

La bioacumulación de metales pesados y el desarrollo de la agricultura urbana en Moa

Bioaccumulation of heavy metals and developing urban agriculture in Moa

Luis Alberto Pérez-García^{1*}, Marianela Crespo-Lambert¹, Carlos Alberto Leyva-Rodríguez¹, Giorvys Cuza-Fernández¹.

¹Universidad de Moa

*Autor para la correspondencia: lapgarcia@ismm.edu.cu

Resumen

La agricultura urbana puede presentar riesgos para la salud humana y el medio ambiente cuando se desarrolla en suelos contaminados. Se llevó a cabo una revisión y análisis de la literatura publicada al respecto, buscando establecer analogías entre el desarrollo de la agricultura urbana y suburbana en el municipio de Moa y las potencialidades reales de bioacumulación de metales pesados. No obstante a la escasez de estudios específicos para Moa, la literatura disponible sugiere que existe una posibilidad real de contaminación de vegetales y hortalizas por metales pesados debido a la movilidad de estos elementos en el suelo, por lo que es un imperativo realizar estudios específicos y desarrollar estrategias adecuadas de mitigación para proteger la salud pública y el medio ambiente a partir de una estrategia de fito-remediación adaptada a las condiciones de Moa.

Palabras clave: bioacumulación; agricultura urbana; suelos de uso agrícola; seguridad alimentaria.

Abstract

Urban agriculture can present risks to human health and the environment when carrying it out on contaminated soils. This study reviewed and analyzed the literature published in this regard with the purpose of establishing analogies between the development of urban and suburban agriculture in Moa municipality and the real potential for heavy metals bioaccumulation. Despite the lack of specific studies related this issue in Moa, there is available literature suggesting that there is a real possibility of contaminating vegetables by heavy metals due to the mobility of these elements in the soil. For that reason, it is imperative to carry out specific studies and developing appropriate mitigation strategies to protect people's health and the

environment from a soil phytoremediation strategy adapted to conditions in Moa municipality.

Keywords: bioaccumulation; urban agriculture; soils for agricultural use; food security.

1. INTRODUCCIÓN

En América Latina y el Caribe, el 75 % de la población vive en ciudades y se considera que esta cifra aumentará hasta el 83 % en el año 2030. Conforme crecen las ciudades, aumenta la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria de la población urbana con alimentos de calidad apropiada. Este es el objetivo estratégico fundamental de los proyectos de agricultura urbana (FAO 1996). La agricultura urbana (AU) tiene numerosas ventajas cuando se practica de modo apropiado y en condiciones seguras. Sin embargo, esta solución lleva en sí riesgos para la salud humana y el ambiente, que no se observan comúnmente cuando se utilizan suelos agrícolas tradicionales. Uno de los riesgos para la salud atribuido a la AU es el paso de sustancias tóxicas, como por ejemplo metales pesados, a los alimentos cultivados en zonas urbanas, por la absorción de los mismos de suelos, aire o agua contaminados (Giuffré *et al.* 2005; Ribeiro, Bógus y Watanabe 2015; Amaya-Gómez 2018; Hernandez-Cotta, Turizo-Arrieta y Romero-Cevallos 2021; Burbano-Criollo, Aguilar-Montero y Semanate-Quiñonez 2022).

Los metales pesados son elementos químicos metálicos que tienen una alta densidad y son tóxicos en concentraciones incluso muy bajas, como el mercurio, cadmio, arsénico, cromo, talio y plomo. Estos metales se encuentran en la corteza terrestre y no pueden ser degradados o destruidos fácilmente. Al proceso mediante el cual los metales pesados pueden pasar a los diferentes cultivos y organismos vivos a través de la alimentación, el agua y el aire se le conoce como bioacumulación. Algunos metales pesados son esenciales para mantener un metabolismo adecuado en los seres vivos, pero en concentraciones más altas pueden ser tóxicos.

La movilidad de los metales pesados en el suelo y su absorción por las plantas están relacionadas con diversos factores como el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, el potencial redox y los niveles de hierro y manganeso. Es necesario estudiar la composición y propiedades del suelo para entender el paso de los metales pesados del suelo a las plantas (Li, Poon y Liu 2001; Abollino *et al.* 2002; Angelova *et al.* 2024; Lucho Constantino *et al.* 2005; Abollino *et al.* 2007; Malandrino *et al.* 2011; Moiseenko y Gashkina 2020; Zhang *et al.* 2021; Liu *et al.* 2022; Nyamete *et al.* 2022).

En el caso de Cuba, la agricultura urbana ha sido una respuesta exitosa a la crisis alimentaria y económica que ha enfrentado el país, a raíz del bloqueo

norteamericano, y ha sido reconocida como una estrategia importante para mejorar la seguridad alimentaria y la calidad de vida de la población. Además, la agricultura urbana también ha tenido un impacto positivo en la economía local, el medio ambiente y la sociedad, y ha sido valorada como una forma de promover la soberanía alimentaria y el desarrollo sostenible en el país (Companioni, Ojeda y Páez 2001; Moreno y González 2007; Herrera-Sorzano 2009; Rogério-Lopes y Santos-Araújo-Lopes 2012).

La agricultura urbana en el municipio minero de Moa, es una práctica que ha sido promovida por el gobierno local y ha surgido como una respuesta a la escasez de alimentos y los desafíos económicos que enfrenta la región. Moa es una ciudad ubicada en la provincia de Holguín, en la costa norte de Cuba, que ha experimentado una disminución en la producción de alimentos debido a la falta de recursos y la dependencia de la importación de alimentos.

La agricultura urbana en Moa ha sido suscitada como una forma de mejorar la seguridad alimentaria y la calidad de vida de la población local. La práctica de la agricultura urbana se ha extendido en la ciudad, con la creación de huertos en patios traseros, huertos comunitarios y huertos escolares. Estos huertos producen una variedad de alimentos, como frutas, verduras, hierbas y plantas medicinales, lo que ayuda a diversificar la dieta y mejorar la nutrición de la población.

En cuanto a la agricultura urbana y la bioacumulación en las condiciones de Moa, es importante tener en cuenta que la utilización de suelos contaminados en la producción agrícola puede representar un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Existen experiencias abordando el tema desde las ciencias sociales en la Universidad de Moa, a partir del uso de materias primas locales, y el uso de residuales de la industria (Leyva-Osorio y Leyva-Rodríguez 2019; Orozco-Melgar y Cuza-Fernández 2022). El enfoque en todos los casos ha sido el de fomentar la agricultura urbana. Especial interés tiene el tema de la formulación de un agromineral con recursos minerales propios que está llamado a ser un tema a desarrollar con mayor profundidad en el futuro cercano.

Es importante que se realicen estudios y monitoreos de la calidad de los suelos y los alimentos producidos en la región, para garantizar que no se exponga a la población a riesgos de salud. Además, es necesario promover prácticas agrícolas sostenibles y seguras para reducir el riesgo de bioacumulación de metales pesados en las plantas cultivadas. Algunas prácticas que pueden contribuir a reducir este riesgo incluyen la utilización de técnicas de cultivo sin suelo, la utilización de abonos orgánicos y la selección cuidadosa de plantas hiperacumuladoras que puedan absorber y acumular metales pesados de manera segura, la fito-remediación.

En este trabajo se realiza un análisis de la literatura publicada al respecto, buscando establecer analogías con el desarrollo de la agricultura urbana y suburbana en el municipio Moa, Cuba y las potencialidades reales de bioacumulación de metales pesados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se localizó y procesó un volumen considerable de materiales que se pueden dividir en tres grandes temas, el primero, materiales que definen la bioacumulación y los fenómenos asociados al proceso de bioacumulación desde el punto de vista agrícola urbano. El segundo grupo, referido al auge y desarrollo de la agricultura urbana y suburbana, sobre todo en países del tercer mundo, y el tercer y menos abordado referido al desarrollo agrícola del municipio de Moa.

Esta literatura está disponible en bases de datos online localizables a través de Google Académico o el servicio de búsqueda de Mendeley Web, en publicaciones periódicas como son las revistas: *Chemosphere*, *Ore Geology Reviews*, *Journal of Chemical Information Modeling*, *Frontiers in Environmental Science*, editadas por Elsevier; la *Revista Electrónica de Veterinaria*, *Informador Técnico*, la *Revista Científica Ecuatoriana*, la *Revista Minería y Geología* de la Universidad de Moa, la *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, La revista *Ciencia del suelo* localizables en bases regionales como Scielo o Redylac. También se consultaron materiales de tesis de grado que no constituyen materiales publicados en serie, donde destacan tesis de grado de Universidad de Moa, La Universidad de Granada o la Universidad de Antioquia. Las búsquedas incluyeron palabras clave como agricultura urbana, bio remediación, fito remediación y metales pesados. Se procesó por igual material bibliográfico en español e inglés. Finalmente se puede decir que la información manejada abarca un periodo de tiempo de la década de los 70 hasta el año 2022.

En sentido general, el alcance de la revisión trata de dejar sentados los aspectos a tener en cuenta para evaluar el proceso de bioacumulación en la agricultura urbana. Se hizo una compilación de materiales desde la década de los 50, con énfasis en los últimos 10 años. Se detectó que las investigaciones sobre el tema en el municipio de Moa son pocas, lo cual es contraproducente con el interés de la implementación de la técnica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión de la literatura disponible ha permitido establecer que existen parámetros a tener en cuenta durante las investigaciones relacionadas con la bioacumulación. A continuación, se indican algunos de los más relevantes a consideración de los diferentes autores.

3.1. Disponibilidad de metales pesados en el suelo

Los metales pesados se encuentran en el suelo como componentes naturales del mismo o como resultado de actividades humanas, como la minería y la agricultura intensiva. Algunos metales pesados son esenciales en la nutrición de las plantas, como el hierro, el zinc y el manganeso, mientras que otros, como el plomo, el cadmio y el mercurio, pueden ser tóxicos incluso en pequeñas cantidades. La movilidad de los metales pesados en el suelo está influenciada por diversos factores, como el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, el potencial redox y los niveles de hierro y manganeso.

Los metales pesados que se acumulan en el suelo pueden ser absorbidos por las plantas y entrar en la cadena alimentaria. La absorción y acumulación de metales pesados por las plantas depende de la movilidad de las especies de metales en el suelo y de la capacidad de las plantas para tomar y retener los metales. Algunos metales pesados pueden ser esenciales para las plantas en pequeñas cantidades, pero en concentraciones más altas, pueden inhibir el crecimiento y desarrollo normal de las plantas y reducir la calidad del suelo (Hanlon 1971; Spain y Alm 2003), incluido el hombre (Coyne y Rasskin 2000; Li, Poon y Liu 2001; Pineda 2002; Moćko y Waćlawek 2004; García y Dorronsoro 2005; Abollino *et al.* 2007; Rooney, Zhao y McGrath 2007; Malandrino *et al.* 2011; Chibuike y Obiora 2014; Jin *et al.* 2018; Ruchumararak *et al.* 2019; Shah y Daverey 2020; Sameena y Puthur 2020).

En la región noreste de las provincias orientales de Cuba se encuentran los suelos más antiguos y evolucionados del país, los cuales sustentan una flora adaptada a la oligotrofia y toxicidad por metales pesados, especialmente níquel, cromo y cobalto (Aiglsperger *et al.* 2016). Sin embargo, la minería del níquel, con su explotación a cielo abierto, causa graves daños a los ecosistemas y produce impactos severos al medio ambiente en Moa. Los altos niveles de metales pesados en los suelos y el agua utilizada para riego agrícola son un problema importante para la agricultura en la zona. En las últimas décadas, ha habido un interés en establecer lineamientos básicos de gestión y manejo ambiental de los cultivos, y se busca desarrollar una agricultura sostenible con un estricto control del manejo de plagas, la producción de semillas certificadas y la conservación del recurso suelo (Hernández *et al.* 2008; Acuña 2015; Aiglsperger *et al.* 2016; Mamani y Filippone 2018; Caicedo 2020; Cruz Cárdenas *et al.* 2021).

Destacan investigaciones preliminares acerca del uso de suelos en Moa, en lo fundamental referido a la rehabilitación minera, uso de suelos para ganadería (Socarrás y Rodríguez 2007; García-Quintana 2013; Céspedes-Hernández 2014; Reyes Cabrera, Borges Terrero y Velázquez Leyva 2020;

González-Cadena 2021), pero no se dispone de información sistemática y publicada de la bioacumulación en la agricultura urbana.

3.2. Variaciones entre especies de plantas

Las diferentes especies de plantas extraen cantidades desiguales de material inorgánico del suelo, y no siempre se encuentra una correlación cercana entre la composición de la planta y la del sustrato. Cada planta tiene hábitos peculiares que deben determinarse empíricamente. Las plantas pueden manifestar un efecto de barrera, lo que significa que pueden acumular un determinado elemento solo hasta cierto nivel. También se habla de plantas hiperacumuladoras, que toleran por encima de 10-100 veces los valores normales de un elemento, lo que las hace interesantes para detectar anomalías y limpiar terrenos contaminados (Retzer *et al.* 1952; Loneragan 1996; Weil y Brady 2008; Chaney y Baklanov 2017; Baker *et al.* 2020).

3.3. Variaciones en las partes de una misma especie de planta

La parte de la planta seleccionada para el análisis es un factor especialmente crítico. Dos consideraciones son importantes aquí; las diferencias en el nivel del elemento traza de un órgano a otro, y la estabilidad de la concentración del elemento dentro de un órgano como una función del tiempo y ubicación de una planta simple. La concentración de elementos trazas frecuentemente se encuentra que disminuye en el orden: ramitas, conos, madera y raíces (Carlisle y Cleveland 1958; Brooks 1972). Sin embargo, la concentración en las hojas, puntas verdes y estructuras de la semilla que están creciendo activamente tiende a ser menos consistente con el tiempo que en las ramas (Warren y Delavault 1949).

3.4. Profundidad de penetración de la raíz

Las plantas se dividen en freatófitas, que tienen raíces profundas y obtienen agua de la zona de saturación por debajo del nivel freático, y xerófitas, que tienen un sistema radical poco profundo y pueden sobrevivir solo con agua derivada de la lluvia. Los factores determinantes de anomalías de origen químico en las plantas son la disponibilidad de elementos en el suelo, las características nutricionales de la planta y los factores químicos y biológicos en la incorporación de elementos químicos a la planta. La disponibilidad de elementos químicos en el suelo depende de su concentración y movilidad, que a su vez están influenciados por el pH, Eh, la capacidad de intercambio de bases y la presencia de agentes complejantes. Las raíces de las plantas pueden captar sales disueltas y material retenido en la superficie de partículas clásticas (Retzer *et al.* 1952; Brady y Weil 2004; Weil y Brady 2008).

3.5. Factores relacionados con el agua

En términos de su composición química, las aguas subterráneas del municipio de Moa contienen principalmente iones de calcio, magnesio, sodio y potasio, así como bicarbonatos, sulfatos y cloruros. También se han identificado niveles elevados de hierro y manganeso en algunas zonas. Además, debido a la actividad minera en la zona, algunas áreas del municipio de Moa presentan contaminación de las aguas subterráneas por metales pesados, como el níquel y el cobre. Esto ha llevado a la implementación de medidas de monitoreo y control para garantizar la calidad del agua y proteger la salud de la población y el medio ambiente. En este sentido, se han desarrollado investigaciones preliminares acerca del uso del agua en Moa, sobre todo en los referido al análisis de los índices de calidad, con un fuerte enfoque a la contaminación salina, y a los riesgos asociados a la contaminación de las aguas (Fernández-Rodríguez 2007; Borges-Terrero, Fernández-Rodríguez y Chaviano-Beitra 2017; Crespo-Lambert, Fernández-Rodríguez y Pérez-García 2022). Sin embargo, se hace una necesidad profundizar en el uso de las aguas con fines agrícolas en municipio, y en el rol que juega la minería en la contaminación de metales pesados.

3.6. Otros factores a tener en cuenta

En los suelos drenados, las raíces de las plantas deben profundizar para alcanzar el agua. Las condiciones de drenaje también afectan la acidez relativa del suelo. Las variaciones en el pH del suelo provocan variaciones en la solubilidad relativa de los elementos en el suelo y así la disponibilidad de los elementos para ser extraídos por las plantas. El movimiento de los nutrientes minerales en las plantas varía con la cantidad de luz solar recibida. Así, la composición de las plantas sobre una ladera soleada será algo diferente que la de las mismas plantas creciendo en un suelo semejante sobre una ladera sombreada. Las plantas también pueden cambiar de acuerdo al período del año; el contenido mineral que aumenta frecuentemente en la primavera durante el período de crecimiento activo, continúa con un declive gradual en la madurez (Martin y Marschner 1988; Brady y Weil 2004; Weil y Brady 2008; Stuart-Chapin, Matson y Vitousek 2012).

Para el caso particular de la zona urbana de Moa, se debe tener en cuenta, como aspecto adicional, que un estudio del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología del año 2011 reporta elevados niveles de concentración de gases como dióxido de azufre, y las concentraciones de los contaminantes estudiados mostraron niveles de riesgo para la salud y la mortalidad potencialmente vinculada a la contaminación atmosférica (Suárez-Tamayo *et al.* 2011). Este último aspecto es relevante si se tiene en

cuenta que los organopónicos existentes en el municipio carecen de techo o mallas protectoras.

Finalmente, la propia actividad minera debe ser un factor a analizar durante el desarrollo de agricultura urbana en las condiciones de Moa, pues según el estudio de Suárez-Tamayo et al. (2014) la población de Nicaro, Mayarí mostró mayores riesgos de morir por cáncer de pulmón, tráquea y bronquios; por enfermedades cardiovasculares y por EPOC que la provincia de Holguín; esto debido a la actividad minero metalúrgica relacionada con el níquel, condiciones perfectamente extrapolables a Moa.

4. CONCLUSIONES

- A pesar de la falta de estudios específicos en Moa, la literatura disponible sugiere que existe una posibilidad real de contaminación de vegetales y hortalizas por metales pesados debido a la movilidad de estos elementos en el suelo. Se ha identificado que los grupos de mayor riesgo son los tubérculos, vegetales y hortalizas, mientras que las plantas de tallo fibroso y gran altura son de menor riesgo debido a su capacidad para filtrar estos elementos.
- Las aguas subterráneas de Moa, que son una parte importante del proceso de bioacumulación, contienen metales pesados, especialmente debido a los procesos mineros en la zona.
- Las precipitaciones ácidas en la región favorecen la acidificación de los suelos, lo que facilita la bioacumulación de metales en general.
- Los suelos drenados y altamente meteorizados facilitan el acceso de las plantas al manto freático, lo que es otra posible fuente de contaminación. Además, se ha identificado que la experiencia internacional para el tratamiento de metales pesados en suelos pasa por la bio-remediación, que debe ser adaptada a las condiciones del municipio.
- Aunque es importante tener en cuenta la falta de estudios específicos en Moa, la literatura disponible sugiere que los factores mencionados pueden contribuir a la contaminación de vegetales y hortalizas por metales pesados en la zona. Por lo tanto, se deberían realizar estudios específicos para evaluar la magnitud del riesgo asociado a la contaminación por metales pesados en Moa y desarrollar estrategias de mitigación adecuadas para proteger la salud pública y el medio ambiente.

5. REFERENCIAS

- Abollino, O.; Aceto, M.; Malandrino, M.; Mentasti, E.; Sarzanini, C. y Petrella, F. 2002: Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. *Chemosphere*, 49(6): 545-557. ISSN 0045-6535.
- Abollino, O.; Giacomino, A.; Malandrino, M. y Mentasti, E. 2007: The efficiency of vermiculite as natural sorbent for heavy metals. Application to a contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 181(1-4). ISSN 00496979. DOI 10.1007/s11270-006-9286-8.
- Acuña, D. 2015: Agricultura sostenible: antecedentes e iniciativas. *Oficina De Estudios y Políticas Agrarias*, no. 1987.
- Aiglsperger, T.; Proenza, J. A.; Lewis, J. F.; Labrador, M.; Svojtka, M.; Rojas-Purón, A.; Longo, F. y Ďurišová, J. 2016: Critical metals (REE, Sc, PGE) in Ni laterites from Cuba and the Dominican Republic. *Ore Geology Reviews*, 73. ISSN 01691368. DOI 10.1016/j.oregeorev.2015.10.010.
- Amaya-Gómez, J. C. 2018: *Agricultura Urbana en Medellín. Experiencias y contribuciones de los proyectos: Huertas para el abastecimiento de alimentos y Fundación Palomá a la seguridad alimentaria*. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia.
- Angelova, V.; Ivanova, R.; Delibaltova, V. y Ivanov, K. 2004: Bioaccumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial crops and products*, 19(3): 197-205. ISSN 0926-6690.
- Baker, A. J. M.; Mcgrath, S. P.; Reeves, R. D. y Smith, J. A. C. 2020: Metal Hyperaccumulator Plants: A Review of the Ecology and Physiology of a Biological Resource for Phytoremediation of Metal-Polluted Soils. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, 85-107.
- Borges-Terrero, Y.; Fernández-Rodríguez, M. y Chaviano-Beitra, A. 2017: Evaluación de las aguas de uso agropecuario en la unidad básica de producción cooperativista Antonio Maceo, Moa, Cuba. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(12). ISSN 16957504.
- Brady, N. C. y Weil, R. R. 2004: Elements Of The Nature And Properties Of Soils. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9). ISSN 1098-6596.
- Brooks, R. R. 1972: *Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration*. Harper & Row.
- Burbano-Criollo, C.; Aguilar-Montero, M. y Semanate-Quiñonez, H. 2022: La agricultura urbana como alternativa de abastecimiento de alimentos vegetales: un ejercicio desde la cienciometría. *Informador Técnico*, 86(2). DOI 10.23850/22565035.4427.

- Caicedo, C. 2020: Agroforestería: Una Alternativa De Agricultura Sostenible En La Amazonía Ecuatoriana. *Ecuador es Calidad: Revista Científica Ecuatoriana*, 7(1): 17-20.
- Carlisle, D. y Cleveland, G. B. 1958: *Plants as a guide to mineralization*. S.l.: California Division of Mines.
- Céspedes-Hernández, Y. 2014: *Análisis de la degradación de los suelos en el municipio Moa*. Tesis doctoral. Universidad de Moa. Consulta: 07/10/2022. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1462>
- Chaney, R. L. y Baklanov, I. A. 2017: Phytoremediation and Phytomining: Status and Promise. *Advances in Botanical Research*, 83. ISSN 00652296. DOI 10.1016/bs.abr.2016.12.006.
- Chibuike, G. U. y Obiora, S. C. 2014: Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods. *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID 752708, 12 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/752708>
- Companioni, N.; Ojeda, Y. y Páez, E. 2001: *La agricultura urbana en Cuba*. Ciudad de La Habana: INIFAT, Delegación del Ministerio de la Agricultura.
- Coyne, M. y Rasskin, M. 2000: *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Madrid: Ediciones Paraninfo. ISBN 10: 8428326487.
- Crespo-Lambert, M.; Fernández-Rodríguez, M. y Pérez-García, L. A. 2022: Evaluación de la calidad del agua para consumo humano según ICA de Montoya en el poblado de Yamanigüey. *Minería y Geología*, 38(2): 157-167. ISSN 1993-8012. Consulta: 07/10/2022. Disponible en: <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2196>.
- Cruz-Cardenas, C. I.; Zelaya-Molina, L. X.; Sandoval-Cancino, G.; De Los Santos-Villalobos, S.; Rojas-Anaya, E.; Chávez-Díaz, I. F. y Ramirez, S. R. 2021: Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5). ISSN 2007-0934. DOI 10.29312/remexca.v12i5.2905.
- FAO. 1996: Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria mundial y plan de acción de la cumbre mundial de la alimentación. Roma: FAO.
- Fernández-Rodríguez, M. 2007: Evaluación de la calidad físico- química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. *Minería y Geología*, 23(4): 11. ISSN 1993-8012. Consulta: 25/01/2023. Disponible en: <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/91>.
- García, I. y Dorronsoro, C. 2005: Contaminación por metales pesados. *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Consulta: 25/07/2023. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es>

- García-Quintana, D. 2013: *Análisis de los factores de degradación de los suelos en la cuenca del Río Cayo Guam*. Tesis de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez. Consulta: 15/03/2023. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1577>
- Giuffré, L.; Ratto, S.; Marbán, L.; Schonwald, J. y Romaniuk, R. 2005: Riesgo por metales pesados en horticultura urbana. *Ciencia del suelo*, 23(1): 101-106. ISSN 0326-3169.
- González-Cadena, R. 2021: *Alternativas agroecológicas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios en el Municipio de Moa*. Universidad de Holguín. Consulta: 25/01/2023. Disponible en: <http://repositorio.uho.edu.cu/xmlui/handle/uho/8834>
- Hanlon, D. P. 1971: Interaction of ergothioneine with metal ions and metalloenzymes. *Journal of medicinal chemistry*, 14(11): 1084-1087. ISSN 0022-2623.
- Hernández, A.; Ascanio, M.; Morales, M.; Bojórquez, I.; García, N. y García, D. 2008: *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Univ. Autónoma de Nayarit. ISBN 9688330728.
- Hernandez-Cotta, A. M.; Turizo-Arrieta, C. y Romero-Cevallos, M. 2021: Cooperación internacional y agricultura urbana: incidencia en la seguridad alimentaria de poblaciones vulnerables de Cartagena. *Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo*, 8(2). DOI 10.21500/23825014.5526.
- Herrera-Sorzano, A. 2009: Impacto de la agricultura urbana en Cuba. *Novedades en Población*, 5(9). Consulta: 25/01/2023. Disponible en: <https://revistas.uh.cu/novpob/article/view/3510>
- Jin, Y.; Luan, Y.; Ning, Y. y Wang, L. 2018: *Effects and mechanisms of microbial remediation of heavy metals in soil: A critical review*. *Appl. Sci.*, 8(8): 1336. <https://doi.org/10.3390/app8081336>
- Leyva-Osorio, L. A. y Leyva-Rodríguez, C. A. 2019: Minería artesanal y desarrollo local sostenible en Cuba. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, p. 1-11. ISSN 2254-7630. Consulta: 25/01/2023. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/05/desarrollo-local-cuba.html>.
- Li, X.; Poon, C. S. y Liu, P. S. 2001: Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 16(11-12). ISSN 08832927. DOI 10.1016/S0883-2927(01)00045-2.
- Liu, X.; Zhang, J.; Huang, X.; Zhang, L.; Yang, C.; Li, E. y Wang, Z. 2022: Heavy Metal Distribution and Bioaccumulation Combined With Ecological and Human Health Risk Evaluation in a Typical Urban Plateau Lake, Southwest China. *Frontiers in Environmental Science*, 10. ISSN 2296665X. DOI 10.3389/fenvs.2022.814678.

- Loneragan, J. F. 1996: Mineral nutrition of higher plants, second edition. *Field Crops Research*, 46(1-3). ISSN 03784290. DOI 10.1016/0378-4290(96)84669-7.
- Lucho-Constantino, C. A.; Álvarez-Suárez, M.; Beltrán-Hernández, R. I.; Prieto-García, F. y Poggi-Varaldo, H. M. 2005: A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environment international*, 31(3): 313-323. ISSN 0160-4120.
- Malandrino, M.; Abollino, O.; Buoso, S.; Giacomino, A.; La Gioia, C. y Mentasti, E. 2011: Accumulation of heavy metals from contaminated soil to plants and evaluation of soil remediation by vermiculite. *Chemosphere*, 82(2). ISSN 00456535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2010.10.028.
- Mamani, A. y Filippone, M. 2018: Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Rev. Agron. Noroeste Argent.*, 38(10).
- Martin, M. H. y Marschner, H. 1988: The Mineral Nutrition of Higher Plants. *The Journal of Ecology*, 76(4). ISSN 00220477. DOI 10.2307/2260650.
- Moćko, A. y Waclawek, W. 2004: Three-step extraction procedure for determination of heavy metals availability to vegetables. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 380(5-6). ISSN 16182642. DOI 10.1007/s00216-004-2832-6.
- Moiseenko, T. I. y Gashkina, N. A. 2020: Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: Influence of the aquatic environment and climate. *Environmental Research Letters*, 15(11). ISSN 17489326. DOI 10.1088/1748-9326/abbf7c.
- Moreno, L. y González, E. 2007: Manejo agroecológico de plagas y enfermedades en la agricultura urbana: Estudio de caso Ciudad de La Habana, Cuba. *Agroecología*, 2: 21-31.
- Nyamete, F.; Chacha, M.; Msagati, T. y Raymond, J. 2022: Bioaccumulation and distribution pattern of heavy metals in aquaculture systems found in Arusha and Morogoro regions of Tanzania. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(17). ISSN 10290397. DOI 10.1080/03067319.2020.1807523.
- Orozco-Melgar, G. A. y Cuza-Fernández, G. R. 2022: Aplicación de agromineral de tobas y residual amoniacal del proceso CARON en el organopónico Miraflores del municipio Moa. *Ciencia & Futuro*, 12(4): 497-511. Consulta: 25/01/2023. Disponible en: http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/2220.
- Pineda, V. 2002: Caracterización textural, mineralógica y geoquímica de los sedimentos del Canal Beagle Y Bahía Nassau, Xii Región De Magallanes, Chile crucero cimar-fiordo 3. *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*, 25: 1.

- Retzer, J. L.; Lyon, T. L.; Buckman, H. O. y Brady, N. C. 1952: The Nature and Properties of Soils. *Journal of Range Management*, 5(6). ISSN 0022409X. DOI 10.2307/3894608.
- Reyes-Cabrera, Y.; Borges-Terrero, Y. y Velázquez-Leyva, J. 2020: Características físico-geográficas y ambientales de la UBP Agroalimentaria Los Pinos Centeno, Moa. *Ciencia & Futuro*, 10(1): 149-161. Consulta: 25/01/2023. Disponible en: http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/1901.
- Ribeiro, S. M.; Bógus, C. M. y Watanabe, H. A. W. 2015: Agricultura Urbana Agroecológica en la Perspectiva de la Promoción de la Salud. *Saude e Sociedade*, 24(2): 730-744. ISSN 01041290.
- Rogério-Lopes, P. y Santos-Araújo-Lopes, K. C. 2012: Agricultura urbana ecológica: a experiência de Cuba. *Agriculturas*, 9(2): 39-41.
- Rooney, C. P.; Zhao, F. J. y Mcgrath, S. P. 2007: Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties, Ni solubility and speciation. *Environmental pollution*, 145(2): 596-605. ISSN 0269-7491.
- Ruchuwarak, P.; Intamat, S.; Tengjaroenkul, B. y Neeratanaphan, L. 2019: Bioaccumulation of heavy metals in local edible plants near a municipal landfill and the related human health risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(7). ISSN 15497860. DOI 10.1080/10807039.2018.1473755.
- Sameena P. P. y Puthur, J. T. 2020: Heavy Metal Phytoremediation by Bioenergy Plants and Associated Tolerance Mechanisms. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 30(3): 1-22. DOI:10.1080/15320383.2020.1849017
- Shah, V. y Daverey, A. 2020: Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*, 18.
- Socarrás, A. A. y Rodríguez, M. E. 2007: Evaluation of mesofauna of the soil in areas rehabilitated with cassowary and cashew in the Moa mining zone.
- Spain, A. y Alm, E. 2003: Implications of microbial heavy metal tolerance in the environment.
- Stuart-Chapin, F.; Matson, P. A. y Vitousek, P. M. 2012: *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer.
- Suárez-Tamayo, S.; Molina, E.; Maldonado, G. y Cuella, L. 2014: Mortalidad potencialmente relacionada con la explotación minero metalúrgica del níquel. *Higiene y sanidad ambiental*, 14(4): 1235-1240.
- Suárez-Tamayo, S.; Molina, E.; Maldonado, G.; Cuéllar, L.; Martínez, M. y Romero, M. 2011: Contaminación atmosférica y causas de mortalidad potencialmente relacionadas en el municipio de Moa (Cuba). *Higiene y sanidad ambiental*, 11: 793-801.

- Warren, H. V, y Delavault, R. E. 1949: Further studies in biogeochemistry. *Geological Society of America Bulletin*, 60(3): 531-560. ISSN 1943-2674.
- Weil, R. y Brady, N. 2008: *Nature and Properties of Soils*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Zhang, H.; Zhao, Y.; Wang, Z. y Liu, Y. 2021: Distribution characteristics, bioaccumulation and trophic transfer of heavy metals in the food web of grassland ecosystems. *Chemosphere*, 278. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.130407.

Información adicional

Declaración de conflicto de intereses

Los autores de este artículo declaran que no tienen ningún conflicto de intereses que declarar. Ninguno de los autores ha recibido financiación o apoyo de ninguna organización que pueda tener un interés directo o indirecto en los resultados de la investigación.

Contribución de los autores

LAPG: idea original, revisión bibliográfica, estudios de caso, trabajo de edición y compilación. MCL: revisión bibliográfica, estudios de caso, trabajo de edición y compilación. CALR: revisión bibliográfica, estudios de caso, trabajo de edición y compilación. GCF: revisión bibliográfica, estudios de caso, trabajo de edición y compilación

ORCID:

LAPG: <http://orcid.org/0000-0003-4465-8675>

MCL: <http://orcid.org/0000-0002-5632-4659>

CALR: <http://orcid.org/0000-0002-9156-5327>

GCF: <http://orcid.org/0009-0007-7937-3502>

Recibido: 10/05/2023

Aprobado: 01/07/2023