

Modelación matemática para el comportamiento del níquel y cobre en un agroecosistema contaminado

Mathematical Modeling of the Behavior of Nickel and Copper in a Contaminated Agroecosystem

①Ambar Rosa Guzmán-Morales^{I*}, ②Deborah González-Viera^{II}, ③Orestes Cruz-La Paz^I,
 ④Ramiro Valdés-Carmenate^I, ⑤Pedro A. Valdés. Hernández^I and ⑥Mayra Arteaga-Barrueta^I

^IUniversidad Agraria de la Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

*Autora para correspondencia: Ambar Rosa Guzmán-Morales, e-mail: ambar@unah.edu.cu, ambarrosaguzmanmorales@gmail.com

RESUMEN: La necesidad de controlar la contaminación que provocan los metales pesados es cada vez más apremiante por lo que es necesario el estudio de calidad del suelo para conservar o mejorar su productividad para la protección del ambiente, la salud animal y humana, que garantice la inocuidad alimentaria. Elementos traza en concentraciones elevadas en suelos son tóxicos alimentarios con efectos negativos sobre la salud que se manifiestan a largo plazo. Se ha reportado la acción de algunos sobre el incremento de casos de cáncer, lesiones del sistema nervioso y enfermedades genéticas en humanos, etc. como resultado del consumo de aguas y alimentos contaminados, de procedencia animal o vegetal. En el presente trabajo se plantea como objetivo: proponer modelos matemáticos para predecir el comportamiento de las concentraciones de níquel y cobre en un agroecosistema aledaño al vertimiento de residuos industriales en el municipio San José de las Lajas. Para ello se tomaron los datos de concentración de metales pesados níquel (Ni) y cobre (Cu) cedidos por el Grupo Científico de la Facultad de Agronomía de la UNAH desde el año 2005 al año 2018 para predecir su comportamiento a partir del uso de herramientas estadístico-matemáticas hasta el año 2034. Se obtuvo que, según los modelos matemáticos obtenidos, estos suelos no deben emplearse para cultivar hortalizas con objeto de consumo, ni permitir el libre pastoreo de vacunos, al menos hasta 10 años después de esta investigación.

Palabras clave: fitoremedición, inocuidad alimentaria, tóxicos.

ABSTRACT: The need to control the contamination caused by heavy metals is increasingly urgent, which is why it is necessary to study the quality of the soil in order to preserve or improve its productivity for the protection of the environment, animal and human health, and to guarantee food safety. Trace elements in high concentrations in soils are food toxins with negative effects on health that manifest in the long term. The action of some of them has been reported on the increase in cases of cancer, nervous system lesions and genetic diseases in humans, etc. as a result of the consumption of contaminated water and food, whether of animal or plant origin. The objective of this work is to propose mathematical models to predict the behavior of nickel and copper concentrations in an agroecosystem adjacent to the dumping of industrial waste in the municipality of San José de las Lajas. For this purpose, the data on the concentration of heavy metals nickel (Ni) and copper (Cu) provided by the Scientific Group of the Faculty of Agronomy of the UNAH from 2005 to 2018 were taken to predict their behavior based on the use of statistical-mathematical tools until 2034. It was obtained that, according to the mathematical models obtained, these soils should not be used to grow vegetables for consumption, nor allow free grazing of cattle, at least until 10 years after this research.

Keywords: Phytoremediation, Food Safety, Toxics.

INTRODUCCIÓN

En un contexto en el que la contaminación medio ambiental industrial es una fuente de conflictos, se evidencia la necesidad de promover la responsabilidad social comprometida con la preservación, restauración y cuidado del medio ambiente como una estrategia central para promover la salud de los habitantes de las áreas afectadas (Guzmán *et al.*, 2019). Este problema es sin duda

alguna, uno de los más importantes que afectan a la sociedad del siglo XXI según CEPAL (2021).

Esta situación ambiental pudiera comprometer el cumplimiento de algunos de los objetivos del milenio y afectar el proceso de actualización del modelo económico y social en Cuba, que garantizaría una sociedad más justa, equitativa e inclusiva, transitando por el camino del desarrollo sostenible, que integra sus tres dimensiones: la económica, la social y la ambiental (NN.UU., 2021).

Recibido: 10/10/2024

Aceptado: 08/03/2025

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

CONTRIBUCIONES DE AUTORES: Conceptualización: A. Guzmán. Conservación de datos: A. Guzmán, D. González, O. Cruz.

Investigación: A. Guzmán, D. González, O. Cruz. R. Valdés, P. Valdés, M. Arteaga. **Metodología:** A. Guzmán. **Supervisión:** A. Guzmán, D. González. **Validación:** A. Guzmán, D. González, O. Cruz. **Redacción – borrador original:** A. Guzmán, D. González, **Redacción – revisión y edición:** A. Guzmán, D. González.



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



En ello influye el desarrollo de determinadas actividades industriales que constituyen un riesgo moderado de contaminación ambiental, dado por las fugas de componentes que se acumulan en el suelo a partir del cauce natural y el riego con aguas residuales y como consecuencia, puede aparecer un "suelo contaminado" (Valdés *et al.*, 2017). Uno de los contaminantes más persistentes son los metales pesados (MP) aunque sus efectos negativos sobre la salud animal y humana se manifiestan a largo plazo (Alarcón *et al.*, 2015; Doležalová *et al.*, 2019).

Para resolver estos problemas que se presentan, existen técnicas de tratamiento basadas en la capacidad de diferentes organismos (plantas y microorganismos) para degradar, extraer o inmovilizar los contaminantes del agua o el suelo. Estas técnicas han sido denominadas Biorremediación y como un caso particular al emplear diferentes plantas, Fitorremediación (Becerril *et al.*, 2002; Ardizzi, 2018).

Las plantas empleadas con tales fines acumulan en sus tejidos aéreos, tanto elementos esenciales para los cultivos (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo, Ni) como elementos no esenciales o con funciones biológicas aún por determinar (Cd, Cr, Pb, Ag, Se, Hg), alcanzando elevadísimas concentraciones que resultan tóxicas para la mayoría de las plantas Gonzales *et al.* (2017); Alonso *et al.* (2018); Lama (2018), por lo que las empleadas para tales fines no deben ser consumidas ni por los animales ni por el hombre.

En tal caso el níquel y el cobre, son elementos esenciales para las plantas que en elevadas concentraciones provocan trastornos en el organismo humano, tales como daños en el corazón e irritación de piel, daños a nivel del sistema nervioso, en la función hepática y renal, en el sistema músculo-esquelético, etc., específicamente en la población infantil que es más sensible a dichos efectos. Esta situación se agudiza porque la preocupación por tener garantizada la alimentación llevó al hombre a cultivar y propagar especies vegetales en zonas agrícolas cercanas a áreas industrializadas o contaminadas, lo que según Valdés *et al.* (2017), es una realidad mundial, y Cuba no es una excepción.

Al asumir el reto, la Facultad Agronomía-UNAH, estudia los problemas de contaminación por metales pesados en agroecosistemas vulnerables (Guzmán *et al.*, 2021).

A pesar de existir en Cuba la Estrategia Ambiental Nacional (EAN) 2021-2030 CITMA-Cuba (2021), existen en el país zonas donde por razones diversas no se cumple con la seguridad ambiental que se necesita, tal es el caso del municipio San José de las Lajas, en Mayabeque, donde el 78% pertenece al sector industrial, y aunque constituye un renglón importante en la economía, se considera una fuente de contaminación ambiental y de repercusión en la seguridad alimentaria local (ONEI-Cuba, 2019).

Teniendo en cuenta la situación que se presenta, el trabajo tiene como objetivo: proponer modelos matemáticos para predecir el comportamiento de las concentraciones de níquel y cobre en un agroecosistema, aledaño al vertimiento

de residuos industriales en el municipio San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental corresponde a un área agrícola, ubicada a 200 m de distancia de la fuente de contaminación (Empresa Cerámica Sanving S.A.) en 22°57'49.66" N, 82°10'13.02" W y 22°58'7.95" N, 82°10'13.60" W, según sistema de coordenadas Cuba Norte, y aledaño al vertimiento de los residuales. La misma pertenece a agricultores que participan en el Programa de la Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar, del Consejo Popular Jamaican, municipio San José de las Lajas, Mayabeque, en un suelo clasificado como Ferrallítico Amarillento Lixiviado, según Hernández *et al.* (2015). Las parcelas de cultivos producen hortalizas y pastos del género *Cynodon* pertenecientes a la familia Poaceae, para el libre consumo animal, que según refieren Guzmán *et al.* (2021), acumulan elevadas concentraciones de estos metales pesados en sus hojas.

Estudio de los contenidos de metales pesados en el suelo

"Los datos que corresponden a los valores de 42 muestras de concentración de los metales pesados Níquel y Cobre, desde el año 2005 hasta el año 2018, cedido por el grupo Científico FITOPLANT de la Facultad de Agronomía de la UNAH". Por valores fueron comparados con los límites máximos permisibles y los niveles peligrosos para suelo y plantas, propuesto por Kabata (2010) y Fadigas *et al.* (2006).

Análisis matemático para estimar la descontaminación en el área de estudio del cobre y el níquel

Teniendo en cuenta la concentración de los elementos mayoritarios encontrados en los análisis de suelo (cobre y níquel) según Guzmán *et al.* (2021), se analizó la predicción del tiempo en que se pudiera descontaminar este suelo.

Para caracterizar el comportamiento de las concentraciones y análisis de la posible descontaminación, los datos fueron tabulados en el programa Microsoft Excel 2003. A continuación, se realizó la regresión lineal simple con el programa STATGRAPHICS Centurium XVIII. La estimación se ejecutó por el método de interpolación con ecuación lineal $Y = a+bx$ del Valle *et al.* (2022) donde "Y" correspondió a la concentración de cada variable y "X" años analizados. Paralelamente, se analizó el comportamiento y tendencia para cada caso. Además, las medias de las concentraciones anuales fueron analizadas respecto a los Valores de Referencia y Límite Superior Permisible (Fadigas *et al.*, 2006; Kabata, 2010).

El procesamiento estadístico para la predicción de la contaminación consistió en el cálculo de los intervalos de confianza de las medias por tratamientos de las variables evaluadas, para un nivel de confianza del 99%.

Se tuvo en cuenta los valores calculados y predichos para confeccionar los gráficos de predicción, combinando el programa estadístico STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1 y el programa Excel, teniendo en cuenta las ecuaciones obtenidas de los modelos, prediciendo hasta el año 2034.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo que las concentraciones de MP en las muestras de suelo contaminado es superior a la determinada en el suelo patrón, lo cual se presenta en la **Tabla 1**.

El orden decreciente que sigue en aportes de contaminación es Ni>Cu, con valores de 233 y 57 unidades de diferencias respectivamente entre el suelo contaminado y el suelo patrón, lo que equivale al 310,66% para el Ni por encima del límite superior permisible, siendo el que mayor aporte realiza al suelo, lo que hace que, al superar el límite de intervención de dichas normas, lo clasifica como un suelo con necesidad de remediación urgente debido a estas concentraciones.

TABLA 1. Concentración de Ni y Cu en el suelo utilizado para el cultivo de hortalizas y libre pastoreo

Muestras	Ni ± std	Cu ± std
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Patrón	84± 29	364± 98
Contaminado	317± 25	421± 32
VR ^a	35	36
VI ^a	210	190
LSP ^b	75	100
CT ^c	74	55

a-Valores de Referencia (VR) y de Intervención (VI) de las Normas Holandesas.

b- Límite Superior Permisible en suelos.

c-Valores reportados para la Corteza Terrestre.

Se puede apreciar en la **Figura 1** una comparación de los límites de intervención respecto a los porcentajes de concentración de los metales Ni y Cu para mitigar el aumento desmesurado en estos suelos, ya que a pesar de ser elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, cuando superan los valores estándares pasan a ser tóxicos alimentarios con el consecuente riesgo a la salud animal y humana, lo que es determinado por este límite de intervención según lo planteado por Doležalová *et al.* (2019).

En la **Figura 2** se presentan los metales comparados con los niveles permisibles para alimentos sanos (N.P.A.S), niveles medios fitotóxicos (N.M.F) y niveles en suelos agrícolas cubanos (N.S.A, Cuba) (Muñiz, 2008).

Se puede apreciar que dichos elementos se encuentran en concentraciones muy superiores a los requeridos por estos niveles establecidos, obteniéndose diferencias estadísticamente significativas respecto a los tres valores con los que se compara. Las muestras más elevadas respecto a sus indicadores son las de Cu que sobrepasan estos límites en porcentajes muy elevados (1 830%, 421% y 1 472%, niveles permisibles para alimentos sanos, niveles medios fitotóxicos y niveles en suelos agrícolas cubanos, respectivamente).

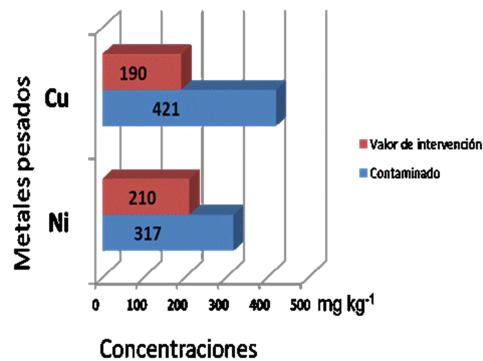
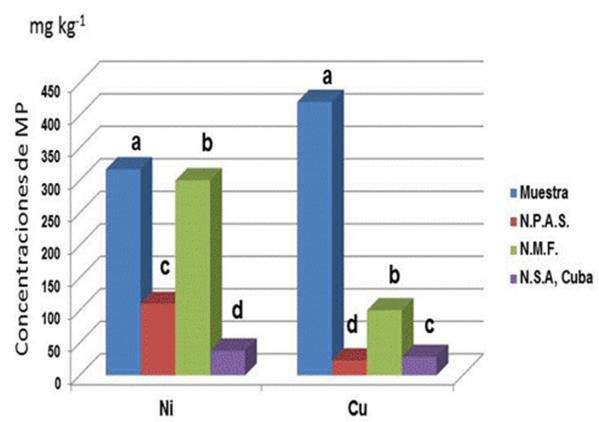


FIGURA 1. Relación entre los Límites de intervención y los porcentajes de Ni y Cu en el suelo de la parcela agrícola en estudio.



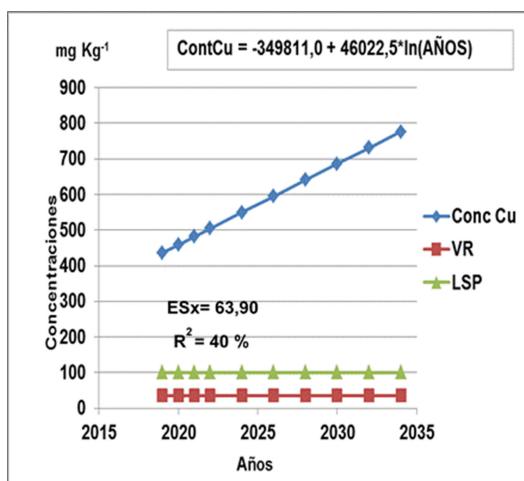
Letras desiguales difieren significativamente con p<0,05 según Dócima de Duncan

FIGURA 2. Concentración de Ni y Cu comparados con los niveles medios aceptables para la producción de alimentos sanos y niveles fitotóxicos.

Todos estos resultados tienen una influencia químico-biológica sobre los cultivos que se producen en estas áreas ya que como se puede comprobar los valores con que se comparan están relacionados con la inocuidad de los alimentos Muñiz *et al.* (2015); GOC-Cuba (2020) propiedad que toma interés en la seguridad alimentaria local, además de ratificar la importancia de estos estudios porque en condiciones normales estos elementos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Análisis de los modelos estadísticos-matemáticos para la descripción de la descontaminación en el área de estudio

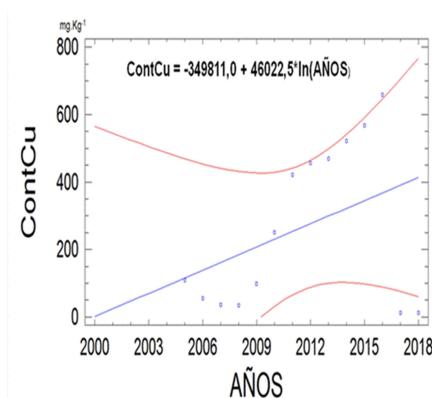
En las **Figuras 3 y 4** para el cobre y **5 y 6** para el níquel, se presentan los modelos estadísticos matemáticos para la predicción del tiempo mínimo necesario para la recuperación del suelo contaminado o la posible disminución de las concentraciones de MP bajo las condiciones de estudio presentadas. Para ello es necesario, que la empresa regule sus descargas de residuales al exterior, tomando las medidas necesarias con vista a cumplir ese objetivo.



Los elementos estudiados evidencian un comportamiento diferenciado, según las predicciones realizadas.

Para el caso del Cu, de acuerdo con el modelo logarítmico, y los modelos ajustados (Figura 4) muestra que posiblemente hasta el año 2035 es que comienzan a disminuir sus concentraciones, por lo que la empresa debe revisar su proceso productivo según UNAH-Cuba (2017), y las posibilidades de reciclaje o emplear materias primas menos cargadas de este elemento, coincidiendo con lo planteado por Alarcón *et al.* (2015) y González *et al.* (2017), quienes reportan que se puede disminuir la carga contaminante si disminuye su presencia en las materias primas que se emplean en el proceso productivo.

En el caso del Níquel (Figura 5 y 6), el modelo de mejor ajuste es el exponencial, y se aprecia que desde el año 2019 se han comenzado a disminuir los niveles de esta sustancia, llegando a 0 para el año 2035, lo que evidencia la posibilidad que brindan las normativas cumplidas en cuanto al uso de las materias primas importadas desde



Líneas de tendencia (color azul), Límites de predicción (color rosado), Límites de confianza (color rojo) al 99% del nivel de confianza

FIGURA 4. Modelos matemáticos ajustados para la predicción de la descontaminación por cobre en el área en estudio.

otros lugares del país como por ejemplo Moa, que en su naturaleza aportan grandes volúmenes de níquel, según reporta la UNAH-Cuba (2017).

Por todo lo expuesto se debe tener en cuenta que, según Alloway (2012), uno de los problemas más graves que presenta la contaminación por MP es el tiempo de vida media de los mismos, que para el caso del cobre (Cu) es de 740 a 5 900 años, por lo que los efectos por acumulación son más drásticos que los producidos por la contaminación ocasionada en un momento puntual.

CONCLUSIONES

- La inclusión de los modelos matemáticos en estudios de contaminación, permitió evaluar áreas agrícolas contaminadas con metales pesados y definir que los suelos están inutilizables para la producción agrícola con objeto de consumo, tanto animal como humano, clasificándose con necesidad de remediación urgente debido a las concentraciones de Ni y Cu.

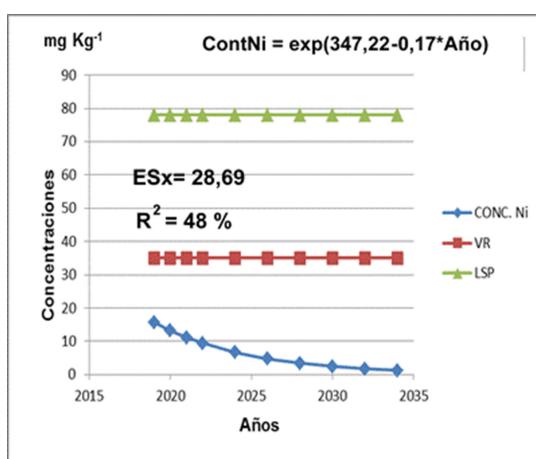
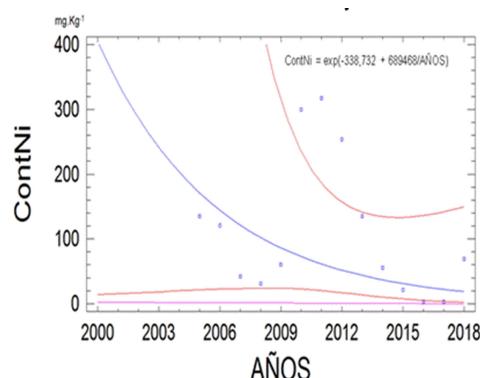


FIGURA 5. Modelo predictivo para el Ni, del tiempo mínimo para recuperar el suelo al 99% del nivel de confianza.



Líneas de tendencia (color azul), Límites de predicción (color rosado), Límites de confianza (color rojo) al 99% del nivel de confianza

FIGURA 6. Modelos matemáticos ajustados para la predicción de la descontaminación por níquel en el área en estudio.

- Los modelos estadísticos matemáticos permitieron predecir que los metales pesados estudiados tienen un comportamiento diferente, para el Ni, disminuyen sus contenidos desde el año 2019, no así para el Cu, aunque las áreas no deben emplearse con fines agrícolas (al menos para cultivar hortalizas o permitir el libre pastoreo) en los próximos 10 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, S.; GRANA, S.; VALDÉS, C.; GOICOCHEA, B.: "Contaminación con metales pesados alrededor de la Empresa de Cerámica Blanca "Adalberto Vidal", San José de las Lajas. Percepción del riesgo", *Revista de Gestión del Conocimiento y el Desarrollo Local*, 2(1): 62-67, 2015, ISSN: 2707-8973.
- ALLOWAY, B.J.: *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*, Ed. Springer Netherlands, Alloway B. J. ed., Netherlands, 613, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>. p., 2012, ISBN: 978-94-007-4469-1.
- ALONSO, B.J.N.; MONTAÑO, A.N.M.; SANTOYO, P.G.; MÁRQUEZ, B.L.; SAUCEDO, M.B.C.; SÁNCHEZ, Y.J.M.: "Biorecuperación y fitorremediación de suelo impactado por aceite residual automotriz", *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1): 45-51, 2018, ISSN: 2072-9294.
- ARDIZZI, M.: *La biorremediación aplicada a la rehabilitación de suelos contaminados con hidrocarburos*, Editores: Lucrecia Bruttí-Marcelo Beltrán-Inés García de Salamone ed., 137 p., 2018.
- BECERRIL, J.; BARRUTIA, O.; HERNANDEZ, A.; PLAZAOLA, J.; HERNÁNDEZ, A.; GARBISU, C.: *Fitorremediacion y biorremediaciacion: nuevas tecnologias biologicas para la eliminacion de los contaminantes del suelo*, Ed. CCMA-CSIC, Ciencia y Medio Ambiente, II Jornadas Científicas ed., 145-152 p., 2002, ISBN: 84-699-7972-8.
- CEPAL: *Cuarto informe sobre el progreso y los desafíos regionales de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe.*, [en línea], Ed. CEPAL, Santiago de Chile, Chile, 2021, Disponible en: <https://foroalc2030.Cepal.org/2021/es/>.
- CITMA-CUBA: *Estrategia Ambiental Nacional (EAN) 2021-2030, Etapa 2021-2025*, Inst. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba, 25 p., Publisher: MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE, 2021.
- DEL VALLE, M.J.; GONZÁLEZ, V.D.; RAFAEL, P.L.; SÁNCHEZ, A.O.R.; DELGADO, T.C.: "Efecto de las variables climáticas sobre el rendimiento agrícola del arroz (*Oryza sativa L.*)", *Ingeniería Agrícola*, 12(1), 2022, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- DOLEŽALOVÁ, W.H.; MIHOČOVÁ, S.; CHOVANEC, P.; PAVLOVSKÝ, J.: "Potential ecological risk and human health risk assessment of heavy metal pollution in industrial affected soils by coal mining and metallurgy in Ostrava, Czech Republic", *International journal of environmental research and public health*, 16(22): 44-95, 2019, ISSN: 1660-4601.
- FADIGAS, F. de S.; SOBRINHO, N.M. do A.; MAZUR, N.; CUNHA DOS ANJOS, L.H.: "Estimation of reference values for cadmium, cobalt, chromium, copper, nickel, lead, and zinc in Brazilian soils", *Communications in soil science and plant analysis*, 37(7-8): 945-959, 2006, ISSN: 0010-3624.
- GOC-CUBA: "Decreto Ley 9/2020 "Inocuidad de los Alimentaria"", *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 76, GOC-2020-675-076, 2020, ISSN: 0864 -0793, e-ISSN: 1682-7511.
- GONZALES, J.; ACEBEDO, J.; ARMAS, C.; CUSTODIO, M.; GARCÍA, M.; GONZALES, A.; VÁZQUEZ, M.: "Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales; "girasol", "alfalfa", "geranio" e "higuerilla", *Searching-science*, 1(1): 1-12, 2017.
- GONZÁLEZ, O.L.; DÍAZ, F.J.; CALA, R.D.; BERAZAÍN, R.: "Métodos de inventario de plantas", En: *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*, pp. 60-85, 2017.
- GUZMÁN, M.A.R.; CRUZ, P.O.; VALDÉS, C.R.: "Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), 2019, ISSN: 2071-0054.
- GUZMÁN, M.A.R.; VÁZQUEZ, P.O.; CRUZ, O.; VALDÉS, R.; VALDÉS, P.: "Fitotecnología para la recuperación de agroecosistemas contaminados con metales pesados por desechos industriales", *Centro Agrícola*, 48(2): 5-11, 2021, ISSN: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: "Clasificación de los suelos de Cuba 2015", *Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA*, 93: 91, 2015.
- KABATA, P.: *Trace elements in soils and plants*, Ed. CRC press, DOI: <http://dx.doi.org/10.1201/b10158> p., 2010, ISBN: 0-429-19112-X.
- LAMA, E.: "Fitoextracción de plomo en suelos de tres parques por el girasol (*Helianthus annuus*) inoculado con el hongo micorrítico *Glomus intraradices*", 2018, Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3499>
- MUÑIZ, U.: *Los microelementos en la agricultura [en línea]*, edit. Agencia de Información y Comunicación para la Agricultura (Agrinfor), 2008, 132 p, Ed. Editorial Agroinfor, La Habana, Cuba, publisher: Ministerio de la Agricultura. Instituto de Suelos. La Habana. Cuba., 2008, ISBN: 978-959-246-201-4.
- MUÑIZ, U.; RODRÍGUEZ, A.; MONTERO, A.; ESTÉVEZ, A.; DE AGUIAR, A.; ARAUJO, D.W.: "El níquel en suelos y plantas de Cuba", *Cultivos Tropicales*, 36: 25-33, 2015, ISSN: 0258-5936.
- NN.UU.: *Agenda 2030 Informe nacional Voluntario, CUBA 2021/24 p*, Inst. NN.UU., La Habana, Cuba, 124 p., 2021.

ONEI-CUBA: *Anuario Estadístico de Cuba 2018. Oficina Municipal de estadística e información en Mayabeque, 2012-2018, [en línea]*, Inst. Oficina Nacional de Estadísticas e Información, Anuario Estadístico de Mayabeque, Anuario estadístico, San José de las Lajas Mayabeque, CUBA, 2019, Disponible en: <http://www.onei.cu/aed2018/>.

UNAH-CUBA: *Técnicas recuperativas para la protección de áreas contaminadas y su impacto en el desarrollo sostenible*, Inst. Empresa Cerámica Blanca “Adalberto

Vidal”-Grupo FITOPLANT, Grupo FITOPLANT, Agronomía, UNAH., Informe técnico, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, publisher: Grupo FITOPLANT, Agronomía ..., 2017.

VALDÉS, C.R.; CRUZ, P.O.; BALBÍN, A.M.I.; GURIDI, I.F.; GUZMÁN, M.A.R.; MESA, P.M.A.; MILANÉS, A.F.; KAEMMERER, M.; SÁNCHEZ, J.M.: “Fitogestión (FITOG-MP): tecnología para recuperar áreas contaminadas con metales pesados”, *Revista Ciencia Universitaria*, 15(1), 2017.

Ambar Rosa Guzmán-Morales: Dr.C., Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Deborah González Viera, Dr.C., Investigadora, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Departamento Manejo de Agroecosistemas Sostenibles. Carretera a Tapaste km 3.5 Gaveta Postal 1, CP 32 700. San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba. Tel. / Fax: (53) 86 386, e-mail: deborah@inca.edu.cu

Orestes Cruz-La Paz: Dr.C., Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, , San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: ambar@unah.edu.cu.

Ramiro Valdés-Carmenate: Dr.C., Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: ambar@unah.edu.cu.

Pedro Antonio Valdés-Hernández, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23 ½, Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: pvaldes@unah.edu.cu.

Mayra Arteaga-Barrueta: Dr.C., Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: mayra@unah.edu.cu

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