

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SUELOS ARGIUDDOLES CULTIVADOS Y NO CULTIVADOS DEL DEPARTAMENTO LAS COLONIAS (SANTA FE)

MARÍA EUGENIA CARRIZO; MIGUEL ANGEL PILATTI; CARLOS AGUSTÍN ALESSO
& SILVIA DEL CARMEN IMHOFF.

Recibido: 14-05-11

Recibido con revisiones: 17-06-11

Aceptado: 30-06-11

CHEMICAL ATTRIBUTES OF CULTIVATED AND NON-CULTIVATED ARGIUDDOLLS IN THE DISTRICT OF LAS COLONIAS (SANTA FE)

ABSTRACT

During the last decade, the soil use intensification, the high nutrient extraction rates and the excessive use of nitrogen fertilizer have increased the degradation of Santa Fe soils. The objective of this study was to quantify the differences among cultivated soils (SC) and their respective non-cultivated situations (SNC) for diverse chemical and biological attributes. The following properties were evaluated in typical and aquic Argiudolls of the center of Santa Fe: organic matter (MO), pH, exchangeable bases (calcium, magnesium, sodium and potassium) and cation exchange capacity (CEC) in two depths (0-15 and 15-30 cm). The comparison between SNC and SC showed that, in both depths, a decrease took place of the values of MO (near 30%), calcium (20%), magnesium (30%) and pH (up to 0,6 units in the 0-15 cm layer). The exchangeable potassium and the cation exchange capacity showed significant decreases in SC compared to SNC only in the 0-15 cm layer. The actual content of K corresponds to 64% of the original value. The exchangeable sodium was the only chemical parameter that did not show a significant alteration due to the soil use. The results of this study confirm that the Argiudolls of the center of Santa Fe suffered a significant change in some of their properties in relation to their natural situation.

Key words. Degradation, chemical properties, loss of nutrient, acidification.

RESUMEN

Durante las últimas décadas la intensificación en el uso del suelo, las elevadas tasas de extracción de nutrientes y el incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados llevaron a marcados procesos de degradación de los suelos de la región central de Santa Fe. El objetivo de este trabajo fue cuantificar las diferencias existentes entre suelos cultivados (SC) y sus respectivas situaciones no cultivadas (SNC) para diversos atributos químicos y biológicos. En suelos Argiudoles típicos y ácuicos del centro de Santa Fe se evaluaron, en dos profundidades (0-15 y 15-30 cm), los siguientes atributos: materia orgánica (MO), pH, bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Comparando SNC y SC, en ambas profundidades, hubo una reducción del contenido de MO (próxima a 30%), de Ca⁺⁺ (20%), de Mg⁺⁺ (30%) y del pH (de hasta 0,6 unidades en los 0-15 cm). La capacidad de intercambio catiónico y los niveles de K⁺ disminuyeron significativamente sólo en los 0-15 cm, encontrándose actualmente el 64% del potasio original. El sodio intercambiable fue el único parámetro químico que no sufrió alteración significativa debido al uso de los suelos. Los resultados de este estudio confirmarían que los suelos Argiudoles del centro de Santa Fe sufrieron una alteración significativa de la mayoría de sus propiedades en relación a su situación prístina.

Palabras clave. Degradación, propiedades químicas, pérdida de nutrientes, acidificación.

INTRODUCCIÓN

La degradación edáfica es el proceso por el cual el suelo pierde progresivamente la capacidad actual y potencial de producir cuantitativa y cualitativamente bienes y servicios (FAO-PNUMA-UNESCO, 1980). La intensificación de los sistemas de producción agrícola-ganaderos ha conducido a un deterioro continuo de la calidad de este recurso, en especial desde el punto de vista químico, lo que se traduce en la pérdida de la productividad (*i.e.* menores rendimientos) y mayores problemas ambientales (Lal, 1998).

Un componente clave para mantener la calidad de los suelos y la productividad de los agrosistemas es la materia orgánica. Su mineralización beneficia la producción de los cultivos, como resultado de la liberación de grandes cantidades de nutrientes, pero indirectamente muchas propiedades físicas del suelo, *e.g.* estructura, aireación y porosidad del suelo, se ven negativamente alteradas cuando las pérdidas de materia orgánica son de considerable magnitud (Galantini *et al.*, 2007).

La degradación del suelo conlleva la ocurrencia de diversos procesos, entre ellos el de acidificación. Este proceso puede responder a causas naturales y antrópicas, entre ellas el lavado de bases y su exportación por la producción agrícola y pecuaria (Vázquez, 2005). Estas pérdidas pueden afectar la disponibilidad y el balance de nutrientes básicos (*e.g.* inmovilización de P disponible), provocar toxicidad por aluminio, manganeso e hidrógeno y causar un efecto depresivo sobre la actividad microbológica del suelo.

La intensificación en el uso de los suelos en la Región Pampeana sur, ocurrida durante las últimas tres décadas, se caracterizó por las elevadas tasas de extracción de nutrientes, el incremento del uso de fertilizantes nitrogenados de reacción ácida y la falta de reposición de nutrientes como calcio y magnesio. Como consecuencia se ha producido un paulatino aumento de la acidez de los suelos (Cruzate & Casas, 2003; Vázquez, 2005).

Diversas investigaciones llevadas a cabo en otros suelos y regiones del país corroboraron disminuciones significativas de los valores de estas propiedades al comparar las situaciones agrícolas-ganaderas y las cuasi prístinas (Urricariet & Lavado, 1999; Sacchi *et al.*, 2002; Sanzano *et al.*, 2005; Heredia *et al.*, 2006; Álvarez *et al.*, 2009).

Los suelos de la provincia de Santa Fe, por su génesis, son ricos en calcio, potasio y magnesio y presentan una reacción levemente ácida (De Petre *et al.*, 1977). Existen algunos trabajos que muestran que la incorporación de

esos suelos a la producción ha generado disminución del contenido de carbono orgánico, acidificación y pérdida de cationes intercambiables, aunque en general no muestran la magnitud del deterioro respecto a las situaciones prístinas (De Orellana *et al.*, 1988; De Orellana & Pilatti, 1994; Gambaudo & González, 2000).

Sin embargo, en la región central de Santa Fe, existe poca información cuantitativa del cambio experimentado por esos atributos edáficos debido al impacto de las diferentes actividades antrópicas sobre los suelos desde su condición prístina.

El objetivo de este estudio fue determinar la existencia y magnitud de cambios en algunos atributos biológicos y químicos de suelos Argiudoles típicos y ácuicos cultivados en relación a los no cultivados de la región centro de Santa Fe.

MATERIALES Y MÉTODOS

Al inicio de la primavera de 2005 se tomaron muestras de suelo de Argiudoles típicos y ácuicos del departamento Las Colonias, del centro de Santa Fe (Argentina) (Fig. 1). El material de origen es 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 23% de arcilla y porcentajes de arena inferiores al 5% (De Petre *et al.*, 1977). El clima de la región es subhúmedo-húmedo con precipitaciones anuales que varían entre 920 a 1.689 mm y régimen mesotérmico con una temperatura media anual de 19 °C.

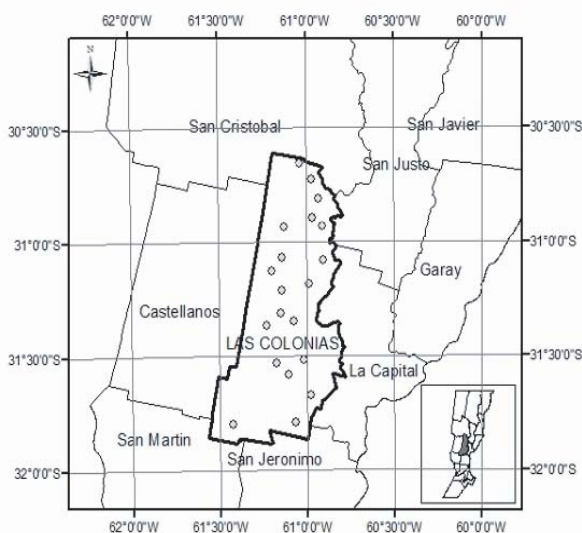


Figura 1. Mapa de la región central de Santa Fe con la localización geográfica de los sitios de muestreo.

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

En el área de estudio se eligieron 20 suelos bajo cultivo (SC: suelo cultivado) y 20 no cultivados (SNC: suelo no cultivado) próximos entre sí. Los SNC fueron en su mayoría situaciones de bajos alambrados de más de 60 años de antigüedad cuyo espesor del horizonte A coincidía con el del SC en ± 2 cm. En cada sitio se tomó una muestra compuesta por 30 submuestras al azar divididas en dos profundidades: 0-15 y 15-30 cm. Los suelos cultivados se encontraban bajo historias agrícola-ganaderas de diferentes intensidades y duración en sistemas de labranzas convencional y de siembra directa. El material fue secado al aire y tamizado por malla de 2 mm. Se determinó materia orgánica (MO) a partir del carbono orgánico oxidable con factor de recuperación de 0,77 según Walkley & Black (1934); pH actual (suelo:agua 1:2,5); capacidad de intercambio catiónico (CIC), calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+) y potasio intercambiable (K^+) por extracción con acetato de amonio y post-determinación del amonio por destilación Kjeldahl mediante metodología estandarizada en la Argentina (SAMPLA) (SAGPyA 2004). El cálculo de la disminución de nutrientes expresadas en kg ha^{-1} se realizó considerando una densidad de suelo promedio de 1,35 y 1,25 Mg m^{-3} para SC y SNC, respectivamente.

El análisis estadístico de los datos y gráficos se realizó utilizando el software estadístico R versión 2.12.2 (R Development Core Team 2011). Para cada atributo y profundidad se calcularon diferencias relativas entre los pares SC y SNC

($n = 20$) expresadas como porcentaje sobre SNC, *i.e.* $\Delta\% = 100 * [(SC - SNC) / SNC]$. Se utilizó la pruebas t de Student bilateral para verificar si la diferencia relativa media de cada atributo fue distinta de 0 considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. En aquellos casos donde las diferencias relativas no siguieron una distribución normal se utilizó la prueba Wilcoxon (no paramétrica) bilateral.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan las estadísticas de resumen de los valores de pH, bases de intercambio y CIC obtenidos de las muestras del horizonte superficial de Argiudoles típicos y ácuicos. La variabilidad encontrada para la mayoría de las propiedades edáficas de ambas profundidades, tanto en SC como SNC, fue leve a moderada (*i.e.* $CV < 35\%$) según la escala propuesta por Wilding (1985). En general los valores de CV estuvieron entre 3 y 72%. La MO, pH, Ca^{++} , y CIC presentaron menor variabilidad (*i.e.* $CV < 18\%$); la mayor variabilidad fue registrada en el Na^+ , con CV superiores entre 46 y 72%. Esta variabilidad puede ser ocasionada por las distintas condiciones de manejo y series de suelos, a pesar de que todos pertenecen al mismo gran grupo (*i.e.* Argiudoles).

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de los atributos químicos de suelos Argiudoles cultivados (SC) respecto a suelos no cultivados (SNC) del centro de Santa Fe para las profundidades 0-15 y 15-30 cm.

Table 1. Descriptive statistics of the chemical attributes of cultivated (SC) and non-cultivated (SNC) Argiudolls of the center of Santa Fe for the 0-15 and 15-30 cm depths.

Profundidad	Suelos cultivados				Suelos no cultivados			
	n	Media	Rango	CV	n	Media	Rango	CV
Profundidad 0-15 cm								
MO (g kg^{-1})	20	24,5	19 - 29	12	20	34,5	22 - 43	18
pH	20	5,8	5,3 - 6,3	3	20	6,1	5,8 - 6,4	3
Ca^{++} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	8,1	7,1 - 9,6	11	20	10,1	8,3 - 12,9	12
Mg^{++} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	1,3	0,6 - 2,0	29	20	1,8	1,1 - 3,0	27
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	0,4	0,1 - 0,7	58	20	0,4	0,2 - 0,7	46
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	0,1	0,7 - 1,6	23	20	1,4	0,9 - 2,0	22
CIC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	16,5	13,7 - 19,5	12	20	17,9	13,8 - 20,8	12
Profundidad 15-30 cm								
MO (g kg^{-1})	20	18,0	12 - 23	19	20	24,1	14 - 33	21
pH	20	6,0	5,6 - 6,7	4	20	6,2	5,8 - 6,6	3
Ca^{++} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	8,5	7,0 - 9,9	11	20	10,8	8,7 - 14,5	17
Mg^{++} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	1,4	0,6 - 2,8	40	20	1,7	1,0 - 3,3	33
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	0,4	0,2 - 1,0	58	20	0,4	0,1 - 1,1	72
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	0,9	0,6 - 1,3	23	20	1,2	0,3 - 1,8	30
CIC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	20	16,6	13,3 - 21,3	13	20	17,8	12,5 - 22,5	16

En todos los suelos el nivel de MO fue más alto en los SNC que en los SC (Tabla 1). Su valor en el estrato superficial de los SC oscila entre 19-29 g kg⁻¹, y en los SNC varía entre 22-43 g kg⁻¹. Estos valores corresponden a un rango medio, mientras que los determinados en SC se ubican en el rango medio-bajo según (Conti, 2000).

Los suelos en su condición natural presentan un pH actual levemente ácido, mientras que en su condición cultivada es moderadamente ácido. Según De Petre *et al.* (1977) el material originario es de tipo loésico o limo-loésico ligeramente ácido, lo cual le confiere a estos suelos una reacción mediana a débilmente ácida, aunque presentan saturaciones de bases en el horizonte superficial cercanas al 75%. No obstante, tanto en SC como SNC, los niveles de pH son adecuados para la mayoría de los cultivos (Porta *et al.*, 2003).

El complejo de cambio en los 0-15 cm de profundidad presenta una saturación de bases promedio de 77% en los SNC y de 66% en los SC (Fig. 2).

Albretch (1967) propone los siguientes porcentajes de saturación de bases para lograr una nutrición vegetal balanceada: 60-75% de Ca⁺⁺, 10-20 Mg⁺⁺, 7-15% de K⁺ y desde 0,5-5% de Na⁺. Alrededor del 75% de los SC en el estrato superficial y subsuperficial presentan saturaciones de calcio inferiores al 60% y en la mitad de los suelos analizados la proporción de magnesio es inferior a la recomendada. Estos resultados permiten explicar la respuesta favorable que muestran los diferentes cultivos de la región ante el agregado de enmiendas cálcicas y dolomíticas como fue demostrado por Vivas & Quaino (2000) y Gambaudo (2003) para los cultivos de alfalfa, soja, trigo, sorgo granífero. Los niveles de Na⁺ y K⁺ aún se encuentran dentro de los parámetros considerados normales por Albretch (1967) para lograr una favorable nutrición mineral de los cultivos.

Los resultados presentados en la Figura 3 muestran que la MO disminuyó significativamente en los SC respecto de los SNC. La pérdida en promedio fue de 10 y 6,2 g kg⁻¹ en los 0-15 y 15-30 cm, respectivamente, lo que representa

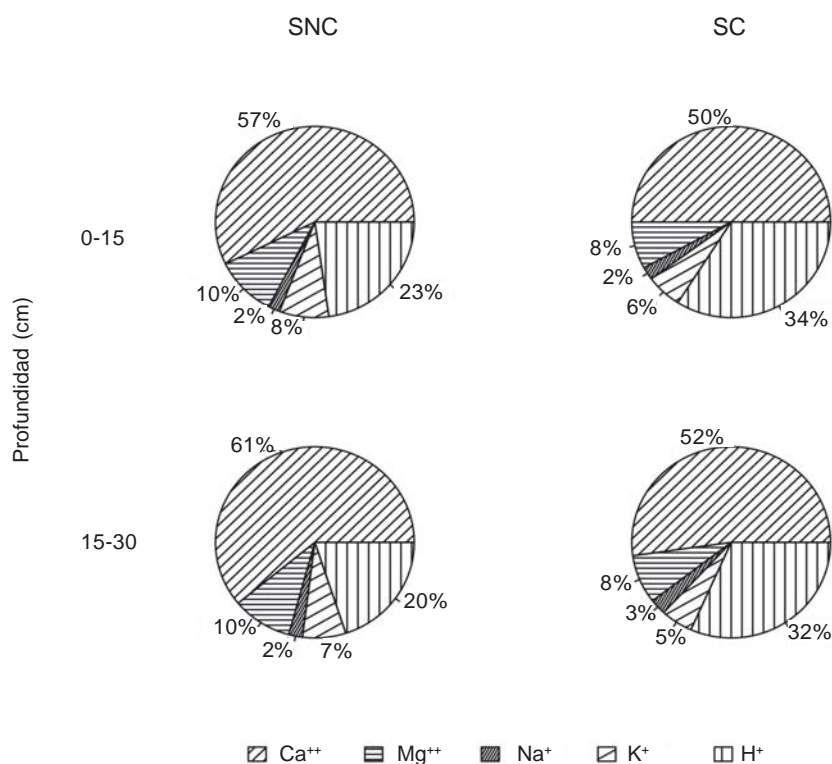


Figura 2. Composición del complejo de intercambio de suelos Argudoles cultivados (SC) respecto a suelos no cultivados (SNC) del centro de Santa Fe para las profundidades 0-15 y 15-30.

Figure 2. Composition of the cation exchange complex of cultivated (SC) and non-cultivated (SNC) Argudolls of the center of Santa Fe for the 0-15 and 15-30 cm depths.

casi un 30% de la MO original debido al uso agrícola-ganadero de los suelos. Una tendencia semejante (pérdida de 46,7%) fue encontrada por Heredia *et al.* (2006), en Argiudoles franco arcillosos al comparar 20 años de uso agrícola bajo labranza convencional vs. un pastizal natural en el norte de la provincia de Santa Fe.

Valores similares de disminución (entre 21 y 56%) a los determinados en este estudio fueron mencionados por Michelena *et al.* (1988) para suelos Argiudoles de la Pampa Ondulada al comparar más de 20 años de agricultura continua y rotaciones agrícola-ganaderas respecto de suelos sin cultivar. Reducciones entre el 25-34% de carbono orgánico también fueron reportadas por Sanzano *et al.* (2005) al evaluar el efecto de 20 años de uso con distintos sistemas de manejo vs el suelo virgen en Haplustoles típicos de la llanura chacopampeana de Tucumán.

Hay que destacar que, a pesar que las pérdidas sean similares, los niveles iniciales de materia orgánica difieren marcadamente de menor a mayor según la secuencia Hapludoles de la llanura chacopampeana, Argiudoles de la pampa llana y Argiudoles de la Pampa Ondulada. Diferencias en el régimen térmico, de precipitaciones y textura son los factores diferenciales que permitirían explicar en parte los resultados encontrados por Michelena *et al.* (1988),

Sanzano *et al.* (2005), Heredia *et al.* (2006) y en este trabajo.

Para recuperar los niveles de carbono de los suelos en producción a los valores que tenían en su estado virgen debería transcurrir un período prolongado de tiempo (varias décadas) durante el cual deberían permanecer en clausura (Houghton *et al.*, 1983). La dificultad de implementar esta práctica contribuye a que se mantengan las diferencias existentes entre sistemas que deberían presentar valores similares de materia orgánica.

En el caso del pH, los valores en ambas profundidades disminuyeron significativamente (Fig. 3), los SC presentaron caídas de hasta 0,6 unidades en los 0-15 cm. Descensos similares fueron reportados al comparar situaciones agrícolas y cuasi prístinas por Álvarez *et al.* (2009) bajo diferentes sistemas de manejo sobre Argiudoles de la Pampa Ondulada. Urricariet & Lavado (1999) contrastaron diferentes intensidades de uso agrícola en suelos de la misma región y hallaron diferencias en los valores de pH respecto de la condición virgen. En un trabajo efectuado en Argiudoles del norte de Santa Fe el pH de la situación prístina varió de 6,7 a 5,6 como resultado de 20 años de uso agrícola (Heredia *et al.*, 2006).

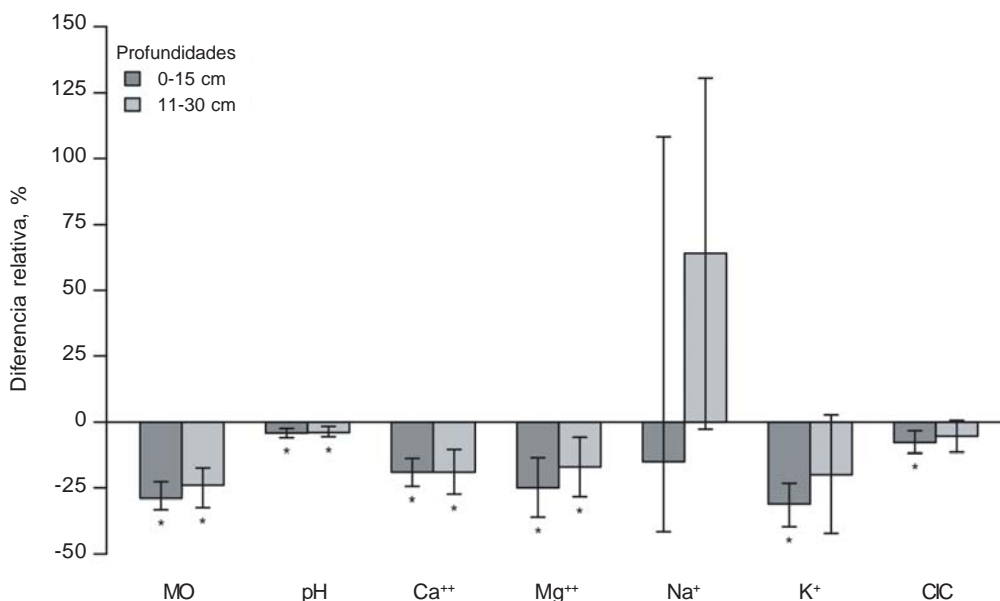


Figura 3. Valores medios e intervalos de confianza (95%) de los cambios relativos de los atributos químicos de suelos Argiudoles cultivados (SC) respecto a suelos no cultivados (SNC) del centro de Santa Fe para las profundidades 0-15 y 15-30. Los asteriscos indican diferencias significativas al 5% de confianza.

Figure 3. Means values and confidence ranges (95%) of the relative changes of the chemical attributes of cultivated (SC) and non-cultivated (SNC) Argiudolls of the center of Santa Fe for the 0-15 and 15-30 cm depths. The asterisks indicate significant differences with $\alpha = 5\%$.

Estos resultados corroboran que la intensidad del proceso de acidificación edáfico evidenciado como consecuencia de la historia productiva de los suelos responde principalmente a causas antrópicas, entre ellas, la mayor exportación de bases intercambiables por la producción vegetal, el incremento paulatino en la utilización de fertilizantes nitrogenados y la acidificación producida por la actividad biológica del suelo como fue señalado por (González *et al.*, 2000), a diferencia de lo que ocurre en suelos de regiones subtropicales y tropicales donde el fenómeno de acidez responde fundamentalmente a causas genéticas (Vázquez *et al.*, 2005).

Las disminuciones de calcio representaron alrededor del 20% del calcio original para ambas profundidades (Fig. 3). En término medio se exportaron 810 y 890 kg ha⁻¹ de Ca⁺⁺ en los 0-15 y 15-30 cm, respectivamente. Coincidiendo con lo demostrado por Heredia *et al.* (2003), la intensificación de los sistemas agrícola-ganaderos y la prolongada historia de uso con cultivos calcícolas, como alfalfa y soja, condujeron a disminuciones en los contenidos de calcio intercambiable, provocando cambios en la fertilidad química. Conjuntamente se reduce el efecto del poder estructurante del calcio, lo que afecta negativamente las propiedades físicas del suelo (Bronick & Lal, 2005).

También se observó una pérdida, en promedio en el estrato superficial, de alrededor del 30% del contenido de Mg⁺⁺ original (Fig. 3). Asumiendo que estos suelos se encuentran bajo cultivo desde el año 1856, las pérdidas de Mg⁺⁺ en los primeros 15 cm alcanzaron en promedio 121 kg ha⁻¹ con máximos de 340 kg ha⁻¹. Estos resultados difieren de los hallados por Heredia *et al.* (2003) y Urricariet & Lavado (1999), quienes no encontraron cambios significativos en la concentración de Mg⁺⁺ como consecuencia del uso agrícola de los suelos.

La variabilidad observada en las diferencias de Na⁺ en los suelos estudiados no permitió detectar diferencias significativas entre SC y SNC, en ambas profundidades, debida al uso de los suelos.

Los niveles de K⁺ disminuyeron significativamente sólo en los 0-15 cm, encontrándose actualmente el 64% del K⁺ original (Fig. 3). Las disminuciones en los 0-15 cm alcanzaron en promedio 394 kg ha⁻¹ con máximos de 870 kg ha⁻¹, lo cual indica pérdidas de significativa magnitud. Los niveles de disponibilidad de K en estos suelos son elevados, y se encuentran por encima del nivel crítico de respuesta establecido mediante experiencias de calibración por Van Raij (1974). Sin embargo, si se consideran las

sucesivas exportaciones que ocurrirán por la actividad agrícola y ganadera, es esperable que en un futuro próximo haya respuesta a la aplicación de este nutriente. Las disminuciones de K⁺ resultaron similares a las registradas por Conti *et al.* (1993) y Urricariet & Lavado (1999) en otros suelos de la Región Pampeana bajo uso agrícola.

Los valores de CIC también disminuyeron significativamente por el uso de los suelos. En los 0-15 cm de los SC se presenta una menor capacidad de intercambio en relación a los SNC (Fig. 3). Urricariet & Lavado (1999) no encontraron diferencias en la CIC entre lotes sometidos a historias agrícolas cortas y largas con respecto a situaciones no laboreadas en suelos de la Pampa Ondulada. Se sabe que el comportamiento de la CIC de los suelos se encuentra relacionado con los porcentajes de carbono orgánico y de la fracción arcilla (Fabrizzi *et al.*, 1998; Sacchi *et al.*, 2002; Sanzano *et al.*, 2005). En los SNC el valor original de la CIC fue de 17,9 cmol_c kg⁻¹, en los SC fue de 16,5 cmol_c kg⁻¹. Esta disminución promedio de 1,4 cmol_c kg⁻¹ podría ser ocasionada, al menos en parte, por la reducción del contenido de materia orgánica total o de alguna fracción específica de la misma. De acuerdo a Chan *et al.* (1992), una pérdida de 10 g kg⁻¹ de carbono orgánico es equivalente a una disminución de 2,97 cmol_c de carga negativa kg⁻¹. Considerando que en estos suelos hubo una reducción del contenido de carbono orgánico en el horizonte superficial de 5,8 g kg⁻¹, la pérdida de 1,4 cmol_c de carga negativa kg⁻¹ estaría por debajo de la tendencia observada por estos autores.

Similarmente a lo mencionado por Sacchi *et al.* (2002) para la Región Pampeana Ondulada, todos los atributos químicos de suelo analizados en este estudio corroboran que la intensificación de las actividades agropecuarias conducen a una pérdida en la calidad de los suelos.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que en la región central de Santa Fe hubo cambios en los atributos químicos de los suelos como resultado de las actividades antrópicas, que ocasionaron una degradación del estado prístino del suelo. La intensificación en el uso del suelo generó una disminución significativa de los niveles de MO, el pH, CIC, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y K⁺, por lo que estas características químicas podrían ser adoptadas como indicadores de la calidad de Argiudoles del centro de Santa Fe.

BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht, WMA. 1967. Soil Reactions (pH) and balanced plant nutrition. <http://www.soilandhealth.org/>. Acceso octubre de 2010.
- Álvarez, CR; MA Taboada; FH Gutiérrez Boem; A Bono; PL Fernández & P Prystupa. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1242-1250.
- Bronick, C & R Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Chan, KY; WP Roberts & DP Human. 1992. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Aust. J. Soil. Res.* 30: 74-83.
- Conti, ME; A de la Horra; D Effroi & M Jiménez. 1993. Alteración producida en la relación cantidad-intensidad de potasio (QII) de algunos suelos argentinos afectados por laboreo continuo. *Agrochimica* 37: 351-358.
- Conti, ME. 2000. Materia orgánica del suelo. Cap.2: 67-86. En: Principios de edafología, con énfasis en suelos argentinos. Conti, ME (eds.). Buenos Aires. 430 p.
- Cruzate, G & RR Casas. 2003. Balance de nutrientes. Número Especial Sostenibilidad. *Revista Fertilizar* 8: 7-13.
- De Orellana, J.A.; L Priano & M Pilatti. 1988. Niveles de pH y de nutrimentos en Argiudoles de Las Colonias (Santa Fe). *Revista Fave (UNL) III* (1-2): 51-57.
- De Orellana, JA & MA Pilatti. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12(2): 75-80.
- De Petre, A; LM Espino; MA Seveso & S Perman. 1977. Carta de suelo del departamento Las Colonias. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección General de Suelos y Aguas. Departamento de Suelos. Provincia de Santa Fe.
- F.A.O.-P.N.U.M.A.-U.N.E.S.C.O. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. F.A.O.-P.N.U.M.A. Roma.
- Fabrizzi, K; L Picone; A Berardo & F García. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol típico. *Ciencia del Suelo* 16(2): 71-76.
- Galantini, J; M landriscini & C Hevia. 2007. Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo. *Revista técnica especial en SD: Sistemas productivos del Sur y Sudoeste bonaerense* 36-40.
- Gambaudo, S & B González. 2000. Efecto del encalado sobre el rendimiento de sorgo granífero y algunas propiedades químicas del suelo. XXIV Reunión Brasileira de Fertilidad del Suelo y Nutrición de las Plantas. Santa María, Río Grande do Sul, Brasil.
- Gambaudo, S. 2003. La acidez del suelo en la Región Pampeana. Cap. 10: 193-216. En: Fertilizantes y Enmiendas de Origen Mineral. Nielson, H & Surudiansky, R (eds.). Buenos Aires. 283 p.
- González, M; A Segat & ME Conti. 2000. Reacción del suelo. Cap. 4: 215-228. En: Principios de edafología, con énfasis en suelos argentinos. Conti, ME (eds.). Buenos Aires. 430 p.
- Heredia, O; V Duffau & ME Conti. 2003. Cambios de la fertilidad edáfica en suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas* 19: 22-24.
- Heredia, O; L Giuffrè; F Gorleri & ME Conti. 2006. Calidad de los suelos del norte de Santa Fe: Efecto de la geomorfología y uso de la tierra. *Ciencia del suelo* 24(2): 109-114.
- Houghton, RA; JEHobbie; JM Melillo; B Moore; BJ Peterson; GR Shaver & GM Woodwell. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecol. Monographs* 53: 235-262.
- Lal, R. 1998. Soil quality and sustainable. Cap. 1: 3-12. In: Soil Quality and Agricultural Sustainability. Lal, R (eds.). Boca Raton. 378 p.
- Michelena, RO; CB Irurtia, A Pittaluga, F Vavruska & ME B de Sardi. 1988. Degradación de los suelos en el sector norte de la pampa ondulada. *Ciencia del Suelo* 6(1): 60-66.
- Porta, J; M López Acevedo & C Roquero. 2003. Acidez, basicidad y reacción del suelo. Cap. 10: 251-269. En: Edafología para la agricultura y el medio ambiente. España. 849 p.
- R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. Acceso Febrero de 2010.
- Sacchi, G & C De Pauli. 2002. Evaluación de los cambios en las propiedades físicas y químicas de un Argiustol údico por procesos de degradación. *Agrociencia* XI(2): 37-46.
- 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. ISBN 987-9184-40-8.
- Sanzano, G; R Corbella; J García & G Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Ciencia del Suelo* 23(1): 37-44.
- Urricariet, S & R Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la pampa ondulada. *Ciencia del Suelo* 17: 37-44.
- Van Raij, B. 1974. Calibraçao do potássio trocável em solos feijão, algodao e cana-de-acúcar. *Ciencia e Cultura* 26: 575-579.
- Vázquez, M. 2005. Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. Cap. 8: 161-185. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Echeverría, H & F García (eds.). INTA, Buenos Aires, Argentina. 525 p.
- Vivas, H & O Quaino. 2000. Fósforo y enmienda cálcica para la producción de alfalfa en dos suelos del centro este de Santa Fe, 1998/99. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata. 213 p.
- Walkley, A & I Black. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 34: 29-38.
- Wilding, LP. 1985. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys, pp. 166-194. In: Soil Spatial Variability. Nielsen, DR. & Bouma J. (eds.). Pudoc, Wageningen, Netherlands. 243 p.