

Niveles de referencia de metales pesados en suelos del confinitorio de desechos peligrosos Juraguá, Cuba

Reference levels of heavy metals in soils at the depository of hazardous waste
Juraguá, Cuba

Dra C. Rita Yvelice Sibello-Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0003-1308-2917>

MSc. Aniel Guillén-Arruebarren¹ <https://orcid.org/0000-0002-2503-1968>

MSc. Regla María Alomá-Orama¹ <https://orcid.org/0000-0002-4827-9683>

Ing. Laura Castellanos-Torres¹ <https://orcid.org/0000-0001-6184-4010>

Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba

*Autor para correspondencia: correo electronico: rita@ceac.cu

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar químicamente los suelos del área de emplazamiento del Confinitorio Nacional de Desechos Peligrosos Juraguá y establecer los niveles de referencia de los metales pesados (MP): cobre (Cu), cinc (Zn); cromo (Cr); níquel (Ni); plomo (Pb); cadmio (Cd) y manganeso (Mn), como parte de la Línea Base Ambiental. Las técnicas analíticas utilizadas fueron la Aspiración Directa por Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS) en llama aire-acetileno y para el mercurio (Hg) la formación de amalgama utilizando un analizador directo (DMA – 80). Los intervalos de confianza para la media de los valores de las concentraciones de los MP quedaron establecidos con una probabilidad del 95% mediante métodos estadísticos y están dentro del rango reportado como valores naturales y deben ser considerados como de referencia para el área investigada. Estos valores de referencia inéditos hasta ahora, son importantes para la evaluación del impacto ambiental de la instalación.

Palabras clave: suelos; caracterización química; metales pesados; desechos peligrosos.

ABSTRACT

The objective of this paper was characterize of the chemical point of view, the soils at the emplacement of hazardous waste depository, at Juraguá, Cuba, as part of the Environmental Baseline. It was possible to establish the reference levels of the following heavy metals (MP): copper (Cu), zinc (Zn); chromium (Cr); nickel (Ni); lead (Pb); cadmium (Cd) and manganese (Mn), by the method of Direct Aspiration by Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) in air - acetylene flame, according to procedures. Mercury (Hg) was determined using a direct mercury analyzer (DMA - 80), according to the standard procedure. The confidence intervals for the mean with a probability of 95%, were established and are of great importance for the evaluation of the environmental impact of the installation in the soil. These results are within the range reported as natural values and should be considered as references values for the study area.

Keywords: soils; chemical characterization; heavy metals; hazardous wastes.

Recibido: 3/10/2020

Aprobado: 10/12/2020

Introducción

El desarrollo de la sociedad marcha unido al aumento de la actividad industrial y en consecuencia, a la generación de una enorme cantidad de desechos que contaminan al suelo, al agua y al aire por diferentes vías, convirtiéndose la contaminación en uno de los principales problemas ambientales a nivel global.⁽¹⁾

Especial atención cobran los denominados desechos peligrosos, por sus características físicas, químicas o biológicas que representan un peligro para la salud y el medio ambiente. Por lo tanto, el adecuado manejo y disposición final de los mismos es un tema prioritario a nivel internacional. Al respecto, el mayor problema que enfrenta Cuba es precisamente, la inexistencia de un lugar para la disposición final o confinamiento de estos desechos. En tal sentido, las instalaciones de la no concluida Central Electronuclear de Juraguá (CEN), en la

provincia de Cienfuegos, han sido destinadas a constituir el Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos Juraguá, los cuales se generan en nuestro país en cantidades que superan las 100 000 toneladas anualmente.⁽²⁾

El establecimiento de este confinatorio conlleva a la necesidad de hacer una vasta caracterización de los principales componentes del ecosistema, la cual constituirá la línea base y permitirá evaluar el impacto del funcionamiento de esta instalación sobre el medio.

Para confirmar si un determinado suelo está contaminado y cuál es el nivel de contaminación, es usual comparar los tenores totales de los elementos o de las sustancias investigadas con valores orientadores, que pueden ser los de un suelo no contaminado o valores de referencia de calidad (patrones), que son establecidos por diversas legislaciones mundiales.⁽³⁾

Las propiedades intrínsecas de los suelos determinan su calidad, así como su capacidad productiva y de amortiguador ambiental, existiendo la urgencia de controlar la contaminación como una vía para preservar la fertilidad e incrementar su productividad. La polución puede ser definida como un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas, que inciden negativamente en la salud de este ecosistema.⁽⁴⁾

Referente a los desechos peligrosos un creciente interés ha estado dirigido hacia los residuos industriales contaminados con metales pesados (MP), dado por su gran toxicidad y persistencia en el ambiente. Los MP están presentes en los suelos de modo natural, estando relacionadas sus concentraciones con el material pétreo que interviene en el proceso de génesis de los suelos. En la mayoría de las veces estas concentraciones no ofrecen riesgo para la salud humana. Sin embargo, estos tenores iniciales pueden ser incrementados por actividades antrópicas que posibilitan la entrada adicional de estas sustancias al suelo. Tradicionalmente, este enriquecimiento se relaciona con la actividad industrial y minera. No obstante, algunos insumos agrícolas usados con finalidad correctiva o nutricional para las plantas, también pueden ser fuentes de contaminación.⁽⁵⁾

Hasta el presente en Cuba, no se han definido los valores de referencia que acrediten el nivel de contaminación de los suelos, considerando que las concentraciones naturales de MP varían con los tipos de suelos, no resultando adecuado comparar éstos con los propuestos por legislaciones foráneas. Estos elementos, sufren escasa degradación y por tanto son considerados toxinas bioacumulativas persistentes, representando un marcado riesgo para la salud.⁽⁶⁾

Teniendo en cuenta estos aspectos, el objetivo de este trabajo fue caracterizar químicamente los suelos del área de emplazamiento del Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos Juraguá y básicamente, determinar las concentraciones de MP existentes, considerándolas como niveles de base o de referencia, para la evaluación del impacto de la instalación.

Materiales y métodos

Área de estudio y colecta de muestras

La toma de muestras tuvo lugar entre mayo del 2016 y agosto del 2017. En la figura 1 se identifican los puntos de muestreo de los suelos superficiales en el área de emplazamiento del Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos Juraguá, para la caracterización química de los mismos. Esta área está ubicada en la región centro-sur de Cuba, en la provincia de Cienfuegos y se localiza entre las coordenadas geográficas 22,059 685 y 22,068 076 de Latitud Norte y entre -80,518 236 y -80,506 588 de Longitud Oeste (proyección WGS84). En el área investigada los tipos de suelos que predominan son los ferralíticos, seguidos por los húmicos y una menor área donde predominan los fersialíticos.⁽⁷⁾

Los puntos de muestreo fueron ubicados en forma de malla, equidistantes a 100 metros aproximadamente, tal como se aprecia en la figura 1. En los lugares donde el acceso fue más difícil, las muestras de suelos se tomaron siguiendo transeptos simples.

Todas las muestras de suelo se colectaron con una cuchara de muestreo, a una profundidad de hasta 10 cm aproximadamente, limpiándolas de hierbas, raíces y piedras. En cada caso se tomaron entre 300 y 500 g de suelo. Las muestras se envasaron en bolsas de nylon, se etiquetaron adecuadamente y fueron trasladadas al Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC).



Fig. 1- Ubicación de los puntos de monitoreo de los suelos superficiales, correspondiente al área de emplazamiento del Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos, Juraguá

Preparación química de las muestras

La preparación de las muestras se realizó según.⁽⁸⁾ Las muestras de suelo se secaron en una estufa Binder de fabricación alemana, a 45°C hasta lograr un peso constante, con una variación menor del 5 % del peso. Luego se molieron ligeramente con un molino de ágata, marca Retaché, modelo PM 400 y se tamizaron por una malla de 0,25 mm, en una zaranda Retsch, AS-200, ambos equipos de procedencia alemana.

La digestión de las muestras de suelo se realizó en horno de microondas Milestone Ethos 1, de procedencia italiana, según el método 3051 de la USEPA.⁽⁹⁾ De la fracción fina de suelo seco (<0,25mm) se tomaron alícuotas de 0,5 g, se depositaron en bombas de teflón y se le adicionaron poco a poco 6 ml de ácido nítrico concentrado HNO₃ 65%, agitándolo cada 5 min durante media hora. Posteriormente, se le agregó 2 ml de peróxido de hidrógeno H₂O₂ 30% y se volvió a agitar cada 5 min durante media hora, evitando que se derramara por la formación de espuma. Finalmente, se tapó la bomba de teflón y se introdujo dentro del envase de seguridad del horno de microondas para realizar la digestión de la muestra.

Una vez digerida se trasvasó completamente a un beaker de teflón, y se redujo a volumen mínimo en una plancha de calentamiento, se dejó refrescar y se le añadió 5 ml de ácido fluorhídrico HF 48 %. Se pasó nuevamente a la plancha de calentamiento, repitiendo el ataque con 5 ml de HF 48 % hasta la total disolución. A las sales húmedas obtenidas se le añadió

1,5 ml de ácido perclórico HClO_4 60 % y se volvió a calentar en la plancha de calentamiento, observando humos blancos. Se retiró de la plancha, se dejó enfriar y se le adicionó 4 ml de HNO_3 65 % y 10 ml de agua destilada, se calentó ligeramente hasta la total disolución. Las muestras así tratadas se filtraron y enrasaron con agua destilada para su medición en volumétricos de 25 ml. Todos los reactivos utilizados fueron de calidad puro para análisis (p.a) y provistos por la Merck.

Medición de MP en muestras de suelo

Las disoluciones así preparadas estuvieron listas para la determinación de las concentraciones de MP (Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd y Mn), utilizando el método de Aspiración Directa por Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS) en llama aire-acetileno, en un equipo Avanta, GBC Scientific, de fabricación australiana, acoplado al sistema de llama Aire-Acetileno, según los métodos (USEPA, 220,1; 289,1; 218,1; 249,1; 239,1; 213,1 y 243,1, respectivamente).⁽¹⁰⁻¹⁶⁾ Se utilizó el software GBC AVANTA.⁽¹⁷⁾ Tanto los reactivos utilizados de grado analítico, como la serie de disoluciones estándar para la calibración del equipo fueron suministradas por la Merck. El control de la calidad se realizó mediante el Control de la Curva de Calibración, verificando siempre que el coeficiente de regresión fuera $\geq 0,99$.

El Hg fue determinado utilizando un analizador directo de mercurio (DMA-80), de la Millestone (USEPA Method 7473).⁽¹⁸⁾

Análisis estadístico de los resultados

Para el análisis estadístico se utilizó el software Statgraphic Centurion XVI.I.⁽¹⁹⁾ Este programa permitió determinar parámetros importantes para establecer los niveles de referencia de los MP investigados en los suelos superficiales del área de emplazamiento del Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos Juraguá. Así, fueron establecidos para cada MP, el valor mínimo, el valor máximo, el valor medio, la desviación estándar, los coeficientes de variación (CV) y los intervalos de confianza para la media, con una probabilidad del 95 %. Este intervalo asume que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Para la mayoría de los MP el sesgo y la curtosis estandarizada estuvieron entre -2 y +2, confirmando este supuesto. Por otro lado, el intervalo de confianza

para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones del supuesto de la normalidad, de aquí su validez.

Resultados y discusión

En la tabla 1, se resumen los resultados principales de los niveles de metales pesados en los suelos investigados del área de emplazamiento del Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos obtenidos en esta investigación.

Como niveles de referencia de los MP en los suelos del área del emplazamiento del Confinatorio, deben ser considerados los intervalos de confianza determinados para el valor medio con una probabilidad del 95 % (tabla 1). Estos intervalos significan que cada cien muestras de suelo superficial tomadas al azar en el área estudiada, noventa y cinco de ellas tendrán el valor de la concentración del MP investigado, dentro de este intervalo.

Las concentraciones de MP estuvieron en el siguiente orden creciente [Hg] < [Cu] < [Pb] < [Ni] < [Cr] < [Zn] < [Mn]. Para el Cd, todas las muestras de suelo presentaron valores <2,07 mg/kg, sólo se pudo cuantificar en tres muestras ($1,8 \pm 0,3$; $2 \pm 0,4$ y $3,6 \pm 1,1$) mg/kg.

La tabla 2 presenta la comparación entre los valores obtenidos para los metales pesados en el área del emplazamiento del Confinatorio con los valores reportados por otros autores.

Según los resultados obtenidos en esta investigación (tabla 1), el intervalo de confianza del valor medio de la concentración de mercurio (niveles de referencia), en el área investigada es [31,12; 43,78] µg/kg. Estos valores están en un orden por debajo de los valores reportados por Rodríguez ⁽²⁰⁾ y en el mismo orden de magnitud de los reportados por Kabata – Pendias ⁽²¹⁾ (tabla 2) y están dentro del intervalo de valores reportados como naturales en la litosfera ⁽²²⁾, no se identificó ningún sitio contaminado con mercurio.

El valor medio de la concentración de cobre en los suelos analizados, para un 95 % de probabilidad está en el intervalo [7,61; 12,09] mg/kg. En el punto de muestreo 81 de la zona de emplazamiento fue encontrado un valor de 245 mg/kg. Este valor está muy por encima de los valores de cobre considerados como naturales y sobrepasa los límites máximos establecidos para uso agrícola y residencial; pero no industrial.⁽²³⁾

Tabla 1- Niveles de referencia de metales pesados en los suelos superficiales del área de emplazamiento del Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos Juraguá.

| Parámetro | n | Valor mínimo | Valor máximo | Valor medio | | Desv. Stándar | CV*(%) | Intervalo de confiabilidad 95% probab. para la media |
|-------------------|----|--------------|--------------|-------------|--|---------------|---------|--|
| Mercurio [µg/kg] | 98 | <2,2 | 171,0 | 37,45 | | 31,57 | 84,30 | [31,12; 43,78] |
| Cobre [mg/kg] | 91 | <0,6 | 42,0 | 9,85 | | 10,78 | 109,44 | [7,61; 12,09] |
| Cinc [mg/kg] | 95 | <1,0 | 400,0 | 67,39 | | 87,55 | 129,91 | [49,56; 85,22] |
| Plomo [mg/kg] | 98 | 6,8 | 89,0 | 18,18 | | 13,91 | 76,51 | [15,39; 20,97] |
| Cadmio [mg/kg] | 98 | <1,0 | - | <2,07 | | - | - | - |
| Níquel [mg/kg] | 95 | <2,0 | 84,0 | 21,44 | | 21,48 | 100 | [17,07; 25,82] |
| Manganeso [mg/kg] | 94 | <0,5 | 1 200,0 | 262,12 | | 244,26 | 93,19 | [212,09; 312,16] |
| Cromo [mg/kg] | 93 | <3 | 144,0 | 31,78 | | 36,19 | 113,87 | [24,33; 39,24] |

De la tabla 2 se puede apreciar que los niveles de cobre en los suelos monitoreados están por debajo de los valores publicados por Rodríguez ⁽²⁰⁾ y por Kabata - Pendias ⁽²¹⁾ y en el mismo orden de magnitud de los valores reportados por Sibello.⁽²⁴⁾ Asimismo, las concentraciones de cobre estuvieron en correspondencia con las reportadas para el mundo (12 mg/kg) ⁽²⁵⁾ y comparándolas con las reportadas para los suelos holandeses por Crommentuijn ⁽²⁶⁾, son también menores.

En el caso de los tenores de cinc, excluyendo al valor de 512 mg/kg de suelo, encontrado en el punto de muestreo 108, considerado como valor fuera del rango, el valor medio obtenido (67,39 mg/kg), está en el mismo orden que el reportado para el mundo ⁽²¹⁾, ⁽²⁵⁾ y ligeramente por debajo del valor medio reportado en ⁽²⁰⁾, ⁽²⁴⁾ y ⁽²⁶⁾. El valor medio de las concentraciones de cinc para un 95% de confianza está en el intervalo [49,56; 85,22] mg/kg. En esta investigación fueron encontrados varios sitios con valores por encima del valor máximo

considerado como natural (264 mg/kg) ⁽²¹⁾; pero ninguno de estos valores supera los límites establecidos para los diferentes usos del suelo. ⁽²³⁾ Es de señalar que el valor máximo de cinc determinado en el área de estudio fue aproximadamente cinco veces superior al valor máximo reportado por Fadigas y colaboradores. en suelos brasileros. ⁽²⁷⁾

Tabla 2- Comparación de los resultados de los metales pesados medidos en suelos superficiales para la Línea Base Confinatorio, en el área de emplazamiento, con los reportados por la literatura.

| | | Valores medidos (ppm) | Valores reportados (ppm) ^{/20/} | Valores reportados (ppm) ^{/21/} | Valores reportados (ppm) ^{/24/} | Valores reportados (ppm) ^{/26/} | Valores reportados (ppm) ^{/27/} |
|-----------|---------|-----------------------|--|--|--|--|--|
| Cu | V. Mín. | <0,6 | 9,5 | 0,3 | -- | -- | 2 |
| | V. Máx. | 42,0 | 269,9 | 495 | -- | -- | 119 |
| | V. Med | 9,85 | 83,7 | 44,4 | 10 | 36 | -- |
| Zn | V. Mín. | <1.0 | 26,1 | 1,5 | -- | -- | 6 |
| | V. Máx. | 400,0 | 260,1 | 264 | -- | -- | 79 |
| | V. Med | 67,39 | 90,7 | 65,9 | 100 | 140 | -- |
| Hg | V. Mín. | 0,002 | 0,0 | 0,004 | -- | -- | -- |
| | V. Máx. | 0,171 | 0,3 | 0,70 | -- | -- | -- |
| | V. Med | 0,037 | 0,1 | 0,05 | -- | -- | -- |
| Pb | V. Mín. | 6,8 | 5,2 | 0,5 | 7.3 | -- | -- |
| | V. Máx. | 89,0 | 113,6 | 135 | 31 | -- | -- |
| | V. Med | 18,18 | 34,6 | 15 | 17 | 85 | -- |
| Ni | V. Mín. | <2,0 | 9,8 | 1 | 9.2 | -- | 5 |
| | V. Máx. | 84,0 | 3 030,8 | 120 | 112 | -- | 35 |
| | V. Med | 21,44 | 294,2 | 20 | 49.1 | -- | -- |
| Mn | V. Mín. | <0.5 | 45 | 6 | 153 | -- | -- |
| | V. Máx. | 1 200,0 | 1 946,5 | 2000 | 1618 | -- | -- |
| | V. Med | 262,12 | 1 446,8 | 450 | 813,8 | -- | -- |
| Cr | V. Mín. | <3,0 | 9,9 | 5 | 15 | -- | 19 |
| | V. Máx. | 144,0 | 4 418,3 | 1100 | 432 | -- | 65 |
| | V. Med | 31,78 | 463,2 | 60 | 130 | -- | -- |
| Cd | V. Mín. | <2,07 | 0,1 | 0,005 | -- | -- | 0,3 |
| | V. Máx. | | 6,1 | -- | -- | -- | 1,5 |
| | V. Med | | 1,2 | 2,4 | -- | 0,8 | -- |

-- No reportados

Para el caso del plomo, los resultados obtenidos en esta investigación están en correspondencia con los resultados reportados. ⁽²⁰⁾, ⁽²¹⁾, ⁽²⁴⁾, y ⁽²⁸⁾ Sin embargo el valor medio

(18,18 mg/kg) está por debajo del valor medio reportado para Holanda.⁽²⁶⁾ El intervalo de confianza para la media con un 95 % de confiabilidad es para el plomo [15,39; 20,97] mg/kg en el área investigada.

Asimismo, los intervalos de confianza para la media de las concentraciones de níquel, manganeso y cromo son: [17,07; 25,82] mg/kg; [212,09; 312,16] mg/kg y [24,33; 39,24] mg/kg respectivamente, para una confiabilidad del 95 %. Los valores determinados en esta investigación de estos metales, son inferiores a los reportados en ⁽²⁰⁾, ⁽²⁴⁾, ⁽²⁸⁾ y están en el mismo orden que los reportados como naturales para otros países.⁽²¹⁾, ⁽²⁷⁾ Para el caso del níquel fueron excluidos los valores de 240 mg/kg encontrado en el punto 5 y el de 248 mg/kg encontrado en el punto 81 del área del emplazamiento del Confinatorio, por encontrarse fuera del rango y duplicar el valor máximo considerado como natural. Las 98 muestras medidas de cadmio, con excepción de tres muestras, presentaron valores menores que 2,07 mg/kg. No se midieron valores anómalos de este elemento en los suelos estudiados. Estos suelos presentaron menores valores para el cadmio que los reportados por Amaral y Febles ⁽²⁸⁾, en los suelos de Mayabeque y Artemisa, en Cuba.

De forma general se obtuvieron coeficientes de variación (CV) elevados para los parámetros estudiados, por encima del 70 %, incluso para el níquel, cobre, cinc y el cromo, mayores que el 100 %, lo cual está relacionado con una gran variabilidad espacial. Esta variabilidad fue incrementada probablemente por las labores de preparación del suelo durante la construcción de las instalaciones que constuirán el confinatorio. Procesos naturales y antropogénicos pueden influir en la variabilidad de las concentraciones de diferentes elementos en el suelo.⁽²⁸⁾ Una última comparación se realizó con respecto a los CV obtenidos con los reportados por Sá Paye y colaboradores ⁽²⁵⁾, observando valores igualmente elevados, influenciado por la variabilidad espacial de los tipos de suelos en las áreas investigadas.

Conclusiones

En este trabajo quedaron caracterizados químicamente los suelos del área de emplazamiento del Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos Juraguá, como parte de la Línea Base Ambiental. Se establecieron los intervalos de confianza para el valor medio de las concentraciones existentes de los metales pesados investigados con un 95 % de confiabilidad y son considerados los niveles de referencia de estos elementos en el área investigada. Dichos

valores están dentro del rango reportado como valores naturales para suelos. Estos niveles, inéditos hasta ahora, son importantes porque permiten evaluar el impacto de la instalación en el ecosistema terrestre. Se refuerza la idea de que lo más aconsejable es considerar como valores bases o de referencias, aquellos que hayan sido determinados directamente en el sitio de interés, como ha sido en esta investigación y no valores determinados en otros sitios, donde la génesis del suelo influye en estos parámetros.

Agradecimientos

A la Dirección del Confinatorio Nacional Juraguá, por el financiamiento de este Servicio Científico Técnico, que ha propiciado hacer una amplia caracterización de los suelos del área de interés. Al Ing. Yurisbey Hernández y a los técnicos Lutgardo Vergara y Víctor Fonseca por la realización satisfactoria de la toma de muestras, al Laboratorio de Ensayos Ambientales del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, por centrar la realización del pretratamiento y ensayos químicos de las muestras de suelo.

Referencias bibliográficas

1. CNUMAD. Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Cumbre de la Tierra o Cumbre de Río. 1992. Río de Janeiro, Brasil. Universidad para la Paz, Consejo de la Tierra, GTZ, II CA y OmCe – 2ed. San José, C.R.: University for Peace, 2002. ISBN: 9977-925-14-3. www.bivica.org
2. ÁLVAREZ ROSELL S. “Manejo de desechos peligrosos en Cuba. Situación actual y perspectivas”. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*. 2005, **5**, (9). ISSN: 1683-8904
3. BÁSCONES, M.I.S. *Determinación de metales pesados en suelos de Medina del Campo – Valladolid: contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia*. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Valladolid. España. 2003.
4. ASTIER CALDERÓN, M., MAASS MORENO M., ETCHEVERS BARRA Y.S. “Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable”. *Agrociencia*. 2002, **36** (5), 605-620, ISSN –e 1405-3195

5. ASHRAF M.A, MAAH M., YUSOFF I. 2014. Soil contamination, risk assessment and remediation. In: Hernández Soriano M.C. (Ed), Environmental Risk Assessment of Soil Contamination. In Tech, Rijeka, 3-56. Available from: <https://doi.org/10.5772/57287>. Date: may 2019.
6. QUERO JIMÉNEZ P.C., ZORRILLA VELAZCO M., MORALEZ FERNÁNDEZ S., RODRÍGUEZ PEQUEÑO M. “Determinación de la contaminación por metales pesados en suelos aledaños a la Empresa Electroquímica de Sagua”. *Revista Centro Azúcar*. 2017, **44**, julio-septiembre, 2017. ISSN: 2223 – 4861
7. HERNÁNDEZ JIMÉNEZ A., PÉREZ JIMÉMEZ J.M., BOSH INFANTE D., CASTRO SPECH N. "La clasificación de suelos de Cuba : énfasis en la versión 2015". *Cultivos Tropicales*. 2019, **40** (1), 15. ISSN impreso:0258-5936 ; ISSN digital : 1819-4087
8. IAEA. Technical Report Series No. 295. Measurements of radionuclides in food and the environment. 1989. STI/DOC/010/295 : 92 – 0 - 125189-0. 16935.001989
9. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA. Microwave Assisted Acid Digestion of sediment, sludges, soils and oils. Method 3051 USEPA.
10. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA. Atomic Adsorption, Direct Aspiration, for Copper. Method 220.1 USEPA.
11. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA Atomic Adsorption, Direct Aspiration, for Zinc. Method 289.1 USEPA.
12. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA Atomic Adsorption, Direct Aspiration, for Chromium. Method 218.1 USEPA.
13. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, USEPA, EPA 600/4-79-020. Nickel by FLAA (flame atomic absorption spectrophotometer).Method 249.1 USEPA. 1983.
14. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA Atomic Adsorption, Direct Aspiration, for Lead. Method 239.1 USEPA. 1983.
15. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA Atomic Adsorption, Direct Aspiration, for Cadmium. Method 213.1 USEPA.

16. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, USEPA, EPA 600/4-79-020. Manganese by FLAA (flame atomic absorption spectrophotometer). Method 243.1 USEPA.
17. GBC AVANTA AAS Software. Scientific Equipment. www.gbcsoci.com
18. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY / US EPA Mercury in solids and solutions by Thermal Decomposition and Amalgamation and Atomic Absorption Spectrophotometry. Method 7473 USEPA.
19. STATGRAPHICS CENTURION XVI.I. www.portalprogramas.com
20. RODRÍGUEZ ALFARO M., MONTERO A., URGATE OM., do NASCIMENTO CW., de AGUIAR ACCIOLY AM., BIONDI CM., da SILVA YJ. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. *Environ Monit Assess.* 2015. DOI 10.1007/s 10661-014-4198-3.
21. KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 4th.ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group. 2010, **47**, 548. ISBN 9781420093681
22. NAWAL AHMED M.A. *Investigation on the level and movement of mercury contaminants around storage areas and food processing factories in Hassaheza town, Sudan*. Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of M.Sc. in Environmental Studies. Institute of Environmental Studies. University of Khartoum. 1999, SDO 100026.
23. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. Report CCME EPC – CS34. 1991. Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites. Winnipeg, Manitoba.
24. SIBELLO HERNANDEZ R.; COZZELLA M. L.; MARIANI M.; COGLIATI N.; SPEZIA S.; TRIVELLONI E. Desarrollo de un Método Analítico para la Caracterización Isotópica de los Suelos. *Revista Cubana de Química*. 2014. **25**(1), 47-54. ISSN 2224 – 5421
25. DE SA PAYE H., VARGAS de MELLO J.W., PEREIRA ABRAHAO W.A., FERNANDES FILHO E.I., PINTO DIAS L.C., OLIVEIRA CASTR S.O., BEZERRA de MELO M.L, MILANEZ FRANCA M. Valores de referencia de qualidade para metais pesados em solos no Estado Do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciencia*, 2010, **34**, 2041-2051. *On line version* ISSN 1806 – 9657.

26. CROMMENTUIJN T., DICK T.H.M, BRUIJN de J., MARC A.G.T., VAN LEEIWEN K., EVAN de PLASSCHE. Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in The Netherland, taking into account background concentrations. *Journal of Environmental Management*. 2000. **60** (2), 121-143. DOI:10.1006/jema.2000.0354.
27. FADIGAS, F.S; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 2006, **10**, (3), 699 – 705. ISSN 2071 – 0054.
28. AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; FEBLES GONZÁLEZ J.M.; LÓPEZ Y. P., GUEDES J.N., MAGALHAES M.O.L, ZOFFOLI H.J. O. “Contenido natural de metales pesados en suelos de regiones v ganaderas de las provincias de Mayabeque y Artemisa en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2013, **47**, (2), 209–216. Instituto de Ciencia Animal, Habana, Cuba. ISSN: 0034 – 7485. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193028751017>.

Conflicto de interés

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado y están de acuerdo con la publicación del manuscrito en la Revista Cubana de Química.

Contribución de los autores

Rita Yvelice Sibello Hernández: dirigió y participó en la investigación, centró el análisis y evaluación de los resultados, realizó la escritura del manuscrito. Revisó y aprobó la versión final del mismo.

Aniel Guillén Arruebarrena: participó activamente en el análisis y evaluación de los resultados, revisó y aprobó la versión final del manuscrito.

Regla María Alomá Orama: participó activamente en el análisis y evaluación de los resultados, revisó y aprobó la versión final del manuscrito.

Laura Castellanos Torres: elaboró los mapas de la investigación, revisó y aprobó la versión final del manuscrito.