

Glenny López-Rodríguez¹, Pedro Antonio Núñez-Ramos¹, Isidro Almonte¹, Carmen Vargas¹, Ynette E. Valdez C.^{2,3} y Marco Pérez García⁴

¹Investigadores del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF); ²Asistente de Proyecto Metales Pesados, IDIAF-FONDOCYT Código: 2020-2021-2D5-022; ³Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), Recinto La Vega, República Dominicana. ⁴Presidente, Instituto Dominicano de Minería, IDOMIN, República Dominicana. *Emails de correspondencia: glopez@idiaf.gov.do; pnunez@idiaf.gov.do

INTRODUCCIÓN

Los mapas de distribución espacial de metales pesados (DEMP) en suelos son herramientas útiles para visualizar y analizar los niveles de concentración de metales pesados en diferentes áreas. Estos mapas pueden ayudar a identificar las zonas más contaminadas y prioritarias para la remediación de suelos (Delgado et al., 2018). En ese sentido, la toma de decisiones para el manejo de contaminantes requiere la localización de los sitios de mayor contaminación, mediante la elaboración de mapas de DEMPS de los elementos potencialmente tóxicos (EPT).

La DEMPS se puede estudiar mediante un muestreo, el cual consiste en recolectar muestras superficiales y profundas, luego analizarlas utilizando estándares de calidad ambiental (ECA) de suelos (SINIA, 2017). Si los resultados superan los valores del ECA y/o los valores de fondo, se determina que el suelo está contaminado (Chira-Fernández, 2021).

El objetivo de este trabajo fue: **Analizar la distribución espacial de cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr) y plomo (Pb) presentes en suelos dedicados a la producción hortícola del Valle de Constanza, República Dominicana.**

MATERIALES Y MÉTODOS

La distribución espacial se llevó a cabo en una zona con una extensión superficial de 53.83 Km², dentro de la región geomorfológica del Valle de Constanza, ubicado en la Cordillera Central de la República Dominicana, a unos 1.200 msnm. La zona muestreada representa un 6.39 % del área total ocupada por el Valle de Constanza (área total de 841.78 km²).

El estudio consistió en la recolección de doce suelos, provenientes de sistemas de producción con cultivos como: pimiento (*Capsicum annuum*), pepino (*Cucumis sativus*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), bajo condiciones controladas y nueve hortalizas a campo abierto, en los que se incluyeron: fresa (*Fragaria x ananassa*), ajo (*Allium sativum*), apio (*Apium graveolens*), lechuga (*Lactuca sativa*), papa (*Solanum tuberosum*), brócoli (*Brassica oleracea var. italica*), repollo (*Brassica oleracea var. capitata*), zanahoria (*Daucus carota*), cebolla (*Allium cepa*).

Se realizó un muestreo de suelos, a una profundidad de 0-30 cm en siete puntos de muestreo por predio, usando barreno tipo Edelman® (Figura 1).



Figura 1 Muestreo de suelos en sistemas dedicados a la producción de hortalizas en condiciones controladas y a campo abierto en Constanza, República Dominicana.

Las muestras de suelo fueron analizadas en laboratorio, donde se determinó las concentraciones de Cd, Cu, Cr y Pb, a través de, Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).

En la elaboración del Mapa de Distribución Espacial (MDE), se utilizó la versión del software para PC de la empresa Golden Software, llamado Surfer® (Ver 27.1.229, Feb 2024). Además, se utilizó una tabla con las coordenadas UTM (Datum WGS84, Zona o Huso 19N), de latitud (UTM Norte) y Longitud (UTM Este), identificando los puntos de muestreo, los valores de los resultados de los análisis de los metales solicitados y el tipo de cultivo asociado a cada suelo muestreado.

Se aplicó el método de Krigging (método geoestadístico) a la tabla de las muestras con coordenadas y valores geoquímicos, y se obtuvo un mapa tipo grid (mallado), que permitió obtener un mapa de curvas isocómicas, las mismas unen de forma probabilística todos los puntos con igual valor; arrojando un modelo de continuidad de valores, basado en muestras discretas, el cual permite el establecimiento de patrones de distribución de los elementos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenidos de metales pesados (Cd, Cu, Cr, y Pb) en suelos de producción hortícola de Constanza

Los valores mínimos y máximos para indicar la presencia de MP en los metales evaluados (Cd, Cu, Pb y Cr) en suelos agrícolas (hortícolas), oscilaron entre 0.10-0.33, 38.10-193.00, 1.00-12.00 y 2.23-308.00 mg/ kg, respectivamente. Por lo que, el contenido promedio (en mg/kg) de los metales pesados en este análisis sigue la secuencia Cd<Pb<Cu<Cr. De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 1, los valores promedios de Cu (104.15 mg/kg) y Cr (159.64 mg/kg) superaron los límites máximos permitidos (LMP) indicados en las normas internacionales.

Tabla 1 Concentraciones de cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr) y plomo (Pb) (en mg/kg) en suelos dedicados a la producción de hortalizas en Constanza, República Dominicana.

Variable	n	Media (mg/ kg o ppm)	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx
Cadmio (Cd)	12	0.18	0.08	0.02	42.27	0.10	0.33
Cobre (Cu)	12	104.15	44.77	12.92	42.98	38.10	193.00
Cromo (Cr)	12	159.64	107.18	30.94	67.14	2.73	308.00
Plomo (Pb)	12	3.25	3.19	0.92	98.29	1.00	12.00

n= número de muestras estudiadas; D.E.= desviación estándar; E.E.= error estándar; C.V.= coeficiente de variación; Mín/Máx valores mínimos y máximos.

El valor promedio de Cu se puede considerar alto cuando se compara con el contenido promedio de los suelos en el mundo, el cual equivale a 25 mg/kg (Koljonen, 1992, citado por Salminen et al., en el Atlas Geoquímico de Europa). Sin embargo, en la norma nacional (Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana), el valor promedio de Cr se encontró por debajo del LMP (Tabla 2).

Tabla 2 Concentraciones máximas aceptables de (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr) y plomo (Pb), metales pesados fitotóxicos en suelos agrícolas.

Norma	LMP ⁽¹⁾ : Metales Pesados Suelos Agrícolas (mg/kg o ppm)			
	Cadmio (Cd)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Plomo (Pb)
US-EPA- Estados Unidos ⁽²⁾	0.5	25	130	100
CETESB-Brasil ⁽³⁾	-	30	100	20
Perú ⁽⁴⁾	1.4	160	-	70
Norma Canadá ⁽⁵⁾ CSQG*	1.4	63	64	70
Normativa Suiza	-	50	75	50
Tabla Holanda	-	50	100	85
Ecuador ⁽⁶⁾	0.5	30	20	25
Unión Europea (máximo) ⁽⁷⁾	3	140	300	300
Austria	5	100	100	100
Polonia	3	100	100	100
Alemania (BBodSchV) [†]	2	50	200	500
Gran Bretaña	1	200	50	1000
Hydrexabad- India	-	35	35	20
Holanda, valor referencia	0.8	36	100	85
Madrid, España	0.84	34	66	76
Real Decreto 1051/2022 (pH suelo < 7)	1	50	-	50
Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004	37	-	280	400
Australia (NEPM) ^{**}	2	100	-	300
Norma local: MARN ^{***}	1-3	50-100	100-250	100-200

Fuente: (1) LMP= Límite Máximo Permisible. (2) Soil Guideline Department Environmental Agency de Estados Unidos. (3) Environment Agency of Sao Paulo, Brazil. (4) Ministerio del Ambiente (MINAM), Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas. (5) Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) 2007. *CSQG: Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health, concentración máxima permitida en suelos agrícolas. (6) MAE: Norma de la Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para suelos contaminados. (7) Unión Europea, Marzo 2017. +Bundes-Bodenschutzverordnung. **Guías Nacionales de Calidad Ambiental (National Environmental Protection Measures). **MARN= Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales. Rep. Dom.: Norma Ambiental sobre Calidad de Aguas Subterráneas y Descargas al Subsuelo Kabata-Pendias y Pendias, 1992. Belmonte et al., 2010; Brizuela y Jiménez, 2012).

Mapas de distribución espacial de Cd, Cu, Cr y Pb en Constanza

La distribución espacial de los metales Cd, Cu, Cr y Pb, se representan en los mapas geoquímicos indicados en la figura 2.

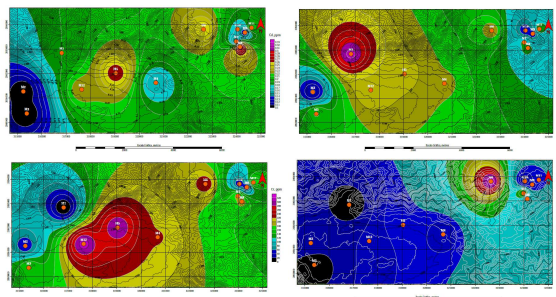


Figura 2 Mapa de distribución espacial del cadmio (Cd, superior izq.), cobre (Cu, superior der.), cromo (Cr, inferior izq.) y plomo (Pb, inferior der.) en suelos hortícolas de Constanza República Dominicana.

Las curvas isocómicas representadas en estos mapas revelan los aportes contaminantes para cada uno de estos elementos. De acuerdo a las curvas isocómicas del Cd, se consideran valores relativamente altos aquellos suelos con contenidos superiores a 0.20 ppm o mg/kg, con zonas superiores a los 0.30 mg/kg (figura 2). Esto indica que por lo menos es necesario valorar el 40.20 % del área cartografiada, debido a que presenta valores entre 0.20-0.33 mg/kg. Tomar en cuenta que muchos de los metales pesados pueden acumularse en animales, plantas y seres humanos.

CONCLUSIÓN

Las concentraciones de Cd, Cr, Cu y Pb, no alcanzan todavía los límites de toxicidad perniciosos para la salud (de acuerdo a la lista presentada en la tabla 2), es importante tomar medidas inmediatas para evitar la acumulación de los metales en suelos y productos vegetales en los próximos años.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCYT), a través del Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDOCYT) por el financiamiento del proyecto bajo el código: 2020-2021-2D5-022.

BIBLIOGRAFÍA

Delgado, C., Israde Alcántara, I., Bautista, F., Gogichavili, A., Márquez, C., Cejudo, R., ... & González, I. (2018). Distribución Espacial De Fe, Li, Pb, Mn, V, Zn En Suelos Urbanos De Morelia, Michoacán, México. Revista internacional de contaminación ambiental, 34(3), 427-440. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992018000300427&script=sci_arttext

Chira Fernández, J. E. (2021). Dispersión geoquímica de metales pesados y su impacto en los suelos de la cuenca del río Mantaro, departamento de Junín-Perú. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 24(47), 47-56. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/igeo/article/view/20643/16779>

Koljonen, T. (ed): Geochemical atlas of Finland. Geol Survey Finland, Espoo, p.2 Till 218.

SINIA. (2017). Estándares de Calidad Ambiental para suelo. Ministerio del Ambiente- D.S. N°011-2017-MINAM. Decreto Supremo 0011/2017 - Estándares de Calidad Ambiental, 12. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>