

CRITERIOS DE CALIDAD DE LOS SUELOS CUBANOS EN RELACIÓN A METALES PESADOS

Muñiz Ugarte, O.^{1*}; Rodríguez Alfaro, M.¹; Montero Álvarez, A.²; Miranda Biondi, C.³; De Aguiar Accioly, A.M.⁴; Araujo do Nascimento, C. W.³

¹Instituto de Suelos, MINAG, La Habana, Cuba; ²Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, CITMA, La Habana, Cuba; ³Universidad Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil; ⁴EMBRAPA Mandioca y Fruticultura, Cruz Das Almas, BA, Brasil.

* Autor de contacto: sccsmuniz@ceniai.inf.cu; Autopista Costa-Costa y antigua carretera de Vento. Boyeros. CP 10800. La Habana, Cuba; 537-6451788

RESUMEN

La evaluación de la máxima carga de contaminantes permisibles en el suelo, es una forma de prevenir el ingreso de una cantidad elevada del mismo a la cadena alimenticia. Existen legislaciones elaboradas por los países que regulan las cantidades máximas de Metales Pesados (MP) permitidas en la capa arable del suelo. El objetivo del presente trabajo fue establecer para Cuba, criterios de calidad de suelo para los metales Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Zinc (Zn) y Cobre (Cu); basados en la metodología brasileña conocida como CONAMA y las características particulares de los suelos cubanos; la cual considera tres valores: Valores de Referencia (VR); Valores de Alerta (VA) y Valores de Investigación (VI). Para determinar los Valores de Referencia se emplearon 33 perfiles de suelo representativos de los principales tipos de suelos cubanos y seleccionados a lo largo del país. Para la determinación de los metales se empleó el método 3051A de la USEPA. Los resultados obtenidos indican que los contenidos medios naturales de MP cubanos son con frecuencia superiores que la media mundial. No obstante, la mayor parte de los mismos se encuentra en formas no disponibles a las plantas, lo que indica que el riesgo de contaminación de los productos agrícolas por esta vía, es bajo. Los Valores de Referencia (VR) obtenidos para Cuba fueron los siguientes (mg.kg⁻¹): Cd (0,6), Pb (50), Zn (86), Cu (83), Ni (170), Cr (153); mientras que los Valores de Investigación (VI), fueron: Cd (3,0), Pb (180), Zn (450), Cu (200), Ni (600), Cr (400).

PALABRAS CLAVES

Contaminación de suelos; metales pesados; monitoreo de suelos.

INTRODUCCIÓN

El suelo juega un papel crucial en la biosfera, puesto que por una parte, constituye un sumidero geoquímico natural de los contaminantes y por la otra, actúa como un *buffer* natural que controla el transporte de los componentes químicos a la atmósfera, la biota y la hidrosfera (Kabata-Pendias y Pendias, 2000). La regulación de la máxima carga de contaminantes permisibles en el suelo, es una forma de prevenir el ingreso de una cantidad elevada del mismo a la cadena alimenticia. Existen legislaciones elaboradas, en su mayor parte, por los países desarrollados, que regulan las cantidades máximas de Metales Pesados (MP) permitidas en la capa arable del suelo. En Latinoamérica, Brasil sobresale por su esfuerzo en desarrollar su propia legislación compatible con su realidad pedológica y socioeconómica (CONAMA, 2009), la cual considera tres valores: Valores de Referencia (VR), que son los contenidos naturales de los MP sin que exista influencia de la actividad humana; Valores de Investigación (VI), valores por encima de los cuales existe riesgo para la salud humana y el desarrollo de los organismos vivos; y Valores de Alerta (VA), que es un valor intermedio entre los otros dos y de ser alcanzado, requiere el monitoreo del suelo y evaluar su causa. En el presente trabajo se presenta una primera versión de Regulación cubana sobre criterios de calidad de suelos para los metales Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Zinc (Zn) y Cobre (Cu); basada en la metodología brasileña anteriormente citada y las características particulares de los suelos cubanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar los Valores de Referencia se emplearon 33 perfiles de suelo representativos de los principales tipos de suelos cubanos y seleccionados a lo largo del país de acuerdo a su importancia agrícola, urbana e industrial (Fig.1).

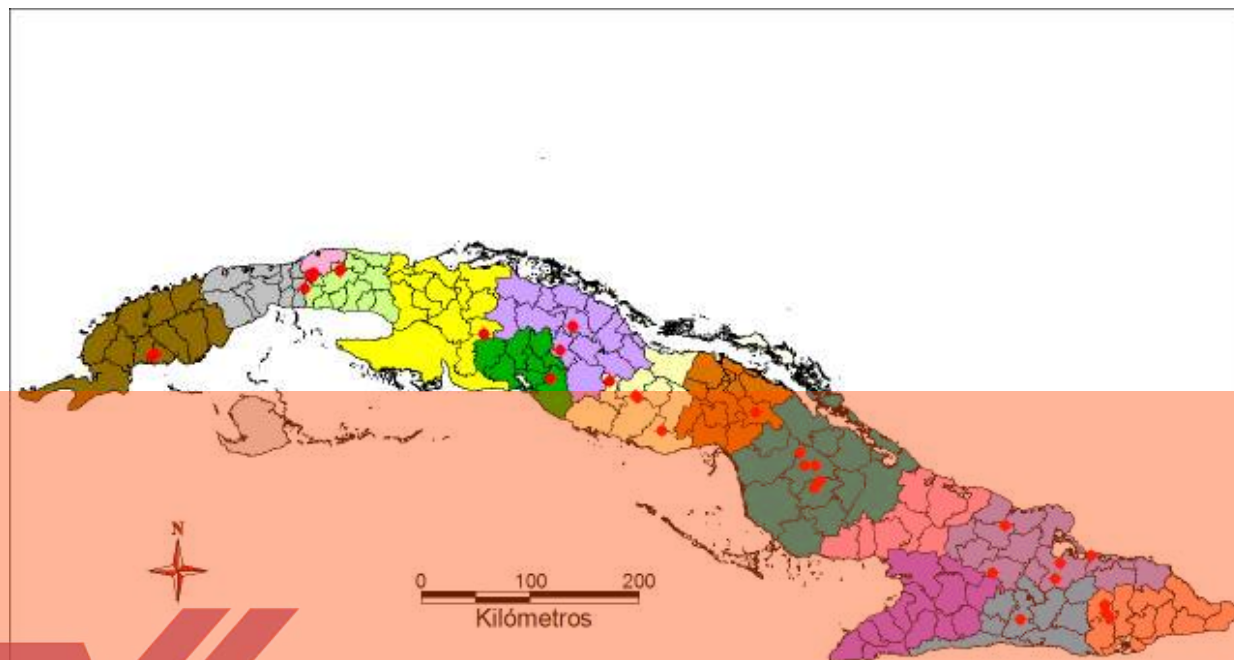


Fig.1. Localización de los Perfiles seleccionados

Las muestras fueron tomadas del horizonte superficial de cada perfil con barrena en áreas no alteradas y cuando no fue posible, con mínima influencia antrópica. Para la determinación de los metales se empleó el método 3051A (USEPA, 1998), utilizando ácidos de elevada pureza (Merck PA) y horno de microondas (Mars Xpress). Como algunos metales (Ni, Cr, Cu) presentaron valores anómalos y mayores que los Valores de Alerta y/o Investigación de acuerdo a los criterios brasileños de CONAMA, se realizó un fraccionamiento químico basado en Shuman (1979) con el fin de evaluar la biodisponibilidad de esos elementos y su riesgo de contaminación de la cadena trófica vía absorción vegetal. Se separaron las fracciones: soluble, intercambiable, combinada con la materia orgánica y con los óxidos de hierro cristalinos. En todos los casos se realizó la determinación de los metales Cd, Pb, Ni, Cr, Zn y Cu por espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado por inducción (ICP-OES/Optima 7000, Perkin Elmer).

La determinación de los Valores de Referencia para cada metal, se efectuó de acuerdo a la metodología CONAMA, con base al percentil 75% del total de muestras, retirando previamente los valores anómalos mediante evaluación gráfica *boxplot*.

Los valores de Investigación se derivaron de una evaluación del modelo matemático de Análisis de Riesgo propuesto por el Ministerio de Salud de Holanda, Csoil, el cual considera varias vías de exposición y varios escenarios de uso y ocupación del suelo (Swartjes et al, 2007); así como de los criterios de fitotoxicidad tanto internacionales como cubanos y los valores de Investigación propuestos en países como Holanda, EEUU, Alemania, Canadá, Inglaterra y Francia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tenores naturales de los metales pesados considerados en el presente trabajo en los suelos de Cuba tuvieron el siguiente orden decreciente $Cr > Ni > Zn > Cu > Pb > Cd$. Tenores que son un reflejo, principalmente, del material de origen y de los procesos pedogenéticos y de las condiciones geomorfológicas y climáticas de cada suelo y país; por lo que resulta evidente que no

se pueden extrapolar los valores obtenidos en un país a otro (Biondi et al, 2011). Así, los valores naturales obtenidos en Cuba resultan, con frecuencia, más elevados que los encontrados en otros países (Tabla 1). Más aun, para algunos elementos, en particular Ni y Cr, corresponden a valores considerados de Investigación en muchos de esos países.

Esto se debe, tanto a la existencia de suelos desarrollados sobre rocas ultrabásicas (muy ricas en Ni y Cr), principalmente en la zona oriental del país; como que, a pesar de que cerca del 70% de los suelos cubanos están desarrollados sobre rocas calizas sedimentarias, muchas de las mismas recibieron influencia de las zonas sobre rocas ultrabásicas que se extienden en forma de arco por el norte de la isla de Cuba y se caracterizan por elevados contenidos de Ni y Cr, (Camacho y Paulín, 1983; Ruiz y Pérez Jiménez, 1984; Cárdenas, Baisre y Ortega, 1986).

Tabla 1. Contenidos naturales medios de Cuba comparados con valores de la literatura internacional

Metales Pesados (mg.kg ⁻¹)	Cuba	China (1)	Irlanda (2)	USA (1)	MG (3)	ES (5)	PE (6)	Fernando de Noronha (7)	RN (8)	RO e MT (9)
Cd	1,2	0,07	0,2	1,6	0,5	<LD ⁽¹¹⁾	0,62	ND ⁽¹⁰⁾	0,07	<LD
Pb	34,6	24	20	16,0	3,9	8,8	11,18	ND	11,50	8,1
Zn	90,7	67	72,5	48,0	13,1	22,6	22,52	97,48	21,67	6,8
Cu	83,7	20,0	19,15	17,0	30,9	5,5	7,15	24,01	10,63	16,5
Ni	294,2	23	12,45	13,0	30,1	6,6	6,0	45,81	14,78	1,3
Cr	463,2	54	37	37,0	100,1	41,0	27,14	237,70	26,55	39,4

¹ Chen et al. (1991); ² Salonen & Korkka-Niemi (2007); ³ Caires (2009); ⁵ Paye et al. (2010); ⁶ Biondi (2010); ⁷ Fabricio Neta (2012); ⁸ Costa et al. (2014); ⁹ Santos & Alleoni (2012); ¹⁰ ND – No determinado; ¹¹ Por debajo del Límite de Detección

Por otra parte, los Valores de Referencia (VR) para los suelos de Cuba, determinados a partir del 75% (Tabla 2) fueron superiores a los reportados por: McGrath y Zhao (2006) para suelos de Inglaterra; Su y Yang (2008) para suelos de Asia; y Bini et al. (2011) en suelos de Italia. También fueron superiores a diversos trabajos a escala regional y local, como los de Chen et al. (1999) para suelos de la Florida; Paye et al. (2010) en suelos de Espírito Santos, Brasil; Biondi et al. (2011) en suelos de Pernambuco, Brasil; y Costa et al. (2014) en suelos de Rio Grande del Norte, Brasil.

Tabla 2. Valores de Referencia (VR), tenores medios, mínimo y máximo, y desviación estándar en metales pesados en suelos de Cuba

Metales Pesados	n (1)	n (2)	VR	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar
Cd (mg kg ⁻¹)	33	3	0,6	1,2	0,1	6,1	1,6
Pb (mg kg ⁻¹)	33	1	50	34,6	5,2	113,6	23,6
Zn (mg kg ⁻¹)	33	4	86	90,7	26,1	260,1	54,3
Cu (mg kg ⁻¹)	33	5	83	83,7	9,5	269,9	54,5
Ni (mg kg ⁻¹)	33	4	170	294,2	9,8	3030,8	567,6
Cr (mg kg ⁻¹)	33	7	153	463,2	9,9	4418,3	941,8

n (1) total de muestras utilizadas para obtener los VRs

n (2) total de muestras eliminadas a partir del *boxplot* como anómalas

A partir de la evaluación gráfica del *boxplot* y los datos de la Tabla 2, fueron detectados valores anómalos (*outliers*), principalmente para los metales Ni, Cr y Cu. Esto significa que algunas muestras de suelo presentan, para esos metales, contenidos por encima de la media, lo que indica la necesidad de investigaciones particulares más detalladas al respecto sobre el origen de esos valores y su biodisponibilidad y, por ende, de los riesgos para la salud humana.

Una forma de conocer la movilidad del mismo es determinar las formas en que se encuentra en el suelo (fraccionamiento) y así conocer la cantidad de aquellas que se relacionan con su disponibilidad a las plantas. En este caso, se empleó la metodología de Shuman (1979). La Tabla 3, muestra que la mayor parte de estos metales se encuentra en el suelo en fracciones no disponibles a la planta, predominando los óxidos de hierro cristalinos.

De tal forma que el riesgo de contaminación de la cadena trófica y del hombre por el consumo de alimentos producidos en estos suelos es bajo. Téngase en cuenta que el Ni es, de los elementos estudiados, el de mayor concentración en los suelos estudiados y que el mismo, absorbido vía oral, principal ruta del metal para el humano, es poco tóxico, ni causa de tumores en el pulmón y las vías nasales. Razón por la cual, por ejemplo Holanda, posee un Valor de Investigación basado en la salud humana tan alto como 1470 mg kg^{-1} (Swartjes et al., 2012). Por lo que, aunque la ingestión del metal vía ingestión de alimentos, sea la principal ruta de exposición para seres humanos, se requiere de otros estudios que consideren todas las restantes rutas posibles, incluyendo la ingestión directa de suelo, con el fin de poder recomendar VR para esos metales anómalos de forma más segura para todos los escenarios posibles (agrícola, urbana e industrial) y para las condiciones específicas de Cuba.

Tabla 3. Contenidos medios (mg kg^{-1}) de los metales Cu, Ni y Cr en las fracciones Soluble, Intercambiable, Orgánica (MO) y Óxido de Hierro cristalino (OxFeC) de las muestras de suelo.

Metal	Soluble	Intercambiable.	MO	OxFeC
Cu	0,10	0,26	0,52	22,60
Ni	0,12	0,91	0,02	37,53
Cr	ND	0,08	0,99	55,27

Los Valores de Investigación (VI) se derivaron de una evaluación del modelo matemático de Análisis de Riesgo propuesto por el Ministerio de Salud de Holanda, Hoja de cálculo Csoil, el cual considera varias vías de exposición y varios escenarios de uso y ocupación del suelo; así como de los criterios de fitotoxicidad tanto internacionales (Kabata-Pendias and Pendias, 2000), como cubanos (Muñiz et al., 2000) y los VI propuestos en países como Brasil, Holanda, EEUU, Alemania, Canadá, Inglaterra y Francia. Tal como fue definido, el Valor de Alerta (VA), se definió para cada metal, como un valor intermedio entre el VI y el VR. La Tabla 4 resume los valores propuestos.

Tabla 4. Valores de Referencia (VR), Valores de Alerta (VA) y Valores de Investigación (VI) propuestos (mg.kg^{-1}).

Elemento	VR	VA	VI
Cd	0,6	2.0	3.0
Pb	50	115	180
Zn	86	300	450
Cu	83	150	200
Ni	170	400	600
Cr	153	300	400

A pesar de que en el presente trabajo se propone el establecimiento de los Valores de Alerta e Intervención, la decisión final para el establecimiento de los mismos, dependerá de decisiones políticas, económicas y sociales, a partir de los valores anteriores.

CONCLUSIONES.

Los Valores de Referencia (VR) determinados para Cuba fueron los siguientes (mg.kg^{-1}): Cd (0,6), Pb (50), Zn (86), Cu (83), Ni (170), Cr (153). Resultados que demuestran la hipótesis de que el país presenta valores naturales medios de metales pesados más elevados que la media mundial. En algunos casos, como el Ni y Cr, esos valores son inclusive más altos que los Contenidos permisibles en suelos, para las legislaciones de diferentes países. No obstante, el fraccionamiento

de las formas en que se encuentran los metales en el suelo, indican que las formas biodisponibles son bajas. De donde puede inferirse que estos contenidos provienen del material que dio origen al suelo y no de la contaminación antrópica.

Los Valores de Investigación (VI) determinados para Cuba fueron los siguientes (mg.kg^{-1}): Cd (3.0), Pb (180), Zn (450), Cu (200), Ni (600), Cr (400). No obstante, la decisión final para el establecimiento de estos criterios dependerá de cuestiones políticas, económicas y sociales y de estudios de análisis de riesgo más profundos que consideren todas las rutas de exposición a estos elementos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a ABC y EMBRAPA de Brasil, así como al Instituto de Suelos y al CEADEN de Cuba, por el financiamiento del proyecto que propició el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Bini, C.; Sartori, G.; Wahsha, M. & Fontana, S. 2011. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. *J. Geochem. Explor.* 109: 125–133, 2011.

Biondi, C. M. 2010. Teores Naturais de Metais Pesados nos Solos de Referência do Estado de Pernambuco. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife

Biondi, C.M.; Nascimento, C.W.A.; Fabricio Neta, A.B. & Ribeiro, M.R. 2011. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em Solos de Referência de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 35: 1057-1066,

Caires, S. M. 2009. Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade, 304p (Tese de Doutorado) UFV, Viçosa.

Camacho, E.; Paulín, J.R. 1983. Génesis de un suelo ferralítico Rojo con predominio de boehmita sobre caliza en la provincia Habana, Cuba. *Ciencias de la Agricultura*. 15: 49-57,

Cárdenas, A.; Baisre, J.; Ortega, F. 1986. El suelo Ferrítico Púrpura de Cuba. *Ciencias de la Agricultura*. 29: 70-83.

Chen, M., Ma, L. Q., & Harris, W. G. 1991. Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. *Journal of Environmental Quality*. 28: 1173–1181,

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009.

Costa, W.P.; Nascimento, C.W.A.; Biondi, C.M.; Souza Junior, V.S. 2014. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. *R. Bras. Ci. Solo*, Aceito.

Fabricio Neta, A.B. 2012. Teores naturais de metais pesados em solos da ilha de Fernando de Noronha, 37p (Dissertação de Mestrado) UFRPE, Recife.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, 2000. *H. Trace elements in soils and plants* – 3. ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 315p.

Mcgrath, S.P. and Zhao, F.J. 2006. Ambient background metal concentrations for soils in England and Wales. *Science Report SC050054*. Environmental Agency. 31 p.

Muñiz, O., Molina, J., Estévez, J., Quicute, S., Montero, A., Pupo, I., Padilla, R. 2000. Contaminación por metales pesados en algunos de los principales agroecosistemas cubanos. Informe Final del proyecto 00200042 del PNCT Producción de Alimentos por Métodos Sostenibles, Archivos del Instituto de Suelos, La Habana. 36 p

Paye, H.S.; Mello, J.W.V.; Abrahão, W.A.P.; Fernandes Filho, E.I.; Dias, L.C.P.; Castro, M.L.O.; Melo, S.B. & França, M.M. 2010. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do Espírito Santo. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:2041-2051.

Ruiz, J.; Pérez Jiménez, J.M. 1984. Algunas consideraciones sobre la formación de los suelos rojos de la Región de San Miguel de los Baños. *Ciencias de la Agricultura*. 18: 81-89.

Salonen, V.-P., & Korkka-Niemi, K. 2007. Influence of parent sediments on the concentration of heavy metals in urban and suburban soils in Turku, Finland. *Applied Geochem.* 22: 906–918.

Santos, S.N. & Alleoni, L.R.F. 2012. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. *Environ. Monit. Assess.*

Shuman, L.M. 1979. Zinc, manganese, and copper in soil fractions. *Soil Sci.*, 127:10-17.

Su, Y. & Yang, R. 2008. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the desert-oasis ecotone in the middle of Heihe River Basin, North-west China. *J. Geochem. Explor.*, 98:57-64.

Swartjes, F.A., Dirven-Van Breemen, Em; Otte, P.F.; Van Beelen, P.; Rikken, M.G.J.; Tuinstra, J.; Spijker, J.; Lijzen, J.P.A. 2007. Human health risks due to consumption of vegetables from contaminated sites: Towards a protocol for site-specific assessment. RIVM report 711701040,130 p.

Swartjes, F.A., M. Rutgers, J.P.A. Lijzen, P.J.C.M. Janssen, P.F. Otte, A. Wintersen, E. Brand, L.Posthuma.2012. State of the art of contaminated site management in The Netherlands: Policy framework and risk assessment tools. *Science of the Total Environment*, 427–428 (2012) 1 10.

United States Environmental Protection Agency - Usepa. 1998. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2013.

