

Contenido de Arsénico en perfiles de suelos Ferralítico Rojo Típico de Cuba

Arsenic content in Cubans Typical Red Ferralitic soils profiles

 Olegario Muñiz-Ugarte^{I*},  Mirelys Rodríguez-Alfaro^I,  Alfredo Montero-Álvarez^{II} and  Clístenes W. Araújo do Nascimento^{III}

^IInstituto de Suelos, Boyeros, La Habana, Cuba.

^{II}Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), CITMA, La Habana, Cuba.

^{III}Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Brasil.

*Autor para correspondencia: Olegario Muñiz-Ugarte, e-mail: olemuni7@gmail.com

RESUMEN: El arsénico (As) es un elemento que en determinada concentración es tóxico. El As inorgánico está presente en el suelo, el agua, el aire y los alimentos. En Cuba, los suelos Ferralítico Rojo, si bien no son los más abundantes, son de los más utilizados en la agricultura, por lo que en el trabajo se estudió el contenido de As en 10 perfiles de suelo Ferralítico Rojo típico seleccionados en todo el país, a partir del Mapa Nacional de Suelos de Cuba a escala 1: 25 000, a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm, en áreas con un mínimo efecto antrópico, así como su disponibilidad a las plantas. Se extrajeron los contenidos pseudototales de As mediante el método USEPA 3051A y su extracción secuencial mediante el método Shuman. La determinación se realizó mediante la espectrofotometría de absorción atómica con sistema de hidruros. La evaluación estadística de los resultados indica que, aunque los contenidos son elevados, la mayor parte se encuentra en forma no asimilable por las plantas, por lo que no existe riesgo para su uso agrícola. Se discute su origen parental y se alerta sobre la necesidad de profundizar en los estudios.

Palabras clave: Contaminación del suelo, metales pesados, elementos traza, origen litogénico.

ABSTRACT: Arsenic (As) is an element that is toxic at a certain concentration. Inorganic As is present in soil, water, air and food. In Cuba, Red Ferralitic soils, although they are not the most abundant, are among the most used in agriculture, so present work studied the As content in 10 Typical Red Ferralitic soil profiles selected throughout the country, from the National Soil Map of Cuba at a scale 1: 25,000, and depths 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm, in areas with minimal anthropic effect, as well as its availability to plants. Pseudototal As contents were extracted using the USEPA 3051A method and its sequential extraction using the Shuman method. The determination was carried out by atomic absorption spectrophotometry with a hydride system. The statistical evaluation of the results indicates that although the contents were high, most of it is in a form that cannot be assimilated by plants, so there is no risk for its agricultural use. Its parental origin is discussed and the need for further studies is warned.

Keywords: Soil contamination, heavy metals, trace elements, lithogenic origin.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental tiene un impacto considerable en los recursos naturales y en los seres vivos. En la actualidad, los efectos que producen los llamados Metales Pesados (MP) en los suelos y su influencia en el desarrollo de las plantas y animales, merecen la ocupación del hombre porque ponen en peligro la supervivencia en el planeta (FAO & UNEP, 2021; Muñiz, 2008; Rodríguez et al., 2018; Zhongchen, 2019).

El arsénico (As) es un elemento ampliamente distribuido en el ambiente y que, en determinada concentración se

considera un metal tóxico, a pesar de que, como elemento químico, no lo es. Suele ser detectable en casi todos sus compartimentos y generalmente aparece en la litosfera en concentraciones entre 1.5 y 2.0 mg kg⁻¹ (Adriano, 2001). Además, forma parte de más de 245 minerales en forma de arseniatos (60%), sulfuros y sulfosales (20%) y otras formas como arseniuros, arsenitos, óxidos, hidróxidos y silicatos (20%) (Kabata & Mukherjee, 2007). El arsénico inorgánico está presente en el suelo, el agua, el aire y los alimentos, de forma que el ser humano se encuentra continuamente expuesto a este contaminante (Moreno et al., 2012).

Recibido: 06/09/2024

Aceptado: 20/02/2025

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES: **Conceptualización:** O. Muñiz, M. Rodríguez, A. Montero y C. do Nascimento. **Curatoria de datos:** O. Muñiz, M. Rodríguez and A. Montero. **Análisis formal:** O. Muñiz, M. Rodríguez y A. Montero. **Investigación:** O. Muñiz, M. Rodríguez, A. Montero y C. do Nascimento. **Metodología:** O. Muñiz, M. Rodríguez, A. Montero y C. do Nascimento. **Software:** O. Muñiz, M. Rodríguez, A. Montero y C. do Nascimento. **Supervisión:** O. Muñiz, M. Rodríguez y A. Montero. **Validación:** O. Muñiz, M. Rodríguez y A. Montero. **Escritura del borrador original:** O. Muñiz y M. Rodríguez. **Escritura de la revisión-edición:** O. Muñiz, M. Rodríguez, A. Montero y C. do Nascimento.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En Cuba, los suelos Ferralíticos Rojo, si bien no son los más abundantes, son de los más utilizados en la producción de alimentos en Cuba (Hernández et al., 2015). Dada la importancia de este tipo de suelo para la agricultura en el país, en el presente trabajo se estudió el contenido de As en perfiles de suelo Ferralítico rojo típico y su disponibilidad a las plantas, dada su potencial toxicidad para el hombre.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó por el Instituto de Suelos del MINAG, en colaboración con el Laboratorio de Análisis Químico del CEADEN del CITMA y la Universidad Federal Rural de Pernambuco (UFRPe), Brasil.

Se realizó un muestreo en el área de los contornos de 10 perfiles de suelos Ferralítico Rojo típico (tres en la provincia Habana, tres en Mayabeque, uno en Artemisa, dos en Matanzas y uno en Ciego de Ávila), seleccionados a partir del Mapa Nacional de Suelos de Cuba a escala 1: 25 000 según Instituto de Suelos (IS) 1990), a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm, en áreas con un mínimo efecto antrópico. Como es conocido, este suelo de textura arcillosa, se desarrolló sobre roca caliza dura. La Tabla 1 muestra las coordenadas para su ubicación, mientras que en la Tabla 2, aparecen las características de algunas propiedades químicas y la textura de las muestras tomadas. En todos los casos los parámetros se encuentran dentro de los rangos característicos y reportados para este tipo de suelo (Instituto de Suelos (IS), 1973).

La determinación de los contenidos seudototales de As en las muestras de suelo, se realizó mediante el procedimiento USEPA 3051A (Usepa, 1998); así como la extracción secuencial de As en las muestras por el método modificado de Shuman (1988). Para la determinación de los contenidos de As se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAAnalyst 800/Perkin Elmer) con sistema de generación de hidruros. El Control de Calidad Analítica se determinó utilizando el patrón certificado de referencia de suelos SRM 2709 para el As (NIST, 2002).

Para establecer la asociación del contenido de As con las propiedades químicas y la textura de las muestras de suelos, se empleó el cálculo del coeficiente de correlación Rho de Spearman, recomendado para determinar correlaciones entre dos variables continuas aleatorias, en datos que no presentan distribuciones normales y en muestras no relacionadas, utilizando el programa estadístico IBM-SPSS 20. Se fijó un valor mínimo de significación de un 95% de probabilidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia de la Metodología Analítica

El análisis de las muestras de suelo por el método analítico USEPA 3051a (Usepa, 1998) utilizando los niveles certificados del material de referencia NIST (2002), mostró porcentajes de recobrado de As que oscilaron entre +/- 25%, los que se consideran satisfactorios, lo cual demuestra la confiabilidad del método usado en la digestión y determinación del contenido de As en las muestras de suelos.

TABLA 1. Coordenadas de las muestras de suelo

Muestra	Provincia	Coordenadas	Muestra	Provincia	Coordenadas
1	La Habana 1	N 347,300 E 358,600	6	Mayabeque 3	N 352,300 E 383,400
2	La Habana 2	N 346,800 E 358,300	7	Artemisa	N 335,400 E 351,200
3	La Habana 3	N 348,100 E 355,800	8	Matanzas 1	N 296,700 E 517,400
4	Mayabeque 1	N 353,200 E 383,100	9	Matanzas 2	N 298,300 E 517,300
5	Mayabeque 2	N 353,400 E 382,800	10	Ciego de Ávila	N 233,000 E 769,000

TABLA 2. Caracterización química y composición mecánica de las muestras tomadas en los contornos de los perfiles de suelos usados como referencia para el muestreo

	Prof.	pH* (H ₂ O)	pH* (KCl)	MO*	Fe**	Arena*	Limo*	Arcilla*
Suelo	cm		-			%		
Ferralítico Rojo típico	0-20	6,55 ± 0,01	5,45 ± 0,00	4,09 ± 0,19	18,25 ± 0,39	24,19 ± 0,79	10,81 ± 0,67	65,65 ± 0,60
	20-40	7,00 ± 0,01	5,80 ± 0,01	3,88 ± 0,15	19,82 ± 1,05	23,30 ± 0,95	10,60 ± 0,92	66,10 ± 0,81
Métodos analíticos	-	NC 32:2009 (NC 32, 2009)		NC 51:2017 (NC 51, 2017)		USEPA 3051A (Usepa, 1998)	NC 1092:2015	(NC 1092, 2015)

MO: materia orgánica. (*): datos tomados de las bases de datos del Mapa Nacional de los Suelos de Cuba a escala 1: 25 000. (**): determinado por el método USEPA 3051a (Usepa, 1998).

Contenido de arsénico en las muestras de suelo

En la [Tabla 3](#) se observa el contenido de As en las muestras de suelo Ferralítico Rojo Típico. Se encontró que el contenido de As se mantiene relativamente constante a las diferentes profundidades, lo cual demuestra que su elevado valor puede asociarse con el proceso de origen y formación de los mismos y no a la posible contaminación provocada por el hombre, ([Rodríguez, 2019](#)). De acuerdo al análisis del coeficiente de correlación y su grado de significación entre cada MP y las propiedades químicas y físicas (textura) analizadas (Rho de Sperman; P valor) el contenido de As tuvo una alta correlación con el porcentaje de arcilla (0.994; 0.000) y con el contenido de hierro (0.927; 0.000), lo cual concuerda con estudios realizados por [Manning & Goldberg \(1997\)](#), quienes plantearon que los suelos con altos contenidos de hierro y de arcilla a la vez, pueden presentar altos contenidos de As, ya que este metal se asocia con los óxidos e hidróxidos de hierro y puede ocupar posiciones de cambio en la fracción de arcilla.

TABLA 3. Contenidos de As en las muestras de suelo

Suelos Profundidad	As (media±desv.stand)
cm	mg kg ⁻¹
Ferralítico Rojo típico n=10	
0-20	22,60 ± 4,39
20-40	22,35 ± 5,10
40-60	23,35 ± 4,25
60-80	23,62 ± 3,25
80-100	23,75 ± 4,02
VN*	8
VN**	19

VN*: Valor Natural reportado por [Conama \(2009\)](#).

VN**: Valor Natural reportado por [Rodríguez et al. \(2015\)](#).

Por su parte, el contenido de As en las muestras de suelo resultó superior al valor natural reportado, tanto por [Conama \(2009\)](#) como por [Rodríguez et al. \(2015\)](#) para los suelos de Cuba. Lo cual puede estar relacionado con la asociación del As con los óxidos, hidróxidos y minerales de hierro ([Romero et al., 2014](#)). De acuerdo con estudios realizados por [Manning & Goldberg \(1997\)](#), los suelos con un mayor porcentaje de arcilla y de óxidos de Fe a la vez, son los que presentan mayor contenido de As. En Andalucía, España se describieron valores de hasta 33 mg kg⁻¹ de As, en dependencia del tipo de suelo y su litología ([Martín et al., 2007](#)).

Fraccionamiento de las muestras de suelo

La [Tabla 4](#) muestra los contenidos de As encontrados en las fracciones de las muestras de suelos. El recobrado total del As en las fracciones estudiadas está en el orden del 70%, el 30% restante podría estar ocluido sobre los carbonatos, los óxidos e hidróxido de aluminio y manganeso o en la fracción residual del suelo ([Moreno et al., 2012](#)). Se puede observar que la mayor parte de este elemento se encuentra en el suelo en fracciones no asimilables a la planta, lo cual se asocia, como se planteó anteriormente, a que los suelos con un contenido alto de Fe tienen una mayor capacidad de retención de arseniato y arsenito en sus redes cristalinas lo que impide la disponibilidad del As a las plantas ([Manning & Goldberg, 1997](#) y [Ouattara et al., 2024](#)). De tal forma que el riesgo de contaminación a la cadena trófica y al hombre, por el consumo de alimentos producidos en estos suelos, es bajo, según [Gomez et al. \(2014\)](#) y [Gräfe & Sparks \(2018\)](#).

En tal sentido, [Moreno et al. \(2012\)](#) señalaron que la hematita tiene una alta capacidad de retención del As por lo que su disponibilidad es baja y es precisamente la hematita uno de los productos de síntesis de la fracción arcillosa de los suelos de agrupamiento Ferralíticos de Cuba ([Hernández et al., 2015](#)).

No obstante, de acuerdo con [Nanthi et al. \(2013\)](#) el contenido de As puede quedar asimilable a las plantas cuando se varían propiedades del suelo como pH y potencial redox. Las fracciones asimilable y no asimilables de los contaminantes en el suelo suelen estar en equilibrio, pero cualquier cambio en factores como pH, potencial redox, clima, hidrología, biología, materia orgánica, entre otras y la alteración de los minerales en cuanto a disolución-precipitación; oxidación-reducción; acomplejado-disociación y adsorción-desorción, puede alterar las reservas de elementos asimilables ([Mench et al., 2009](#)). De acuerdo con lo anterior, es necesario evaluar sistemáticamente los contenidos seudototales y asimilables del As por su potencial amenaza a los seres vivos, particularmente a la salud del hombre ([Dueñas, 2023](#); [Muñiz, 2018](#); [Nava & Méndez, 2011](#)).

Las mayores concentraciones de As se encontraron en la fracción más estable y menos asimilable, lo que puede deberse a la herencia del material de origen en el proceso de formación de los suelos, a la formación por causas antropogénicas de formas cristalinas estabilizadas o por el envejecimiento de formas más solubles que se precipitan o coprecipitan en formas oxídicas o que pueden penetrar la estructura de los minerales silicatados o arcillosos.

TABLA 4. Extracción secuencial de As en suelos

9.5	Fracciones				USEPA 3051A %
	Asimilable	Orgánica	Fe amorfo	Fe cristalino	
	(X ± s) mg kg ⁻¹ MP en la fracción respecto al obtenido por USEPA 3051A % (Usepa, 1998)				(X ± s) mg kg ⁻¹
9	0,12 ± 0,02 (0,54)	0,17 ± 0,01 (0,77)	5,04 ± 0,10 (22,79)	11,72 ± 0,08 (52,98)	22,60 ± 4,39

(X ± s): media ± desviación estándar

CONCLUSIONES

- Los contenidos de As en los suelos Ferralítico Rojo típicos estudiados son elevados, lo que está asociado al material de origen de los suelos en su proceso de formación.
- La mayor parte del contenido de As en los suelos estudiados se encuentra en forma no disponible a las plantas, por lo que es bajo el riesgo de contaminación a la cadena trófica y al hombre, por el consumo de alimentos producidos en ellos.
- Dado que las fracciones asimilable y no asimilable del As en estos suelos se encuentran en equilibrio, resulta necesario estudiar su dinámica y riesgo de contaminación en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D. C. (2001). *Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals* (Vol. 860). Springer-Verlag.
- Conama. (2009). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente-Conama*, 249, 81-84.
- Dueñas, C. E. (2023). Concentración de metales en sedimentos, su correlación y causalidad en aguas de cuencas hidrográficas; el caso del arsénico. *Centro Azúcar*, 50(3), e1032.
- FAO & UNEP. (2021). *Global assessment of soil pollution: Summar y for policymakers*. FAO & UNEP, Rome, Italy.
- Gomez, G. M. A., Serrano, S., Laborda, F., & Garrido, F. (2014). Spread and partitioning of arsenic in soils from a mine waste site in Madrid province (Spain). *Science of the total environment*, 500, 23-33.
- Gräfe, M., & Sparks, D. L. (2018). *Solid phase speciation of arsenic* (Naidu, R., et al. Managing Arsenic in the Environment. From Soils to Human Health). CSIRO Pub., Collingwood, Australia.
- Hernández, J. A., Pérez, P., Bosch, I. D., & Castro, S. N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba*. (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Instituto de Suelos (IS). (1973). *Génesis y clasificación de los suelos de Cuba* (Instituto de Suelos). Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba.
- Instituto de Suelos (IS). (1990). *Mapa Nacional de Suelos de Cuba, a escala 1: 25 000*. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- Kabata, P., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Springer.
- Manning, B. A., & Goldberg, S. (1997). Arsenic (III) and arsenic (V) adsorption on three California soils. *Soil Science*, 162, 886-895.
- Martín, F., Díez, M., García, I., Simón, M., Dorronsoro, C., Iriarte, Á., & Aguilar, J. (2007). Weathering of primary minerals and mobility of major elements in soils affected by an accidental spill of pyrite tailing. *Science of the total environment*, 378(1-2), 49-52.
- Mench, M., Schwitzguébel, J.-P., Schroeder, P., Bert, V., Gawronski, S., & Gupta, S. (2009). Assessment of successful experiments and limitations of phytotechnologies: Contaminant uptake, detoxification and sequestration, and consequences for food safety. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 876-900.
- Moreno, E., Esteban, E., & Peñalosa, J. (2012). *The fate of arsenic in soil-plant systems. Reviews of environmental*. (Reviews of environmental).
- Muñiz, U. O. (2008). *Los Microelementos en la Agricultura*. Agrinfor, La Habana, Cuba.
- Muñiz, U. O. (2018). *Regional Status of Soil Pollution: Central America, Mexico and The Caribbean*. Global Symposium on soil Pollution | FAO Hq | Rome, Italy, 2-4 May 2018, Rome, Italy.
- Nanthi, B., Mahimairaja, S., Kunhikrishnan, A., & Choppala, G. (2013). Phosphorus-arsenic interactions in variable-charge soils in relation to arsenic mobility and bioavailability. *Science of the Total Environment*, 463, 1154-1162.
- Nava, C., & Méndez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién*, 16(3), 140-147.
- NC 32. (2009). *Calidad de Suelos. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación* (p. 11) [Norma cubana, Edición 2]. Oficina Nacional de Normalización (ONN), La Habana, Cuba.
- NC 51. (2017). *Calidad de Suelos. Análisis químico - Determinación del porcentaje de materia orgánica* (p. 9) [Norma cubana, Edición 3]. Oficina Nacional de Normalización (ONN), La Habana, Cuba.
- NC 1092. (2015). *Calidad de Suelo. Determinación de la microestructura* (p. 11) [Norma cubana]. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- NIST. (2002). *National Institute of Standards and Technology. Standard Reference Materials-SRM 2709, 2710 and 2711*. National Institute of Standards and Technology, Addendum Issue Date: 18 January. 2002.
- Ouattara, A. A., Kouadio, A. B., Koné, H., & Trokourey, A. (2024). Distribution, Mobility, and Health Risks Assessment of Trace Metals in River Sediments from Intense Agricultural Activity Areas in West Africa. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 12(8), 12-42.
- Rodríguez, A. M. (2019). *Valores permisibles preliminares de metales pesados en suelos y abonos orgánicos* [Tesis en opción al Grado Científico de Doctora en Ciencia Agrícola]. Universidad Agraria de La Habana (UNAH).
- Rodríguez, A. M., Montero, A., Muñiz, U. O., do Nascimento, A. C. W., de Aguiar, M. A. A., Caroline

- B M, & da Silva, B. Y. J. A. (2015). Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-10, ISSN: 0167-6369.
- Rodríguez, E. N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: A hidden reality*. FAO, Rome, Italy.
- Romero, F. A., Sierra, A. M., Ortiz-Bernad, B. I., & Martín, P. F. J. (2014). Toxicity of arsenic in relation to soil properties: Implications to regulatory purposes. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 968-979.
- Shuman, L. (1988). Fractionation method for soil micronutrients. *Soil Sci*, 140, 11-16.
- Usepa. (1998). *Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils* (Method 3051A). United States Environmental Protection Agency.
- Zhongchen, H. (2019). Contamination with Heavy Metals and Its Impact on Food Security in China. *Earth & Environmental Sciences*, 7(5), 150-189, DOI: 10.4236/gep.2019.75015. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.75015>

Olegario Muñiz-Ugarte, Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Suelos, Boyeros, La Habana, Cuba.

Mirelys Rodríguez-Alfaro, Dr.C., Inv. Auxiliar, Instituto de Suelos, Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: mirelysra79@gmail.com.

Alfredo Montero-Álvarez, Dr.C., Inv. Auxiliar, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), La Habana, Cuba. e-mail: alfrealvarez1271@gmail.com.

Clístenes W. Araújo do Nascimento, Dr., Investigador. Universidad Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil, e-mail: clistenes.nascimento@ufrpe.br.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.