



Contaminación por cadmio en la producción intensiva de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Cadmium contamination on potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in intensive production

Thaylin Riopedre Galán¹, Ramiro Valdés Carmenate², Fernando Guridi Izquierdo²,
Jorge Corbera Gorotiza^{1*}, Yakelin Rodríguez Yon¹

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

²Universidad Agraria de la Habana (UNAH), Autopista Nacional km 23 1/2 y carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

RESUMEN: El cadmio (Cd) es un elemento sin función biológica conocida para las plantas, animales y el hombre, sin embargo, por su semejanza química con otros elementos esenciales puede ser absorbido por las plantas y de esta manera entrar a la cadena trófica provocando daños severos. El cultivo de la papa es conocido por ser hiperacumulador de Cd y otros metales pesados, por lo que representa un riesgo para la cadena trófica que esta planta se cultive en áreas contaminadas por estos elementos. Por esa razón, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la concentración de Cd en papa para el consumo, procedentes de dos unidades en producción intensiva, como posibles factores de riesgo para la cadena trófica y el medio ambiente. Para ello se evaluó, a partir de muestreos aleatorios, la concentración de Cd, en el suelo, el propágulo (semilla agámica), la planta y el tubérculo producido de papa para el consumo. Como resultado se pudo observar contaminación, ya que las concentraciones de Cd en las diferentes muestras evaluadas sobrepasaron los límites máximos permisibles debido, fundamentalmente, al uso de la tecnología del cultivo en Cuba, con numerosas aplicaciones de plaguicidas, de forma preventiva al cultivo y elevadas dosis de fertilizantes. Aunque también, esta contaminación pudo haber sido influenciada por varias fuentes contaminantes de los sitios estudiados, como fueron: la quema de caña de azúcar de áreas colindantes, la existencia de un vertedero de residuos sólidos cerca del campo y la cercanía de carreteras de alto tráfico vehicular. A partir de los resultados, se propuso un Sistema de Vigilancia Tecnológica que permitirá mitigar los riesgos en los agroecosistemas que resultaron contaminados con Cd.

Palabras clave: metales pesados, contaminantes, toxicidad, vigilancia de contaminantes.

ABSTRACT : Cadmium (Cd) is an element with no known biological function for plants, animals and man, however, due to its chemical similarity with other essential elements, it can be absorbed by plants and thus enter the food chain, causing severe damage. Potato cultivation is known to be a hyperaccumulator of Cd and other heavy metals, so it represents a risk for the food chain if this plant is grown in areas contaminated by these elements. For this reason, the objective of this research was to evaluate the concentration of Cd in potatoes for consumption, from two units in intensive production, as possible risk factors for the food chain and the environment. For this, the concentration of Cd was evaluated in the soil, the propagule (agamic seed), the plant and the potato tuber produced for consumption. As a result, contamination could be observed, since the concentrations of Cd in the different samples evaluated exceeded the maximum permissible limits, mainly due to the use of cultivation technology in Cuba, with numerous applications of pesticides, preventively to the cultivation and high doses of fertilizers. Although this contamination could also have been influenced by various contaminating sources of the studied sites, such as: the burning of sugarcane in neighboring areas, the existence of a solid waste dump near the field and the proximity of roads with high vehicular traffic. Based on the results, a Technological Surveillance System was proposed that will mitigate the risks in the agroecosystems that were contaminated with Cd.

Key words: Heavy metals, contaminant sources, toxicity, Technological Surveillance System.

*Autor de correspondencia: jcorbera@inca.edu.cu

Recibido: 05/07/2023

Aceptado: 20/01/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización-** Ramiro Valdés Carmenate, Fernando Guridi Izquierdo, Thaylin Riopedre Galán. **Investigación-** Thaylin Riopedre Galán, Ramiro Valdés Carmenate, Fernando Guridi Izquierdo. **Supervisión-** Ramiro Valdés Carmenate, Fernando Guridi Izquierdo. **Escritura del borrador inicial-** Thaylin Riopedre Galán, Yakelin Rodríguez Yon. **Escritura y edición final-** Jorge Corbera-Gorotiza, Yakelin Rodríguez Yon. **Curación de datos-** Thaylin Riopedre Galán, Jorge Corbera-Gorotiza, Yakelin Rodríguez Yon.

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/>



INTRODUCCIÓN

Se define como metales pesados a aquellos que son tóxicos para la salud y el medio ambiente, estos al entrar al contacto dañan la salud y el ambiente donde se encuentran. Los metales más tóxicos son: plomo, mercurio, cadmio y arsénico. Estos metales pesados se encuentran en el material parental de la tierra. (1). Los metales pesados como plomo, cadmio, cromo, zinc y mercurio, entre otros, son liberados hacia los ecosistemas acuáticos, así como a los suelos, principalmente, debido a diversas actividades antropogénicas y presentan una seria amenaza para las plantas, animales e incluso los humanos, debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su toxicidad, incluso a bajas concentraciones (2).

La contaminación por metales pesados, desde hace algún tiempo, ha despertado particular interés en los investigadores del mundo, fundamentalmente, por los daños que pueden causar a la salud humana y animal. Diversos han sido los estudios que abordan el tema, debido al riesgo que esto implica para la cadena trófica, más aún cuando las causas de contaminación de los suelos y las aguas pueden ser varias, desde el uso excesivo de productos químicos hasta la influencia de aerosoles procedentes de vehículos de motor, e incendios (3). Esto implica que algunas plantas, incluso de interés agrícola, hayan desarrollado mecanismos evolutivos que le permiten subsistir en estas condiciones estresantes, incluso remover grandes cantidades de estos elementos del suelo, a estas plantas se les conoce como acumuladoras o hiperacumuladoras de metales pesados (4,5). Entre este tipo de plantas se encuentra la papa (*Solanum tuberosum* L.) como hiperacumuladora de Cd y Cr (8,9).

El estado cubano invierte cada año cuantiosos recursos financieros en el cultivo de la papa, ya que requiere una tecnología de altos insumos y agroquímicos para lograr rendimientos aceptables en condiciones tropicales, para ello, se destinan los suelos más productivos (10) que, en ocasiones, pueden estar afectados por fuentes contaminantes. La planta de papa puede acumular en los tubérculos: 0,021 mg kg⁻¹ de Cd; aunque también puede almacenar otros elementos metálicos como Cu, Pb, Ni y Zn (8). El Cd no se le puede encontrar puro en el ambiente, se le encuentra en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos de zinc, plomo y cobre (8). Aunque su presencia en la naturaleza es mínima, oscila entre 0,1 - 0,5 mg kg⁻¹ de la corteza terrestre, su presencia en el organismo es de 10 y 30 años, ocasionando una gran variedad de efectos negativos en el ser humano (9).

No es un elemento esencial para las plantas, los animales ni el hombre, pero al tener semejanza química con otros elementos puede entrar a la planta a través de transportadores en común. Su efecto en las plantas está dado por que interfiere en la entrada y transporte de nutrientes, ocasionando reducción de Mn, Zn, Cu, Fe y Ca en raíz, tallo y hojas (10).

Es por ello que la presente investigación se trazó como objetivo: evaluar la concentración de Cd en el suelo, el

propágulo (semilla), la planta y el tubérculo de papa en producción intensiva, en dos unidades productivas del municipio Güines, en la provincia Mayabeque, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y caracterización de los sitios de estudio

La presente investigación se realizó en la Empresa de Cultivos Varios "Miguel Soneira Ríos", de la provincia Mayabeque, Cuba, en dos unidades productivas del municipio Güines, la CPA (Cooperativa de Producción Agropecuaria) "Amistad Cubano-búlgara" y la Granja "El Marqués", ubicada en el poblado Río Seco. Estos sitios se han dedicado a la producción de cultivos varios desde hace muchos años y poseen suelos del tipo Ferralítico Rojo. La CPA colinda con la carretera Güines- Melena del Sur, de alto tráfico vehicular y está ubicada en las coordenadas 22°50'47.04" de latitud norte y los 82°0.3'45.03" de longitud oeste y la Granja colinda con otras unidades agropecuarias, pertenecientes al Ministerio de la Agricultura y AZCUBA, la zona aledaña es históricamente cañera donde se observó que algunos bloques fueron quemados y que a pocos metros del campo en estudio se ubica el vertedero de basura doméstica del poblado. Esta área se encuentra ubicada geográficamente, entre las coordenadas 22° 47' 53" de latitud norte y los 81° 58' 45" de longitud oeste.

En ambos lugares la producción agrícola es de tipo intensiva, con máquinas de pivote central. Es importante señalar que en nuestro país se establece un paquete tecnológico para este cultivo (8) que hace uso de grandes cantidades de productos químicos, los cuales el estado cubano prioriza cada año para lograr altos rendimientos que satisfagan la demanda del país. El paquete tecnológico se puede conocer al consultar el historial de campo del especialista fitosanitario.

En estas áreas de producción se empleó la metodología para el Diagnóstico Agroecológico de áreas con posible riesgo de contaminación (2), para ello se realizaron talleres con especialistas fitosanitarios, especialistas del cultivo de la papa y otros actores sociales involucrados, haciendo uso también del Método de Acción-Participación, posteriormente, se procedió a realizar una matriz DAFO (12) con los resultados de los talleres.

Muestras y análisis realizados

Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente y maceradas, mientras que las de tejido vegetal se secaron en estufa a 80 °C durante 3 días, hasta alcanzar una masa constante. Posteriormente, se realizaron las digestiones descritas en la Tabla 1 y luego se procedió a la determinación de la concentración de Cd, utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica de llama (Spectrometer-NovAA 350, Analytik jena), en el Laboratorio de Fisiología del Instituto de Ciencia Animal (ICA), ubicado en Catalina de Güines, Mayabeque, Cuba.

Tabla 1. Descripción de la toma de muestras (tratamientos) y técnicas analíticas empleadas

Muestras	Forma de muestreo	Momento del muestreo	Técnica analítica para la digestión.
Suelo	Aleatoria, tomando 5 muestras por cuadrante para un total de 20 muestras	Antes de la plantación y después de la cosecha	Extracción con agua regia (6 mL de ácido nítrico y 2 mL de ácido clorhídrico) (13)
Propágulo (semilla)	Aleatoria, tomando 5 muestras directamente del almacén de semilla para un total de 20 muestras	Antes de la plantación	Digestión húmeda: (HNO ₃ y HClO ₄) (3:1 v/v) (14)
Planta (parte aérea)	Aleatoria, tomando 5 muestras por cuadrante para un total de 20 muestras	En la cosecha	Digestión húmeda: (HNO ₃ y HClO ₄) (3:1 v/v) (14).
Tubérculo	Aleatoria, tomando 5 muestras por cuadrante para un total de 20 muestras	En la cosecha	Digestión húmeda: (HNO ₃ y HClO ₄) (3:1 v/v) (14).

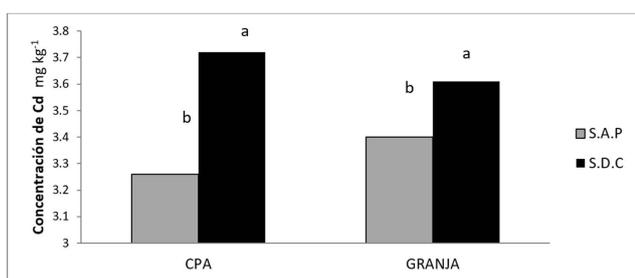
Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza simple (ANOVA) con cinco repeticiones por tratamiento o muestra tomada y luego en los casos en que se encontró diferencias, entre los tratamientos, se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Rangos múltiples de Duncan ($p < 0.05$). Para el procesamiento estadístico se utilizó el programa Statgraphics Centurion.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la concentración de Cd en el suelo

La **Figura 1** muestra la concentración de Cd en el suelo de las dos unidades productivas. Puede observarse que existen diferencias significativas entre los momentos de muestreos, siendo mayores los valores encontrados en el momento después de la cosecha, lo que conlleva a pensar que este aumento puede deberse, fundamentalmente, a la tecnología propia que se utiliza en el cultivo. Al respecto, algunos autores plantean que las numerosas aplicaciones de productos químicos que se realizan al cultivo, en los suelos Ferralíticos Rojos de Mayabeque, Cuba, han aumentado las concentraciones de metales pesados en el suelo en los últimos años (11).



S.A.P: muestra tomada antes de la plantación de papa. S.D.C: muestra tomada después de la cosecha de papa. Medias con letras comunes en cada barra no difieren significativamente para $p \leq 0,05$

Figura 1. Comparación de las concentraciones de Cd en el suelo, en dos momentos de muestreo, en las dos unidades productivas

Otros autores refieren como posibles causas de contaminación de los suelos los metales pesados procedentes de los productos agroquímicos aplicados en

el control de malezas y plagas (15). También, se señala como parte de la contaminación antrópica, el uso intensivo de pesticidas, plaguicidas y abonos químicos (16).

En Cuba, los suelos Ferralíticos Rojos pueden tener de forma natural $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, por lo que los valores encontrados, superiores a 3 mg kg^{-1} , se consideran valores muy elevados, o sea, con estos niveles de Cd en el suelo se deben tomar medidas de remediación (13).

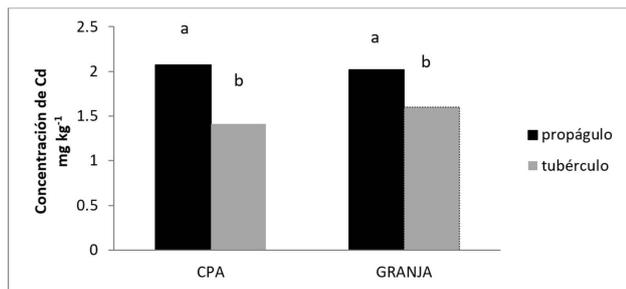
Otras fuentes contaminantes de Cd pueden haber incidido. En el caso de la Granja, podrían ser los aerosoles que emitió la quema de la caña de azúcar cerca del campo estudiado y, también, el hecho de que exista un área de vertedero de residuos domésticos a pocos metros del área, en tal sentido, algunas investigaciones han identificado los vertederos de basura doméstica como fuente contaminante de metales pesados, no solo en los suelos, sino también en hortalizas que han sido tratadas con enmiendas orgánicas provenientes de basura doméstica (17). En el caso de la CPA, la otra fuente contaminante podría ser la carretera Güines -Melena del sur que colinda con el campo, al respecto, se ha planteado en la literatura internacional, a modo de resumen, como una de las causas de la contaminación del suelo, los metales pesados que salen con el humo por el tubo de escape de los coches (16).

Se ha señalado por otros autores (18), niveles superiores de Cd al límite máximo permisible en el cultivo de la alcapa y a los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas, lo que puede estar influenciado por el vertimiento a los afluentes al río de residuos de la minería y de la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios.

Resultados al respecto se han obtenido en suelos del Perú (19), con concentraciones promedio de Cd superiores a las normas establecidas, indicando que un aumento gradual de la aplicación de fertilizantes fosfatados pudiera resultar en un incremento del contenido de cadmio en el suelo y, por lo tanto, podrían esperarse daños a la salud de las personas.

Evaluación de la concentración de Cd en los propágulos y tubérculos

En la **Figura 2** se observa que existe diferencia significativa en las concentraciones de Cd entre los propágulos y los tubérculos en cada localidad, mostrándose los valores más elevados para los propágulos. Estos resultados en los tubérculos se corresponden con los reportados por otros autores (11) en otras fincas para este mismo cultivo, sin embargo, éstos no estudiaron el propágulo o semilla.



Propágulo: semilla agámica utilizada para plantar la papa. Tubérculo: fruto agrícola que se consume. Medias con letras comunes en cada barra no difieren significativamente para $p \leq 0,05$

Figura 2. Comparación de las concentraciones de Cd en propágulos y tubérculos de papa en los dos sitios estudiados

Los altos valores obtenidos en los tubérculos de papa, como se puede observar en la figura 2, superan el límite permisible de Cd en raíces y tubérculos de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, según la Norma cubana para los contaminantes metálicos en los alimentos (20), así como del CODEX Alimentarius de la FAO (21), lo que puede constituir un riesgo para la cadena trófica y un serio peligro para las personas que consumen el alimento, ya que el Cd puede provocar serios problemas de salud, fundamentalmente a largo plazo (22).

Evaluación de la concentración de Cd en la parte aérea de la planta

La concentración de Cd en las plantas de papa de ambos sitios experimentales (Tabla 2) no mostró diferencias significativas, lo que corrobora, como se mencionó en la introducción, a este cultivo como planta hiperacumuladora de los metales Cd y Cr (4-7). La existencia de este elemento en la planta puede ser altamente tóxico, alterando su fotosistema, inhibiendo el flujo de electrones y el aparato fotosintético, creando estrés oxidativo, inestabilidad de las paredes celulares y daños estructurales, disminuyendo la tolerancia al estrés, lo que abre las puertas al ataque de microorganismos indeseables (23). Sin embargo, en la investigación se pudo observar a lo largo del ciclo del cultivo que no se presentaron síntomas de toxicidad visible en ninguna etapa fenológica, coincidiendo con los resultados de otras investigaciones.

Tabla 2. Comparación de las concentraciones de Cd en la parte aérea de la planta de papa en las dos áreas estudiadas

Área Productiva	Concentración de Cd (mg kg^{-1})
CPA	1,90 a
Granja	1,95 a
CV (%)	13,50

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a $p < 0,05$

En un estudio realizado con *Rumex acetosa*, planta tolerante a los metales pesados, no se observaron síntomas de toxicidad visible por Cd, sin embargo a nivel de ultraestructura de los cloroplastos se observaron algunas anomalías (24).

Los resultados, de manera general, coinciden con otros resultados de investigaciones desarrolladas en el cultivo de la papa, se encontró que el contenido de Cd en planta, tubérculo y suelo superaron el límite medio permisible para el cultivo (25).

Un factor influyente en la contaminación son las aplicaciones de productos químicos como plaguicidas y fertilizantes minerales. Existen investigaciones que muestran que los plaguicidas contienen elementos trazas y pueden aportar $1,38 - 1,94 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd; así como también los fertilizantes fosfatados y nitrogenados pueden aportar de $0,1 - 170 \text{ mg kg}^{-1}$ y $0,05 - 8,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, respectivamente (26).

A partir del análisis del historial de campo de cada sitio estudiado y del intercambio con los productores, se constató que se realizaron varias aplicaciones de plaguicidas de forma preventiva con el mismo objetivo, que aunque atacan las plagas y enfermedades, pueden comprometer la inocuidad de los alimentos, incluso contaminar los suelos y mantos freáticos (26,27).

En Cuba, el Instructivo técnico del cultivo de la papa (7) establece una estrategia de prevención para plagas y enfermedades, lo que se identificó como Amenaza según el método de Acción - Participación, ya que es obligatoria la aplicación de este paquete tecnológico. A través de este mismo método se plantea como Debilidad el desconocimiento sobre el tema de la contaminación por los productores de la CPA "Amistad Cubano-búlgara", pero como Fortaleza, los productores de la Granja "El Marqués" si tenían conocimiento de ello, pues en este sitio se realizaron investigaciones previamente. A partir de ello surge como Oportunidad un Sistema de Vigilancia Tecnológica que propone:

- Evaluar las concentraciones de metales pesados en el suelo, agua de riego, propágulo, tubérculo y planta de papa.
- Cumplir rigurosamente las medidas de control cultural que plantea el instructivo técnico.
- Controlar las fuentes contaminantes a lo largo del ciclo del cultivo y aplicar los plaguicidas solamente cuando los organismos nocivos sobrepasen el nivel de daño económico.
- Realizar talleres de capacitación con los productores, directivos de la agricultura y especialistas de salud pública sobre el tema de contaminación por metales pesados en los alimentos y los riesgos que ello implica.

CONCLUSIONES

- Las diferentes muestras evaluadas presentaron contaminación por cadmio, con concentraciones que sobrepasaron los límites máximos permisibles debido, fundamentalmente, al empleo de propágulos o semilla agámica ya contaminada y al uso de la tecnología del cultivo en Cuba, con elevadas dosis de fertilizantes minerales y numerosas aplicaciones de plaguicidas de forma preventiva al cultivo.

- Se infiere que la contaminación también pudo haber sido influenciada por otras fuentes contaminantes presentes en las áreas estudiadas, tales como: la quema de la caña de azúcar en áreas colindantes, la existencia de un vertedero de residuos sólidos cerca del campo y la cercanía de carreteras de alto tráfico vehicular.
- Se propuso un Sistema de Vigilancia Tecnológica que permitirá a las unidades productivas mitigar los riesgos en estos agroecosistemas contaminados con cadmio.

BIBLIOGRAFÍA

- Víncula Chuquiyaui GR. Determinación de las concentraciones de plomo y mercurio en la papa blanca, amarilla y huayro que se comercializan en los mercados de Huánuco - 2019 [Internet] [Tesis Título Profesional de Ingeniera Ambiental.]. [Huánuco - Perú.]: Universidad de Huánuco. Facultad de Ingeniería; 2020 [citado 27 de noviembre de 2024]. Available from: <https://repositorio.udh.edu.pe/xmlui/handle/123456789/2633>
- Pabón SE, Benítez R, Sarria RA, Gallo JA, Pabón SE, Benítez R, *et al.* Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Cienc E Ing* [Internet]. junio de 2020 [citado 27 de noviembre de 2024];14(27):9-18. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Buriticá SM. Metales pesados, plaguicidas y efectos de los disruptores endocrinos en la salud humana y animal. *Fondo Editor Biogénesis* [Internet]. 14 de mayo de 2019 [citado 27 de noviembre de 2024];73-82. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/338537>
- Reyes-Rodríguez R, Guridi-Izquierdo F, Valdés-Carmenate R. El manejo del suelo modifica a sus ácidos húmicos y la disponibilidad de metales pesados. *Cultiv Trop* [Internet]. junio de 2018 [citado 27 de noviembre de 2024];39(2):15-20. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362018000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Perales Aguilar L, Santos Díaz M del S, Gómez Aguirre YA, Ramos Gómez MS, Pérez Molphe Balch E, Perales Aguilar L, *et al.* Análisis *in vitro* de la acumulación de metales pesados en plantas de la familia Asparagaceae tolerantes a la baja disponibilidad de agua. *Nova Sci* [Internet]. 2020 [citado 27 de noviembre de 2024];12(24):0-0. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-07052020000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants [Internet]. 4.^a ed. USA: CRC press; 2010 [citado 18 de septiembre de 2018]. 33 p. Available from: <https://content.taylorfrancis.com>
- MINAGRI. Instructivo técnico para la producción de papa en Cuba. La Habana Cuba: MINAGRI; 2016.
- Gamboa N. El cadmio, ¿su presencia nos alerta de la contaminación antropogénica? *Rev Quím* [Internet]. 26 de noviembre de 2019 [citado 27 de noviembre de 2024];33(1-2):14-6. Available from: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/21434>
- Baines Camps ÁK, Levy Moshe AD, Visconti Pimentel MF, Sanz-Valero J, Baines Camps ÁK, Levy Moshe AD, *et al.* Neoplasia de próstata en trabajadores expuestos al cadmio y/o sus compuestos: revisión sistemática. *Med Segur Trab* [Internet]. marzo de 2019 [citado 27 de noviembre de 2024];65(254):59-72. Available from: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0465-546X2019000100059&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Hernández-Baranda Y, Rodríguez-Hernández P, Peña-Icarr M, Meriño-Hernández Y, Cartaya-Rubio O, Hernández-Baranda Y, *et al.* Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultiv Trop* [Internet]. septiembre de 2019 [citado 27 de noviembre de 2024];40(3). Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultiv Trop* [Internet]. 31 de marzo de 2019 [citado 12 de febrero de 2024];40(1):a15-e15. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1504>
- Gestión de la Propiedad Industrial en la Universidad Agraria de la Habana. *Cienc Técn Agrop* [Internet]. 2015;14(No.Especial):72-8. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93243475013.pdf>
- ISO 11466:1995(en), Soil quality - Extraction of trace elements soluble in aqua regia [Internet]. [citado 2 de septiembre de 2020]. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11466:ed-1:v1:en>
- Rodríguez-Alfaro M, Muñoz-Ugarte O, Nascimento CWA do, Montero-Álvarez A, Calero-Martín B, Martínez-Rodríguez F. Rangos permisibles de Cadmio y Plomo en abonos orgánicos utilizados en la producción de alimentos. *Cultiv Trop* [Internet]. 31 de mayo de 2022 [citado 27 de noviembre de 2024];43(1):e01-e01. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1637>
- Torrente A, Manchola L, Santofimio E. Metales en suelos productores de arroz del distrito Juncal, Huila - Colombia. *Suelos Ecuat* [Internet]. 12 de diciembre de 2020;50:1-12. Available from: https://www.researchgate.net/publication/347599219_METALES_EN_SUELOS_PRODUCTORES_DE_ARROZ_DEL_DISTRITO_JUNCAL_HUILA_-_COLOMBIA
- Juste I. *ecologiaverde.com*. [citado 27 de noviembre de 2024]. Contaminación del suelo: causas, consecuencias y soluciones. Available from: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones-285.html>
- Reumont SO, Céspedes DG, Cazorla LL, Sánchez IS, Casals AL, Alvares PP. Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la Ciudad de la Habana, Cuba. *Rev Int Contam Ambient*

- [Internet]. 10 de septiembre de 2013 [citado 27 de noviembre de 2024];29(4):285-93. Available from: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/29664>
18. Cáceres Atencia MJ, Ramos Caballero EM. Determinación de Cadmio, Plomo, Mercurio y Arsénico en Beta vulgaris, Ipomoea batatas y Beta vulgaris var. cicla, Santa. Repos Inst - UNS [Internet]. 12 de junio de 2023 [citado 27 de noviembre de 2024]; Available from: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4299>
 19. Fuentes Quijandria FG. Impacto ambiental de los fertilizantes fosfatados en el nivel de contaminación por cadmio en suelos cultivados en el valle de Ica [Internet] [Informe de investigación para optar el grado de doctor en gestión ambiental]. Universidad Nacional San Luis Gonzaga; 2023 [citado 27 de noviembre de 2024]. p. 1. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=338591>
 20. Oficina Nacional de Normalización. Norma cubana 493. Contaminantes metálicos en alimentos - regulaciones sanitarias. 2015.
 21. FAO. OMS. CODEX ALIMENTARIUS. Normas Internacionales de los Alimentos. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos [Internet]. 1993. Available from: https://www.fao.org/input/download/standards/17/CXS_193s_2015.pdf
 22. Londoño-Franco LF, Londoño-Muñoz PT, Muñoz-García FG. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnol En El Sect Agropecu Agroindustrial* [Internet]. diciembre de 2016 [citado 27 de noviembre de 2024];14(2):145-53. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-3561201600200017&lng=en&nrm=iso&tlng=es
 23. PortalFruticola.com [Internet]. 2019 [citado 27 de noviembre de 2024]. Riesgos de la bioacumulación de metales pesados en las plantas - PortalFruticola.com. Available from: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/08/06/riesgos-de-la-bioacumulacion-de-metales-pesados-en-las-plantas/>
 24. Barrutia O. Rumex acetosa L.: ¿Es esta pseudometalofita una “caja del tesoro” para la fitorremediación de suelos contaminados con Zn, Cd y Pb? *Academia*. 20 de junio de 2018 [citado 27 de noviembre de 2024]; Available from: https://www.academia.edu/109923191/Rumex_acetosa_L_Es_esta_pseudometalofita_una_caja_del_tesoro_para_la_fitorremediacion_de_suelos_contaminados_con_Zn_Cd_y_Pb
 25. Cusi V. Concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.), cultivada en suelos contaminados de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito. [Internet] [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.]. [Huancayo - Perú.]: Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental.; 2021. Available from: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11465>
 26. Jiao W, Chen W, Chang AC, Page AL. Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review. *Environ Pollut* [Internet]. 1 de septiembre de 2012 [citado 26 de noviembre de 2024];168:44-53. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749112001923>
 27. Brutti L, Beltrán M, de Salamone IG. *Biorremediación de los Recursos Naturales* [Internet]. 1ra ed. Buenos Aires, Argentina; 2018. 542 p. Available from: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/135071/CONICE_T_Digital_Nro.47a8f79f-2c62-4398-9cc3-18e858fdc03e_H.pdf?sequence=11