiento hasta R6, posibilit3 el incremento de otros componentes del rendimiento como G PL^{-1} , dando finalmente como resultado aumentos del rendimiento en el Paleudol.

CONCLUSIONES

La adici3n de dolomita con yeso produjo aumento de pH e infiltraci3n b1sica en el Paleudol y en el Argiudol, no afect3 los contenidos de carbono org1nico y provoc3 la disminuci3n de la Dap en el Argiudol. El rendimiento de la soja y sus componentes presentaron respuesta positiva al agregado de enmienda en el Paleudol, con excepci3n de PL ha^{-1} que disminuy3 con el encalado.

Este trabajo presenta informaci3n sobre los efectos del encalado en un Argiudol y un Paleudol de la Provincia de Buenos Aires. Sin embargo, para estudios futuros dada la diversidad de los efectos producidos por los tratamientos sobre par1metros qu1micos, org1nicos, f1sicos y sobre el rendimiento, es necesario tener en consideraci3n el cultivo a realizar y las condiciones edafoclim1ticas del 1rea donde se desea encalar para calibrar la dosis.

AGRADECIMIENTOS

C1tedra de Edafolog1a, FCAYF, UNLP
CONICET

BIBLIOGRAF1A

- Albuquerque, JA; C Bayer; PR Ernani; AL Mafra & EC Fontana. 2003. Aplicaci3n de calc1rio e f3sforo e estabilidad da estrutura de um solo 1cido. Rev. Brs. Ciênc. Solo 27(5): 799-806.
- Alfaro, M; R Bernier & S Iraira. 2006. Efecto de fuentes de azufre sobre el rendimiento y calidad de trigo y praderas en dos Andisoles. Agricultura T1cnica (Chile). 66 (3): 283-294.
- Andrade, FH & M Ferreiro. 1996. Reproductive growth of maize, sun flower and soybean at different source levels during grain filling. Field Crops Research, 48: 155 – 165.
- ASAE, Standards. 1993. Soil Cone Penetrometer (ASAE S 313.3), 40th ed. ASAE, St. Joseph, MI ASAE. American society of Agricultural Engineers. In Standard of Soil Cone Penetrometer. Ed. St. Joseph, Misuri. 611 p.
- Baldock, JA; M Aoyama; JM Oades; J Susanto & CD Grant. 1994. Structural amelioration of South Australian Red-Brown carth using calcium and organic amendments. Aust. J. Soil Res. 32: 571-594.
- Barbieri, PA; H Echeverr1a; HR Sainz Rozas & JP Mart1nez. 2015. Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols Soil and Tillage Research 152 September 2015 (29-38).
- Casas R. 2000. La conservaci3n de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agr1colas. Disertaci3n en el acto de entrega del premio Antonio Prego. www.insuelos.org.ar. Consultado 28/11/2018.
- Chan KY & DP Heenan. 1998. Effect of lime (CaCO₃) application on soil structural stability of a red carth. Aus. J. Soil Res. 36: 73-86.
- Chan KY; MK Conyers & BJ Scott. 2007. Improved structural stability of an acidic hardsetting soil attributable to lime application. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 38, 15–16.
- Clapp CE; SA Stark; DE Clay & WE Larson. 1986. Sewage sludge organic matter and soil properties. Pp. 209-253. In: Y Chen, Y Avnimelech (*ed.*), The role of organic matter in modern agriculture. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- De Luca L; M Garc1a & M V1zquez. 2006. Presencia de micorrizas como 1ndice de remediaci3n en suelos 1cidos encalados. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina. Acta: versi3n electr3nica.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonz1lez; M Tablada & CW Robledo. 2011. InfoStat versi3n 2011. Gru-

- po InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- 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. 2019. pH del suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/> Consultado 07/2019
- Felton, GK. 1995. Temporal variation of soil hydraulic properties on municipal solid waste amended mine soils. Trans. ASAE 38: 775-782.
- Ferraris G; N González & A Rivoltella. 2003. Densidad y distribución de plantas en soja: ¿en qué caso es conveniente sembrar? INTA Pergamino. Revista de Tecnología Agropecuaria: 25-32.
- Gambaudo, S; 1998. Fertilización: acidificación de los suelos y su corrección. 5to Seminario de Actualización Técnica: Invernada, planteos de alta producción. CPIA, CADIA y SRA. Actas: 163-169
- 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.
- Gambaudo, S; L Picco; A Cervetti & P Soldano. 2007. Encalado en soja. Experiencia en la campaña 2006/2007. Información técnica cultivo de verano campaña 2007. Publicación miscelánea 108
- García, M; A Termiello; G Ardanaz; A Casciani; J García & M Vázquez. 2009. Evolución del efecto de enmiendas básicas sobre 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. 2008. Extracción agrícola de bases en el N de la provincia de Buenos Aires: costo de su remediación e implicancias económicas. Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica (Rebivec) 7: 117-129.
- GeoINTA. geointa.inta.gov.ar/visor/. Consultado 16/03/2019.
- González, B & S Gambaudo. 2004. Encalado en Soja. Experiencias en restitución de Calcio magnesio y azufre. Proyecto Fertilizar. INTA. www.fertilizar.org.ar.
- Groffman, PM; G Howard; AJ Gold & WM Nelson. 1996. Microbially nitrated 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
- Heredia, OS; NM Arrigo & R Romano Cavanagh. 1997. Encalado: su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de un Argiudol. Rev. Facultad de Agronomía (UBA) 17 (3): 263 – 268.
- Hernández, J.C; Orihuela D.L.; Pérez-Mohedano S.; Marijuan L. y Furet N.R. 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.
- Herrera, A & R Rotondaro. 2017. Relevamiento de fertilidad de los suelos pampeanos ¿Qué nos dicen los análisis de suelo? Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 28.
- Imbellone, PA; 1996. Redistribución de carbonato de calcio en sucesiones cuaternarias de la llanura costera bonaerense. Asociación Argentina de Sedimentología 3(2): 63-76.
- Imbellone, PA; JE Giménez & JL Panigatti. 2010. Suelos de Región Pampeana. Procesos de formación. Ediciones INTA. 320 pp.
- Jacks, G & VP Sharma. 1995. Geochemistry of calcic horizons in relation to hillslope processes, southern India. Geoderma 67: 203-214.
- Khaleel, R; KR Reddy & MR Overcash. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste application: a review. J. Environ. Qual. 10: 133-141.
- Lanfranco, JW; 1988. Carta de suelos de la Estación Experimental Julio Hirschhorn. Inédito.
- Logsdon, SD; & DB Jaynes. 1993. Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers. Soil Science Society of America Journal, 57(6), 1426-1431.
- Magra G & A Ausilio. 2004. Facultad de Ciencias Agrarias. UNR. 8/2014. Rev. Agromensajes. 5 p.
- 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.
- Messing, I & NJ Jarvis. 1993. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. Journal of Soil Science, 44(1), 11-24.
- 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. 16-20/4/2012. Mar del Plata, Argentina. Acta: versión digital.
- Perroux, KM & I White. 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1205-121.
- Rillo, S; P Richmond & M Mazzei. 2010. Intensificación de cultivos de granos: evaluación del sistema de intersembrado de trigo-soja sobre el rendimiento físico y económico, eficiencia del uso del agua y los componentes determinantes del rendimiento. Consultado el 6/04/2019.
- Roth, CH & MA Pavan. 1991. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisols. Ed. Elsevier. *Geoderma* 48: 351-361.
- 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.
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Informaciones Agronómicas*. 2:1-7.
- Tester, C; 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:827-831.
- Thompson, LM & R Troeh. 1988. Los suelos y su fertilidad. Ed. Reverte 661 páginas
- Torella, JL; R Garuzzo & EC Faita. 2007. Efecto del encalado sobre las propiedades químicas del suelo y la germinación del trébol rojo (*Trifolium pratense*). Argentina. *Informaciones Agronómicas* nº36. Pág. 14. 12/2007.
- Torres Duggan, M; R Melgar; MB Rodriguez; RS Lavado & IA Ciampitti. 2012. Sulfur fertilization in the Argentine Pampas region: a review. *Agronomía & Ambiente*, 32 (1-2) 61-73.
- Vázquez, M; A Terminiello; A Duhour; M García & 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 Díaz; J Kostiria & M García. 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.
- 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 Terminiello; G Millán; I Daverede & E Baridón. 2013. Dynamics of soil liming materials broadcast on a Thaptoargic Hapludol soil in Argentina. *Rev. Ciencia del Suelo*. 31(1): 23-32.
- 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.
- Vega, C & F Andrade. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Eds. Andrade, F y Sadras, V. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. Pág. 69-97.