

# Análisis de un suelo agrícola contaminado por cobalto, plomo y zinc

## Analysis of an agricultural soil contaminated by cobalt, lead and zinc



<https://cu-id.com/2177/v33n1e04>

<sup>✉</sup>Ambar Rosa Guzmán-Morales\*<sup>1</sup>, <sup>✉</sup>Deborah González-Viera<sup>2</sup>, <sup>✉</sup>Orestes Cruz-La Paz<sup>1</sup>,  
<sup>✉</sup>Ramiro Valdés-Carmenate<sup>1</sup>, <sup>✉</sup>Pedro Antonio Valdés-Hernández<sup>1</sup>,  
<sup>✉</sup>Saturnina Mesa-Rebato<sup>1</sup>, <sup>✉</sup>Mayra Arteaga-Barrueta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN:** En la agricultura actual es necesario controlar la inocuidad de los alimentos que se producen, para ello es vital tener en cuenta los niveles de contaminación que provocan los metales pesados. Un aspecto a considerar es el estudio de calidad del suelo para conservar o mejorar su productividad, de forma que se garantice la protección ambiental, la salud humana y la seguridad alimentaria. Elementos traza en concentraciones elevadas en suelos son tóxicos alimentarios con efectos negativos sobre la salud que se manifiestan a largo plazo como resultado del consumo de aguas y alimentos contaminados. El presente trabajo plantea como objetivo: estudiar modelos matemáticos para predecir el comportamiento de las concentraciones de cobalto, plomo y zinc en un suelo agrícola, 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 cobalto (Co), plomo (Pb) y zinc (Zn) 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 deban emplearse para cultivar hortalizas con objeto de consumo, al menos hasta 10 años después de esta investigación.

**Palabras clave:** fitorremediación, inocuidad alimentaria, tóxicos.

**ABSTRACT:** In current agriculture it is necessary to control the safety of the food that is produced, for this it is vital to take into account the levels of contamination caused by heavy metals. One aspect to consider is the study of soil quality to preserve or improve its productivity, in order to guarantee environmental protection, human health and food safety. Trace elements in high concentrations in soils are food toxins with negative effects on health that manifest themselves in the long term as a result of the consumption of contaminated food and water. The objective of this work is: to study mathematical models to predict the behavior of cobalt, lead and zinc concentrations in agricultural soil, adjacent to the dumping of industrial waste in the San José de las Lajas municipality. For this, the concentration data of heavy metals cobalt (Co), lead (Pb) and zinc (Zn) were taken from the year 2005 to the year 2018 to predict their behavior from the use of statistical-mathematical tools until the year 2034. It was obtained that, according to the mathematical models obtained, these soils should not be used to grow vegetables for consumption, at least until 10 years after this investigation.

**Keywords:** Phytoremediation, Food Safety, Toxic.

### INTRODUCCIÓN

El problema ambiental es sin duda alguna, uno de los más importantes que afectan a la sociedad del siglo XXI según CEPAL (2017; 2021). La existencia de impactos ambientales ha provocado la destrucción de suelos disponibles para actividades agrícolas.

Todo ello podría comprometer varios de objetivos de Desarrollo del Milenio de la Organización de Naciones Unidas y el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 (PNDES 2030) para dar cumplimiento al proceso de actualización del modelo económico y social en Cuba, transitando por el camino del desarrollo sostenible, integrando sus tres

\*Autora para correspondencia: Ambar Rosa Guzmán-Morales, e-mail: [ambar@unah.edu.cu](mailto:ambar@unah.edu.cu)

Recibido: 14/05/2023

Aceptado: 09/12/2023

dimensiones: la económica, la social y la ambiental (INV-Cuba, 2021).

Por lo tanto, el Estado cubano ha establecido en los lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución según la [Gaceta Oficial de la República de Cuba \(2017; 2020\)](#), que la sociedad civil en general, asuma la voluntad para emprender acciones que fomenten y garanticen la seguridad alimentaria, respetando al medio ambiente.

En el logro de estos objetivos está influyendo el desarrollo de determinadas actividades industriales que constituyen un riesgo de contaminación ambiental, no solo debido a las emisiones atmosféricas sino también al mal manejo de los residuos, que pueden ocasionar fugas de componentes que se acumulan en el suelo y como consecuencia, puede aparecer un "suelo contaminado" ([Goya-Heredia et al., 2020](#)).

Al uso en la agricultura de las aguas residuales se le confieren beneficios como fuente de fertilizantes para los cultivos, pero sin previo tratamiento, origina efectos negativos, que generan un impacto para el uso del suelo, la producción agrícola y la salud humana, aunque sus efectos negativos sobre la salud se manifiestan a largo plazo ([Doležalová-Weissmannová et al., 2019](#)).

Para resolver estos problemas que se presentan, existen técnicas de tratamiento basadas en la capacidad de diferentes organismos para degradar, extraer o inmovilizar los contaminantes del agua o el suelo. Estas técnicas se denominan Biorremediación y como caso particular al emplear diferentes plantas, Fitorremediación ([Ardizzi, 2018](#)).

La preocupación por tener garantizada la alimentación llevó al hombre a propagar cualquier especie vegetal, en zonas agrícolas cercanas a áreas industrializadas o contaminadas que según [Guzmán et al. \(2019\)](#), es una realidad mundial y Cuba no es una excepción, por lo que es importante estudiar los efectos tóxicos que los diferentes grupos de contaminantes producen en la cadena trófica.

Se establece pues, la necesidad de desarrollar y aplicar metodologías que permitan llevar a cabo, con el mayor grado de precisión posible, el análisis de riesgos.

A pesar de todo lo planteado, existen en Cuba zonas donde por razones diversas no se cumple con la seguridad ambiental que se necesita y la experiencia acumulada no tiene en cuenta lo relativo a los suelos destinados la producción agrícola. Al asumir el reto, la Facultad Agronomía-UNAH, continua las investigaciones relacionadas con los problemas de contaminación por metales pesados en agroecosistemas vulnerables ([Valdés-Carmenate et al., 2017; Guzmán-Morales et al., 2021](#)).

En el presente trabajo se propone: estudiar modelos matemáticos para predecir el comportamiento de las concentraciones de cobalto, plomo y zinc en un suelo agrícola, aledaño al vertimiento de residuos industriales en el municipio San José de las Lajas.

## 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 aledaña al vertimiento de los residuales ([GEOCUBA, 2018](#)). La misma pertenece a agricultores que participan en el Programa de la Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar, del Consejo Popular Jamaica, municipio San José de las Lajas, Mayabeque ([Figura 1](#)), en un suelo clasificado como Ferralítico Amarillento Lixiviado, según [Hernández et al. \(2015\)](#). Las parcelas de cultivos producen hortalizas como: lechuga, tomate y col.

### Estudio de los contenidos de metales pesados en el suelo

Se tomó la serie de datos que corresponden a los valores de 42 muestras de concentración de los

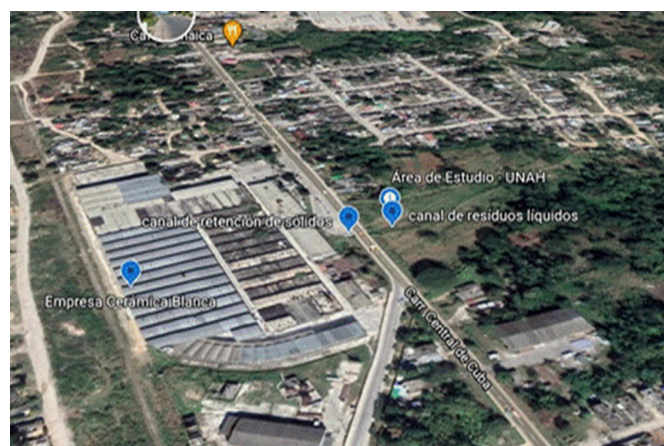


FIGURA 1. Ubicación del área experimental de la investigación.

metales pesados Co, Pb y Zn, desde el año 2005 hasta el año 2018, a partir de los estudios realizados por el grupo Científico FITOPLANT de la Facultad de Agronomía de la UNAH. Los valores fueron comparados con los límites máximos permisibles y los niveles peligrosos para suelo y plantas, propuesto por [Fadigas et al. \(2006\)](#) y [Kabata-Pendias \(2010\)](#).

### Análisis matemático para estimar la descontaminación en el área de estudio por Co, Pb y Zn

Teniendo en cuenta la concentración de los elementos mayoritarios encontrados en los análisis de suelo (Co, Pb y Zn) [Guzmán-Morales et al. \(2021\)](#), se procedió a realizar 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  $Y = a + bx$  según del [Valle-Moreno 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

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.

### Evaluación económica por contaminación con metales pesados en el área estudiada

Se realizó una comparación de los rendimientos de hortalizas producidas en el área agrícola, en la campaña de invierno del año 2020, con datos del año 2018. Para ello, se mantuvo fijo los valores de superficie sembrada (SS), precio del producto y otros gastos, realizando los cálculos sobre pesos cubanos (CUP) y en base a tecnologías de siembra directa en la producción, según [Trujillo et al. \(2010\)](#), los datos del rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) fueron cedidos por el productor del área y para los costos se empleó la información de la Dirección de Contabilidad y Precios del [Minag-Cuba \(2011\)](#).

### Procesamiento estadístico de los datos primarios

Para el análisis de las variables en estudio en todos los casos, se utilizó una estadística descriptiva que incluyó medidas de tendencia central y medidas de dispersión. De igual forma se utilizó Análisis de varianza para la comparación de medias y dócimas de comparación múltiple (Duncan) en caso necesario, se asumió un 99 % de nivel de confianza. Para la organización y procesamiento de la información se utilizó el programa Excel de Microsoft office 2010 y como software estadístico el STATGRAPHICS Plus versión 5.1.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo que las concentraciones de MP en las muestras de suelo contaminado es muy superior a la determinada en el suelo patrón, lo cual se presenta en la [Tabla 1](#).

**TABLA 1.** Concentración de Co, Pb y Zn en el suelo utilizado para el cultivo de la lechuga, col y tomate en condiciones de producción.

Muestras	Co $\pm$ std	Pb $\pm$ std	Zn $\pm$ std
	mg/kg <sup>-1</sup>		
<b>Patrón</b>	15 $\pm$ 4	90 $\pm$ 27	117 $\pm$ 40
<b>Contaminado</b>	20 $\pm$ 38	173 $\pm$ 31	415 $\pm$ 24
<i>VR<sup>a</sup></i>	9	85	140
<i>VI<sup>a</sup></i>	240	530	720
<i>LSP<sup>b</sup></i>	50	100	300
<i>CT<sup>c</sup></i>	25	13	70

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

b- Límite Superior Permisible en suelos.

Valores reportados para la Corteza Terrestre.

El orden decreciente que sigue en aportes de contaminación es  $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Co}$ , con valores de 298, 83 y 36 unidades de diferencias respectivamente entre el suelo contaminado y el suelo patrón, los cuales superan en cada caso el valor de referencia y para los casos de las concentraciones de plomo y zinc, también superan el límite superior permisible, reportado por [Guzmán-Morales et al. \(2021\)](#) como un suelo medianamente contaminado por estos elementos según se reportan en la Normas Holandesas de suelos Swartjes (1999) citado por ([Guzmán et al., 2019](#)).

Es importante el análisis de esta situación que se presenta en el área, porque ello evidencia la concentración de elementos presentes en estos suelos a pesar de la distancia a la que se encuentran de la fuente de contaminación, lo que corrobora los resultados de trabajos anteriores que analizan el agroecosistema según [Guzmán-Morales et al. \(2021\)](#)

donde se planteaba que los elementos detectados como contaminantes relacionados directamente con los desechos provenientes de la Empresa Cerámica Blanca, aumentan en profundidad y distancia.

Todos estos resultados tienen una influencia química-biológica sobre los cultivos que se producen en estas áreas ya que como se puede comprobar los valores inciden en la inocuidad de los alimentos que en estas áreas se producen [Muñiz et al. \(2015\)](#); [Gaceta Oficial de la República de 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 los cultivos.

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

En la [Figura 2](#) 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.

Lo resultados que se obtienen para el Co y el Zn, junto con el Pb caracterizan al área como medianamente contaminada y estos dos primeros metales ya están desde el año 2019 disminuyendo sus contenidos, sin embargo, el Pb no es hasta después del año 2025 que comienza a disminuir por debajo de los límites permisibles y los valores de intervención que identifican las acciones negativas de estos elementos sobre la salud humana.

En el caso del Pb, su disminución está en dependencia del volumen productivo de la empresa, ya que este elemento se encuentra mayoritariamente en los pigmentos que inciden en la coloración del acabado de los artículos sanitarios, que se producen (información obtenida según reporte de la empresa valorada como fuente de contaminación [INV-Cuba \(2021\)](#), que en su mayoría son de color blanco, lo que concuerda, además, con lo reportado por [Alarcón et al. \(2015\)](#).

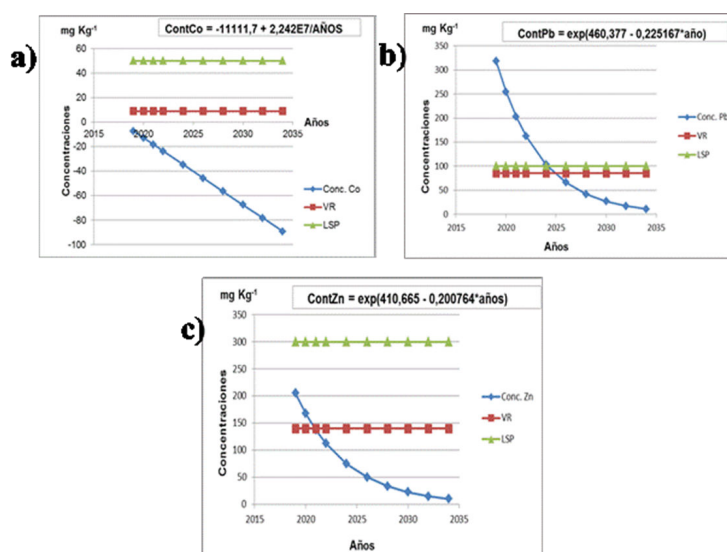
Por todo este análisis realizado se puede concluir que estas zonas dedicadas a cultivos de hortalizas, deben permanecer al menos de 10 años sin ser utilizadas con estos fines, debido a que su uso atenta contra la seguridad alimentaria de la localidad por producir vegetales no inocuos, según el Decreto Ley No.9 (2020) ([Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2020](#)).

Lo expuesto se debe tener en cuenta ya que, según [Alloway \(2012; 2013\)](#), uno de los problemas más graves que presenta la contaminación por metales pesados es el tiempo de vida media de los mismos, que va desde 15-5 900 años dependiendo del metal. Este autor plantea que por ejemplo para el caso del plomo (Pb) oscila entre 310 a 1 500 años; por lo que los efectos por acumulación son más drásticos que los producidos por la contaminación ocasionada en un momento puntual.

### Valoración económica de los impactos por contaminación con MP en los rendimientos de hortalizas en el área agrícola

A partir del análisis presentado se estima el valor ambiental del daño en términos monetarios.

En la [Tabla 2](#) se presentan los resultados de los rendimientos obtenidos en dos campañas de



**FIGURA 2.** Modelos matemáticos ajustados para la predicción de la descontaminación por MP en el área en estudio. Líneas de tendencia (color azul), Valor de referencia (color rosado), Límites superior permisible (color rojo) al 99 % del nivel de confianza (a-Cobalto, b-Plomo y c-Zinc).

**TABLA 2.** Comparación de los rendimientos de hortalizas en el año 2018 y 2020 en el área cultivada próxima a la Empresa Cerámica Blanca.

Cultivos	Rendimiento (kg/ha <sup>-1</sup> )		Precio (\$/kg <sup>-1</sup> )	Producción Mercantil (\$/ha <sup>-1</sup> )		Pérdida (\$/ha <sup>-1</sup> )
	2018	2020		2018	2020	
Tomate	12 500	10 000	17	212 500	170 000	42 500
Col	16 500	12 500	7	115 500	87 500	28 000
Lechuga	6 500	5 000	7	45 500	35 000	10 500
Total				373 500	292 500	81 000

producción de los cultivos y se valoran las pérdidas obtenidas por la presencia de los metales pesados en el área.

Las mayores pérdidas productivas entre los años evaluados fueron en el cultivo de la col, con 4 000 kg ha<sup>-1</sup> de diferencia, seguida del tomate y la lechuga, incidiendo esto en sus pérdidas económicas.

Las pérdidas del rendimiento, pueden estar dadas porque, aunque los MP evaluados son microelementos esenciales para las plantas según [Aminiyan-Mirzaei et al. \(2018\)](#), se conoce que en concentraciones elevadas pueden causar reducción en el crecimiento radicular y en la frecuencia de células mitóticas, una disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, sin mostrar signos de toxicidad visible. Esta situación concuerda con [Malpeli \(2018\)](#), quien plantea que las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos.

Si en el año 2020 el productor presentó pérdidas estimadas en 81 000 \$/ha<sup>-1</sup>, pudiera inferirse que para el año 2028 las pérdidas alcanzarán aproximadamente un valor total que equivale a 147 272 \$/ha<sup>-1</sup> aproximadamente en cada campaña, como plantean [Coronel y Marcelo \(2018\)](#) trabajando con dos hortalizas de consumo directo, brócoli y cebolla blanca.

Sin embargo, este análisis económico, más que las pérdidas monetarias, que son importantes para los propietarios, insiste en el hecho de la preocupación que las autoridades locales deben tener, ya que esta parcela como muchas otras según [ONEI-Mayabeque-Cuba \(2019\)](#), tienen la debida autorización por la Delegación de Agricultura Urbana y los Consejos de las Administraciones Municipales [Alarcón et al. \(2015\)](#); [NC 493 \(2015\)](#), para la comercialización de los productos excedentes de la parcela, en los puntos de venta establecidos para ello.

En consecuencia, la excesiva acumulación de metales pesados en los suelos, conlleva una elevada absorción de los mismos en los cultivos, más acentuado en los cultivos de hortalizas y por lo tanto afecta la seguridad y calidad de los alimentos según [FAO-OMS \(2010\)](#); [Soto-Benavente et al. \(2020\)](#), y su consumo puede provocar que la ingesta de sustancias tóxicas en el cuerpo humano, no se manifiesten

inmediatamente, pero si en varios años dependiendo de la exposición [Díaz-García & Almeida-Maldonado \(2018\)](#), por lo que se estaría incurriendo en incumplir con el [Decreto Ley No. 9 \(2020\)](#) según la [Gaceta Oficial de la República de Cuba \(2020\)](#) sobre la inocuidad de los alimentos.

Por lo tanto se considera, que la evaluación del riesgo de transferencia de contaminantes a la cadena trófica, su acumulación en el fruto agrícola y los efectos tóxicos sobre la salud animal y humana, debe constituir uno de los objetivos a priorizar por el Ministerio de la Agricultura y otras entidades de la OACE (MINSAP, MINDUS, MINEM) para la toma de decisiones según [Alarcón et al. \(2015\)](#); [NC 493 \(2015\)](#); ya que aún existen zonas agrícolas cercanas a fuentes contaminantes que constituyen una amenaza para la seguridad alimentaria, debido a la insuficiencia en el tratamiento de los residuales que llegan a las aguas subterráneas o por el abandono de metales tóxicos en el ambiente que contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos ([Valdés- Carmenate et al., 2017](#); [Bünemann et al., 2018](#)).

## CONCLUSIONES

La inclusión de los modelos matemáticos en estudios de contaminación, permitió evaluar áreas agrícolas contaminadas con metales pesados y definir el momento a partir del cual los suelos pudieran estar aptos para la producción agrícola con objeto de consumo, evidenciándose que los mismos no deben emplearse con fines agrícolas (al menos para cultivar hortalizas) en los próximos 10 años.

La valoración económica relacionada con el rendimiento agrícola de los cultivos, evidenció que los productores pueden llegar a tener pérdidas de aproximadamente 147 272 \$/ha<sup>-1</sup> en cada campaña.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, S.O.A.; GRANA, S.A.L.; CARMENATE, V.R.; GOICOCHEA, B.C.A.: "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 Science & Business Media, vol. 22, 2012, ISBN: 94-007-4470-6.
- ALLOWAY, B.J.: "Heavy Metals in Soils", En: Ed. Springer Netherlands, 3.a ed., Netherlands, p. 613, 2013, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-s007-4470-7>, ISBN: 978-94-007-4469-1.
- AMINIYAN-MIRZAEI, M.; BAALOUSHA, M.; MOUSAVI, R.; AMINIYAN-MIRZAEI, F.; CANCHIGNIA MARTÍNEZ, H.; HEYDARIYAN, A.: "The ecological risk, source identification, and pollution assessment of heavy metals in road dust: a case study in Rafsanjan, SE Iran", *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14): 13382-13395, 2018, ISSN: 0944-1344.
- ARDIZZI, M.G.: *La biorremediación aplicada a la rehabilitación de suelos contaminados con hidrocarburos*, Editores: Lucrecia Brutti-Marcelo Beltrán-Inés García de Salamone ed., 137 p., 2018.
- BÜNEMANN, E.K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R.E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T.; MÄDER, P.: "Soil quality-A critical review", *Soil biology and biochemistry*, 120: 105-125, 2018, ISSN: 0038-0717.
- CEPAL, N.: *Informe anual sobre el progreso y los desafíos regionales de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe*, Inst. CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, Chile, publisher: CEPAL, 2017.
- CEPAL, N.: *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], Inst. CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, Chile, 2021, Disponible en: <https://foroale2030.Cepal.org/2021/es/>.
- CORONEL, S.; MARCELO, O.: *Determinación de metales pesados y pérdidas poscosecha en dos hortalizas de consumo directo brócoli (Brassica oleracea Italica) y cebolla blanca (Allium fistulosum)*, UCE, Bachelor's thesis, Quito, Ecuador, publisher: Quito: UCE, 2018.
- DEL VALLE-MORENO, J.; GONZÁLEZ-VIERA, D.; RAFAEL-PEÑA, L.; SÁNCHEZ-ALTUNAGA, O.R.; DELGADO-TORRES, C.: "Efecto de las variables climáticas sobre el rendimiento agrícola del arroz (Oryza sativa L.)", *Ingeniería Agrícola*, 12(1): 29-33, 2022, ISSN: 2306-1545, E-ISSN-2227-8761.
- DÍAZ-GARCÍA, J.D.; ALMEIDA-MALDONADO, E.: "Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión", *Revista Colombiana de Nefrología*, 5(1): 43-53, 2018, ISSN: 2500-5006, DOI: <http://dx.doi.org/10.22265/acnef.5.2.254>.
- DOLEŽALOVÁ-WEISSMANNOVÁ, H.; MIHOČOVÁ, S.; CHOVANEC, P.; ARISTA-CORTES, 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 J.; SOBRINHO, N.M.B.; 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.
- FAO-OMS: *Codex Alimentarius Commission on contaminants in foods*, [en línea], Inst. Food and Agriculture Organization of the United World Health Organization, Twelfth Session Report, Utrecht, The Netherlands, 169 p., 2010, Disponible en: <https://goo.gl/XqGcyo>.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA: *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Ley 124 de 2017 de Asamblea Nacional del Poder Popular*, Ley 124 de 2017 de Asamblea Nacional del Poder Popular, Gaceta Oficial No. 51, ISSN: 1682-7511, La Habana, Cuba, 2017.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA: *Inocuidad de los Alimentaria*, Inst. Ministerio de Justicia. Gaceta Oficial No. 76 ordinaria, 30 de octubre de 2020, Decreto Ley 9/2020 "Inocuidad de los Alimentaria" (GOC-2020-675-076) ISSN 1682-7511, La Habana, Cuba, 2020.
- GEOCUBA: *Municipio San José de la Lajas. Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba*, [en línea], Inst. GEOCUBA, La Habana, Cuba, 2018, Disponible en: <http://www.iderc.co.cu/phpGeodic>.
- GOYA-HEREDIA, A.; ZAFRA-MEJÍA, C.A.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.P.: "Tendencias metodológicas en la evaluación del grado de contaminación y de riesgos por metales pesados presentes en sedimentos viales urbanos", *Revista UIS Ingenierías*, 19(4): 133-148, 2020, ISSN: 2145-8456.
- GUZMÁN, M.A.; CRUZ, O.; VALDÉS, R.: "Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. RCTA Vol. 28(1): enero-febrero-marzo, 2019 Formato papel: ISSN 1010-2760. Versión en soporte elect", *Revista*

- Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), 2019, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- GUZMÁN-MORALES, A.R.; ORIOL-VÁZQUEZ, P.; CRUZ LA PAZ-, O.; ALLEN, R.G.; VALDÉS-HERNÁNDEZ, P.: “Fitotecnología para la recuperación de agroecosistemas contaminados con metales pesados por desechos industriales”, *Centro Agrícola*, 48(3): 43-52, 2021, ISSN: 0253-5785.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Ed. Ediciones INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 93 p., 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- INV-CUBA: *I Informe nacional Voluntario, CUBA 2021. Agenda 2030\_NNUU*, INV-Cuba, 124pp., 2021.
- KABATA-PENDIAS, A.: “Trace Elements in Soils and Plants”, En: Ed. CRC Press, 4.a ed., p. 407, 2010, DOI: <http://dx.doi.org/10.1201/b10158>, ISBN: 978-1-4200-9368-1.
- MALPELI, A.: “Contribución de la dieta a la exposición al plomo de niños de 1 a 7 años en La Plata”, *Encuentro de Centros Propios y Asociados de la CIC*, 1, 2018, Disponible en: <https://digital.cic.gba.gov.ar/handle/11746/8689>
- MINAG-CUBA: *Productos de hortalizas. Manual de fichas de costos tecnológicos para la elaboración del Plan 2012 de la Economía.*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Dirección de Contabilidad y Precios, La Habana, Cuba, 66 p., 2011.
- MUÑIZ, O.; RODRÍGUEZ, M.; MONTERO, A.; ÁLVAREZ, J.E.; AGUIAR, A.; ARAUJO DO NASCIMENTO, C.: “El níquel en suelos y plantas de Cuba”, *Cultivos Tropicales*, 36(5 Esp.), 2015.
- NC 493: 2015: *Contaminantes metálicos en alimentos-Regulaciones sanitarias*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, Norma Cubana, La Habana, Cuba, 2015.
- ONEI-MAYABEQUE, CUBA: *Anuario Estadístico de Cuba, Anuario Estadístico de Mayabeque 2018, [en línea]*, Inst. Oficina Municipal de estadística e información en Mayabeque, 2012-2018, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2019, Disponible en: <http://www.one.cu/aed2018/>.
- SOTO-BENAVENTE, M.; RODRIGUEZ-ACHATA, L.; OLIVERA, M.; AROSTEGUI SANCHEZ, V.; COLINA NANO, C.; GARATE QUISPE, J.: “Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana”, *Scientia Agropecuaria*, 11(1): 49-59, 2020, ISSN: 2077-9917.
- TRUJILLO, C.; CUESTA, E.; DÍAZ, I.; PÉREZ, R.: “Economía Agrícola para las carreras de Agronomía e Ingeniería Agropecuaria”, *Editorial Félix Varela. La Habana. Cuba*, 2010.
- VALDÉS- CARMENATE, R.; BENAVIDES, O.; BALBÍN-ARIAS, M.I.; GURIDI-IZQUIERDO, F.; GUZMÁN-MORALES, A.R.; MESA-PÉREZ, M.A.; MILANÉS-ALARCÓN, F.; KAEMMERER, M.; SÁNCHEZ, J.M.: “Fitogestión (FITOG-MP): tecnología para recuperar áreas contaminadas con metales pesados”, *Anuario Ciencia en la UNAH*, 15(1), 2017.

Ambar Rosa Guzmán-Morales. Dr.C., Prof. Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Grupo Científico FITOPLANT, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [ambar@unah.edu.cu](mailto:ambar@unah.edu.cu)

Deborah González-Viera. Dr.C., Inv. Auxiliar, Departamento Manejo de Agroecosistemas Sostenibles, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Carretera a Tapaste km 3.5 Gaveta Postal 1, CP 32 700. San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba. Tel: (53) 47 86 1273. e-mail: [deborah@inca.edu.cu](mailto:deborah@inca.edu.cu)

Orestes Cruz-La Paz. Dr.C., Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Grupo Científico FITOPLANT, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [orestes@unah.edu.cu](mailto:orestes@unah.edu.cu)

Ramiro Valdés-Carmenate. Dr.C., Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Grupo Científico FITOPLANT, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [ramiro@unah.edu.cu](mailto:ramiro@unah.edu.cu)

Pedro Antonio Valdés-Hernández. Dr.C., 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: [pppvaldes1968@gmail.com](mailto:pppvaldes1968@gmail.com)

Saturnina Mesa-Rebato. Dr.C., Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [satur@unah.edu.cu](mailto:satur@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](mailto:mayra@unah.edu.cu)

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

**CONTRIBUCIONES DE AUTOR:** **Conceptualización:** A. Guzmán. **Curación de datos:** A. Guzmán, D. González. **Análisis formal:** A. Guzmán, D. González. **Investigación:** A. Guzmán, D. González, O. Cruz, R. Valdés, P. Valdés, S. Mesa, M. Arteaga. **Metodología:** A. Guzmán. **Supervisión:** O. Cruz, D. González. **Validación:** A. Guzmán. **Redacción, borrador original:** A. Guzmán, D. González, P. Valdés. **Redacción-revisión y edición:** A. Guzmán, R. Valdés S. Mesa, M. Arteaga.

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.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)