

VALORES DE CALIDAD PARA METALES PESADOS EN SUELOS DE CUBA

Mirelys Rodríguez Alfaro⁽¹⁾, Olegario Muñiz Ugarte⁽¹⁾, Alfredo Montero Álvarez⁽²⁾, Clístenes W. Araújo do Nascimento⁽³⁾, Bernardo Calero Martín⁽¹⁾, Adriana M. de Aguiar Accioly⁽⁴⁾, Nereyda Chávez González⁽¹⁾, Amanda Leal Alfonso⁽¹⁾ y Marcela Hernández Guillén⁽¹⁾

1-Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura, La Habana. 2-Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, CEADEN, CITMA, La Habana. 3-Universidad Federal Rural de Pernambuco, Brasil. 4-EMBRAPA Mandioca y Fruticultura, Cruz Das Almas, Bahía, Brasil

Introducción.

La contaminación que producen los metales pesados (MP) en los suelos y su influencia en el desarrollo de las plantas y los animales, merecen la preocupación del hombre porque ponen en peligro la supervivencia en el planeta y de los agroecosistemas. Entre las principales preocupaciones con relación a la adición de MP a los suelos se encuentra la entrada de éstos a la cadena alimentaria, la acumulación en el suelo, la reducción de la productividad agrícola debido a efectos fitotóxicos y la contaminación del recurso hídrico (1 y 2).

La obtención de valores de referencia de elementos traza está bien establecida en varios países, que desarrollan sus respectivas políticas ambientales para la protección del suelo, por medio de sus agencias de protección ambiental (3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9). Holanda fue pionera en crear su lista de valores de referencia y estableció una metodología ya consolidada de evaluación de riesgo, fundamentada en criterios científicos, denominada C-soil (10). En esta metodología se obtienen los valores naturales, los de prevención o alerta y los valores de investigación para tres escenarios (agrícola, residencial e industrial).

El objetivo de este trabajo es obtener los valores de referencia de calidad de metales pesados en los principales suelos del país basado en la determinación de los contenidos naturales de Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, As, Hg, Ba, Sb, Co y Mo en suelos con mínima interferencia antrópica; así como los valores de alerta y de investigación para el escenario agrícola.

Materiales y método.

Se realizó un muestreo en 33 perfiles a lo largo del país a una profundidad de 0-20. Los perfiles fueron seleccionados a partir del Mapa Nacional a escala 1 en 25 000 en áreas con la menor acción antrópica (Figura 1).

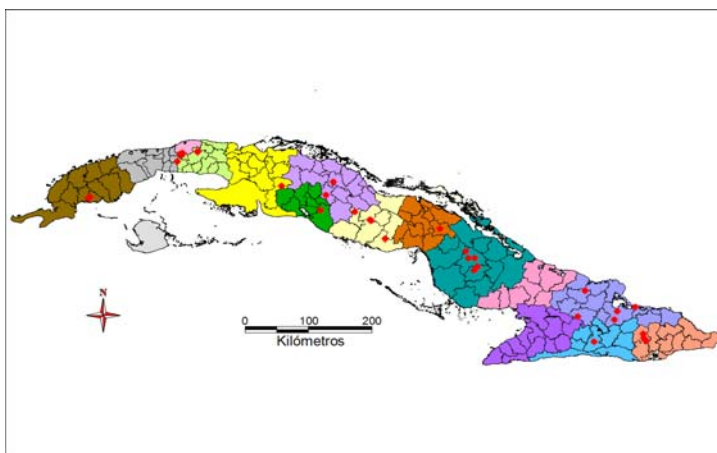


Figura 1. Localización de los puntos de muestreo.

La tabla 1 muestra la caracterización de los suelos muestreados en los 33 perfiles.

Tabla 1. Número de perfil, provincia, coordenadas, tipo de suelo, roca formadora y clase textural de las muestras de suelos seleccionadas.

Perfil	Provincia	Coordenadas	Suelo(*)	Roca formadora	Clase textural
1	Pinar del Río 1	N. 271,500 E. 215,100	Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado típico	Esquistos Micacios	Loam arenoso
2	Pinar del Río 2	N. 269,900 E. 212,700	Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado	Esquistos Micacios	Loam arenoso
3	La Habana 1	N. 347,300 E. 358,600	Ferralítico Rojo Típico	Caliza dura	Arcilloso
4	La Habana 2	N. 346,800 E. 358,300	Ferralítico Rojo Típico	Caliza dura	Arcilloso
5	La Habana 3	N. 348,100 E. 355,800	Ferralítico Rojo Hidratado	Caliza dura	Arcilloso
6	Mayabeque 1	N. 353,200 E. 383,100	Ferralítico Rojo Lixiviado Típico	Caliza Dura	Arcilloso
7	Mayabeque 2	N. 353,400 E. 382,800	Ferralítico Rojo Lixiviado Húmico	Caliza Dura	Arcilloso
8	Mayabeque 3	N. 352,300 E. 383,400	Ferralítico Rojo Lixiviado Típico	Caliza Dura	Arcilloso
9	Artemisa	N. 335,400 E. 351,200	Ferralítico Rojo Típico	Caliza dura	Arcilloso
10	Matanzas 1	N. 298,400 E. 517,300	Ferralítico Rojo Típico	Caliza	Arcilloso
11	Matanzas 2	N. 298,300 E. 517,300	Ferralítico Rojo Compactado	Caliza	Arcilloso
12	Villa Clara 1	N. 284,325 E. 587,550	Húmico Calcimórfico	Caliza suave	Arcilloso
13	Villa Clara 2	N. 306.800 E. 598.340	Fersialítico Pardo Rojizo	Caliza	Arcilloso
14	Sancti Spíritus 1	N. 213.100 E. 682.650	Oscuro Plástico No Gleysado	Material transportado carbonatado	Arcilloso
15	Sancti Spíritus 2	N. 242,850 E. 659,900	Pardo sin carbonato típico	Roca ígnea intermedia	Loam arcilloso
16	Sancti Spíritus 3	N. 244,575 E. 657,975	Pardo con carbonato típico	Arenisca calcárea	Arcilloso
17	Sancti Spíritus 4	N. 257,400 E. 633,500	Pardo sin carbonato típico	Roca ígnea intermedia	Loam arcilloso
18	Cienfuegos	N. 259,000 E. 579,000	Pardo Grisáceo	Granodiorita	Loam arcilloso- arenoso

19	Ciego de Ávila	N. 233,000 E. 769,000	Ferralítico Rojo Típico	Caliza	Arcilloso
20	Camagüey 1	N. 185,200 E. 815,500	Oscuro Plástico Gleysoso	Material transportado carbonatada	Arcilloso
21	Camagüey 2	N. 196,600 E. 810,400	Fersialítico Rojo Pardusco Ferromagnésial	Roca ultrabásica	Arcilloso
22	Camagüey 3	N. 291,600 E. 392,500	Pardo sin carbonato plastogénico	Roca ígnea intermedia	Arcilloso
23	Camagüey 4	N. 297,600 E. 397,500	Pardo con carbonato plastogénico	Caliza suave	Arcilloso
24	Camagüey 5	N. 185,430 E. 825,200	Suelo Ferrítico purpura típico sobre serpentina	Roca Ultrabásica	Arcilloso
25	Holguín 1	N. 257,000 E. 567,500	Fersialítico Rojo pardusco ferromagnésial	Roca Ultrabásica	Arcilloso
26	Holguín 2	N. 213,800 E. 556,200	Vertisuelo	Material transportado carbonatado	Arcilloso
27	Holguín 3	N. 222,100 E. 618,500	Pardo sin carbonato Típico	Roca ígnea intermedia	Arcilloso
28	Holguín 4	N. 229,200 E. 646,200	Pardo con carbonato Típico	Caliza suave	Arcilloso
29	Holguín 5	N. 207,800 E. 613,500	Fersialítico Rojo pardusco ferromagnésial	Roca Ultrabásica	Arcilloso
30	Santiago de Cuba	N. 170,400 E. 581,300	Pardo sin carbonato Típico	Roca ígnea intermedia	Arcilloso
31	Guantánamo 1	N. 658,600 E. 183,300	Fersialítico Pardo Rojizo Típico	Caliza suave sobre arenisca	Arcilloso
32	Guantánamo 2	N. 176,375 E. 659,975	Pardo con carbonato típico	Caliza suave	Loam arcilloso
33	Guantánamo 3	N. 172,497 E. 663,529	Pardo sin carbonato típico	Arenisca sílicea	Loam arcilloso- arenoso

(*) Los suelos se clasificaron según la Nueva Versión de la Clasificación de los Suelos de Cuba (11)

Se realizó la determinación de los elementos Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sb, Cd, Ba, Mo, Hg y Pb a un total de 75 muestras representativas de 33 Perfiles de suelo. Para el análisis se empleó la Norma USEPA 3051A (12), donde la extracción de los MP se realiza con una mezcla de (HNO₃/HCl) y un horno microondas para la digestión de las muestras. Las mediciones se realizaron por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Acoplado (ICP-AES) y por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruro para As y Hg.

Resultados y discusión.

Valores naturales de los metales pesados en los principales suelos cubanos.

Se determinaron los valores naturales de los suelos según la metodología descrita en (10), la cual propone tres niveles de valores de referencia de calidad de suelo en lo que respecta a su contenido de metales pesados (Valores Naturales, que indica el nivel de calidad del suelo considerado limpio. Valores de Alerta o Prevención, que corresponde a una posible alteración de la calidad natural y que cuando es excedido requiere el seguimiento y la identificación de las fuentes de contaminación y su control. Valores de Investigación, que indica el límite de contaminación por encima del cual existe riesgo potencial de deterioro de la salud humana y que requiere una acción inmediata en el área, lo que incluye una investigación detallada).

Inicialmente, fueron eliminados los valores atípicos utilizando el Statgraphics Plus 5.1, (2001). Posteriormente, se colocaron en orden decreciente los valores obtenidos para cada elemento, se consideró el 25% de ellos como anómalos y el mayor valor restante, es el valor natural de cada metal en el suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Valores naturales para metales pesados en suelo

Metales pesados	n (1)	n (2)	VN	Media VN
			Cuba	países
			(mg kg ⁻¹)	
As	33	0	18,93	6,50
Ba	29	4	111,40	274,00
Cd	30	3	0,64	0,40
Co	30	3	25,18	6,50
Cr	26	7	153,08	113,00
Cu	28	5	82,66	44,00
Hg	31	2	0,07	0,05
Ni	29	4	169,84	0,90
Pb	32	1	50,03	29,00
Sb	30	3	6,04	19,00
Mo	32	2	0,60	0,90
Zn	29	4	86,09	68,00

n(1): Total de muestras utilizadas; n(2): Muestras retiradas por el boxplot como atípicos; VM: Valor natural

La Tabla 2 muestra que los valores naturales obtenidos son superiores a los reportados para otros países del mundo. Estos resultados se asocian, principalmente, al material de origen, los procesos pedogenéticos y 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 (11, 13, 14 y 15). Particular importancia revisten los elevados valores naturales obtenidos para algunos elementos como el Ni y Cr causado tanto por 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 (13 y 14).

Valores de alerta e investigación de los metales pesados en los principales suelos cubanos.

Los valores de alerta e 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; 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 (3, 7 y 10). Se estableció la metodología y se actualizaron los parámetros para las condiciones de Cuba del software Csoil versión 1.0, con el propósito de obtener los valores de prevención o de alerta y de investigación de Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Hg, As, Sb, Mo, Ba y Co en el escenario agrícola.

En la Tabla 3 se muestran los valores de referencia de calidad para los metales pesados en los suelos cubanos. Es importante destacar que, como los valores naturales de los metales pesados en los suelos son elevados, el valor de prevención o alerta para algunos metales coincide o está muy cerca del valor natural, resultado que muestra que para estos metales es necesarios estar alerta e indica la necesidad de investigaciones más detalladas sobre el origen de esos valores y su biodisponibilidad; así como los riesgos para la salud humana.

Tabla 3. Valores naturales, de prevención e investigación de los metales pesados en suelo.

Elemento	Naturales	Alerta Prevención	Intervención Investigación
	mg.kg-1		
As	19	19	35
Ba	111	150	300
Cd	0,6	2	3
Co	25	25	35
Cr	150	300	400
Cu	83	150	200
Hg	0,1	1	12
Mo	0,6	30	50
Ni	170	300	400
Pb	50	72	180
Sb	6	6	10
Zn	86	300	450

Para conocer la movilidad de los metales con contenidos naturales elevados se realizó un fraccionamiento, según la metodología de Shuman (1979). Las fracciones evaluadas fueron: la soluble, la disponible, la asociada a la materia orgánica y la asociada al óxido de hierro cristalino. La Tabla 4 muestra el porcentaje que representa la porción disponible en relación con el contenido obtenido por el método de la USEPA 3051A. La mayor parte de estos metales se encuentran en el suelo en fracciones no disponibles a la planta. 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.

Tabla 4. Porcentaje del elemento en forma disponible.

Elemento	% Disponible
Cu	28, 05
Ni	13, 11
Cr	12, 16
Sb	8, 26
Co	19, 71
As	10, 37

Conclusiones y Recomendaciones.

Se logró obtener, por primera vez en Cuba, los valores de referencia de calidad basados en los valores naturales, de alerta y de investigación de 12 metales pesados en los suelos.

Los valores naturales de los MP obtenidos son superiores a los reportados para otros países, por lo que es necesario establecer un monitoreo de los contenidos de estos MP en los suelos para evitar la contaminación de alimentos y su entrada a la cadena alimentaria.

Mantener un seguimiento sistemático de los contenidos de metales pesados en suelo utilizados en la producción de alimentos.

Promover la elaboración de una legislación con los valores de referencia de calidad de metales pesados en suelos, para garantizar suelos no contaminados en la producción alimentaria.

Bibliografía

1. Kabata-Pendias, A. y Adriano, D. C. Trace Metals balance in Soil-a current problem in Agriculture. In: Biogeochemistry of trace Metals. Ed by D. C. Adriano, Zueng-Song Chen and I. K. Iskandar. Science Reviews, Northwood, p. 173-191. 1997.
2. Alloway, B. J. Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production. The University of Reading, UK. 350 p. 2008.
3. Bini, C.; Sartori, G.; Wahsha, M. & Fontana, S. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. J. Geochem. Explor. 109: 125–133, 2011. 2011.
4. Biondi, C. M. 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. 2010.
5. Biondi, C.M.; Nascimento, C.W.A.; Fabricio Neta, A.B. & Ribeiro, M.R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em Solos de Referência de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 35: 1057-1066. 2011.
6. Caires, S. M. 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. 2009.
7. Chen, M., Ma, L. Q., & Harris, W. G. Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. Journal of Environmental Quality. 28: 1173– 1181. 1991.
8. Costa, W.P.; Nascimento, C.W.A.; Biondi, C.M.; Souza Junior, V.S. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. R. Bras. Ci. Solo, Aceito. 2014.
9. Fabricio Neta, A.B. Teores naturais de metais pesados em solos da ilha de Fernando de Noronha, 37p (Dissertação de Mestrado) UFRPE, Recife. 2012.
10. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009.

11. Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D.; Rivero, L; y otros. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. C. Habana. 64 p. 1999.
12. United States Environmental Protection Agency - USEPA. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Disponible em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acceso em: 27 de janeiro de 2013.
13. Ruiz, J.; Pérez Jiménez, J.M. 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. 1984.
14. Camacho, E.; Paulín, J.R. Génesis de un suelo ferralítico Rojo con predominio de boehmita sobre caliza en la provincia Habana, Cuba. Ciencias de la Agricultura. 15: 49-57. 1983.
15. Cárdenas, A.; Baisre, J.; Ortega, F. El suelo Ferrítico Púrpura de Cuba. Ciencias de la Agricultura. 29: 70-83. 1986.