

Disponibilidad de metales pesados en suelos Ferralíticos con baja actividad antrópica en San José de las Lajas, Mayabeque

Availability of heavy metals in Ferralitic soils with low anthropic activity in San José de las Lajas, Mayabeque

Ing. Reinaldo Reyes Rodríguez, Ing. Gina Pierre, Dr.C. Fernando Guridi Izquierdo, Dr.C. Ramiro Valdés Carmona
Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Dpto. Química, Grupo Fitoplant,
San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. La contaminación ambiental por metales pesados (MP) en suelos es una preocupación para la producción agrícola debido a los efectos adversos que provoca en la calidad de los cultivos. Numerosos países han logrado establecer valores de referencias del contenido de MP en suelos. Cuba no dispone de esta información, significando un riesgo potencial para la calidad de la producción de alimentos de origen vegetal en el país y un peligro para la seguridad alimentaria. El objetivo de este trabajo fue determinar el contenido disponible de MP (extraídos con E.D.T.A. $0,0200 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) en suelos con baja actividad antrópica. En tres tipos de suelos ferralíticos se determinó (con un total de quince réplicas de cada uno) la textura mediante el método de Bouyoucos, pH en agua y en KCl por potenciometría, los contenidos de sodio y potasio por fotometría de llama, los de calcio y magnesio por volumetría de formación de complejo, el carbono orgánico total mediante el método colorimétrico y los contenidos disponibles de Cadmio, Cobre, Hierro, Níquel y Plomo por la Espectrometría de Absorción Atómica. Los resultados obtenidos indicaron que los suelos presentaron baja capacidad de intercambio catiónica y predominio de la fracción arcilla. Con excepción del Cadmio los cationes presentaron valores inferiores a los reportados internacionalmente como máximos permisibles. La información obtenida aportó elementos necesarios para el mejor manejo y uso de estos suelos en el futuro y contribuirá al establecimiento de indicadores de referencia de estos tipos de suelo en Cuba.

Palabras clave: actividad antrópica, disponibilidad de metales pesados, suelos ferralíticos.

ABSTRACT. The environmental pollution because of heavy metals (HM) in soils is a concern for the agricultural production, due to the adverse effects that it causes in the quality of the cultivation. Numerous countries have been able to establish values of reference on the content of HM in soils. Cuba does not have this information, what means a potential risk for the quality of food production of vegetable origin and a danger for alimentary security. The objective of this work was to determine the available content of HM (extracted with E.D.T.A. $0,0200 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) in soils with low anthropic activity. Determinations of texture by means of Bouyoucos method, pH in water and in KCl by potentiometric, contents of sodium and potassium by flame photometric, calcium and magnesium contents by complex formation volumetric, total organic carbon content by means of the colorimetric method and the available contents of Cadmium, Copper, Iron, Nickel and Lead for the Spectro-metric of Atomic Absorption, were made to three types of ferralitic soils, with a total of fifteen replicas for each of them. The obtained results indicated that the soils presented low capacity of cationic exchange and prevalence of clay fraction. Except for the Cadmium, the cationic presented inferior values to those internationally reported as permissible maxima. The information obtained provided necessary elements for the best soil management and their usage in the future. It will also contribute to establish reference indicators for these types of soils in Cuba.

Keywords: anthropic activity, availability of heavy metals, ferralitic soils.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de metales pesados (MP) y otros elementos químicos en el suelo es un fenómeno que no sólo es importante para los usos productivos del suelo, sino también para la protección de la

superficie y los manantiales. La determinación de los niveles de MP en suelos es una de las cuestiones básicas para apoyar decisiones de manejo de riesgos en proyectos de restauración ambiental. La

toxicidad potencial de un metal pesado en el suelo depende de su especialización y disponibilidad. El origen de elevados contenidos de metales pesados en suelos de forma natural es dependiente de la geoquímica de una región en particular (Kumar y Kumar, 2013). La ubicación geográfica de Cuba, la explotación histórica de sus áreas agrícolas, así como las condiciones específicas de formación de los suelos cubanos, hace necesario el conocimiento del estatus actual del contenido de MP disponibles en suelos con baja actividad antrópica para no depender de los criterios de otras zonas geográficas. El objetivo de este trabajo fue determinar el contenido disponible de MP en suelos con baja actividad antrópica, lo que responde a una de las líneas de investigaciones que realizan el Grupo Fitoplant del Departamento de Química de la Universidad Agraria de la Habana (UNAH), tendiente al establecimiento de los valores de referencia y los límites de tolerancia de MP en suelos cubanos.

MÉTODOS

Se seleccionaron tres sitios experimentales correspondientes a suelos pertenecientes al agrupamiento Ferralítico según (Hernández *et al.*, 1999), considerados con muy baja actividad antrópica. El Sitio 1 (UNAH) de coordenadas N 22°59'59,1" y WO 82°09'0,8", corresponde a un suelo Ferralítico Amarillento lixiviado (FAL), que se encuentra en barbecho; el Sitio 2 (Mangal), de dicado a frutales, localizado en N 23°00'21,3" y WO 82°09'2,3", corresponde a un suelo Ferralítico rojo hidratado (FRH) y el Sitio 3 (Nazareno) cultivado con pasto naturales pertenece a un Ferralítico Rojo típico (FRT), sobre roca caliza-margosa, ubicado en N 22°09'56,8" y WO 82°20'42,7". En cada sitio se colectaron muestras en cinco puntos, a una profundidad de 0-20 cm. El contenido de carbono orgánico total fue determinado mediante el método colorimétrico. El pH en agua y en KCl por potenciometría y las bases cambiables fueron extraídas con disolución de NH₄Ac (1 mol·L⁻¹) a pH=7,0 según Paneque (2002). Los cationes K⁺ y Na⁺ se determinaron a través de Fotometría de llama en un equipo CORNING Photometer 410, mientras que los cationes Ca²⁺ y el Mg²⁺ se determinaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica en un Espectrophotometer AA, WFX-130B Rayleigh. El contenido de arcilla fue determinado

por el método hidrométrico de Bouyoucos (Martín, 2010). Los cálculos y la interpretación se realizaron de acuerdo con Martín y Durán (2011). La determinación de los contenidos de metales pesados disponibles en los tres suelos Ferralíticos se evaluó a partir de la extracción con una disolución de la sal disódica del EDTA (0,0200 mol·L⁻¹), con 4 horas de agitación en zaranda horizontal (WT2 HDL apparatus), seguido de 48 horas de reposo y filtración por gravedad. En el filtrado se evaluaron los cationes Cu²⁺, Cd²⁺, Ni²⁺, Fe²⁺ y Pb²⁺ mediante absorción Atómica. Los análisis fueron realizados por triplicado y los valores calculados a partir de curvas de calibración de los respectivos patrones. Se empleó un diseño experimental aleatorizado y los resultados fueron tabulados y graficados mediante el software Microsoft Office Excel de Windows XP y procesados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) en su clasificación simple utilizando el paquete estadístico Statgraphics Plus v: 5.1. La comparación de medias fue realizada mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los resultados de los análisis químicos y físico-químicos de los suelos estudiados.

En cuanto al pH al agua todos los suelos presentaron valores entre 6,3 y 6,8, siendo el FAL el más próximo a la neutralidad sin diferencia significativa con respecto a los otros dos, los cuales no difieren entre sí. El pH en KCl osciló entre 6,2 y 6,5 sin diferencia entre los distintos tipos de suelo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Hernández *et al.* (2010), quienes plantean que los suelos Ferralíticos conservados por muchos años, en general presentan un pH entre 6-7.

En el contenido de carbono orgánico no se registraron diferencias entre los suelos FRT y FAL, siendo significativamente superiores al del FRH. La renovación de los sistemas radicales de las gramíneas predominantes en los suelos FRT y FAL pudiera justificar el contenido superior de carbono orgánico del horizonte 0 – 30 cm, cuando se compara con los frutales existentes en el FRH, donde la deposición de materia orgánica ocurre superficialmente.

TABLA 1. Propiedades fisicoquímicas y químicas de los suelos objeto de estudio

Prof. (cm)	Textura			pH 1:2,5		Bases cambiables (cmol·kg ⁻¹)				% Corg
	Arcilla	Arena	Limo	H ₂ O	KCl	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Ferralítico rojo típico (FRT)										
0-20 cm	64,9	23,7	11,4	6,36 ^b	6,27	4,29	10,29 ^a	1,29 ^b	0,53 ^c	5,65 ^a
Ferralítico rojo hidratado (FRH)										
0-20 cm	55,0	27,4	17,6	6,40 ^b	6,32	4,18	5,33 ^b	2,99 ^a	1,39 ^a	1,21 ^b
Ferralítico amarillento lixiviado (FAL)										
0-20 cm	48,9	39,7	11,4	6,81 ^a	6,41	4,18	12,12 ^a	0,53 ^c	0,90 ^b	4,69 ^a
Error Estándar				0,04	0,02	0,06	0,85	0,03	0,01	0,29

Medias de 15 réplicas. Las letras distintas indican una diferencia significativa entre los suelos (Tukey $p < 0,05$).

Los contenidos de Na⁺ y K⁺ presentaron diferencias significativas entre los tres suelos, siendo el FRH (Mangal) el que posee los mayores valores de ambos. Esto pudiera justificarse en función del cultivo predominante (frutales), ya que su sistema radical realiza la extracción de elementos minerales a una mayor profundidad. Pérez *et al.* (2012) reportaron valores muy semejantes para suelos FRH y FAL.

Para el Mg²⁺, los valores obtenidos se encontraron en el intervalo entre 4,1-4,3, sin diferencia significativa entre los distintos tipos de suelo. Para el Ca²⁺ los suelos FRT (Nazareno) y FAL (UNAH), poseen valores superiores al FAL (Mangal), no presentando diferencias significativas entre ellos. De manera general, según Martín (2010), el suelo FRH presenta una relación Ca/Mg inferior a 2 por lo que se considera baja, mientras que en los suelos FRT y FAL esta relación se encuentra entre 2-3, por lo que se clasifican de medio (óptimo).

La Figura muestra los contenidos de arcilla, arena y limo. En todos los suelos el mayor porcentaje corresponde a la arcilla, seguido por arena, y después el limo, o sea % arcilla > % arena > % limo, por lo cual se concluye que estos suelos se clasifican como arcillosos (Martín y Durán, 2011).

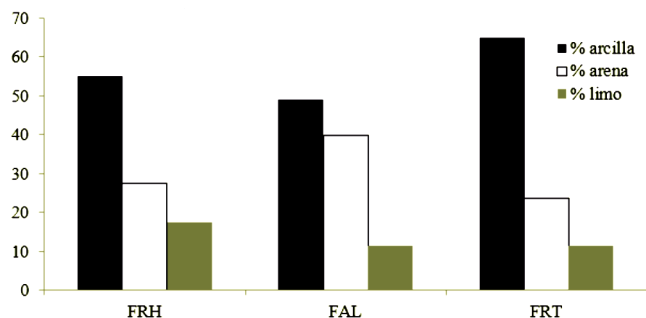


FIGURA. Porcentaje de arcilla, arena y limo en los tres suelos ferralíticos.

En la Tabla 2 se indican los valores encontrados de los contenidos disponibles de los metales pesados evaluados. Exceptuando al cadmio para el suelo FAL, los niveles disponibles indican que las medidas de conservación han permitido mantener un estatus adecuado de estos suelos. Con respecto al cadmio se encontraron diferencias significativas en cada uno de los suelos, destacándose el FAL cuyo valor de contenido disponible (2,78 mg·kg⁻¹) es de sumo interés ya que, según McBride (1994), se encuentra dentro del intervalo de límite permisible, aunque es ligeramente alto según la CEE (1-3), próximo al límite establecido por Gran Bretaña (3) y superior a los indicados por Alemania (1,5) y Canadá (0,8). También este valor está próximo a los valores de intervención empleados en Brasil (Fadigas *et al.*, 2006), y los encontrados en suelos cubanos por el Instituto de Suelos (2004), los cuales todos son determinados a partir de los contenidos pseudototales. Estos resultados confirman que los suelos no han estado sometidos a una intensa actividad agrícola durante un largo periodo de tiempo.

Con respecto al suelo FAL, el nivel de cadmio detectado obliga a la adopción de medidas agrotécnicas específicas para su uso, como la de no incluir plantas que puedan actuar como acumuladoras o hiperacumuladoras de cadmio en el órgano que constituye el producto agrícola. Dilucidar el origen de la situación del Cd²⁺ requerirá de estudios posteriores.

TABLA 2. Contenido de metales pesados disponibles encontrados en los suelos

	Cu	Cd	Fe	Ni	Pb
	mg·kg ⁻¹				
FRT (NAZ)	0,16 ^{ab}	1,39 ^b	487,37 ^a	0,04 ^b	3,81 ^b
FRH (MANGAL)	0,14 ^b	0,71 ^c	69,06 ^b	0,04 ^b	4,73 ^b
FAL (UNAH)	0,17 ^a	2,78 ^a	89,60 ^b	0,06 ^a	7,64 ^a
Error Estándar	0,02	0,14	14,06	0,002	0,28

Medias de 15 réplicas. Letras distintas indican una diferencia significativa entre los suelos (Tukey p<0,05).

Para el Fe²⁺ se encontraron diferencias significativas del contenido disponible del suelo FRT (el mayor valor) con respecto a los otros. Los valores encontrados son muy superiores a los del resto de los otros metales evaluados, derivados del proceso de formación de estos suelos según Morell *et al.* (2006), y se encuentran por debajo de los niveles permisibles de la literatura internacional.

Olunmi y Rumuokalagbo (2010), en suelos de Nigeria, encontraron intervalos de contenidos de metales pesados en los que se encuentran los hallados en este trabajo, con excepción del Ni²⁺ en los tres suelos estudiados, que es inferior al reportados por esos autores y el Fe²⁺ para el FRT (superior).

Exceptuando al hierro, la suma total de los contenidos disponibles del resto de los cationes evaluados fue mayor en el FAL, aun cuando es el suelo de menor contenido de arcilla.

Los resultados obtenidos confirman que las diferencias en la estructura del suelo y sus propiedades químicas y fisicoquímica pueden tener influencia en los límites geoquímicos de la presencia de cationes de metales pesados (Peifang *et al.*, 2012; Deka y Sarma, 2012).

Relación entre los contenidos disponibles de los Cd²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺, Ni²⁺, y Pb²⁺ y las propiedades del suelo

En cuanto a la relación con el pH al H₂O de los tres suelos en estudio, se observó que para los casos de Cd, Cu, Ni y Pb se registraron los mayores valores en el suelo de pH intermedio (pH = 6,5), mientras que para el Fe resultó ser el más ácido. Roca *et al.* (2007) afirman que el pH es uno de los factores que controla la disponibilidad de los metales pesados en los suelos. En el caso del hierro el valor de la K_{ps} de su hidróxido (1,64 x 10⁻¹⁴) justifica que ese catión esté más disponible en medios de mayor acidez.

En lo que respecta al porcentaje de carbono orgánico se obtuvo coincidencia en que el suelo FRH (de menor contenido de carbono), resultó el de contenido total de cationes metálicos más bajo (exceptuando al hierro). Roca *et al.* (2007), en estudios semejantes realizados en suelos argentinos, para los cationes (cobre y hierro), obtuvieron resultados similares, confirmando que el porcentaje de carbono orgánico es otro factor determinante en la disponibilidad de esos metales, siendo el horizonte superficial (0-20 cm), el de mayor acumulación. Para los suelos FAL y FRT (sin diferencia en el carbono orgánico), los resulta-

dos ponen de manifiesto que es necesario profundizar en la calidad del carbono orgánico (grado de humificación) para poder establecer una relación acertada con respecto a disponibilidad de cationes de metales pesados. De lo anterior se deriva que, para los suelos en estudio, el contenido de carbono orgánico puede relacionarse con la disponibilidad de metales pesados cuando se comparan suelos en los que exista una diferencia importante en este indicador, lo que confirma la importancia reconocida en la literatura de la materia orgánica en este fenómeno (Chrastný *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

- Los suelos estudiados evidenciaron diferencias en cuanto a la mayoría de las propiedades físicas, físico-químicas y químicas evaluadas, exceptuando el pH al KCl y el conte-

nido de Mg^{2+} . En el suelo FRH se registraron la relación Ca^{2+}/Mg^{2+} y el contenido de carbono orgánico más bajos y con predominio de la fracción arcilla.

- Los contenidos disponibles de los metales pesados estudiados, presentaron diferencias entre los suelos y que los cationes Cu^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} y Ni^{2+} con valores muy inferiores con respecto a los reportados internacionalmente como máximos permisibles. Para el FAL se registró un contenido de Cd^{2+} próximo (o incluso superior) a los límites establecidos por algunos países, lo cual requiere de estudios posteriores e implica una alerta en caso de modificarse el uso actual del sitio.
- La relación entre las propiedades físico-químicas y químicas evaluadas y el contenido disponible de metales pesados dependen del catión en cuestión y de las características del suelo en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUBA, INSTITUTO DE SUELOS: *Contaminación por metales pesados en algunos de los agroecosistemas cubanos*, La Habana, Cuba, 2004.
- CHRASNÝ, V.; KOMÁREK, M.; PROCHÁZKA, J.; PECHAR, L.; VANĚK, A.; PENÍŽEK, V.; FARKAŠ, J.: "50 years of different landscape management influencing retention of metals in soils", *Journal of Geochemical Exploration*, (115): 59-68, 2012.
- DEKA, J.; SARMA, H.P.: "Heavy metal contamination in soil in an industrial zone and its relation with some soil properties", *Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research*, 4(2): 831-836, 2012.
- FADIGAS, F.S.; AMARAL, N.M.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.: "Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros", *Revista. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 10(3): 699-705, 2006.
- HÉRNANDEZ, A.; BOJÓRQUEZ, J.I.; MORELL, F.; CABRERA, A.; ASCANIO, M.O.; GARCÍA, J.D.; MADUEÑO, A.: *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales*, ed. Laura Lauría, Ed. Nayarit, t. 1, ISBN-978-607-7868-27-9, México, 2010.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.: *Nueva Versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba*, Ed. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 1999.
- KUMAR, A.; KUMAR, S.: "Availability of Chromium, Nickel and Other Associated Heavy Metals of Ultramafic and Serpentine Soil /Rock and in Plants.Intern", *Journal of Emerging Tech. and Advanced Eng.V.*, 3(2): 256-263, 2013.
- MARTÍN, N.J.: *Tabla de interpretación de análisis de suelo*, Ed. UNAH, La Habana, Cuba, 2010.
- MARTÍN, N.J.; DURÁN, J.L.: *El suelo y su fertilidad*, Ed. Félix Varela, ISBN-978-959-07-1418-4, pp. 113-174, Cuba, 2011.
- MCBRIDE, M.B.: *Environmental Chemistry of Soils*, Ed. Oxford University Press, New York, UE, 1994.
- MORELL, F.; HERNÁNDEZ, A.; FERNÁNDEZ, F.; TOLEDO, Y.: "Caracterización agrobiológica de los suelos Ferralíticos Rojos lixiviados de la región de San José de las Lajas, en relación con el cambio en el manejo agrícola", *Cultivos Tropicales*, 27(4): 13-18, 2006.
- OLUBUNMI, E.; RUMUOKALAGBO, E.: "Evaluation of the Status of Heavy Metal Pollution of Soil and Plant", *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 5(4): 241-248, 2010.
- PANEQUE, M.: *Manual de técnicas analíticas para el análisis de suelos, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*, 130pp., Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2002.
- PEIFANG, W.; SONGHE, Z.; JIE, L.: "Effects of Pb on the oxidative stress and antioxidant response in a Pb bioaccumulator plant *Vallisneria-natans*", *Ecotoxicology and Envir. Safety*, (81): 122-126, 2012.
- PÉREZ, Y.; AMARAL, N.M.; BALBÍN, M.I.; VALDÉS, R.; MAGALHÃES, M.O.: "Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del municipio San José de las Lajas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1): 43-46, 2012.
- ROCA, N.; PAZOS, M.S.; BECH, J.: "Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del Noroeste Argentino", *Revista Ciencia y Suelo*, ISSN-1850-2067, 25(1), 2007.

Recibido: 9 de septiembre de 2013.

Aprobado: 20 de marzo de 2014.

Reinaldo Reyes Rodríguez, Profesor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Dpto. Química, Grupo Fitoplant, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Correo electrónico: reinaldo_reyes@unah.edu.cu