



## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Metales pesados en suelos agrícolas del Caribe Insular: estado actual e índices de contaminación

## Heavy metals in agricultural soils of the Insular Caribbean: current status and contamination rates

Natividad Miledy Alberto Then<sup>1,2\*</sup>, Lizaira Bello Pérez<sup>1</sup>, Oscar Díaz Rizo<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Área de Ciencias Básicas y Ambientales, avenida de Los Próceros #49, Los Jardines del Norte 10602, Santo Domingo, República Dominicana

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Santo Domingo, avenida Alma Mater, Zona Universitaria 1355, Santo Domingo, República Dominicana

<sup>3</sup>Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de La Habana, avenida Salvador Allende y Luaces, Plaza de la Revolución 10600, La Habana, Cuba

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 18/01/2021

Aceptado: 21/12/2021

### CONFLICTO DE INTERESES

No se declaran conflictos de intereses.

### CORRESPONDENCIA

Natividad Miledy Alberto Then

[miledyalberto@gmail.com](mailto:miledyalberto@gmail.com)

Oscar Díaz Rizo

[odrizo@instec.cu](mailto:odrizo@instec.cu)



Cu-ID: <https://cu-id.com/2153/cag091222357>

### RESUMEN

El estudio de suelos para evaluar su estado y potencial utilización es una práctica establecida internacionalmente. El mayor interés corresponde a los suelos agrícolas y su contenido de metales pesados, dado su impacto en la producción de alimentos. La presencia de metales pesados en el suelo puede alterar la sostenibilidad de la cadena trófica, provocando riesgos potenciales a la salud humana y animal. El objetivo del presente trabajo fue sistematizar la información disponible en los últimos diez años, sobre los estudios de contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de los países del Caribe Insular. Se realizó una búsqueda en las bases de datos Scopus, Web of Science y Google Scholar en el período 2012-2021. Se examinaron las diferentes fuentes de contaminación por metales pesados de los suelos agrícolas, sus efectos en el suelo, en las plantas y a la salud humana y animal, los índices de contaminación y las experiencias de estudios de contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de los países del Caribe Insular, resultando ser muy escasos y de poca información sobre los valores de referencias de metales pesados en los suelos agrícolas.

**Palabras clave:** agricultura, Caribe, contaminación, suelos

### ABSTRACT

The study of soils to assess their condition and potential use is an internationally established practice. The greatest interest corresponds to agricultural soils and their heavy metal content, given their impact on food production. The presence of heavy metals in the soil can alter the sustainability of the food chain, causing potential risks to human and animal health. The objective of this study was to systematize the information available in the last ten years on studies of heavy metal contamination in the agricultural soils of the countries of the Insular Caribbean. A search was conducted in the Scopus, Web of Science and Google Scholar databases for the period 2012-2021. The different sources of heavy

metal contamination of agricultural soils, its effects on the soil, on plants and on human and animal health, the contamination rates and the experiences of studies of heavy metal contamination in agricultural soils of the countries of the Insular Caribbean were examined, resulting in very few and little information on the reference values of heavy metals in agricultural soils.

**Keywords:** agriculture, Caribbean, contamination, soils

## INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los principales recursos naturales para la sobrevivencia humana y el componente principal de los ecosistemas terrestres. La industrialización y urbanización acelerada, así como la aplicación intensiva de productos químicos al suelo, se han convertido en un grave problema para el medioambiente a nivel global (Chai *et al.*, 2021). La presencia de metales pesados en los suelos agrícolas, los que posteriormente pueden incorporarse a los ríos, plantas y alimentos, altera la sostenibilidad de la cadena trófica, provocando riesgos potenciales a la naturaleza y a la sociedad, ya que pueden ocasionar serios problemas a la salud humana y animal (Ali y Khan, 2019).

Los metales pesados se encuentran en el suelo de manera natural en concentraciones que, por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida. Estos elementos no pueden ser degradados o destruidos, pero si ser disueltos por agentes físicos y químicos, lixiviados y distribuidos en los ecosistemas, hasta incorporarse a la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), principalmente aquellos que provienen de diferentes fuentes de contaminación, como las actividades agrícolas, mineras y las aguas residuales (Haghnazar *et al.*, 2021).

Los metales pesados guardan una relación directa con los riesgos por contaminación de los suelos, toxicidad en las plantas y los efectos negativos sobre la calidad de los recursos naturales y el ambiente. Estos riesgos dependen de aspectos como la toxicidad específica del metal, su bioacumulación, persistencia y no biodegradabilidad (Ersoy, 2021). La transferencia de metales pesados del suelo a las plantas, es una de las principales vías por la que ocurre la entrada de metales pesados al medio ambiente y a la cadena alimenticia (Ali y Khan, 2019).

El estudio de la contaminación por metales pesados de suelos asociados a sistemas intensivos de producción agrícola, es un área de investigación de gran relevancia a nivel mundial, por la influencia directa de estas sustancias al medio ambiente a través de diferentes fuentes antropogénicas. El objetivo del presente trabajo fue sistematizar la información disponible, en los últimos diez años, sobre los estudios de contaminación por metales pesados en suelos agrícolas de algunos de los países del Caribe Insular.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una amplia búsqueda bibliográfica sobre la contaminación por metales pesados de los suelos agrícolas,

correspondiente al período 2012-2021, utilizando las bases de datos SCOPUS, Web of Science y Google Scholar. Para la búsqueda se utilizó la cadena de palabras clave “metales pesados en suelos agrícolas” y su equivalente en inglés, obteniendo 3,647 artículos, de los cuáles 123 resultaron de importancia para el estudio y 30 quedaron referenciados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del estudio, se identificaron cinco aspectos de interés:

- Origen de los metales pesados en el suelo.
- Principales fuentes antropogénicas de contaminación.
- Efectos de los metales pesados sobre el suelo, las plantas y la salud humana y animal.
- Evaluación de la contaminación por metales de los suelos agrícolas.
- Experiencias de estudios de contaminación de los suelos agrícolas en países de la región del Caribe Insular.

### Origen de los metales pesados en el suelo

Se consideran “metales pesados” aquellos elementos metálicos cuyo peso específico es mayor que  $5 \text{ g cm}^{-3}$ , o con número atómico superior a 20 (Kabata-Pendias, 2001). El origen de los metales pesados en los suelos puede ser natural, por proceder de la roca madre de donde se formó, o antropogénico, o sea, producto de la actividad humana. La corteza terrestre está formada en un 95 % por rocas ígneas y un 5 % de rocas sedimentarias (Sarwar *et al.*, 2017). En general, las rocas ígneas basálticas son ricas en metales pesados como Cu, Cd, Ni y Co, mientras que las rocas sedimentarias contienen Pb, Cu, Zn, Mn y Cd (Alengebawry *et al.*, 2021).

Los metales pesados generalmente se encuentran en el suelo en pequeñas cantidades, y pasan a ser tóxicos a partir de un determinado umbral de concentración. Entre ellos, se encuentran más de 20 elementos que son esenciales para los organismos vivos (plantas, animales y humanos), como son el Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn, aunque pueden producir efectos tóxicos cuando sobrepasan determinados niveles. Otro grupo de elementos lo componen aquellos que no presentan una función biológica conocida y que, a partir de determinados niveles, provocan disfunciones graves en los organismos, incluidos los seres humanos, como son el Cd, Pb, As y el Hg (Sharma *et al.*, 2021).

### Principales fuentes antropogénicas de contaminación

Entre las principales fuentes antropogénicas de contaminación por metales pesados del suelo se encuentran los fertilizantes y plaguicidas, los desechos municipales, las actividades industriales, la minería, el uso de biosólidos y la combustión de combustibles fósiles (Alengebawy *et al.*, 2021). Según Alloway (2013), la concentración total de un metal en el suelo es la sumatoria de los aportes de todas las posibles fuentes, menos las pérdidas por extracción de las plantas o el pasto, la erosión de partículas de suelo por el viento o el agua, la lixiviación del perfil del suelo en solución y las pérdidas por volatilización de las formas gaseosas de elementos. Esto se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$M_{total} = M_{mp} + M_{atm} + M_{sed} + M_f + M_{aq} + M_{mt} + M_{mo} + M_{ci} - M_{ec} - M_e - M_l - M_v$$

donde:

- M- metal
- mp- material parental
- atm- depósito atmosférico
- sed- sedimento depositado
- f- fertilizantes
- aq- agroquímicos
- mt- materiales tecnogénicos
- mo- materiales orgánicos
- ci- otros contaminantes inorgánicos
- ec- eliminación de cultivos
- e- erosión del suelo
- l- lixiviación
- v- volatilización

En la [tabla 1](#) se muestran las principales fuentes de contaminación de metales pesados en el medio ambiente.

Numerosos estudios han documentado la contaminación por metales pesados de los suelos agrícolas debido a diferentes fuentes antropogénicas. Los países con más estudios publicados son China, Estados Unidos de América, Japón, India y Francia. La mayoría de los países desarrollados han establecido valores de referencias de

metales pesados en los suelos agrícolas, como medida de prevención y protección para el aseguramiento de la inocuidad de los cultivos.

### Efectos de los metales pesados sobre el suelo, las plantas y la salud humana y animal

La acumulación de metales pesados en los suelos agrícolas puede representar un riesgo para la vida de los organismos y para la salud humana. Sus efectos negativos dependen de la concentración del metal, del estado químico en que se encuentren y de las propiedades específicas del suelo (Kabata-Pendias, 2001; Hu *et al.*, 2017). Los efectos nocivos de la contaminación por metales pesados sobre el suelo, las plantas y los animales han sido documentados por numerosos estudios. A continuación, se describen los principales efectos reportados.

**Efectos sobre el suelo:** la contaminación de los suelos por metales pesados y su acumulación provocan una serie de efectos adversos en el suelo. Entre ellos se encuentran la destrucción del poder de autodepuración por procesos de regeneración biológica normales, debido a la afectación del ciclo biogeoquímico, disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento normal de los microorganismos del suelo, disminución del rendimiento de los cultivos y posible alteración en la composición de los mismos, pudiendo resultar peligroso para el consumo humano, contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencias (Weissmannová y Pavlovský, 2017).

**Efectos sobre las plantas:** la presencia de metales pesados en los suelos agrícolas afecta negativamente los hábitats de las plantas, lo que deviene en problemas ecológicos, evolutivos y nutricionales. La toxicidad de los metales pesados en las plantas varía en dependencia de la especie de la planta, el metal involucrado, su concentración, la forma química, la composición del suelo y su pH. La acumulación de metales pesados en los tejidos de las plantas afecta o inhibe la absorción de nutrientes, la homeóstasis, el crecimiento y su desarrollo. Los metales pesados

**Tabla 1.** Fuentes de varios metales pesados en el medio ambiente (Lone *et al.*, 2008)

Metales pesados	Fuentes de contaminación
Cd	Fuentes geogénicas, actividades antropogénicas, fundición y refinación de metales, quema de combustibles fósiles, aplicación de fertilizantes fosfatados, lodos de depuradora.
As	Como semiconductores, conservantes de madera, minería y fundición, plantas de carbón, herbicidas, volcanes, refinación de petróleo, aditivos para alimentos de animales.
Pb	Minería y fundición de minerales metalíferos, quemado de gasolina con plomo, alcantarillado municipal, desecho industrial enriquecido en Pb, pinturas.
Cr	Industria de galvanoplastia, lodos, residuos sólidos, curtiembres.
Hg	Erupciones volcánicas, incendios forestales, emisiones de industrias productoras de sosa cáustica, carbón, turba o madera ardiente.
Cu	Industrias de galvanoplastia, minería, biosólidos, fundición y refinación.
Ni	Erupciones volcánicas, relleno de tierra, incendios forestales, explosión de burbujas e intercambio de gases en el océano, erosión de suelos y materiales geológicos, efluentes industriales, aparatos de cocina, instrumentos quirúrgicos, aleaciones de acero, automóviles baterías.
Zn	Industria de galvanoplastia, fundición y refinación, minería, biosólidos.

interrumpen las funciones metabólicas, los procesos fisiológicos y bioquímicos, producen lesiones bioquímicas, destrucción de orgánulos celulares, clorosis, germinación retardada, genotoxicidad inducida, inhibición de la fotosíntesis y de la respiración, pérdida de actividades enzimáticas, estrés oxidativo y caída prematura de las hojas (Ayangbenro y Babalola, 2017, Brevik *et al.*, 2020).

Efectos sobre la salud humana y animal: Los metales pesados no son metabolizados por el organismo y tienden a acumularse en los tejidos blandos. La ingestión de metales tóxicos tiene un impacto indeseable en los humanos, y los efectos nocivos asociados solo son perceptibles después de varios años de exposición. Los metales pesados tienen afinidad por el átomo de azufre en las enzimas, y su interacción resulta en la interrupción de la actividad enzimática. También, causan daño oxidativo, al generar especies reactivas de oxígeno, que desencadenan cambios bioquímicos y fisiológicos no deseados en el cuerpo. Tales alteraciones en la normalidad de las funciones del cuerpo humano conducen a diferentes enfermedades y problemas de salud, incluidos problemas neurológicos, nefropatía, osteoporosis y osteomalacia, disrupción endocrina, cáncer y tumores, mutaciones, defectos físicos de nacimiento, etc. Los metales pesados se transfieren del medio ambiente abiótico a los organismos vivos, lo que resulta en su bioacumulación y, en ocasiones, biomagnificación de estos elementos en la cadena alimenticia (Ali y Khan, 2019, Sharma *et al.*, 2021). En la *tabla 2* se resumen los principales efectos nocivos de los metales pesados a la salud humana.

### Evaluación de la contaminación por metales pesados de los suelos agrícolas

Para evaluar la contaminación por metales pesados y la calidad de los suelos se han desarrollado diferentes índices de contaminación, los cuales permiten, además, la predicción de la sostenibilidad futura de los ecosistemas,

especialmente para fines agrícolas y determinar su procedencia.

Kowalska *et al.* (2018) identificaron 18 índices diferentes y los clasificaron en dos grandes grupos: índices simples e índices complejos, incluyendo un índice nuevo, el índice biogeoquímico (BGI), que es muy significativo para la evaluación de calidad del suelo. Identificaron, además, diferencias y similitudes entre los índices estudiados y realizaron una comparación de las fortalezas y debilidades de cada índice. Entre los índices de contaminación individuales, el índice de geoacumulación y el factor de enriquecimiento, son considerados los más útiles y universales. Mientras que, dentro de los índices complejos, se consideran importantes el potencial de riesgo ecológico y el índice de seguridad de contaminación. Algunos de los índices de contaminación requieren la determinación del fondo geoquímico, el cual juega un papel muy importante y debe basarse en criterios específicos como el tipo de suelo, el lugar, el propósito y la concentración del metal pesado a evaluar. En general, se recomienda un enfoque integral basado en la aplicación de un fondo geoquímico local y uno de referencia.

Ersoy (2021) describe las principales características de los siete índices de contaminación más utilizados: índice de geoacumulación, índice de contaminación simple, factor de enriquecimiento, factor de contaminación, suma de contaminación, índice de carga de contaminación y el factor de exposición. Establece las ventajas y desventajas de cada uno y plantea que la selección adecuada del índice de contaminación se basa en el grado de contaminación, el tipo y uso del suelo.

El cálculo de los índices de contaminación del suelo es esencial para la gestión ambiental, el riesgo de exposición ambiental, las prácticas agrícolas, la protección de los ecosistemas y la identificación de fuentes naturales y antropogénicas.

**Tabla 2.** Efectos nocivos de algunos metales pesados en la salud humana (Ayangbenro y Babalola, 2017)

Metales Pesados	Efectos Nocivos
Cd	Enfermedad ósea, tos, enfisema, dolor de cabeza, hipertensión, itai-itai, enfermedades renales, cáncer de pulmón y próstata, linfocitosis, anemia microcítica hipocrómica, atrofia testicular, vómitos.
As	Anorexia, nefropatía crónica, daño a las neuronas, hipertensión arterial, hiperactividad, insomnio, disminución de la capacidad de aprendizaje, reducción de la fertilidad, daño al sistema renal, factor de riesgo para la enfermedad de Alzheimer, déficit de atención.
Cr	Bronconeumonía, bronquitis crónica, diarrea, enfisema, dolor de cabeza, irritación de la piel, escozor del tracto respiratorio, enfermedades hepáticas, cáncer de pulmón, náuseas, insuficiencia renal, toxicidad reproductiva, vómitos, ataxia.
Hg	Déficit de atención, ceguera, sordera, disminución de la tasa de fertilidad, demencia, mareos, disfasia, irritación gastrointestinal, gingivitis, problemas renales, pérdida de memoria, edema pulmonar, inmunidad reducida, esclerosis.
Cu	Dolor abdominal, anemia, diarrea, dolor de cabeza, daño hepático y renal, trastornos metabólicos, náuseas, vómitos.
Ni	Enfermedades cardiovasculares, dolor de pecho, dermatitis, mareos, tos seca y falta de aliento, cefalea, enfermedades renales, cáncer pulmonar y nasal, náuseas.
Zn	Ataxia, depresión, irritación gastrointestinal, hematuria, ictericia, impotencia, insuficiencia renal y hepática, letargo, degeneración macular, fiebre de humos metálicos, cáncer de próstata, convulsiones, vómitos.

## Experiencias de estudios de contaminación por metales pesados de los suelos agrícolas en países de la región del Caribe insular

Pérez-López *et al.* (2012) determinaron los contenidos totales de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn en dos tipos de suelo del municipio San José de las Lajas, Cuba, y encontraron valores naturales de Pb, Zn y Ni por encima de los valores de referencias citados en la literatura en el suelo Ferralítico amarillento lixiviado, no siendo así, en el suelo Ferralítico rojo hidratado. Olivares-Rieumont *et al.* (2013) evaluaron los niveles de Cd, Pb, Cu, y Zn en suelos y hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de La Habana, Cuba, y reportaron niveles de Zn y Pb superiores a los niveles encontrados en los suelos agrícolas cubanos y a los valores de referencias establecidos en algunas normas internacionales.

De igual forma, Díaz-Rizo *et al.* (2013) reportaron los contenidos de Zn y su bioacumulación en cultivos (arroz, vegetales y condimentos), procedentes de 18 áreas de agricultura urbana y suburbana de Cuba. Los resultados mostraron al arroz, como el cultivo de mayor bioacumulación de Zn y como fuente importante de este metal esencial en la dieta. Reyes-Rodríguez *et al.* (2014) determinaron la disponibilidad de metales pesados en suelos ferralíticos de baja actividad antrópica en el municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba, y encontraron que todos los cationes, con excepción del Cd, presentaron valores inferiores a los reportados internacionalmente. Además, Muñoz-Ugarte *et al.* (2015) realizaron una revisión sobre el origen y formas en que se encuentra el Ni en los suelos cubanos y su posible efecto tóxico para las plantas y los animales, y encontraron que muchos de los suelos cubanos se caracterizan por presentar altos valores de Ni, pero no se encontró evidencias de contenidos tóxicos o fitotóxicos en los cultivos. De igual forma, Rodríguez-Alfaro *et al.* (2015) determinaron los niveles de referencias de metales pesados en suelos de Cuba, reportando que los niveles de fondo de metales pesados están por encima del promedio a nivel global, especialmente para Ni y Cr. También, se determinó que la biodisponibilidad de estos metales en el suelo era baja, por lo que no representan peligros de contaminación. Díaz-Rizo *et al.* (2015) evaluaron la concentración de metales pesados en los alrededores de la planta de acero del Cotorro en La Habana, Cuba, y encontraron niveles de metales pesados por encima de los niveles permisibles para suelos agrícolas.

Mesa-Pérez *et al.* (2015) evaluaron la bioacumulación de metales pesados en plantas de arroz cultivadas en la subcuenca Mampostón, comprobando que las plantas de arroz bioacumulan estos metales, concentrándolos principalmente en sus raíces. Rodríguez-Alfaro *et al.* (2017) determinaron las concentraciones de Cd, Pb, As, Se, Hg, Ni, y Cr en el compost y los sustratos utilizados en la agricultura

urbana de Cuba y en los vegetales cultivados en este sistema de cultivo, reportando que los niveles de metales pesados presentes en los abonos orgánicos, se encontraban dentro de los valores permitidos. Sin embargo, el compost y los sustratos preparados a partir de desechos sólidos municipales, presentaron niveles de Cd y Pb por encima de los valores permisibles.

Recientemente, Guzmán-Morales *et al.* (2019) reportaron que los suelos agrícolas aledaños a la empresa Cerámica Blanca de San José de las Lajas, provincia Mayabeque, donde se cultivan hortalizas, se encuentran medianamente contaminados por Cr, Co, Zn y Pb, y altamente contaminados por Ni y Cu. De igual forma, Guzmán-Morales *et al.* (2021) en los alrededores de esa misma empresa, se reportó que el suelo está contaminado por Co, Zn, Cu, y Pb e identificaron un grupo de 79 especies de plantas agrupadas en 34 familias, que no muestran evidencias de toxicidad ante la presencia de metales pesados.

Por otro lado, Pérez *et al.* (2012) evaluaron la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo en la provincia Monseñor Nouel, República Dominicana, y reportaron el mejoramiento de la calidad de los suelos al ser replantado con *Casuarina equisetifolia* Forst y *Acacia mangium* Willd, en comparación con el bosque natural y la bancada. Martínez-Duran *et al.* (2020) evaluaron las características fisicoquímicas de los biosólidos producidos en una planta de tratamiento de agua residuales en la provincia de Santiago de los Caballeros, República Dominicana, para determinar su potencial uso como fertilizante en la agricultura. En este sentido, se determinaron las características del suelo y analizaron el comportamiento del cultivo de maíz, reportando que los biosólidos utilizados tenían las características óptimas para ser utilizados como fertilizantes.

En tres localidades de Jamaica (St. Elizabeth, Trelawney, y Manchester), dedicadas al cultivo de papa, Sanderson *et al.* (2019) reportaron la variación de la concentración de Cd y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Estas diferencias mostraron el origen de las diversas estructuras del suelo y su calidad. Adicionalmente, estudiaron la bioacumulación de Cd en las papas cultivadas, comprobando que sus niveles excedían los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Dumas y Montalvo-Zapata (2012) evaluaron la calidad de los suelos y del agua intersticial en la Bahía de Jobos, Puerto Rico. Las concentraciones de Pb encontradas en el agua intersticial fueron bajas en comparación con las del suelo, lo que indica una alta capacidad de los suelos para retener metales pesados.

De forma general, en las bases de datos consultadas se encontraron 15 artículos publicados, de los cuales 11 publicaciones son de Cuba, dos de República Dominicana, una de Jamaica y una de Puerto Rico.

## CONCLUSIONES

Existe poca información sobre el nivel de inocuidad de los alimentos cosechados en los países caribeños, altamente dependientes de la agricultura local, producto de los escasos estudios realizados sobre los niveles de concentración de metales pesados presentes en suelos y producciones agrícolas. La determinación de los valores de referencias de metales pesados en los suelos agrícolas, es una herramienta de prevención y protección para el aseguramiento de la inocuidad de los cultivos y, por ende, de la salud de la población.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Natividad Miledy Alberto Then:** Fue responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial).

**Lizaira Bello Pérez:** Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.

**Oscar Díaz Rizo:** Realizó la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

ALENGEBAWY, A., ABDELKHALEK, S. T., QURESHI, S. R., *et al.* 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9 (3): 42.

ALLOWAY, B. 2013. *Heavy Metal in Soils*. Tercera Edición, Reading, UK, 15 p.

BREVIK, E. C., SLAUGHTER, L., SINGH, B. R., *et al.* 2020. Soil and human health: current status and future needs. *Air, Soil and Water Research*, 13: 1-23.

CHAI, L., WANG, Y., WANG, X., *et al.* 2021. Pollution characteristics, spatial distributions, and source apportionment of heavy metals in cultivated soil in Lanzhou, China. *Ecological Indicators*, 125: 107507.

DÍAZ-RIZO O., OLIVARES, S., DENIS, A. O., *et al.* 2013. Bioaccumulation of zinc in crops and its contribution to Zn intake by Cuban population. *Nucleus*, 54: 8-11.

DÍAZ-RIZO, O., LIMA CAZORLA, L., GARCÍA CÉSPEDES, D., *et al.* 2015. Assessment of heavy metal content in urban agricultural soils from the surrounding

of steel-smelter plant using X-ray fluorescence. *Nucleus*, 57: 38-43.

DUMAS, J. A. and MONTALVO-ZAPATA, R. 2012. Soil and interstitial water quality in Jobos Bay. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 96 (1-2): 23-35.

GUZMÁN-MORALES, A. R., ORIOLO VÁZQUEZ, P., CRUZ LA PAZ, O., *et al.* 2021. Fitotecnología para la recuperación de agroecosistemas contaminados con metales pesados por desechos industriales. *Centro Agrícola*, 48 (3): 43-52.

GUZMÁN-MORALES, A. R., PAZ, O. C. L. y Valdés-Carmenate, R. 2019. Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28 (1): 1-9.

HAGHNAZAR, H., POURAKBAR, M., MAHDAVIANPOUR, M., *et al.* 2021. Spatial distribution and risk assessment of agricultural soil pollution by hazardous elements in a transboundary river basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193 (4): 1-17.

HU, B., JIA, X., HU, J., *et al.* 2017. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (9): 1042.

KOWALSKA, J. B., MAZUREK, R., GASIOREK, M., *et al.* 2018. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination-A review. *Environmental Geochemistry and Health*, 40 (6): 2395-2420.

LONE, M. I., HE, Z. L., Stoffella, P. J., *et al.* 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9 (3): 210-220.

MESA-PÉREZ, M. A., DÍAZ-RIZO, O., SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M., *et al.* 2015. Bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado en la subcuenca Mampostón. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24: 25-30.

MUÑOZ-UGARTE, O., RODRÍGUEZ-ALFARO, M., MONTERO-ÁLVAREZ, A., *et al.* 2015. El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36: 25-33.

OLIVARES-RIEUMONT, S., GARCÍA-CÉSPEDES, D., LIMA-CAZORLA, L., *et al.* 2013. Niveles de Cadmio,

- Plomo, Cobre y Zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de La Habana, Cuba. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29 (4): 285-294.
- PÉREZ, A., CÉSPEDES, C., ALMONTE, I., *et al.* 2012. Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo. *Terra Latinoamericana*, 30 (3): 201-211.
- PÉREZ-LÓPEZ, Y., MOURA DO AMARAL SOBRINHO, N., BALBÍN-ARIAS, M. I., *et al.* 2012. Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del municipio San José de las Lajas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21 (1): 43-46.
- RODRÍGUEZ-ALFARO, M., DO NASCIMENTO, C. W. A., UGARTE, O. M., *et al.* 2017. First national-wide survey of trace elements in Cuban urban agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (4): 1-7.
- RODRÍGUEZ-ALFARO, M., MONTERO, A., UGARTE, O. M., *et al.* 2015. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187 (1): 1-10.
- SANDERSON, D. V., VOUTCHKOV, M. and BENKEBLIA, N. 2019. Bioaccumulation of cadmium in potato tuber grown on naturally high levels cadmium soils in Jamaica. *Science of the Total Environment*, 649: 909-915.
- SARWAR, N., IMRAN, M., SHAHEEN, M. R., *et al.* 2017. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171: 710-721.
- SHARMA, S., KAUR, I. and NAGPAL, A. K. 2021. Contamination of rice crop with potentially toxic elements and associated human health risks - a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (10): 12282-12299.
- REYES-RODRÍGUEZ, R., PIERRE, G., GURIDI IZQUIERDO, F., *et al.* 2014. Disponibilidad de metales pesados en suelos Ferralíticos con baja actividad antrópica en San José de las Lajas, Mayabeque. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23 (3): 37-40.
- KABATA-PENDIAS, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. Third Edition, CRC Press LLC, Boca Ratón, Florida, 331 p.
- WEISSMANNÓVÁ, H. D. and PAVLOVSKÝ, J. 2017. Indices of soil contamination by heavy metals-methodology of calculation for pollution assessment (minireview). *Environmental Monitoring and Assessment*, 189 (12): 1-25.
- AYANGBENRO, A. S. and BABALOLA, O. O. 2017. A new strategy for heavy metal polluted environments: a review of microbial biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (1): 94.
- ALI, H. and KHAN, E. 2019. Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25 (6): 1353-1376.
- MARTÍNEZ-DURÁN, A. D. J., NÚÑEZ, V. A. R. y AGÜERA, F. O. 2020. Aprovechamiento de los biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas urbanas en agricultura. Estudio de caso en República Dominicana. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 13 (37): 1-23.
- ERSOY, A. 2021. Critical review of the environmental investigation on soil heavy metal contamination. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19 (5): 3853-3878.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.