



## HISTORIA DE USO DEL SUELO Y CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES EN ARGIUDOLES DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE SANTA FE (ARGENTINA)

MARÍA CELESTE MIRETTI<sup>1</sup>; MIGUEL PILATTI<sup>1</sup>; RAÚL SILVIO LAVADO<sup>2-3</sup>; SILVIA DEL CARMEN IMHOFF<sup>1-2\*</sup>

Recibido: 27-08-11

Recibido con revisiones: 03-01-12

Aceptado: 03-03-12

### HISTORY OF SOIL USE AND MICRONUTRIENT CONTENT IN ARGIUDDOLLS OF THE CENTER OF THE SANTA FE PROVINCE (ARGENTINA)

#### ABSTRACT

The studies related to the concentration and bioavailability of soil micronutrients are very limited for the central region of Santa Fe province, reason for which the objectives of the current research were: a) to determine the decrease of the micronutrient contents in Argiudolls of Santa Fe as a consequence of soil use, and b) to correlate the micronutrient bioavailability with soil properties that were affected by the intensification of productive systems (organic matter, pH). The study was carried out in Argiudolls of Las Colonias county (Santa Fe). Composite soil samples were collected from 20 fields under pristine conditions (CP), 22 fields under milk production history (G), 24 fields under agricultural-livestock history (AG) and 20 fields under a long agricultural history (A). These samples were used to determine: pH, organic carbon (OC), boron (B), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn). The results indicate that the pH did not vary among the studied situations; the values of OC diminished 40% with the intensification of agriculture; the concentration of B and Zn in fields with a long agricultural history decreased 50% with respect to the pristine condition; the Cu concentration was not altered; Fe and Mn did not show a clear tendency to change as a function of the soil use. Zinc deficiencies could occur in some cases, therefore, its concentration should be routinely controlled, especially in intensive systems, to assure an appropriate supply of nutrients according to the crop demand.

**Keywords.** Soil use intensity; Micronutrient bioavailability; Changes in chemical properties.

#### RESUMEN

Las investigaciones realizadas en la zona Central de la provincia de Santa Fe en relación con la concentración y biodisponibilidad de micronutrientes en los suelos son muy limitadas, por lo que los objetivos del presente trabajo fueron: a) determinar si se produjo una disminución en los contenidos de micronutrientes en Argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe como consecuencia del uso a que fueron destinados y b) correlacionar la biodisponibilidad con propiedades del suelo que se conoce que fueron afectadas por la intensificación de los sistemas productivos (MO, pH). Se trabajó en el departamento Las Colonias (Santa Fe), en suelos Argiudoles. Se colectaron muestras compuestas de 20 lotes en condiciones prístinas (CP), 22 lotes con uso ganadero dedicados a la producción láctea (G), 24 lotes con historia agrícola-ganadera (AG) y 20 lotes con prolongada historia agrícola (A), que se utilizaron para determinar: pH, carbono orgánico oxidable (CO), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cinc (Zn). Los resultados indican que el pH no varió entre las situaciones estudiadas; los valores de CO disminuyeron (40%) con la intensificación de la agricultura; la concentración de B y Zn se redujo en un 50% de la condición prístina a los lotes con larga historia agrícola; el Cu no sufrió alteraciones; Fe y Mn no muestran una tendencia clara de cambio en función del uso del suelo. En algunos casos podrían ocurrir deficiencias de Zn, por lo que debería controlarse rutinariamente su concentración, especialmente en los sistemas intensivos, para asegurar una disponibilidad adecuada a las necesidades de los cultivos. En todos los sistemas de uso analizados los tenores de micronutrientes presentaron elevada variabilidad.

**Palabras clave.** Intensidad de uso; Biodisponibilidad de micronutrientes; Alteración de propiedades químicas.

1 Fac. Ciencias Agrarias/Universidad Nacional del Litoral-86 Kreder 2805, Esperanza. (S3080HOF).

2 Investigador CONICET.

3 Director INBA/Universidad de Buenos Aires. \*Autor para correspondencia: [simhoff@fca.unl.edu.ar](mailto:simhoff@fca.unl.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

La agricultura sin reposición se asocia a la disminución del contenido de macro y micronutrientes en los suelos. Este problema se agrava con el uso de variedades de cultivos de alto rendimiento, que demandan mayor cantidad de nutrientes (Sharma *et al.*, 2000). Desde hace varios años se conoce que los suelos de la Región Pampeana han sufrido un intenso agotamiento de nutrientes como consecuencia del prolongado período en el cual la agricultura fue ganando espacio y de la creciente exportación de nutrientes.

Los suelos en la década de 1990, habiendo sufrido erosión y remoción de nutrientes, comenzaron a mostrar síntomas del empobrecimiento en nutrientes ante el masivo avance de la agricultura continua con escaso uso de fertilizantes (Lavado & Taboada, 2009). A partir de esa fecha el agregado de nutrientes aumentó paulatinamente, pero todavía hoy la extracción por las cosechas excede lo aportado por fertilización, especialmente de micronutrientes (Ferraris, 2011). Como índices del empobrecimiento de la fertilidad global de los suelos se toma generalmente la evolución del carbono orgánico (CO) y como índice de la evolución de los nutrientes, se considera al fósforo (P). Distintos relevamientos, experimentos y modelos llevados a cabo en los últimos años indicaron que la reducción en el contenido de CO y nitrógeno (N) total en los suelos de la Pampa Ondulada supera en muchos casos el 70% respecto de los valores originales (Álvarez, 2006; Lavado & Taboada, 2009). En cambio, en las subregiones pampeanas menos agriculturizadas, la reducción observada fue menor (Studdert & Echeverría, 2000). Para el caso de las fracciones P disponible y total se registra, desde la década de 1970, una marcada disminución en las concentraciones en toda la región. En el sur de Santa Fe, Vázquez *et al.* (1991) determinaron claramente la reducción de P en sus diferentes fracciones orgánicas e inorgánicas como consecuencia de la agricultura sin reposición de los nutrientes extraídos.

Los suelos de la región central de Santa Fe no se alejan de ese panorama regional. Silva *et al.* (2001) encontraron que por el uso de la tierra fueron afectados los tenores de materia orgánica, pH, P, K, Cu, Mn, B y Na en los Argiudoles ácuicos, y pH, P, K, H, S, % de saturación de bases, Cu, Mn, Fe y B en Argiudoles típicos. Estos autores aplicaron la técnica de análisis discriminante canónico para analizar los tenores de nutrientes, logrando separar claramente los sistemas de manejo en cada uno de los suelos estudiados. Otros autores (Maddonni *et al.*, 1999; Montico & Pouey,

2001; Sainz Rozas *et al.*, 2003) mencionaron mayor degradación de la calidad del recurso suelo con la intensificación de los sistemas agrícolas. Los suelos de la región central de Santa Fe fueron considerados naturalmente fértiles (Panigatti *et al.*, 1982; Benites *et al.*, 1994), pero en los últimos años no sólo se observó disminución en los contenidos de N y P con buena respuesta en los rendimientos a la aplicación de estos nutrientes, sino también respuesta a la aplicación de otros elementos como azufre y calcio (Pilatti *et al.*, 2001; Vivas, 2001).

En el caso de los micronutrientes, se han registrado disminuciones en los contenidos edáficos de algunos de ellos por efecto de la constante extracción causada por la agricultura continua, sin reposición de lo exportado (Urricariet & Lavado, 1999). En concordancia, se ha observado respuesta a la aplicación de B y Zn en cultivos extensivos, como girasol, maíz, trigo, soja y alfalfa, en distintas áreas de la región (Ferraris *et al.*, 2009; Ratto *et al.*, 1999; Melgar *et al.*, 2001; Sainz Rozas *et al.*, 2003). Actualmente se acepta que los suelos de la Región Pampeana presentan deficiencias de B y Zn, y que algunos cultivos suelen presentar respuesta a su agregado. En el caso particular de los suelos de la zona central de la provincia de Santa Fe, la investigación realizada en relación con la concentración de micronutrientes es muy limitada. Se puede destacar a Quiñónez *et al.* (2003) quienes observaron que pueden presentarse deficiencias de B.

En general, los micronutrientes muestran un panorama más complejo que los macronutrientes debido a varios factores, entre los que se destacan: i) su baja concentración total presente en el suelo y una muy baja proporción de ese total en formas disponibles para las raíces; ii) su deficiencia repercute negativamente en la producción, pero en forma menos definida que con los macronutrientes; iii) cada micronutriente posee propiedades específicas por lo que las generalizaciones son poco efectivas; iv) numerosos factores edáficos afectan la disponibilidad para los cultivos, destacándose las modificaciones en el pH y el contenido de materia orgánica, los procesos de óxido-reducción y de intercambio catiónico. Asimismo, las demandas varían según las características de cada cultivo-factores climáticos, de manejo y fertilización. Por otro lado, la determinación de las formas biodisponibles involucra una extracción, cuyo valor se supone correlaciona con la absorción vegetal. Se han propuesto una amplia variedad de extractantes, que se pueden agrupar en agentes complejantes, ácidos débiles ó diluidos y sales neutras (Torri

*et al.*, 2005). Según Fergusson (1991), el DTPA es un extractor que permite cuantificar razonablemente la biodisponibilidad de estos elementos.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, los objetivos del presente trabajo fueron: a) determinar en qué medida se produjo una disminución en los contenidos en micronutrientes en Argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe (Argentina), para lo cual se estudió la variación en el contenido de B, Cu, Fe, Mn y Zn, siguiendo un gradiente de intensidad de manejo (desde campos prístinos a suelos bajo agricultura continua) y, b) correlacionar la biodisponibilidad con propiedades del suelo que también fueron afectadas por la agriculturización (MO, pH).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se trabajó en el departamento Las Colonias de la provincia de Santa Fe, que posee una superficie de 6.439 km<sup>2</sup> y tiene como capital a la ciudad de Esperanza (31°26'34''S, 60°55'48''O). Esta área se ubica dentro de la llamada «Pampa Llana Santafesina». Los suelos predominantes son Argiudoles ácuicos y típicos. En la mayoría de los casos están asociados o formando complejos debido al carácter plano del relieve y a la homogeneidad del material de origen (loess) (INTA, 1991). El departamento fue la sede de la primera colonia agrícola organizada del país, por lo que el uso del suelo se remonta a más de 100 años. Durante este lapso de tiempo los sistemas de uso de las tierras se fueron intensificando notablemente, pasando de ser sistemas extensivos (principalmente ganaderos) a ganadero-agrícolas, con predominio de la actividad lechera, o netamente agrícolas intensivos. Estos cambios fueron impulsados básicamente porque en la zona predominaban explotaciones de reducido tamaño que se tornaron insolventes y por la llegada de nuevas tecnologías. Las rotaciones que actualmente predominan son: alfalfa/verdejo invierno/maíz o sorgo para el primer tipo de sistema y trigo/soja u trigo/soja/maíz para el segundo.

### Muestreo de suelos

Se colectaron muestras de suelos Argiudoles en el ámbito del departamento Las Colonias. En los sitios seleccionados se extrajeron un total de 86 muestras compuestas, cada una conformada por 20 submuestras de suelo, desde la superficie hasta el límite superior del horizonte B<sub>1</sub> (Pilatti & Grenón, 1994).

Los muestreos correspondieron a 20 lotes en condiciones prístinas (CP), 22 lotes de uso ganadero dedicados básicamente a la producción láctea, con predominio de pasturas (G), 24 lotes con historia agrícola-ganadera, con predominio en la rotación de cultivos agrícolas (AG) y 20 lotes con prolongada historia agrícola, con monocultivo o secuencia trigo/soja (A).

Las muestras se secaron al aire, se pasaron por tamiz de malla de 2 mm y acondicionaron para la realización de los análisis químicos. Se realizaron las siguientes determinaciones: pH (en Cl<sub>2</sub>Ca 0,01M), CO por medio de oxidación con una solución de dicromato de potasio (carbono oxidable); B mediante extracción con agua caliente y posterior cuantificación por colorimetría; Cu, Fe, Mn y Zn utilizando DTPA como extractor y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica, según la metodología descrita por Rajj (1998). Para la interpretación de resultados se utilizó el rango de valores críticos extractables con DTPA dado por Sims & Johnson (1991) en Buffa & Ratto (2005). Estos son: Cu: 0,1 a 2,5 mg kg<sup>-1</sup>; Fe: 2,5 a 5 mg kg<sup>-1</sup>; Mn: 1 a 5 mg kg<sup>-1</sup>; Zn: 0,2 a 2 mg kg<sup>-1</sup>.

Los datos se procesaron estadísticamente obteniendo medidas de tendencia central, medidas de dispersión e histogramas de distribución de frecuencias (estadística descriptiva) y el coeficiente de Pearson «r» (análisis de correlación), que es una medida de la asociación lineal entre dos variables y la probabilidad «p» ( $\alpha = 5\%$ ) de la prueba de hipótesis de la correlación nula.

## RESULTADOS

Los valores medios y medidas de dispersión de los diversos atributos químicos de los suelos se presentan en la Tabla 1. Se observa que el valor de pH prácticamente no varió entre las 4 situaciones estudiadas y que presenta una baja desviación estándar. En cambio, los valores de CO exhiben una clara tendencia a disminuir con la intensificación de la agricultura. De la condición prístina a los lotes con larga historia agrícola el contenido de CO se redujo en un 40%. Dos micronutrientes se destacan por sus bajos coeficientes de variación, B y Zn. En ambos casos se manifiesta una disminución en las concentraciones obtenidas con DTPA. De la condición prístina a los lotes con larga historia agrícola la concentración de B y Zn se redujo en un 50%. El Cu presenta también bajos coeficientes de variación, pero no se observan cambios en las concentraciones entre los diferentes tratamientos. Contrariamente Fe y Mn presentan coeficientes de variación elevados y no muestran una tendencia clara en el impacto de los diversos usos del suelo sobre sus concentraciones.

Tabla 1. Media y desviación estándar de los parámetros y componentes determinados en los distintas áreas de muestreo.

Table 1. Means and standard deviations of soil parameters of samples taken from areas with different soil uses.

Parámetros y componentes del suelo	Sistema de manejo			
	CP N= 20	G N= 22	AG N= 24	A N = 20
pH	5,2 (0,5)	5,1 (0,2)	5,2 (0,3)	5,2 (0,1)
MO mg kg <sup>-1</sup>	32,4 (9,6)	23,9 (4,3)	24,4 (5,8)	19,8 (4,1)
P mg kg <sup>-1</sup>	84,7 (36,1)	18,0 (8,7)	34,8 (20,6)	16,3 (7,0)
B mg kg <sup>-1</sup>	1,2 (0,3)	0,8 (0,2)	0,8 (0,2)	0,6 (0,1)
Cu mg kg <sup>-1</sup>	1,9 (0,4)	2,0 (0,3)	2,3 (0,3)	1,9 (0,5)
Fe mg kg <sup>-1</sup>	75,7 (40,5)	59,6 (10,9)	68,0 (16,5)	50,5 (13,3)
Mn mg kg <sup>-1</sup>	35,9 (7,8)	48,5 (8,5)	66,4 (39,0)	42,4 (6,2)
Zn mg kg <sup>-1</sup>	1,4 (0,8)	0,7 (0,3)	1,3 (1,2)	0,7 (0,3)

CP: condición prístina; G: historia ganadera (producción láctea), AG: historia agrícola-ganadera; A: historia agrícola prolongada.

CP: pristine conditions, G: milk-producing livestock production history, AG: agricultural-livestock history, A: long agricultural history.

## DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta las diferencias entre tratamientos, las concentraciones de micronutrientes obtenidos en el centro de Santa Fe están en el mismo orden de magnitud de los encontrados por Ratto *et al.* (1997), Lavado *et al.* (1999) y Urricariet & Lavado (1999) en Argiudoles típicos del norte de la provincia de Buenos Aires. En estos casos se utilizaron el mismo extractor y metodología de extracción o muy semejante. En cambio, Lavado *et al.* (2004) para suelos del norte de Buenos Aires y Panigatti (1976) para Argiudoles típicos de Rafaela (Santa Fe) utilizaron una solución extractora con mayor fuerza de extracción y encontraron valores un poco más elevados que los verificados en este trabajo. La dinámica de los micronutrientes es semejante a la encontrada por Urricariet & Lavado (1999), quienes determinaron que el uso agrícola prolongado disminuía significativamente la concentración de B y Zn.

En la Figura 1 se muestra la distribución de frecuencia y frecuencia acumulada para CO, B, Cu, Fe, Mn y Zn. El 86% de los datos de CO estuvieron por debajo del 3% y que los lotes bajo el tratamiento A registraron los valores más bajos y los lotes bajo CP los más altos. El B presentó una distribución similar a la de CO, con la misma connotación en cuanto a concentración de nutrientes y manejo.

Resultados similares, aunque utilizando metodologías de extracción diferentes, fueron encontrados por Lavado & Porcelli (2000), Ratto & Diggs (1990) y Ratto & Fatta

(1990), quienes determinaron que una elevada proporción de suelos de la Región de la Pampa Ondulada presentaban tenores de B próximos o por debajo de valores críticos. En términos generales, los valores más bajos de B se correspondieron con los menores contenidos de CO, con una correlación significativa de  $r=0,57$  ( $p<0,001$ ). Esto se debe a que el B se encuentra mayormente en forma orgánica asociado a la materia orgánica del suelo; a través de la mineralización de esta fracción se mantienen niveles adecuados de B disponible para las plantas (Malavolta *et al.*, 1989; Raij, 1991).

El 60% de los valores medidos de Cu estuvieron entre 1,9 y 2,7 mg kg<sup>-1</sup> (Fig. 1) y los valores más altos se registraron en los tratamientos G y AG. Las concentraciones registradas superan los valores límites que indican deficiencias en coincidencia con trabajos locales (Lavado & Porcelli, 2000; Ratto & Fatta, 1990; Torri & Lavado, 2000). El 13% de las determinaciones de Cu mostraría situaciones de exceso de este nutriente, sin embargo no se observan síntomas de toxicidad en los cultivos. Varias razones concurren a este hecho, pudiéndose destacar en este sentido la dominancia del Ca<sup>2+</sup> dentro de los cationes intercambiables en los suelos de la región, que puede limitar la absorción excesiva de Cu<sup>2+</sup> debido a fenómenos de antagonismo entre estos iones (Malavolta *et al.*, 1989). Además, la materia orgánica forma complejos muy estables con el Cu (Marschner, 1995; Raij, 1991). Los suelos de la zona han

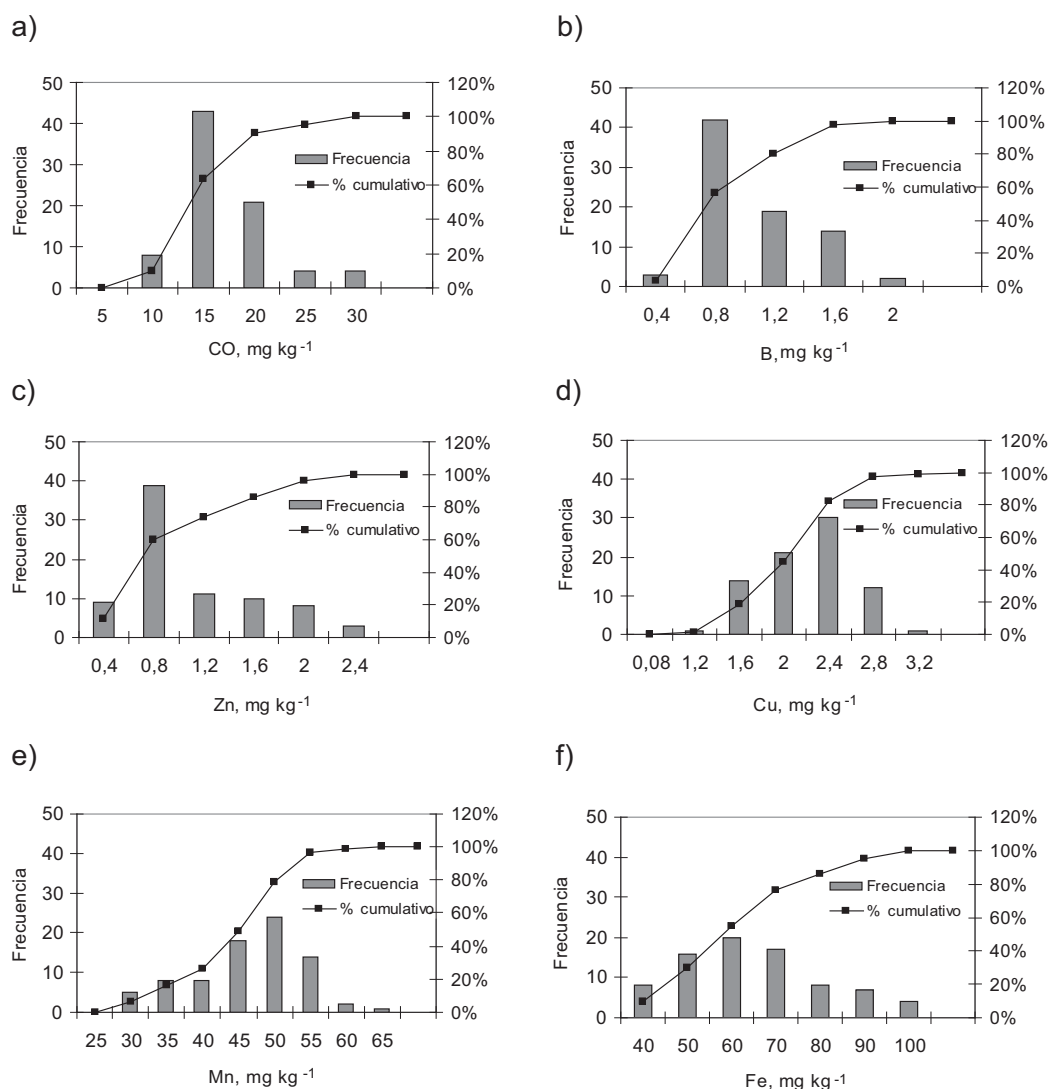


Figura 1. Distribución de frecuencia y frecuencia acumulada de las concentraciones de: a) carbono orgánico (CO), b) boro (B), c) cinc (Zn), d) cobre (Cu), e) manganeso (Mn) y f) hierro (Fe) de todos tratamientos (condición prístina, historia ganadera con producción láctea, historia agrícola-ganadera, historia agrícola prolongada).

Figure 1. Frequency distribution and accumulated frequency of the concentrations of: a) organic carbon (CO), b) boron (B), c) zinc (Zn), d) copper (Cu), e) manganese (Mn) and f) iron (Fe) in all treatments (pristine conditions, milk-producing livestock production history, agricultural-livestock history, long agricultural history).

sufrido una disminución notable de la fracción lábil de la materia orgánica, pero aún mantienen valores adecuados de la fracción estable de la materia orgánica (Imhoff *et al.*, 1995). Esta última fracción podría acomplejar al Cu, tornándolo menos asimilable para las plantas.

En la Figura 1 se observa que en el 94% de los casos el Zn se encontró por debajo de  $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ . El tratamiento AC estuvo siempre por debajo de  $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$ . Sin embargo,

en el presente trabajo ninguna muestra presentó un tenor de Zn menor que  $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , considerado deficitario según Buffa & Ratto (2005), aunque en la literatura se proponen diferentes valores como límite crítico, por ejemplo,  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$  (Malavolta *et al.*, 1989) y  $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$  (Zorita & Gambauda, 2007). Adoptando este último valor como límite crítico de deficiencia, el 60% de los casos presentarían condiciones de déficit de Zn. Por lo tanto en algunas de estas situaciones podrían verificarse deficiencias, especialmen-

te con condiciones de déficit hídrico, debido a que la provisión de este nutriente es muy afectada por la disponibilidad hídrica. El Zn presentó correlación muy significativa ( $r=0,84$ ;  $p<0,001$ ) con el CO. Similar resultado obtuvieron Sharma *et al.* (2000) y Teixeira *et al.* (2003). Silva *et al.* (2009) mencionan que el tenor de Zn sigue la distribución de la materia orgánica del suelo. Lavado *et al.* (1999) determinaron que la mayor concentración de Zn estuvo relacionada con el mayor tenor de materia orgánica y con valores de pH menores. En este trabajo, la correlación Zn-pH no fue significativa.

Los valores de Fe y Mn presentaron concentraciones elevadas e independientes a los sistemas de manejo y, en todas las muestras, se hallaron por encima de los límites críticos establecidos en Buffa & Ratto (2005) y Malavolta *et al.* (1989). Para Fe en particular, sólo el 18 % de los casos estuvo por debajo del  $46 \text{ mg kg}^{-1}$  (Fig. 1). Existen numerosos trabajos que muestran, para Argiudoles Pampeanos, que las concentraciones de estos elementos también excedieron la concentración de suficiencia (Buffa & Ratto, 2005; Lavado & Porcelli, 2000). Es interesante destacar que cuando ocurren condiciones de anaerobiosis, el Mn es reducido a  $\text{Mn}^{2+}$ , pudiendo alcanzar niveles tóxicos. Situación similar ocurre con el Fe (Malavolta *et al.*, 1989). Esta situación debería, por lo tanto, ser monitoreada especialmente en suelos Argiudoles ácuicos, los que por su génesis presentan horizontes con condiciones de drenaje lento, y en aquellos muy compactados, situaciones en las que pueden ocurrir déficit de aeración con mayor frecuencia.

El Fe y el Mn correlacionaron positivamente entre sí y también con el Cu (Fe-Mn  $r=0,36$  -  $p<0,001$ ; Cu-Fe  $r=0,45$  -  $p<0,001$ ; Cu-Mn  $r=0,73$  -  $p<0,001$ ), lo que sugiere que su variación en el suelo es condicionada por factores similares, por ejemplo pH, lo que quedó demostrado por la existencia de una correlación significativa negativa ( $r=-0,42$ ;  $p<0,001$ ;  $r=-0,63$ ;  $p<0,001$ ;  $r=-0,47$ ;  $p<0,001$ ). Buffa & Ratto (2009) también mencionan la existencia de correlación negativa entre Fe y Mn con pH. Da Fonseca *et al.* (2010) verificaron el efecto del pH sobre la disponibilidad de micronutrientes utilizando el encalado en suelos. Estos autores detectaron correlación negativa entre Fe, Mn y Cu con pH. Resultados semejantes fueron obtenidos por Silva *et al.* (2009) con Fe y pH. El Fe también presentó correlación significativa con CO ( $r=0,49$ ;  $p<0,001$ ). No se encontró relación entre Mn y el CO.

## CONCLUSIONES

Las muestras correspondientes a suelos en condición prístina presentan los tenores más elevados de CO y micronutrientes, lo que corrobora la ocurrencia de deterioro de la calidad de los suelos en todos los sistemas de manejo analizados, aunque de forma más severa en los sometidos a agricultura intensiva (A). El pH no fue afectado por los distintos usos a los que se sometieron los suelos. Los valores de los micronutrientes presentan elevada variabilidad, la cual está asociada al sistema de manejo y a la intensidad de uso de los suelos. Tenores suficientes de Cu, Fe y Mn se determinaron en la mayoría de los casos analizados, siendo pocos los que presentan valores particularmente elevados. Los resultados indican que B y Zn son los micronutrientes más afectados por el uso de suelo, por lo que debería monitorearse rutinariamente su concentración, especialmente en los sistemas de agricultura y ganadería intensivos, para asegurar una disponibilidad adecuada a las necesidades de los cultivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R (ed.). 2006. Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. EFA, Buenos Aires, Argentina. 206pp.
- Benites, J; D Saintraint & K Morimoto. 1994. Degradación de tierras y producción agrícola en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay. En: Erosión de suelos en América Latina, Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe (eds.). Santiago, Chile, 219 pp.
- Buffa, EV & SE Ratto. 2005. Disponibilidad de cinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. *Ciencia del Suelo* 23(2): 107-114.
- Buffa, EV & SE Ratto. 2009. Contenido pseudototal de cobre, cinc, hierro y manganeso como estimador del fondo geoquímico en suelos de la Llanura Chaco-Pampeana de Córdoba, Argentina. *Ciencia del Suelo* 27(2): 185-198.
- Da Fonseca, AF; EF Caires & G Barth. 2010. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till with a surface application of lime. *Sci. Agric.* 67(1): 60-70.
- Díaz-Zorita, M & S Gambaudo. 2007. Fertilización y encalado en alfalfa. En: DH Basigalup (ed.). El Cultivo de la Alfalfa en Argentina. p. 229-246. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Fageria, NK; VV Baligar & RB Clark. 2002. Micronutrients in crop production. *Adv. Agron.* 77: 185-268.
- Faithfull, NT. 2004. Métodos de análisis químicos agrícolas. Manual práctico. Editorial Acribia, 294 pp.
- Fergusson, JE. 1991. The heavy elements, chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press. Oxford, UK. 405pp.



- Ferraris, G. 2011. Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? *En: García, F & A Correndo (eds.)*. Simposio de Fertilidad 2011: La nutrición de los cultivos integrada al sistema de producción. 1ª ed. Acaassuso: International Plant Nutrition Institute, 276 pp.
- Imhoff, S; MA Pilatti & ME Sosa. 1996. Nitrógeno orgánico en Molisoles del Centro de Santa Fe. *Rev. Fac. Agr. y Vet. Esperanza UNL* 9: 10-18.
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1991. Carta de Suelos de la República Argentina. Hojas 3160-25 y 26, Esperanza-Pilar. INTA. Rafaela, Argentina. 135 pp.
- Lavado, RS; MS Zubillaga; R Álvarez & MA Taboada. 2004. Baseline Levels of Potentially Toxic Elements in Pampas Soils. *Soil & Sediment Contamination* 13: 427-437.
- Lavado, S; CA Porcelli & R Álvarez. 1999. Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *The Science of the Total Environment* 232: 185-191.
- Lavado, RS & MA Taboada. 2009. The Argentinean Pampas: A key region with a negative nutrient balance and soil degradation needs better nutrient management and conservation programs to sustain its future viability as a world agresource. *J. Soil Water Cons.* 64: 150-153.
- Maddonni, GA; S Urricariet; CM Ghersa & RS Lavado. 1999. Assessing soil quality with soil properties and maize crop in the Rolling Pampa. *Agron. J.* 91: 280-287.
- Michelena, R; C Iruetia; F Vavruska; R Mon & A Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el norte de la región pampeana. Publ. N° 6. INTA Centros Regionales Buenos Aires Norte, Córdoba, E. Ríos y S. Fe. PAC. Pergamino, Buenos Aires. 120 pp.
- Malavolta, E; GC Vitti & SA de Olivera. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e Aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. Editora Gráfica NAGY Ltda. São Paulo, Brasil. 201pp.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edn. Academic Press. Great Britain. 889 pp.
- Melgar, RJ; J Lavandera; M Torres Duggan & L Ventimiglia. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del Suelo* 19(2): 109-114.
- Montico, S & N Pouey. 2001. Cuencas Rurales: pautas y criterios para su ordenamiento. UNR Editora. Rosario, Argentina. 166pp.
- Panigatti, JL; JA Weber & O Pilatti. 1982. Estado actual y futuro de los problemas de suelo de Santa Fe. Consejo de Tecnología Agropecuaria de la provincia de Santa Fe. Informe Interno. 55pp.
- Panigatti, JL. 1976. Molisoles del norte de la zona pampeana. III- Cambios debidos a diferentes manejos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* XII (3): 129-143.
- Pilatti, MA & DA Grenón. 1994. La profundidad enraizable de los suelos. Su estimación a partir de información edáfica. *Rev. Fac. Agr. y Vet. Esperanza, UNL, C-003-AD-003*, 29 pp.
- Pilatti, MA; M Moresco & C Cuadrado. 2001. Deficiencias de nutrientes en alfalfa (*Medicago sativa*). Ensayo en macetas sobre Argiudoles del Centro de Santa Fe (Argentina). *Rev. FAVE* 13(1-2): 63-70.
- Quinionez, AG; L Dalla Fontana & AL Mollo. 2003. Respuesta de la alfalfa al agregado de fósforo, boro y calcio. *Rev. FAVE* 2(1-2): 47-53.
- Raij, B. van. 1998. Bioavailable test: alternatives to standard soil extractions. *Commun. Soil Sci. Plant An.* 29: 1553-1570.
- Raij, B van. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. Brasil. 343pp.
- Ratto, S & N Fatta. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. *Ciencia del Suelo* 8(1): 9-15.
- Ratto, S; L Giuffrè & C Sainato. 1997. Variación espacial de micronutrientes en suelo y planta en un Molisol. *Ciencia del Suelo* 15(1): 39-41.
- Roca, N; MS Pazos & J Bech. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO Argentino. *Ciencia del Suelo* 25(1): 31-42.
- Sainz Rozas H; HE Echeverría; PA Calviño; PA Barbieri & M Redolatti. 2003. Respuesta del trigo al agregado de zinc y cobre en suelos del Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo* 21(2): 52-58.
- Sharma, BD; SS Mukhopadhyay; PS Sidhu & JC Katyal. 2000. Pedospheric attributes in distribution of total and DTPA-extractable Zn, Cu, Mn and Fe in Indo-Gangetic plains. *Geoderma* 96: 131-151.
- Silva, AP da; S Imhoff; NFB Giarola & CA Tormena. 2001. Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos del Centro de Santa Fe. *Edafología* 8(1): 21-34.
- Silva, MAG; AS Muniz; AY Noda; ME Marchetti; JDV Mata & ERP Lourente. 2009. Metodologías e eficiencia de extractores para zinc, cobre, ferro e manganês. *Acta Scientiarum Agronomy* 31(3): 537-545.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotation and fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1496-1503.
- Texeira, IR; CM de Souza; A Borém & GF da Silva. 2003. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgánico, cobre, manganês, zinc e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. *Bragantia* 62(1): 119-126.
- Torri, SI; S Urricariet & R Lavado. 2005. Micronutrientes y otros elementos traça. *En: Echeverría, H & FO García (eds.)*. Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Pp. 189-205. INPOFOS-INTA Balcarce, Pcia. Bs. Aires..
- Urricariet, S & R Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17(1): 37-44.
- Vázquez, ME; E Nollemeier & P Coremberg. 1991. The dynamics of different organic and inorganic phosphorus fractions in soils from the south of Santa Fe province, Argentina. *Commun. Soil Sci. Plant An.* 22: 1151-1164.
- Vivas, HS. 2001. Fertilización de alfalfa con azufre y boro en el área Centro Este de Santa Fe (Comun.). 24° Congreso Argentino de Producción Animal. Rafaela, Supl.1, v. 21 ISSN 0326-0550.